

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра «Транспортные узлы»

**ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ
СТАНЦИИ И УЗЛЫ
(ЗАДАЧИ, ПРИМЕРЫ, РАСЧЕТЫ)**

Гомель 2018

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Транспортные узлы»

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ СТАНЦИИ И УЗЛЫ (ЗАДАЧИ, ПРИМЕРЫ, РАСЧЕТЫ)

Под общей редакцией
доктора технических наук, профессора *В. Я. Негрея*

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего
образования по специальностям «Организация перевозок и управление
на железнодорожном транспорте», «Управление подразделениями
транспортных войск (по направлениям)»*

Гомель 2018

УДК 656.212.5 (075.8)
ББК 39.213
Ж51

Авторы: *В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев, С. А. Пожидаев, Е. А. Филатов,
Н. В. Кирик, Г. В. Чиграй*

Рецензенты: заместитель начальника отделения – главный ревизор по безопасности движения Гомельского отделения Белорусской железной дороги кандидат технических наук *В. Ф. Федченко*; заведующий кафедрой станций и узлов Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта, кандидат технических наук, доцент *Н. И. Березовой*

Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) :
Ж51 учеб. пособие / В. Я. Негрей [и др.] ; под общ. ред. В. Я. Негрея; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 625 с.
ISBN 978-985-554-727-4

Приведены примеры решения наиболее часто встречающихся задач при выполнении инженерных расчетов на практических занятиях, в курсовом и дипломном проектировании: расчеты соединений путей и технического оснащения железнодорожных станций и узлов; технико-экономическое обоснование вариантов переустройства станций различных категорий и размещения их в железнодорожных узлах; определение пропускной и перерабатывающей способностей отдельных элементов станций. Содержание пособия охватывает все разделы дисциплины «Железнодорожные станции и узлы».

Предназначено для студентов специальностей «Организация перевозок и управление на железнодорожном транспорте», «Управление подразделениями транспортных войск (по направлениям)», магистрантов, аспирантов и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта.

УДК 656. 212.5 (075.8)
ББК 39.213

ISBN 978-985-554-727-4

© Оформление. БелГУТ, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Эффективная и безопасная работа железнодорожного транспорта как одного из основных видов путей сообщения в значительной степени зависит от уровня развития железнодорожных станций и узлов. Именно эти элементы единой транспортной сети обеспечивают контакт с клиентами, регулярность и надежность их обслуживания, существенно влияют на конечные технико-экономические показатели работы всей транспортной отрасли.

Развитие, а не «разбухание», железнодорожных станций и узлов возможно только на основе научного подхода к проектированию, внедрению интеллектуальных технологий организации перевозочного процесса, обобщения и использования богатого опыта отечественных и зарубежных инженеров проектировщиков, особенно в части неформализуемых процедур принятия проектных решений.

Нормальное функционирование железнодорожного транспорта, безопасная и надежная его работа в современных экономических условиях требует сохранять в проектах идею работы железных дорог и колеи 1520 мм по единой технологии. Это свидетельствует о необходимости совершенствования нормативно-технических документов в сфере проектирования железнодорожных станций и узлов.

Важное значение для повышения эффективности проектных решений играет увеличение точности и достоверности прогноза интенсивности транспортных потоков, умение предвидеть изменения в их структуре. Необходимо значительно повысить внимание к проектированию и разработке современных технологий работы пассажирских комплексов железнодорожных станций и узлов, особенно пассажирских технических станций.

На организацию железнодорожного цикла железнодорожных станций и узлов необходимы значительные материальные и финансовые ресурсы. Поэтому представляется целесообразным развивать частно-государственное партнерство, что требует корректировки нормативно-правовых документов.

Подготовка нового издания учебного пособия по проектированию железнодорожных станций и узлов учитывает богатый опыт проектирования реальных объектов, а также существенные изменения, которые произошли в нормативно-технических и правовых документах, теории расчетов параметров железнодорожных станций и узлов, пропускной и перерабатывающей способности, расчета параметров сортировочных устройств и других важных элементов инфраструктуры.

Пособие адресовано студентам транспортных вузов и колледжей, а также широкому кругу инженерно-технических работников и специалистов, интересующихся практикой развития железнодорожного транспорта.

1 СОЕДИНЕНИЯ ПУТЕЙ

1.1 Стрелочные переводы и их взаимное расположение*

Пример 1.1. Определить основные параметры обыкновенных стрелочных переводов марок 1/22, 1/18, 1/11, 1/9 (рисунок 1.1) и симметричного марки 1/6 (рисунок 1.2), укладываемых для соединения прямоотправочных и сортировочных путей, используя справочные данные пособия [1]. Тип рельсов Р65 и Р50.

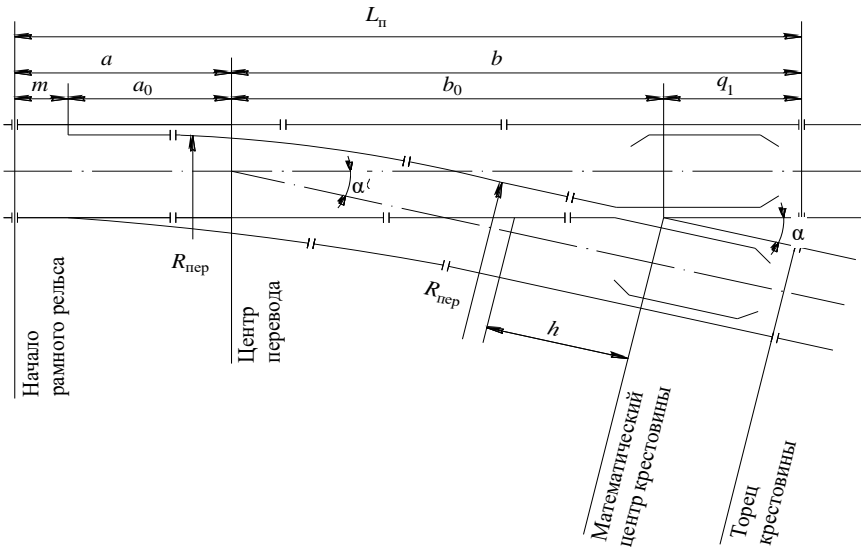


Рисунок 1.1 – Обыкновенный стрелочный перевод:

- α – угол крестовины; $R_{пер}$ – радиус переходной кривой (по наружной нити);
- m – расстояние от оси передних стыков рамных рельсов до начала острьяков;
- a_0 – расстояние от начала острьяков до центра перевода; a – расстояние от оси передних стыков рамных рельсов до центра перевода; b_0 – расстояние от центра перевода до математического центра крестовины; b – расстояние от центра перевода до торца крестовины; q_1 – расстояние от центра крестовины до ее торцевого стыка;
- h – прямая вставка перед крестовиной

* В решении ряда примеров принимала участие инженер Е. Н. Линник.

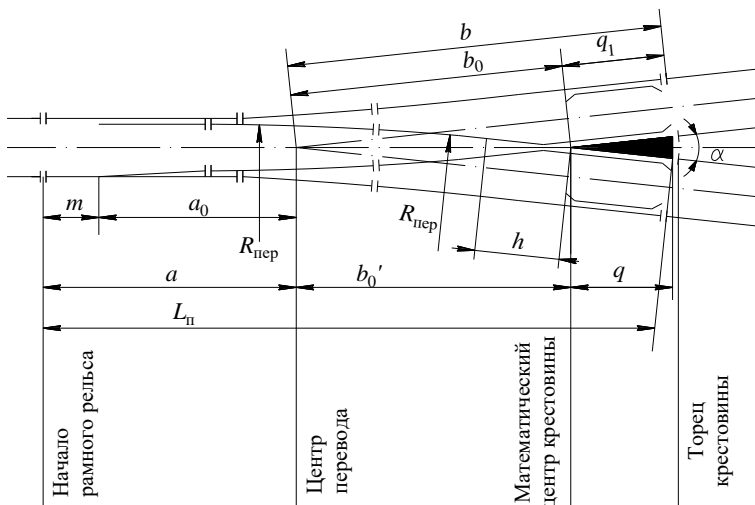


Рисунок 1.2 – Симметричный стрелочный перевод:

b_0 – расстояние от центра перевода до математического центра крестовины (по оси симметрии)
(условные обозначения см. рисунок 1.1)

Решение. Согласно данным таблицы 19 [1], основные параметры указанных в условии примера марок стрелочных переводов имеют характеристики, которые представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики параметров стрелочных переводов и их основные характеристики

Тип рельсов	Марка крестовины	Угол крестовины	Значение параметров, м			
			m	a_0	b_0	q_1
P65	1/22	2°35'50"	5,034	26,920	33,526	5,060
	1/18	3°10'12,5"	3,836	21,793	27,465	4,425
	1/11	5°11'40"	2,769	11,294	16,754	2,550
	1/9	6°20'25"	2,769	12,458	13,722	2,090
P50	1/18	3°10'12,5"	3,836	21,793	27,465	4,425
	1/11	5°11'40"	4,327	10,148	16,754	2,300
	1/9	6°20'25"	4,327	11,132	13,722	1,880

Основные параметры симметричного стрелочного перевода марки 1/6: тип рельсов – P50; угол крестовины – 9°27'45"; $m = 2,179$ м; $a_0 = 7,770$ м; $b_0 = 9,214$ м (по оси симметрии); $q_1 = 1,380$ м.

Полная длина стрелочного перевода определяется из следующих выражений:

$$L_{п} = a + b ,$$

где $a = m + a_0$;

– для обыкновенного стрелочного перевода

$$b = b_0 + q_1 ;$$

– для симметричного –

$$b = b_0 + q_1 ; b_0 = b_0' \cos \frac{\alpha}{2} .$$

С учетом изложенного, полная длина обыкновенного стрелочного перевода

$$L_{\Pi} = m + a_0 + b_0 + q_1 .$$

симметричного (по оси симметрии) –

$$L_{\Pi} = m + a_0 + b_0' \cos \frac{\alpha}{2} + q_1 .$$

Для условий примера получим:

– для Р65:

$$L_{\Pi}^{1/22} = 5,034 + 26,920 + 33,526 + 5,060 = 70,540 \text{ м},$$

$$L_{\Pi}^{1/18} = 3,836 + 21,793 + 27,465 + 4,425 = 57,519 \text{ м},$$

$$L_{\Pi}^{1/11} = 2,769 + 11,294 + 16,754 + 2,550 = 33,367 \text{ м},$$

$$L_{\Pi}^{1/9} = 2,769 + 12,458 + 13,722 + 2,090 = 31,039 \text{ м};$$

– для Р50 – обыкновенных:

$$L_{\Pi}^{1/18} = 3,836 + 21,793 + 27,465 + 4,425 = 57,519 \text{ м},$$

$$L_{\Pi}^{1/11} = 4,327 + 10,148 + 16,754 + 2,300 = 33,529 \text{ м},$$

$$L_{\Pi}^{1/9} = 4,327 + 11,132 + 13,722 + 1,880 = 31,061 \text{ м};$$

– для симметричного:

$$L_{\Pi}^{1/6} = 2,179 + 7,770 + 9,214 \cdot 0,996592 + 1,380 = 20,538 \text{ м}.$$

Пример 1.2. Определить расстояние между центрами смежных стрелочных переводов марки 1/11 при различных схемах их взаимной укладки (рисунков 1.3) на приемоотправочных путях в нормальных условиях. Тип рельсов Р65, коlea 1520 мм, скорость движения поездов по прямому пути не более 100 км/ч.

Решение. Расстояние между центрами стрелочных переводов зависит от схемы их взаимной укладки (см. рисунок 1.3), марки стрелочных переводов, типа рельсов, назначения пути и установленной скорости движения поездов.

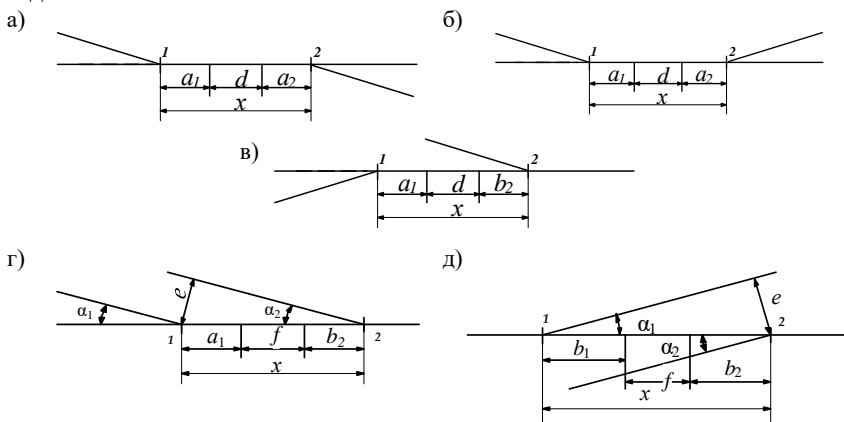


Рисунок 1.3 – Схемы укладки смежных стрелочных переводов

1 При встречной разносторонней относительно основного пути укладке стрелочных переводов (см. рисунок 1.3, а) расчетное расстояние между центрами

$$x = a_1 + d + a_2,$$

где a_1 и a_2 – расстояние от оси передних стыков рамных рельсов до центра, соответственно, первого и второго стрелочных переводов, м;

d – величина прямой вставки, зависящая от скорости движения поездов и назначения пути, на котором укладываются стрелочные переводы, м.

Параметры a_1 и a_2 принимаются по нормативно-справочной литературе (таблица 19 [1]) и, так как оба стрелочных перевода марки 1/11, $a_1 = a_2 = 14,063$ м. Вставка d для заданных условий принимается равной 12,50 м [1, таблица 23]. Тогда

$$x = 14,063 + 12,50 + 14,063 = 40,626 \text{ м.}$$

2 При встречной укладке стрелочных переводов с использованием схемы, изображенной на рисунке 1.3, б прямая вставка $d = 6,25$ м [1, таблица 23]. Тогда

$$x = a_1 + d + a_2 = 14,063 + 6,25 + 14,063 = 34,376 \text{ м.}$$

3 При попутной укладке стрелочных переводов по разные стороны от основного пути (см. рисунок 1.3, в) расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = a_1 + d + b_2,$$

где b_2 – расстояние от центра стрелочного перевода до торца крестовины по оси основного пути, м.

Прямая вставка d в данном случае согласно [1, таблица 24] равна 6,25 м. Параметры стрелочных переводов $a_1 = 14,063$ м, $b_2 = 19,304$ м. Тогда

$$x = 14,063 + 6,25 + 19,304 = 39,617 \text{ м.}$$

4 При попутной укладке стрелочных переводов по одну сторону от основного пути (см. рисунок 1.3, ε) расстояние между центрами стрелочных переводов устанавливается таким, чтобы обеспечить допустимую ширину междупутья

$$x = \frac{e}{\sin\alpha} = a_1 + f + b_2,$$

откуда минимально необходимая величина прямой вставки

$$f = x - (b_2 + a_1),$$

где e – ширина междупутья, м;

f – прямая вставка, устраиваемая между осями стыков рамных рельсов смежных стрелочных переводов, определяется расчетом, м.

Принимаем ширину междупутья равной 5,30 м, параметры стрелочных переводов по [1, таблица 19] $a_1 = 14,063$ м, $b_2 = 19,304$ м. Тогда

$$x = \frac{5,30}{\sin 5^\circ 11' 40''} = \frac{5,30}{0,090536} = 58,540 \text{ м;}$$

$$f = 58,540 - (14,063 + 19,304) = 25,173 \text{ м.}$$

5 Принцип расчета схемы укладки стрелочных переводов, направленных крестовинами друг к другу (см. рисунок 1.3, δ), аналогичен предыдущему примеру. Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = \frac{e}{\sin\alpha} = b_1 + f + b_2;$$

$$f = x - (b_2 + b_1).$$

Так как параметры стрелочных переводов $b_1 = b_2 = 19,304$ м [1, таблица 19], ширина междупутья $e = 5,30$ м, то

$$x = \frac{5,30}{\sin 5^\circ 11' 40''} = \frac{5,30}{0,090536} = 58,540 \text{ м;}$$

$$f = 58,540 - (19,304 + 19,304) = 19,932 \text{ м.}$$

Пример 1.3. Требуется определить расстояние между центрами смежных стрелочных переводов марок 1/9 и 1/11 при их укладке на приемоотправочных путях в стесненных условиях. Тип рельсов Р50, колея 1520 мм, скорость движения поездов по прямому пути до 70 км/ч.

Решение. Расчеты выполняем для схем, рассмотренных в примере 1.2 (см. рисунок 1.3).

1 Для заданных условий и схемы укладки, приведенной на рисунке 1.3, *a*, расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = a_{1/9} + d + a_{1/11}.$$

Прямая вставка, определяемая по [1, таблица 23], составляет 6,25 м, параметры стрелочных переводов из [1, таблица 19] $a_{1/9} = 15,459$ м, $a_{1/11} = 14,475$ м.

$$x = 15,459 + 6,25 + 14,475 = 36,184 \text{ м.}$$

2 При укладке стрелочных переводов по схеме, изображенной на рисунке 1.3, *б*, прямая вставка, согласно [1, таблица 23], также равна 6,25 м. Расчетное расстояние

$$x = a_{1/9} + d + a_{1/11} = 15,459 + 6,25 + 14,475 = 36,184 \text{ м.}$$

3 При попутной укладке стрелочных переводов по разные стороны от основного пути (см. рисунок 1.3, *в*) прямую вставку, согласно [1, таблица 24], в стесненных условиях можно принять равной 4,50 м. Параметры стрелочных переводов $a_{1/9} = 15,459$ м, $b_{1/11} = 19,054$ м.

Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = a_{1/9} + d + b_{1/11} = 15,459 + 4,50 + 19,054 = 39,013 \text{ м.}$$

4 При попутной укладке стрелочных переводов по одну сторону от основного пути (см. рисунок 1.3, *г*) расстояние между центрами стрелочных переводов определяется из условия обеспечения допустимой ширины междупутья

$$x = \frac{e}{\sin\alpha} = a_{1/9} + f + b_{1/11};$$

минимальная величина прямой вставки

$$f = x - (b_{1/11} + a_{1/9}).$$

Расчет выполняется для стрелочного перевода с более пологим углом крестовины, т. е. для марки 1/11*. Принимаем ширину междупутья равной

* В случае если стрелочный перевод № 1 имеет марку 1/11, а № 2 – марку 1/9, расчет расстояния между их центрами выполняется для стрелочного перевода марки 1/9

$$x = \frac{5,30}{\sin 6^{\circ}20'25''} = \frac{5,30}{0,110433} = 47,993 \text{ м.}$$

5,30 м, параметры стрелочных переводов по [1, таблица 19] $b_{1/11} = 19,054$ м, $a_{1/9} = 15,459$ м. Тогда

$$x = \frac{5,30}{\sin 5^\circ 11' 40''} = \frac{5,30}{0,090536} = 58,540 \text{ м};$$

$$f = 58,540 - (19,054 + 15,459) = 24,027 \text{ м}.$$

5 Для схемы укладки стрелочных переводов, направленных крестовинами друг к другу (см. рисунок 1.3, *д*), расчет выполняется аналогично предыдущему примеру. Искомое расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = \frac{e}{\sin \alpha} = b_{1/9} + f + b_{1/11};$$

$$f = x - (b_{1/9} + b_{1/11}).$$

Параметры стрелочных переводов $b_{1/9} = 15,602$ м, $b_{1/11} = 19,054$ м. Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = \frac{5,30}{\sin 5^\circ 11' 40''} = \frac{5,30}{0,090536} = 58,540 \text{ м};$$

$$f = 58,540 - (19,054 + 15,602) = 23,884 \text{ м}.$$

Для данной схемы взаимной укладки, при любом порядке расположения стрелочных переводов различных марок расчет выполняется для более пологого угла.

Пример 1.4. Для возможных схем взаимного расположения (рисунок 1.4) требуется определить расстояние между центрами смежных симметричных стрелочных переводов марки 1/6, укладываемых на сортировочных путях в стесненных условиях. Тип рельсов Р50, колея 1520 мм, скорость движения поездов не более 40 км/ч.

Решение. Возможны следующие схемы взаимной укладки (см. рисунок 1.4):

1 Встречная укладка двух симметричных стрелочных переводов (см. рисунок 1.4, *а*). Расстояние между их центрами

$$x = a_1 + d + a_2.$$

Параметры стрелочных переводов $a_1 = a_2 = 6,953$ м [1, таблица 20].

Прямая вставка d при заданных условиях согласно [8] для обеспечения минимально необходимой длины предстрелочного и изолированного участков рельсовой цепи принимается равной 5,263 м:

$$x = a_1 + d + a_2 = 6,953 + 5,263 + 6,953 = 19,169 \text{ м}.$$

2 Попутная укладка симметричных стрелочных переводов (см. рисунок 1.4, *б*). Расстояние между их центрами находим при условии обеспечения необходимой ширины междупутья

$$x = \frac{e}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = b_1 + f + b_2.$$

При ширине междупутья 4,80 м [8] получим

$$x = \frac{4,80}{2 \sin \frac{4,46^\circ}{2}} = \frac{4,80}{2 \cdot 0,082460} = 29,10 \text{ м.}$$

3 Укладка симметричных стрелочных переводов крестовинами друг к другу (см. рисунок 1.4, в). Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = \frac{e}{\sin \alpha} = b_1 + f + b_2.$$

Прямая вставка между их центрами

$$f = x - (b_2 + b_1).$$

Для стрелочного перевода марки 1/6 на сортировочных путях $\alpha = 9^\circ 27' 45''$, $b_2 = b_1 = 10,563$ м.

$$x = \frac{5,30}{\sin 9^\circ 27' 45''} = \frac{5,30}{0,164402} = 32,238 \text{ м;}$$

$$f = 32,238 - (10,563 + 10,563) = 11,112 \text{ м.}$$

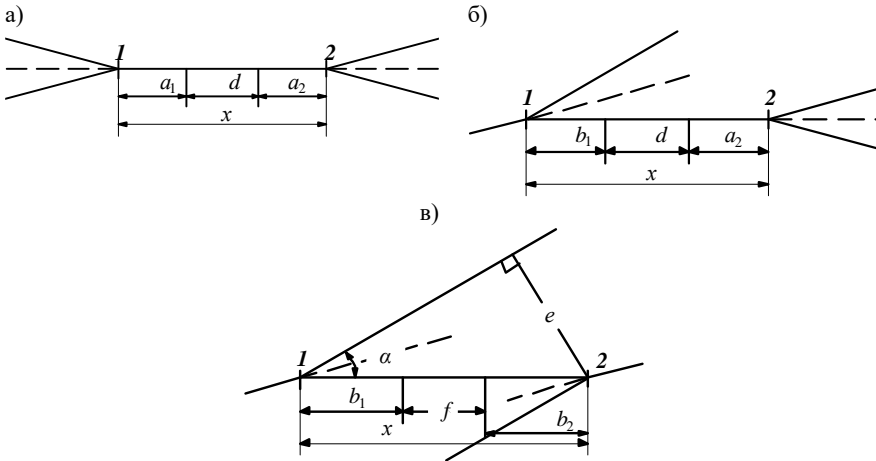


Рисунок 1.4 – Схемы укладки двух смежных симметричных стрелочных переводов

Пример 1.5. Требуется для основных схем взаимной укладки определить расстояние между центрами смежных стрелочных переводов разных марок – 1/9с и 1/9, укладываемых на приемоотправочных путях в нормальных условиях. Тип рельсов Р50, колея 1520 мм, скорость движения на боковой путь не более 40 км/ч.

Решение. Возможные варианты взаимного расположения стрелочных переводов этих марок приведены на рисунке 1.5.

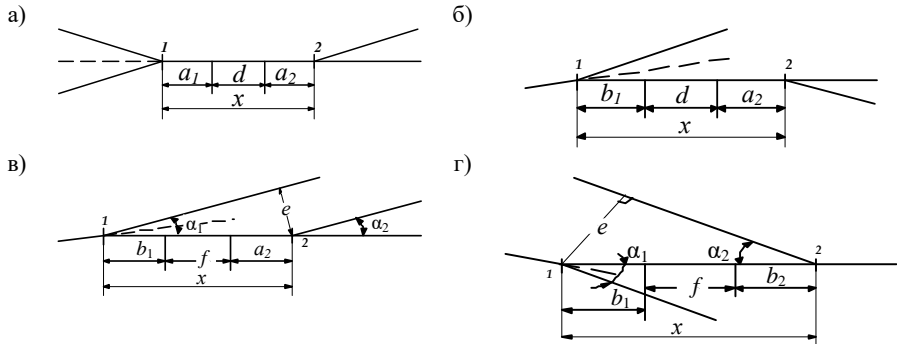


Рисунок 1.5 – Схемы взаимной укладки смежных симметричного и обыкновенного стрелочных переводов

1 Встречная укладка двух стрелочных переводов (см. рисунок 1.5, а). Расстояние между их центрами

$$x = a_1 + d + a_2.$$

Параметры стрелочных переводов по [1, таблицы 19, 20]:

$$a_1 (1/9с) = 15,794 \text{ м};$$

$$a_2 (1/9) = 15,459 \text{ м}.$$

Прямая вставка d при заданных условиях согласно [1, таблица 23] равна 12,50 м:

$$X = a_1 + d + a_2 = 15,794 + 12,50 + 15,459 = 43,753 \text{ м}.$$

2 Попутная разносторонняя укладка стрелочных переводов (см. рисунок 1.5, б). Расстояние между их центрами

$$x = b_1 + d + a_2.$$

Требуемые параметры стрелочных переводов [1, таблицы 19, 20]:

$$b_1 (1/9с) = 15,599 \text{ м};$$

$$a_2 (1/9) = 15,459 \text{ м}.$$

Прямая вставка d равна 6,25 м [1, таблица 24]:

$$x = b_1 + d + a_2 = 15,599 + 6,25 + 15,459 = 37,308 \text{ м.}$$

3 Попутная односторонняя укладка стрелочных переводов (см. рисунок 1.5, в). Искомое расстояние определяется из условия обеспечения минимально допустимой ширины междупутья

$$x = \frac{e}{\sin\alpha} = b_1 + f + a_2;$$

$$f = x - (a_2 + b_1).$$

При минимально допустимой ширине междупутья, равной 5,30 м, и параметрах стрелочных переводов $\alpha_1 = \alpha_2 = 6^\circ 20' 25''$, b_1 (1/9с) = 15,599 м, α_2 (1/9с) = 15,459 м

$$x = \frac{5,30}{\sin 6^\circ 20' 25''} = \frac{5,30}{0,110433} = 47,993 \text{ м};$$

$$f = 47,993 - (15,459 + 15,599) = 16,935 \text{ м.}$$

4 Укладка стрелочных переводов крестовинами друг к другу (см. рисунок 1.5, г). Расстояние между центрами стрелочных переводов определяется, как и в предыдущем примере, из условия обеспечения минимально допустимой ширины междупутья:

$$x = \frac{e}{\sin\alpha} = b_1 + f + b_2.$$

Прямая вставка

$$f = x - (b_2 + b_1).$$

Для обыкновенного стрелочного перевода марки 1/9 на приемоотправочных путях $\alpha_1 = 6^\circ 20' 25''$, $b_2 = 15,602$ м [1, таблица 19]. Для симметричного стрелочного перевода марки 1/9 $\alpha_1 = 6^\circ 20' 25''$, $b_1 = 15,599$ м [1, таблица 20].

Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = \frac{5,30}{\sin 6^\circ 20' 25''} = \frac{5,30}{0,110433} = 47,993 \text{ м};$$

$$f = 47,993 - (15,602 + 15,599) = 16,792 \text{ м.}$$

Пример 1.6. Требуется определить расстояние между центрами перекрестного стрелочного перевода марки 1/9 и симметричного стрелочного перевода марки 1/6с, укладываемых на приемоотправочном пути в нормальных условиях (рисунок 1.6). Тип рельсов Р50, ширина колеи 1520 мм.

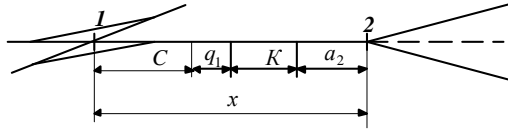


Рисунок 1.6 – Схема смежной укладки перекрестного и симметричного стрелочных переводов

Решение. Расчет сводим к нахождению соответствующих параметров стрелочных переводов, составляющих искомое расстояние x (см. рисунок 1.6).

$$x = C + q_1 + K + a_2,$$

где C – расстояние от центра перекрестного стрелочного перевода до математического центра его острой крестовины, м;

q_1 – расстояние от математического центра острой крестовины перекрестного стрелочного перевода до ее заднего стыка, м;

K – расстояние от торца острой крестовины перекрестного стрелочного перевода до оси стыка рубки, укладываемой за крестовиной, м.

Параметры перекрестного стрелочного перевода определяем по [1, таблица 21]: $C = 13,722$ м, $q_1 = 1,880$ м, $K = 8,223$ м. Для симметричного стрелочного перевода марки 1/6с на прямоотправочных путях $a_2 = 9,949$ м [1, таблица 21]:

$$x = 13,722 + 1,880 + 8,223 + 9,949 = 33,774 \text{ м.}$$

Пример 1.7. На главных путях необходимо уложить два смежных стрелочных перевода марок 1/22 и 1/11* навстречу друг другу с устройством между ними кривой $R_r = 3000$ м. Тип рельсов – Р65, колея – 1520 мм, величина угла поворота в кривой $\alpha = 2^\circ$, скорость движения пассажирских поездов – более 140 км/ч. Требуется определить параметры T_p и K_p круговой кривой, устраиваемой между смежными стрелочными переводами, и расстояние между центрами смежных стрелочных переводов.

Решение. Расчетное расстояние между центрами смежных стрелочных переводов x , согласно заданию, определяется из схемы, приведенной на рисунке 1.7,

$$x = a_1 + a_2 + 2K_2 + 2m + K_p,$$

где a_1, a_2 – расстояние от стыка рамного рельса до центра, соответственно, для первого и второго стрелочных переводов, м;

K_2 – прямая вставка между концами стрелочных переводов и переходных кривых, м;

m – половина длины переходной кривой, м;

K_p – длина круговой кривой, м.

* С подуклонкой.

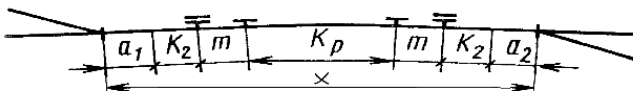


Рисунок 1.7 – Схема встречной укладки двух стрелочных переводов с устройством между ними кривой на линиях со скоростями движения пассажирских поездов 140–200 км/ч

Необходимые параметры стрелочных переводов определяем по [1, таблица 19]: $a_1 (1/22) = 31,954$ м, $a_2 (1/11^*) = 14,063$ м.

Минимальная длина прямой вставки K_2 для плавности движения на главных путях при заданных скоростях движения пассажирских поездов принимается равной 25 м [1, подразд. 7.3].

Параметры круговой кривой определяем по формулам:

$$T_p = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 3000 \operatorname{tg} \frac{2^\circ}{2} = 3000 \cdot 0,017455 = 52,365 \text{ м};$$

$$K_p = \frac{\pi}{180} R_1 \alpha = \frac{3,14159}{180} \cdot 3000 \cdot 2^\circ = 104,720 \text{ м}.$$

Так как, в соответствии с заданной скоростью (140 км/ч), железнодорожная линия относится к I или II категории, следовательно, величина переходной кривой l_n должна определяться из расчета [3, подразд. 4.23]

$$l_n \geq \frac{h v_{\max}^2}{1000},$$

где h – возвышение наружного рельса, мм,

$$h = k \frac{12,5 v_{\text{cp}}^2}{R},$$

v_{cp}^2 – средневзвешенная квадратическая скорость, намечаемая на 10-й год эксплуатации в рассматриваемой кривой, принимается равной 130 км/ч;

k – коэффициент увеличения возвышения наружного рельса, учитывающий смещение центра тяжести экипажа в наружную сторону по отношению к оси кривой, принимается равным для заданных условий 1,0;

v_{\max} – скорость движения наиболее быстроходного поезда в данной кривой, км/ч.

* С подуклонкой.

Тогда

$$h = 1,0 \cdot \frac{12,5 \cdot 130^2}{3000} = 70,417 \text{ мм};$$

$$l_n \geq \frac{70,417 \cdot 140}{100} \geq 98,584 \text{ м.}$$

В соответствии с вышеприведенным расчетом принимаем $m = 50$ м.
 Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = a_1 + a_2 + 2K_2 + 2m + K_p = \\ = 31,954 + 14,063 + 2 \cdot 25 + 2 \cdot 50 + 104,720 = 300,737 \text{ м.}$$

Пример 1.8. Для условий примера 1.7 необходимо определить расстояние между центрами смежных стрелочных переводов при их попутной укладке и устройстве между ними кривой (рисунок 1.8).

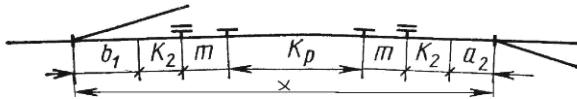


Рисунок 1.8 – Схема попутной укладки двух смежных стрелочных переводов с устройством между ними кривой на линиях со скоростями движения пассажирских поездов 140–200 км/ч

Решение. Расчетное расстояние между центрами смежных стрелочных переводов x определяется из схемы, приведенной на рисунке 1.8,

$$x = b_1 + a_2 + 2K_2 + 2m + K_p,$$

где b_1 – расстояние от центра первого стрелочного перевода до торца его крестовины, м.

Параметры стрелочных переводов по [1, таблица 19]:

$$b_1 (1/22) = 38,586 \text{ м}, a_2 (1/11) = 14,063 \text{ м.}$$

Параметры круговой кривой, переходной кривой и значение прямой вставки принимаются такими, как в примере 1.7:

$$T_p = 52,365 \text{ м};$$

$$K_p = 104,720 \text{ м};$$

$$m = 50 \text{ м};$$

$$K_2 = 25 \text{ м.}$$

Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = b_1 + a_2 + 2K_2 + 2m + K_p = \\ = 38,586 + 14,063 + 2 \cdot 25 + 2 \cdot 50 + 104,720 = 307,369 \text{ м.}$$

Пример 1.9. На главных путях необходимо уложить два смежных стрелочных перевода марок 1/11 и 1/9 навстречу друг другу с кривым участком пути между ними. Железнодорожная линия относится к особогрузонапряженной, тип рельсов – Р65, колея – 1520 мм, радиус круговой кривой – $R_r = 600$ м, величина угла поворота в кривой $\alpha = 4^\circ$, скорость движения пассажирских поездов – до 120 км/ч. Требуется определить параметры T_p и K_p круговой кривой, устраиваемой между смежными стрелочными переводами, и расстояние между центрами смежных стрелочных переводов.

Решение. Согласно расчетной схеме (рисунок 1.9) при движении пассажирских поездов со скоростями до 120 км/ч прямые вставки между передними стыками рамных рельсов и переходными кривыми не предусматриваются.

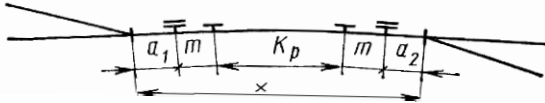


Рисунок 1.9 – Схема встречной укладки двух стрелочных переводов с устройством между ними кривой на линии со скоростями движения пассажирских поездов до 120 км/ч

Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = a_1 + a_2 + 2m + K_p.$$

Необходимые параметры стрелочных переводов определяем по [1, таблица 19]: a_1 (1/11) = 14,063 м, a_2 (1/9) = 15,227 м.

Параметры круговой кривой определяем по формулам:

$$T_p = R_r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 600 \operatorname{tg} \frac{4^\circ}{2} = 600 \cdot 0,034921 = 20,952 \text{ м};$$

$$K_p = \frac{\pi}{180} R_r \alpha = \frac{3,1416}{180} \cdot 600 \cdot 4^\circ = 41,888 \text{ м}.$$

Величину m (половина длины переходной кривой) определяем по [1, таблица 46]: для круговой кривой радиуса $R_r = 600$ м (особогрузонапряженная линия, 1-я зона скоростей) $I_{\text{п}} = 130$ м, $m = 65$ м.

Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = a_1 + a_2 + 2m + K_p = 14,063 + 15,227 + 2 \cdot 65 + 41,888 = 201,178 \text{ м}.$$

Пример 1.10. Для условий примера 1.9 определим расстояние между двумя смежными попутно укладываемыми стрелочными переводами на линии со скоростями движения поездов до 120 км/ч.

Решение. Согласно расчетной схеме (рисунок 1.10) расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = b_1 + K_1 + a_2 + m + K_p,$$

где K_1 – длина участка пути за крестовиной, на протяжении которого соединяемые пути имеют общие брусья, м.

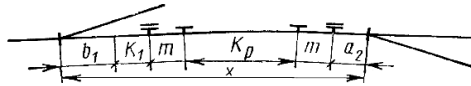


Рисунок 1.10 – Схема попутной укладки двух стрелочных переводов на линии со скоростями движения пассажирских поездов до 120 км/ч с устройством между ними кривой

Параметры стрелочных переводов по [1, таблица 19] составляют:

$$b_1 (1/11) = 19,304 \text{ м;}$$

$$a_2 (1/9) = 15,227 \text{ м.}$$

Параметры круговой кривой принимаются такими же, как в примере 1.9:

$$T_p = 20,952 \text{ м;}$$

$$K_p = 41,888 \text{ м.}$$

Величина m определяется по [1, таблица 46] и для круговой кривой радиуса $R_r = 600$ м (особогрузонапряженная линия, 1-я зона скоростей) составит 65 м ($l_n = 130$ м).

Прямая вставка, равная длине участка пути за крестовиной, на протяжении которого соединяемые пути имеют общие брусья, K_1 определяется по [1, таблица 50]. Для заданных условий (марка крестовины 1/11, тип рельсов Р65) $K_1 = 10,18$ м.

Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = b_1 + K_1 + a_2 + m + K_p = 19,304 + 10,18 + 15,227 + 65 + 41,888 = 151,599 \text{ м.}$$

Пример 1.11. Определим расстояние, требуемое для укладки на приемоотправочных путях двух смежных стрелочных переводов марок 1/9 и 1/11 навстречу друг другу с кривым участком пути между ними. Тип рельсов Р65, колея 1520 мм, радиус круговой кривой $R_r = 400$ м, величина угла поворота в кривой $\alpha = 4^\circ 30'$, скорость движения пассажирских поездов до 120 км/ч.

Решение. Согласно расчетной схеме, представленной на рисунке 1.11, на приемоотправочных и прочих путях не требуется устраивать переходных кривых и возвышения наружного рельса.

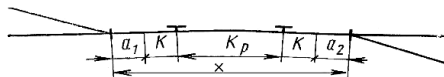


Рисунок 1.11 – Схема встречной укладки двух стрелочных переводов с устройством между ними кривой на приемоотправочных и прочих путях

Расстояние между центрами стрелочных переводов в этом случае

$$x = a_1 + a_2 + 2K + K_p,$$

где K – длина прямого участка пути, на котором производится уширение колеи, м.

Необходимые параметры стрелочных переводов по данным [1, таблица 19] равны $a_1 (1/9) = 15,227$ м, $a_2 (1/11) = 14,063$ м.

Параметры круговой кривой:

$$T_p = R_r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 400 \operatorname{tg} \left(\frac{4^\circ 30'}{2} \right) = 400 \cdot 0,039290 = 15,716 \text{ м};$$

$$K_p = \frac{\pi}{180} R_r \alpha = \frac{3,14159}{180} \cdot 400 \cdot 4^\circ 30' = 31,416 \text{ м}.$$

Величину K определяем по [1, таблица 52]: для круговой сопрягающей кривой радиуса $R_r = 400$ м на приемоотправочных путях колеи 1520 мм в нормальных условиях $K = 0$ м.

Тогда расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = a_1 + a_2 + 2K + K_p = 15,227 + 14,063 + 2 \cdot 0 + 31,416 = 60,706 \approx 60,71 \text{ м}.$$

Пример 1.12. Для условий примера 1.11 определить расстояние для попутной укладке двух смежных стрелочных переводов на приемоотправочных путях (рисунок 1.12).

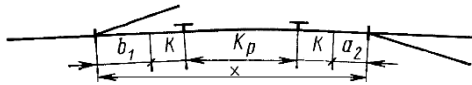


Рисунок 1.12 – Схема попутной укладке стрелочных переводов при устройстве между ними кривой на приемоотправочных путях

Решение. Расстояние между центрами стрелочных переводов в данных условиях

$$x = b_1 + 2K + a_2 + K_p.$$

По данным [1, таблица 19] параметры стрелочных переводов составляют:

$$b_1 (1/9) = 15,812 \text{ м};$$

$$a_2 (1/11) = 19,304 \text{ м}.$$

По результатам расчетов в примере 1.11 параметры круговой кривой равны:

$$T_p = 15,716 \text{ м};$$

$$K_p = 31,416 \text{ м}.$$

Величина прямой вставки K также равна 0.

Тогда расстояние между центрами стрелочных переводов

$$x = b_1 + 2K + a_2 + K_p = 15,812 + 2 \cdot 0 + 19,034 + 31,416 = 66,262 \approx 66,26 \text{ м.}$$

Пример 1.13. Требуется определить расчетные параметры прямого участка пути, необходимого для размещения стрелочного перевода марки 1/11 в кривой радиуса $R = 3000$ м на главном пути железнодорожной линии I категории, уложенном рельсами типа Р65 при движении пассажирских поездов по прямому пути со скоростью 160 км/ч. Сопряжение прямого участка пути и круговой кривой осуществляется с устройством переходных кривых.

Решение. При размещении в кривой стрелочного перевода необходимо устройство прямого участка пути соответствующей длины (рисунок 1.13).

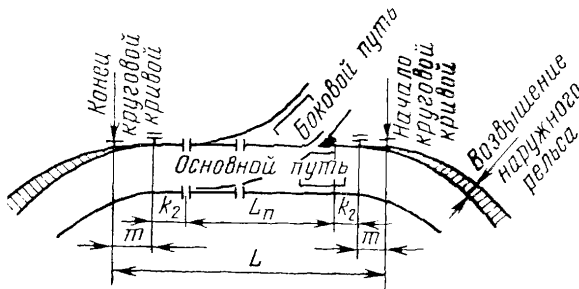


Рисунок 1.13 – Схема укладки стрелочного перевода в кривой на главных путях при скорости движения поездов более 140 км/ч

Согласно рисунку 1.13, эта длина для заданных условий складывается из следующих параметров

$$L = L_n + 2k_2 + 2m,$$

где L_n – длина стрелочного перевода, м;

k_2 – длина прямой вставки между концами стрелочных переводов и переходных кривых для плавности движения поездов с высокими скоростями, м;

m – половина длины переходной кривой, м.

Полная длина стрелочного перевода марки 1/11 из рельсов типа Р65 колеи 1520 мм $L_n = 33,367$ м [1, таблица 19].

Так как по условию примера стрелочный перевод требуется уложить на главном пути для линии I категории в кривой радиуса $R = 3000$ м при скорости движения пассажирских поездов 150 км/ч, то длина переходной кривой, согласно [3, подразд. 4.23]

$$C = 2m \geq \frac{hv_{\max}}{100},$$

где h – возвышение наружного рельса, мм,

$$h = k \frac{12,5 \cdot v_{\text{cp}}^2}{R},$$

k – коэффициент увеличения возвышения, учитывающий смещение центра тяжести экипажа в наружную сторону по отношению к оси кривой;

v_{cp} – средневзвешенная квадратическая скорость, намечаемая на 10-й год эксплуатации в рассматриваемой кривой, км/ч;

v_{max} – скорость движения наиболее быстроходного поезда в данной кривой, км/ч.

Поскольку скорости движения пассажирских поездов составляют 150 км/ч, то принимается $k = 1,2$ [3, подразд. 4.23]; $v_{\text{cp}} = 130$ км/ч, тогда

$$h = 1,2 \cdot \frac{12,5 \cdot 130^2}{3000} = 84,5 \approx 85 \text{ м}; \quad 2m \geq \frac{85 \cdot 150}{100} = 127,5 \approx 130 \text{ м}.$$

Длина прямой вставки k_2 для плавности движения поездов с высокими скоростями принимается, согласно рекомендациям [1], равной 25 м.

Расчетное расстояние соответственно

$$L = 33,367 + 2 \cdot 25 + 130 = 213,367 \text{ м}.$$

Пример 1.14. Требуется определить величину прямого участка пути, необходимого для укладки в кривой радиусом 2500 м стрелочного перевода марки 1/9 на главном пути из рельсов типа Р65 на особогрузонапряженной линии со скоростями движения пассажирских поездов до 120 км/ч.

Решение. Для укладки стрелочного перевода в кривой при заданных условиях за крестовиной предусматривается прямой участок пути k_1 (рисунок 1.14), в пределах которого соединяемые пути имеют общие брусья.

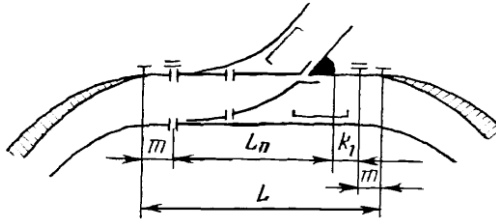


Рисунок 1.14 – Схема укладки стрелочного перевода в кривой на главных и приемоотправочных путях со скоростями движения поездов до 120 км/ч

Расчетная длина прямого участка определяется из выражения

$$L = L_n + k_1 + 2m.$$

Длина участка пути k_1 определяется по [1, таблица 50] и составляет 6,04 м.

Полная длина укладываемого стрелочного перевода и величина переходной кривой для заданных условий, соответственно, составляют 31,039 и 80 м, тогда

$$L = 31,039 + 6,04 + 80 = 117,079 \text{ м.}$$

Пример 1.15. Необходимо разместить стрелочный перевод марки 1/9 в кривой радиуса $R_r = 400$ м на прямоотправочном пути, уложенном рельсами типа Р50, при движении поездов по прямому пути со скоростями не более 50 км/ч. Спрявление кривой основного пути выполнить по касательной (рисунок 1.15). Примыкаемый путь не является прямоотправочным.

Требуется: определить длину прямого участка пути L для укладки стрелочного перевода, длину участка спрямления по хорде X , высоту сегмента f , радиусы сопрягающих кривых R_c , тангенсы сопрягающих кривых T_c , длины спрямляемой K_1 и сопрягающих кривых K_2 , координаты центра стрелочного перевода x_1 и y_1 .

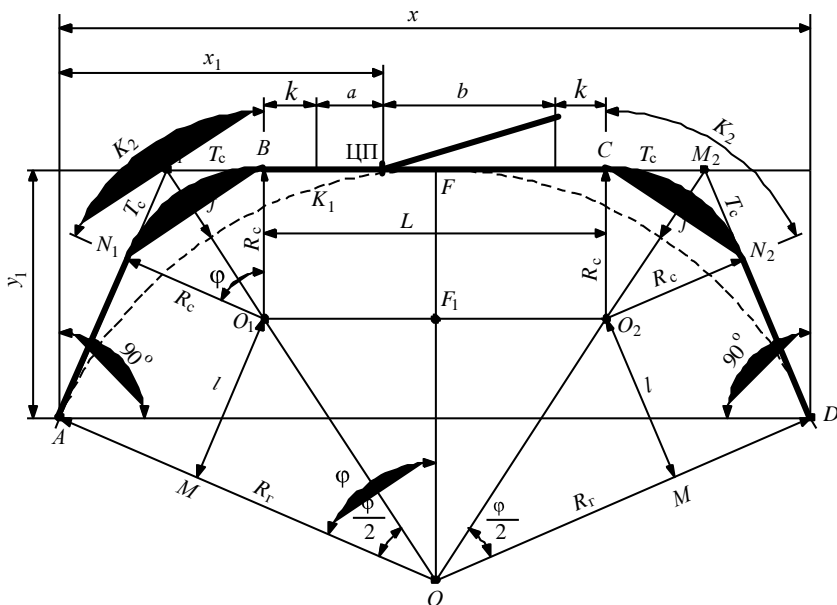


Рисунок 1.15 – Схема спрямления кривого участка пути по касательной для укладки стрелочного перевода

Решение. Спрявление кривого участка пути выполняется по касательной (см. рисунок 1.15) с устройством сопрягающей кривой, радиус которой определяется по [2, таблица 16.49] в зависимости от радиуса круговой кривой

R_c (при $R_r = 400$ м) = 353–461 м, принимается 360 м.

Требуемая длина прямого участка для укладки стрелочного перевода определяется из выражения

$$L = 2k + a_{1/9} + b_{1/9}.$$

Так как величина k для заданных условий равна 0, а $a_{1/9} = 15,459$ м, $b_{1/9} = 15,602$ м [1, таблица 19], то

$$L = 2 \cdot 0 + 15,459 + 15,602 = 31,061 \text{ м.}$$

Из треугольника O_1F_1O

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{L}{2(R_r - R_c)}; \quad \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{31,061}{2(400 - 360)} = 0,388262;$$

$$\frac{\varphi}{2} = \arctg 0,388262 = 21,22^\circ = 21^\circ 13'; \quad \varphi = 2 \cdot 21,22^\circ = 42^\circ 44'.$$

Высота сегмента f_1 определяется согласно рисунку 1.15 из выражения

$$f_1 = OO_1 + R_c - R_r,$$

где OO_1 – расстояние между центрами основной и сопрягающей кривой, м, определяется из треугольника OO_1F_1 :

$$OO_1 = \frac{L}{2 \sin \frac{\varphi}{2}}.$$

Тогда

$$f_1 = \frac{L}{2 \sin \frac{\varphi}{2}} - (R_r - R_c),$$

$$f_1 = \frac{31,061}{2 \sin 21,22^\circ} - (400 - 360) = \frac{31,061}{2 \cdot 0,361950} - 40 = 42,908 - 40 = 2,908.$$

Длины соответствующих кривых

$$K_1 = \cup AF = \cup FD = \frac{\pi}{180} R_r \varphi; \quad K_2 = \cup N_1 B = \cup CN_2 = \frac{\pi}{180} R_c \varphi;$$

$$K_1 = \frac{3,14159}{180} \cdot 400 \cdot 42,44^\circ = 296,288 \text{ м};$$

$$K_2 = \frac{3,14159}{180} \cdot 360 \cdot 42,44^\circ = 296,659 \text{ м.}$$

Координаты центра стрелочного перевода

$$y_1 = R_r (1 - \cos \varphi); \quad x_1 = R_r \sin \varphi - \left(\frac{L}{2} - a \right);$$

$$y_1 = 400(1 - \cos 42,44^\circ) = 400(1 - 0,737984) = 104,806 \approx 104,81 \text{ м};$$

$$x_1 = 400 \sin 42,44^\circ - \left(\frac{31,061}{2} - 15,459 \right) = 400 \cdot 0,674818 - 0,0715 = \\ = 269,856 \approx 269,86 \text{ м}.$$

Тангенс сопрягающей кривой

$$T_1 = R_c \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}; \quad T_1 = 360 \operatorname{tg} 21,22^\circ = 360 \cdot 0,388262 = 139,779 \text{ м}.$$

Длина участка спрямления по хорде AD

$$X = 2R_r \sin \varphi; \quad X = 2 \cdot 400 \cdot \sin 42,44^\circ = 800 \cdot 0,674818 = 539,854 \text{ м}.$$

Пример 1.16. Требуется определить расчетные параметры прямого участка пути, необходимого для размещения стрелочного перевода марки 1/11 в кривой радиуса $R_r = 600$ м на приемоотправочном пути, уложенном рельсами типа Р50 (колея 1520 мм), при движении пассажирских поездов по прямому пути со скоростями до 40 км/ч. Спрявление кривой основного пути выполняется по двум касательным, пересекающимся под углом, равным углу крестовины (рисунок 1.16).

Решение. Согласно рисунку 1.16, при заданной схеме спрямления кривой расчетными являются параметры T и K кривой между двумя касательными и величина f .

Параметры кривой определяются по известным формулам:

$$T = R_r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad K = \frac{\pi}{180} R_r \alpha.$$

Так как касательные пересекаются под углом, равным углу крестовины, то $\alpha = 5^\circ 11' 40''$. Параметры стрелочного перевода согласно [1, таблица 19]

$$a = 14,475 \text{ м}; \quad b = 19,054 \text{ м};$$

$$T = R_r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 600 \operatorname{tg} \frac{5^\circ 11' 40''}{2} = 27,217 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} \cdot 600 \cdot 5^\circ 11' 40'' = \frac{3,14159}{180} \cdot 600 \cdot 5,194444 = 54,396 \approx 54,40 \text{ м}.$$

Величина f определяется из треугольника ОАЦ

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{R_r}{R_r + f};$$

$$f = R_r \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) = 600 \left(\sec \frac{5^\circ 11' 40''}{2} - 1 \right) = 0,617 \approx 0,62 \text{ м.}$$

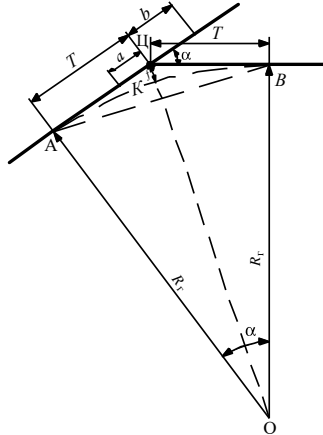


Рисунок 1.16 – Схема укладки стрелочного перевода в кривом участке пути при спрямлении кривой по двум касательным, пересекающимся под углом, равным углу крестовины

1.2 Соединение двух путей

Пример 1.17. Рассчитаем параметры одиночного конечного соединения главных путей, уложенных рельсами типа Р65 колеи 1520 мм с искривлением одного из них (рисунок 1.17) для следующих условий:

а) марка стрелочного перевода 1/11, радиус сопрягающей кривой 300 м, расстояние между осями соединяемых путей 5,30 м;

б) марка стрелочного перевода 1/18, радиус сопрягающей кривой 1000 м, расстояние между осями путей 5,30 м;

в) марка стрелочного перевода 1/22, радиус сопрягающей кривой 1500 м, расстояние между осями путей 5,30 м.

Решение. Расчет сводится к нахождению полной длины соединения L (расстояния от оси переднего стыка рамных рельсов стрелочного перевода до конца круговой кривой, спроецированного на горизонтальную ось), тангенса T и длины K сопрягающей кривой, а также расстояний l и l' .

Полная длина соединения

$$L = a + l + T,$$

где l – проекция на горизонтальную ось расстояния от центра стрелочного перевода до вершины угла поворота, м.

Величина l определяется из выражения

$$l = e \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

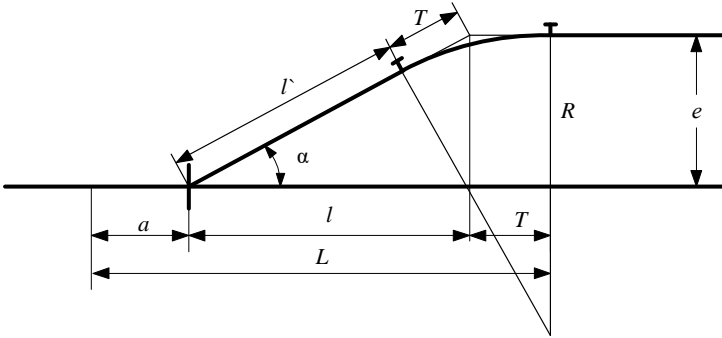


Рисунок 1.17 – Схема соединения двух параллельных путей с искривлением одного из них

Параметры сопрягающей кривой находим по формулам

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad K = \frac{\pi}{180} R \alpha;$$

где R – радиус сопрягающей кривой, м.

Величину расстояния l' определяем по формуле

$$l' = \frac{e}{\sin \alpha} - T.$$

Параметры одиночного конечного соединения составят:

а) для стрелочного перевода марки 1/11 по [1, таблица 19] $a = 14,06$ м,
 $\alpha = 5^\circ 11' 40''$

$$l = 5,30 \operatorname{ctg} 5^\circ 11' 40'' = 5,30 \cdot 11 = 58,30 \text{ м};$$

$$T = 300 \operatorname{tg} \frac{5^\circ 11' 40''}{2} = 300 \cdot 0,045361 = 13,61 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} \cdot 300 \cdot 5^\circ 11' 40'' = \frac{3,14159}{180} \cdot 300 \cdot 5,194444 = 27,20 \text{ м};$$

$$l' = \frac{5,30}{\sin 5^\circ 11' 40''} - 13,61 = 44,93 \text{ м}; \quad L = 14,06 + 58,30 + 13,61 = 85,97 \text{ м};$$

б) для стрелочного перевода марки 1/18 по [1, таблица 19] $a = 25,63$ м,
 $\alpha = 3^\circ 10' 12,5''$

$$l = 5,30 \operatorname{ctg} 3^{\circ}10'12,5'' = 5,30 \cdot 18,05515 = 95,69 \text{ м};$$

$$T = 1000 \operatorname{tg} \frac{3^{\circ}10'12,5''}{2} = 1000 \cdot 0,027672 = 27,67 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} \cdot 1000 \cdot 3^{\circ}10'12,5'' = 55,33 \text{ м}; \quad l' = \frac{5,30}{\sin 3^{\circ}10'12,5''} - 27,67 = 68,17 \text{ м};$$

$$L = 25,63 + 95,69 + 27,67 = 148,99 \text{ м};$$

в) для стрелочного перевода марки 1/22 по [1, таблица 19] $a = 31,95 \text{ м}$, $\alpha = 2^{\circ}35'50''$

$$l = 5,30 \cdot \operatorname{ctg} 2^{\circ}35'50'' = 5,30 \cdot 22,04529 = 116,84 \text{ м};$$

$$T = 1500 \operatorname{tg} \frac{2^{\circ}35'50''}{2} = 1500 \cdot 0,022669 = 34,00 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} \cdot 1500 \cdot 2^{\circ}35'50'' = 67,99 \text{ м}; \quad l' = \frac{5,30}{\sin 2^{\circ}35'50''} - 34,00 = 82,96 \text{ м};$$

$$L = 31,95 + 116,84 + 34,00 = 182,79 \text{ м}.$$

Пример 1.18. Рассчитаем параметры одиночного конечного соединения главных путей с искривлением обоих (рисунок 1.18). Угол искривления нижнего пути δ равен $3^{\circ}10'12''$. Расстояние между осями путей $e = 6,00 \text{ м}$, марка стрелочного перевода 1/11, радиус сопрягающей кривой первого пути $R = 500 \text{ м}$, второго пути $R_1 = 300 \text{ м}$, $\Delta e = 3,5 \text{ м}$. Тип рельсов Р65, коlea 1520 мм.

Решение. Для расчета полной длины соединения L и параметров сопрягающих кривых вначале определяются величины вспомогательных углов φ и φ_1 . Из рисунка 1.18

$$\varphi = \alpha_{1/11} + \delta = 5^{\circ}11'40'' + 3^{\circ}10'12'' = 8^{\circ}21'52'' = 8,36^{\circ};$$

$$\varphi_1 = \delta = 3^{\circ}10'12'' = 3,17^{\circ}.$$

Параметры сопрягающих кривых:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = 500 \operatorname{tg} \frac{8,36^{\circ}}{2} = 500 \cdot 0,073084 = 36,54 \text{ м};$$

$$T_1 = R_1 \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} = 300 \operatorname{tg} \frac{3,17^{\circ}}{2} = 300 \cdot 0,027670 = 8,30 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} R \varphi = \frac{3,14159}{180} \cdot 500 \cdot 8,36^{\circ} = 72,95 \text{ м};$$

$$K_1 = \frac{\pi}{180} R_1 \varphi_1 = \frac{3,14159}{180} \cdot 300 \cdot 3,17^{\circ} = 16,60 \text{ м}.$$

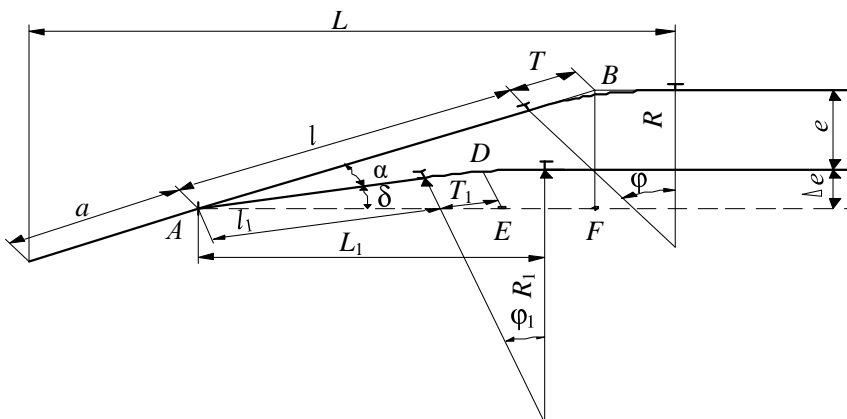


Рисунок 1.18 – Схема конечного соединения с искривлением обоих путей

Расстояния от центра стрелочного перевода до вершины соответствующего угла поворота определяем из прямоугольных треугольников:

– из треугольника ABF

$$\sin \varphi = \frac{e + \Delta e}{l + T};$$

$$l = (e + \Delta e) \cdot \operatorname{cosec} \varphi - T = (6,00 + 3,50) \cdot 6,877941 - 36,54 = 28,80 \text{ м};$$

– из треугольника ADE

$$\sin \varphi_1 = \sin \delta = \frac{\Delta e}{l_1 + T_1};$$

откуда $l_1 = \Delta e \cdot \operatorname{cosec} \delta - T_1 = 3,50 \cdot 18,083602 - 8,30 = 54,99 \text{ м}$.

Полная длина соединения определяется как проекция на горизонтальную ось соответствующих элементов

$$L = (a + l + T) \cos \varphi + T = (14,063 + 28,80 + 36,54) \cdot 0,989374 + 36,54 = 115,10 \text{ м}.$$

Для удобства построения масштабной схемы соединения необходимо знать проекцию на горизонтальную ось расстояния от центра стрелочного перевода до вершины угла поворота нижнего пути

$$L_1 = (l_1 + T_1) \cos \delta = (54,99 + 8,30) \cdot 0,998470 = 63,19 \text{ м}.$$

Пример 1.19. Рассчитаем одиночное конечное сокращенное соединение путей приемоотправочного парка (рисунок 1.19). Расстояние между осями путей $e = 12,00 \text{ м}$, марка стрелочного перевода $1/9$, радиус сопрягающих кривых $R = 300 \text{ м}$, величина прямой вставки между обратными кривыми $d = 20 \text{ м}$. Тип рельсов Р50, коlea 1520 мм.

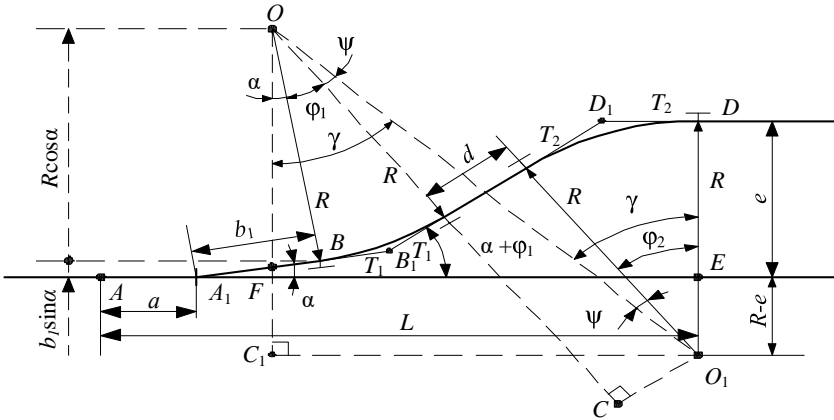


Рисунок 1.19 – Схема конечного сокращенного соединения двух параллельных путей

Решение. В расчет элементов соединения вводим вспомогательный угол ψ . Из треугольника OO_1C_1

$$OO_1 = \frac{2R}{\cos\psi} = \frac{d}{\sin\psi}; \quad \operatorname{tg}\psi = \frac{d}{2R} = \frac{20}{2 \cdot 300} = 0,0333;$$

$$\psi = \operatorname{arctg} 0,0333 = 1,907^\circ = 1^\circ 54' 26''.$$

Из треугольника OO_1C_1

$$\cos\gamma = \frac{OC_1}{OO_1}; \quad OC_1 = R\cos\alpha + b_1\sin\alpha + R - e.$$

$$\text{Тогда } \cos\gamma = \frac{(b_1\sin\alpha + R\cos\alpha + R - e)\cos\psi}{2R}.$$

Параметр b_1 (расстояние от центра стрелочного перевода до начала закрестовинной кривой по боковому пути) определяем для стрелочного перевода марки 1/9 и типа рельсов Р50 по [1, таблица 53]

$$b_1 = b + k_0 = 15,602 + 8,10 = 23,702 \text{ м.}$$

Угол γ можно также определить, проецируя на вертикальную ось замкнутый контур $AA_1BOO_1DEA_1$. Получаем уравнение проекции

$$b_1\sin\alpha + R\cos\alpha - \frac{d}{\sin\psi}\cos\gamma + R - e = 0,$$

откуда

$$\cos\gamma = \frac{(b_1\sin\alpha + R\cos\alpha + R - e)\sin\psi}{d};$$

$$\cos\gamma = \frac{(23,702 \cdot 0,110433 + 300 \cdot 0,933884 + 300 - 12) \cdot 0,032773}{20} = 0,964809;$$

$$\gamma = \arccos 0,964809 = 15,246^\circ = 15^\circ 11' 46''; \quad \operatorname{tg} \gamma = 0,272554.$$

Тогда углы поворота в кривых соответственно

$$\varphi_1 = \gamma - \psi - \alpha = 15^\circ 11' 46'' - 1^\circ 54' 26'' - 6^\circ 20' 25'' = 6^\circ 56' 55'';$$

$$\varphi_2 = \gamma - \psi = 15^\circ 11' 46'' - 1^\circ 54' 26'' = 14^\circ 17' 20''.$$

Определив углы поворота в кривых, находим

$$T_1 = R \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} = 300 \cdot 0,060716 = 18,215 \text{ м};$$

$$T_2 = R \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} = 300 \cdot 0,125345 = 37,604 \text{ м}.$$

Полная длина соединения определяется как проекция ломаной линии $AA_1B_1D_1D$ на горизонтальную ось

$$\begin{aligned} L &= a + (b_1 + T_1) \cos \alpha + (T_1 + d + T_2) \cos (\varphi_1 + \alpha) + T_2 = \\ &= 15,459 + (23,702 + 18,215) \cdot 0,993884 + (18,215 + 20,0 + 37,604) \cdot 0,973211 + \\ &\quad + 37,604 = 168,544 \text{ м}. \end{aligned}$$

Пример 1.20. Определим расчетные элементы L_1 , L_2 , L обыкновенного съезда (рисунок 1.20), уложенного между двумя параллельными путями, для следующих условий:

а) тип рельсов Р65, марка стрелочных переводов 1/11, расстояние между осями путей 5,30 м;

б) тип рельсов Р50, марка стрелочных переводов 1/9, расстояние между осями путей 5,30 м;

в) тип рельсов Р65, марка стрелочных переводов 1/18, расстояние между осями путей 4,10 м;

г) тип рельсов Р65, марка стрелочных переводов 1/22, расстояние между осями путей 4,10 м.

Решение. Из прямоугольного треугольника ABC

$$L_1 = \frac{e}{\operatorname{tg} \alpha} = e \operatorname{ctg} \alpha; \quad L_2 = \frac{e}{\sin \alpha}.$$

Полная длина съезда

$$L = L_1 + 2a.$$

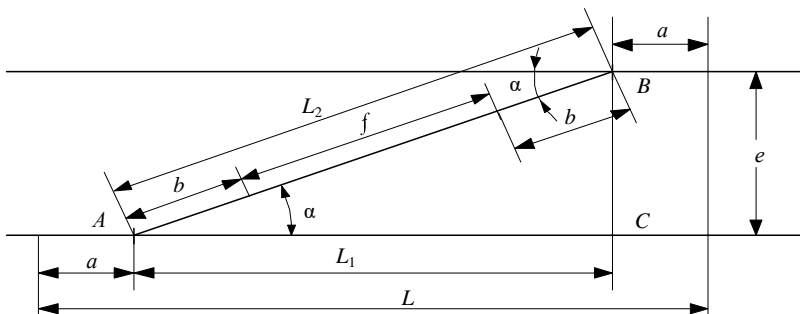


Рисунок 1.20 – Схема обыкновенного съезда между прямыми параллельными путями

Тогда расчетные элементы съезда:

а) из стрелочных переводов марки 1/11 ($a = 14,063$ м [1, таблица 19])

$$L_1 = 5,30 \operatorname{ctg} 5^\circ 11' 40'' = 5,30 \cdot 10,999967 = 58,30 \text{ м};$$

$$L_2 = \frac{5,30}{\sin 5^\circ 11' 40''} = \frac{5,30}{0,090536} = 58,54 \text{ м};$$

$$L = 58,30 + 2 \cdot 14,063 = 86,43 \text{ м};$$

б) из стрелочных переводов марки 1/9 ($a = 15,459$ м [1, таблица 19])

$$L_1 = 5,30 \operatorname{ctg} 6^\circ 20' 25'' = 5,30 \cdot 8,999877 = 47,70 \text{ м};$$

$$L_2 = \frac{5,30}{\sin 6^\circ 20' 25''} = \frac{5,30}{0,110433} = 47,99 \text{ м};$$

$$L = 47,70 + 2 \cdot 15,459 = 78,62 \text{ м};$$

в) из стрелочных переводов марки 1/18 ($a = 25,629$ м [1, таблица 19])

$$L_1 = 4,10 \operatorname{ctg} 3^\circ 10' 12,5'' = 4,10 \cdot 18,055140 = 74,03 \text{ м};$$

$$L_2 = \frac{4,10}{\sin 3^\circ 10' 12,5''} = \frac{4,10}{0,055301} = 74,14 \text{ м};$$

$$L = 74,03 + 2 \cdot 25,629 = 125,29 \text{ м};$$

г) из стрелочных переводов марки 1/22 ($a = 31,954$ м [1, таблица 19])

$$L_1 = 4,10 \operatorname{ctg} 2^\circ 35' 50'' = 4,10 \cdot 22,045295 = 90,38 \text{ м};$$

$$L_2 = \frac{4,10}{\sin 2^\circ 35' 50''} = \frac{4,10}{0,045314} = 90,48 \text{ м};$$

$$L = 90,38 + 2 \cdot 31,954 = 154,29 \text{ м}.$$

Пример 1.21. Определить расчетные параметры перекрестного съезда (рисунок 1.21), уложенного между двумя параллельными приемоотправочными путями, и минимальное междупутье, в котором его можно уложить. Исходные данные: тип рельсов Р65, коlea 1520 мм, марка стрелочных переводов 1/9, расстояние между осями путей $e = 5,30$ м.

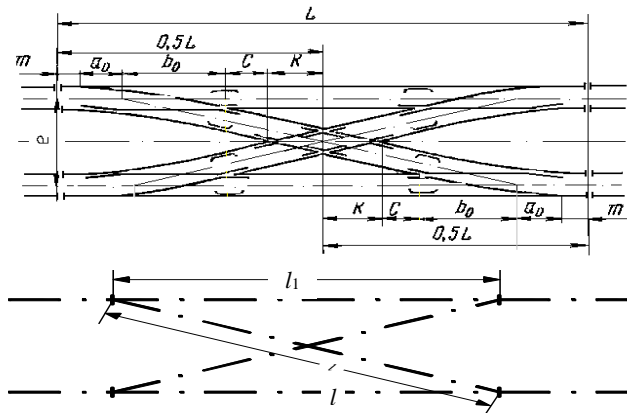


Рисунок 1.21 – Схема перекрестного съезда между прямыми параллельными путями

Решение. Для решения примера определяем параметры стрелочных переводов и глухого пересечения, входящих в состав перекрестного съезда. Так как все стрелочные переводы должны быть марки 1/9, то по [1, таблица 19]:

$$m = 2,769 \text{ м}; a_0 = 12,458 \text{ м}; b_0 = 13,772 \text{ м}; \alpha = 6^\circ 20' 25''.$$

Параметр K глухого пересечения (расстояние от центра глухого пересечения до математического центра острой крестовины по оси симметрии), согласно [1, таблица 22], равен 6,882 м.

Расчетные элементы определяем аналогично примеру 1.20:

$$l = \frac{5,30}{\sin 6^\circ 20' 25''} = \frac{5,30}{0,110433} = 47,993 \text{ м};$$

$$l_1 = 5,30 \cdot \operatorname{ctg} 6^\circ 20' 25'' = 5,30 \cdot 8,999875 = 47,699 \approx 47,70 \text{ м}.$$

Расстояние между математическим центром крестовины стрелочного перевода и математическим центром острой крестовины глухого пересечения

$$C = \frac{l_1 - 2b_0 - 2K}{2} = \frac{47,699 - 2 \cdot 13,772 - 2 \cdot 6,882}{2} = 3,246 \text{ м}.$$

Полная длина съезда

$$L = 2(m + a_0 + b_0 + C + K) \approx 2(2,769 + 12,458 + 13,772 + 3,246 + 6,882) \approx 78,254 \text{ м}.$$

Пример 1.22. Требуется рассчитать полную длину обыкновенного съезда с крестовинами стрелочных переводов разных марок: № 1 – 1/11 и № 2 – 1/9 между двумя прямыми параллельными путями (рисунок 1.22). Тип рельсов Р65. Расстояние между осями путей $e = 6,50$ м, радиус сопрягающей кривой $R = 400$ м, расстояние от центра стрелочного перевода № 1 до начала кривой $l = 25,47$ м [1, таблица 53].

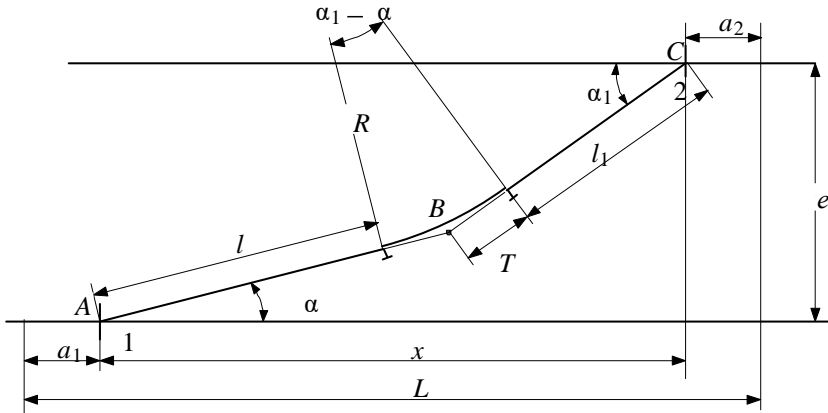


Рисунок 1.22 – Схема обыкновенного съезда с крестовинами разных марок между прямыми параллельными путями

Решение. Расчет заключается в определении расстояния от центра второго стрелочного перевода до начала кривой l_1 и полной длины соединения L .

Для определения параметра l_1 рассчитаем величину тангенса сопрягающей кривой

$$T = \operatorname{tg} \frac{\alpha_1 - \alpha}{2} = 400 \operatorname{tg} \frac{6^\circ 20' 25'' - 5^\circ 11' 40''}{2} = 400 \cdot 0,010001 = 4,00 \text{ м.}$$

Тогда, проецируя контур ABC на вертикальную ось, находим

$$\begin{aligned} l_1 &= \frac{e - (l + T) \sin \alpha}{\sin \alpha_1} - T = \frac{6,50 - (25,47 + 4,01) \sin 5^\circ 11' 40''}{\sin 6^\circ 20' 25''} - 4,00 = \\ &= \frac{6,50 - (25,47 + 4,00) \cdot 0,090536}{0,110433} - 4,00 = 30,699 \text{ м.} \end{aligned}$$

Для нахождения x и L проецируем контур ABC на горизонтальную ось

$$\begin{aligned} x &= (l + T) \cos \alpha + (l_1 + T) \cos \alpha_1; \quad L = x + a_1 + a_2. \\ x &= (25,47 + 4,00) \cos 5^\circ 11' 40'' + (30,68 + 4,00) \cos 6^\circ 20' 25'' = \\ &= 29,47 \cdot 0,995893 + 34,68 \cdot 0,993884 = 63,816 \text{ м.} \end{aligned}$$

При $a_1(1/11) = 14,063$ м, $a_2(1/9) = 15,227$ м [1, таблица 19]

$$L = 63,816 + 14,063 + 15,227 = 93,106 \approx 93,11 \text{ м.}$$

Пример 1.23. Необходимо рассчитать параметры обыкновенного съезда, укладываемого стрелочными переводами с крестовинами разных марок: № 1 – 1/9 и № 2 – 1/11 между прямыми параллельными путями (рисунок 1.23). Тип рельсов Р50. Расстояние между осями путей $e = 5,7$ м, радиус сопрягающей кривой $R = 300$ м, расстояние от центра стрелочного перевода № 1 до начала кривой $l = 23,70$ м [1, таблица 53].

Решение. Расчет выполняется аналогично примеру 1.22. Внимание следует обратить на расположение кривой, сопрягающей стрелочные переводы. В случае, когда $\alpha > \alpha_1$ сопрягающая кривая будет повернута в другую сторону (см. рисунок 1.23).

Для определения параметра l_1 рассчитываем величину тангенса сопрягающей кривой

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha - \alpha_1}{2} = 300 \operatorname{tg} \frac{6^\circ 20' 25'' - 5^\circ 11' 40''}{2} = 300 \cdot 0,010001 = 3,00 \text{ м.}$$

Проецируя контур ABC на вертикальную ось, определяем величину l_1 :

$$l_1 = \frac{e - (l + T) \sin \alpha}{\sin \alpha_1} - T = \frac{5,70 - (23,70 + 3,00) \sin 6^\circ 20' 25''}{\sin 5^\circ 11' 40''} - 3,01 = 27,40 \text{ м.}$$

Проекция контура ABC на горизонтальную ось

$$x = (l + T) \cos \alpha + (l_1 + T) \cos \alpha_1 = (23,70 + 3,00) \cos 6^\circ 20' 25'' + (27,40 + 3,00) \cos 5^\circ 11' 40'' = 26,70 \cdot 0,993884 + 30,40 \cdot 0,995893 = 56,812 \text{ м.}$$

Тогда полная длина съезда при $a_1(1/9) = 15,459$ м, $a_2(1/11) = 14,475$ м [1, таблица 19]

$$L = x + a_1 + a_2 = 56,812 + 15,459 + 14,475 = 86,746 \approx 86,75 \text{ м.}$$

Определим минимальную величину междупутья, необходимую для укладки такого съезда.

В соответствии с [1, таблица 53], минимальная величина прямой вставки k_0 и расстояние $b + k_0$ от центра стрелочного перевода до начала закрестовинной кривой по боковому пути может быть принято при типе рельсов Р50 для стрелочного перевода марки 1/9 равным 23,70 м, марки 1/11 – 25,22 м.

Тогда, из выражения

$$l_1 = \frac{e - (l + T) \sin \alpha}{\sin \alpha_1} - T$$

находим

$$e = (l_1 + T) \sin \alpha_1 + (l + T) \sin \alpha.$$

При заданных исходных данных получим

$$e = (25,22 + 3,01) \sin 5^\circ 11' 40'' + (23,70 + 3,01) \sin 6^\circ 20' 25'' =$$

$$= 28,23 \cdot 0,090536 + 26,70 \cdot 0,110433 = 5,30 \text{ м.}$$

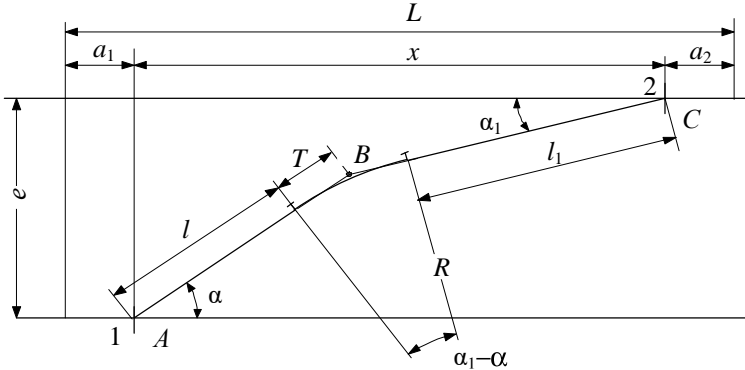


Рисунок 1.23 – Схема обыкновенного съезда с крестовинами разных марок между прямыми параллельными путями

Пример 1.24. Требуется рассчитать обыкновенный съезд со стрелочными переводами марок 1/9 между прямыми непараллельными путями. Тип рельсов Р50 (рисунок 1.24). Расстояние между осями путей $e = 8,0$ м, радиус сопрягающей кривой $R = 300$ м, расстояние от центра стрелочного перевода № 1 до начала кривой $l = 23,70$ м, угол наклона нижнего пути $\beta = 2^\circ 30'$.

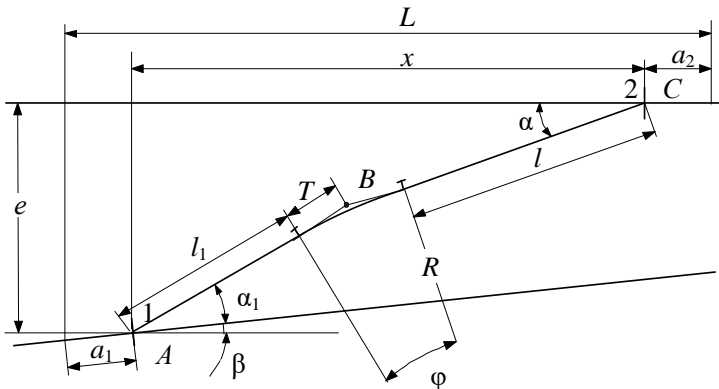


Рисунок 1.24 – Схема обыкновенного съезда с крестовинами одинаковых марок между прямыми непараллельными путями при наклоне нижнего пути

Решение. При расчете данного соединения определяем угол φ , расстояние от центра второго стрелочного перевода до начала кривой l_1 и полную длину съезда l .

Угол φ находим из рисунка 1.24, при $\alpha_1 = \alpha = 6^\circ 20' 25''$

$$\varphi = \beta + \alpha_1 - \alpha = 2^\circ 30' + 6^\circ 20' 25'' - 6^\circ 20' 25'' = 2^\circ 30' = 2,5^\circ.$$

Зная величину угла φ , находим

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = 300 \operatorname{tg} \frac{2,5}{2} = 300 \cdot 0,021820 = 6,55 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} R \varphi = \frac{3,14159}{180} \cdot 300 \cdot 2,5^\circ = 13,09 \text{ м}.$$

Для определения параметра l_1 проецируем контур ABC на вертикальную плоскость

$$(l + T) \sin \alpha + (l_1 + T) \sin (\alpha_1 + \beta) = e,$$

откуда

$$l_1 = \frac{e}{\sin (\beta + \alpha_1)} - (l + T) \frac{\sin \alpha}{\sin (\beta + \alpha_1)} - T = \frac{8,0}{\sin (2,5^\circ + 6^\circ 20' 25'')} - (23,70 + 6,55) \times \\ \times \frac{\sin 6^\circ 20' 25''}{\sin (2,5^\circ + 6^\circ 20' 25'')} - 6,55 = \frac{8,0}{0,153676} - 30,25 \cdot \frac{0,110433}{0,153676} - 6,55 = 23,77 \text{ м}.$$

Проекция контура ABC на горизонтальную ось

$$x = (l + T) \cos \alpha + (l_1 + T) \cos (\beta + \alpha_1) = (23,70 + 6,55) \cos 6^\circ 20' 25'' + \\ + (23,77 + 6,55) \cos (2,5^\circ + 6^\circ 20' 25'') = \\ = 30,25 \cdot 0,993884 + 30,32 \cdot 0,988120 = 60,02 \text{ м}.$$

Полная длина съезда

$$L = a_1 + x + a_2 \cos \beta = 15,459 + 60,02 + 15,459 \cdot 0,999048 = 90,923 \approx 90,92 \text{ м}.$$

Пример 1.25. Рассчитаем соединение двух непараллельных прямых путей с помощью обыкновенного съезда с крестовинами стрелочных переводов разных марок – 1/11 и 1/9 (рисунок 1.25). Тип рельсов Р65. Расстояние между осями путей $e = 8,10$ м, радиус сопрягающей кривой $R = 350$ м, расстояние от центра стрелочного перевода № 1 до начала кривой $l = 25,47$ м, угол наклона верхнего пути $\beta = 2^\circ 00'$.

Решение. Аналогично примеру 1.24 определяем угол φ , расстояние l_1 от центра второго стрелочного перевода до начала кривой и полную длину съезда.

Из рисунка 1.25 определяем угол

$$\varphi = \beta + \alpha_1 - \alpha = 2^\circ 00' + 5^\circ 11' 40'' - 6^\circ 20' 25'' = 0^\circ 51' 15'' = 0,85^\circ$$

и параметры сопрягающей кривой

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = 350 \operatorname{tg} \frac{0,85^\circ}{2} = 350 \cdot 0,007418 = 2,60 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} R \varphi = \frac{3,1416}{180} \cdot 350 \cdot 0,85^\circ = 5,19 \text{ м.}$$

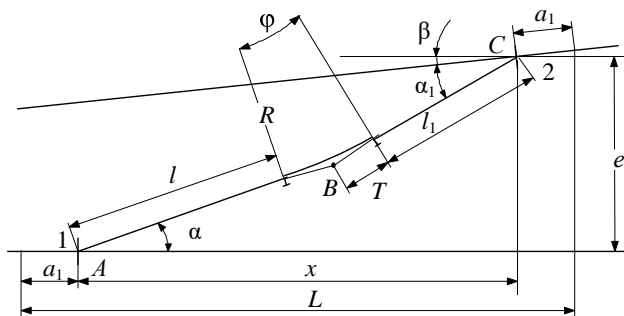


Рисунок 1.25 – Схема обыкновенного съезда между прямыми непараллельными путями при наклоне верхнего пути

Для определения параметра l_1 также проецируем контур ABC на вертикальную плоскость

$$(l + T) \sin \alpha + (l_1 + T) \sin (\alpha_1 + \beta) = e,$$

получаем

$$\begin{aligned} l_1 &= \frac{e}{\sin (\beta + \alpha_1)} - (l + T) \frac{\sin \alpha}{\sin (\beta + \alpha_1)} - T = \\ &= \frac{8,10}{\sin (2,0^\circ + 6^\circ 20' 25'')} - (25,47 + 2,60) \frac{\sin 5^\circ 11' 40''}{\sin (2,0^\circ + 6^\circ 20' 25'')} - 2,60 = \\ &= \frac{8,10}{0,145047} - 28,07 \frac{0,090536}{0,145051} - 2,60 = 35,723 \text{ м.} \end{aligned}$$

Проекция контура ABC на горизонтальную ось

$$\begin{aligned} x &= (l + T) \cos \alpha + (l_1 + T) \cos (\beta + \alpha_1) = \\ &= (25,47 + 2,60) \cos 5^\circ 11' 40'' + (35,74 + 2,60) \cos (2,0^\circ + 6^\circ 20' 25'') = \\ &= 28,07 \cdot 0,995893 + 38,323 \cdot 0,989424 = 65,872 \text{ м.} \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} L &= a_1 + x + a_2 \cos \beta = 14,063 + 65,872 + 15,227 \cdot 0,999391 = \\ &= 95,153 \approx 95,15 \text{ м.} \end{aligned}$$

Пример 1.26. Рассчитаем параметры сокращенного съезда между прямыми параллельными путями со стрелочными переводами одинаковых марок (рисунок 1.26). Тип рельсов Р50, марка стрелочных переводов – 1/9, расстояние между осями путей $e = 8,50$ м, радиус сопрягающих кривых $R = 250$ м, прямая вставка между обратными кривыми $d = 15$ м.

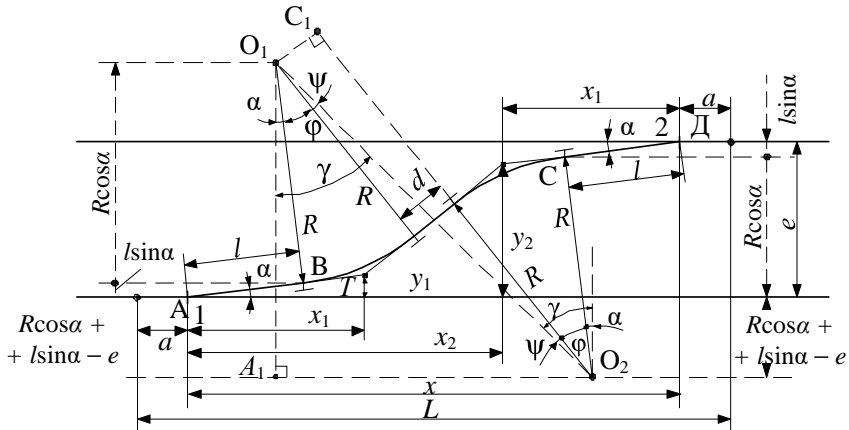


Рисунок 1.26 – Схема сокращенного съезда между прямыми параллельными путями с крестовинами одинаковых марок

Решение. Расчет съезда такого вида сводится к определению угла ϕ и полной длины соединения. Для определения угла ϕ необходимо найти значения вспомогательных углов ψ и γ (см. рисунок 1.26).

Вспомогательный угол ψ определяется из $\Delta O_1 O_2 C_1$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{d}{2R} = \frac{15}{2 \cdot 250} = 0,03; \quad \psi = \operatorname{arctg} 0,015 = 1,718358^\circ.$$

Параметр l находим по [1, таблица 53] для стрелочного перевода марки 1/9 и типа рельсов Р50

$$l = b + k_0 = 23,70 \text{ м.}$$

Из вспомогательного треугольника $\Delta O_1 O_2 A_1$ получим $\cos \gamma = O_1 A_1 / O_1 O_2$.

Из рисунка 1.26 видно, что

$$O_1 A_1 = R \cos \alpha + l \sin \alpha + R \cos \alpha + l \sin \alpha - e \approx 2(R \cos \alpha + l \sin \alpha) - e.$$

Из треугольника $\Delta O_1 O_2 C_1$ $\cos \psi = 2R / O_1 O_2 \Rightarrow O_1 O_2 = 2R / \cos \psi$.

Тогда угол γ определяется из уравнения

$$\cos \gamma = \frac{2(R \cos \alpha + l \sin \alpha) - e}{2R} \cos \psi;$$

$$\begin{aligned} \cos \gamma &= \frac{23,70 \sin 6^{\circ} 20' 25'' + 250 \cos 6^{\circ} 20' 25''}{2 \cdot 250} = \frac{8,50 \cdot \cos 1,718358^{\circ}}{2 \cdot 250} = \\ &= \frac{23,70 \cdot 0,110433 + 250 \cdot 0,993884}{2 \cdot 250} = \frac{8,50 \cdot 0,99955}{2 \cdot 250} = 0,986908; \\ \gamma &= \arccos 0,986908 = 9,281228^{\circ}. \end{aligned}$$

Искомый угол ϕ находим как разность соответствующих углов

$$\phi = \gamma - (\psi + \alpha) = 9,281228^{\circ} - (1,718358^{\circ} + 6^{\circ} 20' 25'') = 1,222592^{\circ}.$$

Параметры сопрягающих кривых определяем по известным формулам

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\phi}{2} = 250 \operatorname{tg} \frac{1,222592^{\circ}}{2} = 250 \cdot 0,010669 = 2,67 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} R \phi = \frac{3,14159}{180} \cdot 250 \cdot 1,222592^{\circ} = 5,33 \text{ м}.$$

Координаты вершин углов поворота относительно точки А определяем из рисунка 1.26

$$y_1 = (l + T) \sin \alpha = (23,70 + 2,67) \sin 6^{\circ} 20' 25'' = 26,37 \cdot 0,110433 = 2,91 \text{ м};$$

$$y_2 = y_1 + (2T + d) \sin (\phi + \alpha) = 2,91 + (2 \cdot 2,67 + 7,50) \sin (1,222592^{\circ} + 6^{\circ} 20' 25'') = 3,09 + 12,84 \cdot 0,131614 = 5,59 \text{ м};$$

$$x_1 = (l + T) \cos \alpha = (23,70 + 2,67) \cos 6^{\circ} 20' 25'' = 26,37 \cdot 0,993884 = 26,21 \text{ м};$$

$$x_2 = x_1 + (2T + d) \cos (\phi + \alpha) = 26,21 + (2 \cdot 2,67 + 7,50) \cos (1,222592^{\circ} + 6^{\circ} 20' 25'') = 26,81 + 12,84 \cdot 0,991301 = 46,37 \text{ м}.$$

Тогда из рисунка 1.26 видно, что проекция на горизонтальную ось сокращенного съезда между центрами стрелочных переводов (точки А и Д)

$$x = x_1 + x_2 = 26,21 + 46,37 = 72,58 \text{ м},$$

а полная длина сокращенного съезда при $a = 15,459 \text{ м}$

$$L = x + 2a = 72,58 + 2 \cdot 15,459 = 103,498 \approx 103,50 \text{ м}.$$

Проверка правильности расчетов:

1-й вариант – проекция линии АВ₁С₁Д на горизонтальную ось

$$\begin{aligned} x &= 2 \left[x_2 - \left(T + \frac{d}{2} \right) \cos (\phi + \alpha) \right] = \\ &= 2 \left[46,37 - \left(2,67 + \frac{7,50}{2} \right) \cos (1,222592^{\circ} + 6^{\circ} 20' 25'') \right] = \\ &= 2 \left[46,37 - 6,42 \cdot 0,991301 \right] = 72,58 \text{ м}. \end{aligned}$$

2-й вариант – проекция линии АВ₁С₁Д на вертикальную ось

$$e = 2(l + T) \sin \alpha + (2T + d) \sin(\varphi + \alpha);$$

$$\begin{aligned} e &= 2(23,70 + 2,67) \sin 6^\circ 20' 25'' + (2 \cdot 2,67 + 7,50) \sin(1,222592^\circ + 6^\circ 20' 25'') = \\ &= 52,74 \cdot 0,110433 + 12,84 \cdot 0,131614 = 8,50 \text{ м.} \end{aligned}$$

Пример 1.27. Рассчитаем сокращенный съезд между прямыми параллельными путями со стрелочными переводами разных марок (рисунок 1.27). Тип рельсов Р65, марки стрелочных переводов – 1/11 и 1/9, расстояние между осями путей $e = 12,0$ м, радиус сопрягающих кривых $R = 450$ м, прямая вставка между обратными кривыми $d = 30$ м.

Решение. Порядок расчета основных параметров съезда такого вида аналогичен примеру 1.26.

Вспомогательный угол ψ определяем из выражения

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{d}{2R} = \frac{30}{2 \cdot 450} = 0,033333; \quad \psi = \operatorname{arctg} 0,033333 = 1,91^\circ.$$

Параметры l и l_1 стрелочных переводов определяются по [1, таблица 53] и для стрелочных переводов марок 1/11 и 1/9 на рельсах типа Р65 соответственно равны

$$l = b + k_0 = 25,47 \text{ м}; \quad l_1 = b_1 + k_0 = 23,97 \text{ м.}$$

Угол γ определяется из выражения

$$\begin{aligned} \cos \gamma &= \frac{R(\cos \alpha + \cos \alpha_1) + l \sin \alpha + l_1 \sin \alpha_1 - e \cos \psi}{2R}; \\ \cos \gamma &= \frac{\left[450(\cos 5^\circ 11' 40'' + \cos 6^\circ 20' 25'') + \right. \\ &\quad \left. + 25,47 \cdot \sin 5^\circ 11' 40'' + 23,97 \cdot \sin 6^\circ 20' 25'' - 12,0 \right] \cos 1,91^\circ}{2 \cdot 450} = \\ &= \frac{\left[450 \cdot (0,995893 + 0,993884) + \right. \\ &\quad \left. + 25,47 \cdot 0,090536 + 23,97 \cdot 0,110433 - 12,0 \right] \cdot 0,999444^\circ}{2 \cdot 450} = 0,986510; \end{aligned}$$

$$\gamma = \arccos 0,986510 = 9,42^\circ.$$

Углы φ и φ_1 определяются по рисунку 1.27:

$$\varphi = \gamma - (\psi + \alpha) = 9,42^\circ - (1,91^\circ + 5^\circ 11' 40'') = 2,32^\circ;$$

$$\varphi_1 = \gamma - (\psi + \alpha_1) = 9,42^\circ - (1,91^\circ + 6^\circ 20' 25'') = 1,17^\circ.$$

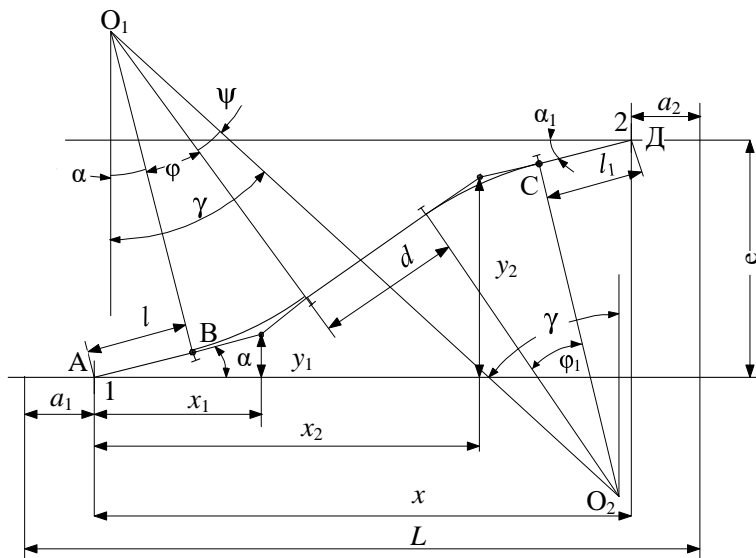


Рисунок 1.27 – Схема сокращенного съезда между прямыми параллельными путями с крестовинами разных марок

Параметры кривых определяем по известным формулам:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = 450 \operatorname{tg} \frac{2,32^\circ}{2} = 450 \cdot 0,020248 = 9,11 \text{ м};$$

$$T_1 = R \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} = 450 \operatorname{tg} \frac{1,17^\circ}{2} = 450 \cdot 0,010210 = 4,59 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} R \varphi = \frac{3,14159}{180} \cdot 450 \cdot 2,32^\circ = 18,22 \text{ м};$$

$$K_1 = \frac{\pi}{180} R \varphi_1 = \frac{3,14159}{180} \cdot 450 \cdot 1,17^\circ = 9,19 \text{ м}.$$

Проекция x на горизонтальную ось всех параметров сокращенного съезда с крестовинами разных марок

$$\begin{aligned} x &= (l + T) \cos \alpha + (T + d + T_1) \cos (\gamma - \psi) + (l_1 + T_1) \cos \alpha_1 = \\ &= (25,47 + 9,11) \cos 5^\circ 11' 40'' + (9,11 + 30 + 4,59) \cos (9,42^\circ - 1,91^\circ) + (23,97 + \\ &+ 4,59) \cos 6^\circ 20' 25'' = 34,58 \cdot 0,995893 + 43,70 \cdot 0,991422 + 28,56 \cdot 0,993884 = \\ &= 106,148 \text{ м}. \end{aligned}$$

Полная длина съезда

$$L = x + a_1 + a_2 = 106,148 + 14,063 + 15,227 = 135,438 \approx 135,44 \text{ м.}$$

Пример 1.28. Рассчитаем сокращенный съезд между прямыми непараллельными путями со стрелочными переводами одинаковых марок (рисунок 1.28). Тип рельсов Р65, марка стрелочных переводов – 1/9, расстояние между осями путей $e = 9,0$ м, радиус сопрягающих кривых $R = 250$ м, прямая вставка между обратными кривыми $d = 15$ м, угол наклона верхнего пути $\beta = 0^\circ 40'$.

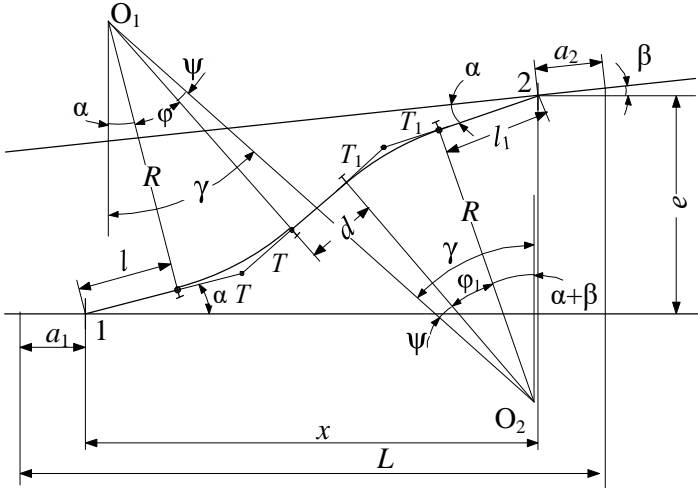


Рисунок 1.28 – Схема сокращенного съезда между прямыми непараллельными путями с крестовинами одинаковых марок при наклоне верхнего пути

Решение. Порядок расчета параметров съезда при заданных условиях выполняется с учетом опыта решения примеров 1.24 и 1.26.

На первом шаге определяется вспомогательный угол ψ

$$\text{tg } \psi = \frac{d}{2R} = \frac{15}{2 \cdot 250} = 0,03; \quad \psi = \arctg 0,030 = 1,72^\circ.$$

Затем по [1, таблица 53] определяем параметр l для стрелочного перевода марки 1/9 и типа рельсов Р65

$$l = l_1 = b + k_0 = 23,97 \text{ м.}$$

Угол γ определяется из выражения

$$\cos \gamma = \frac{R \cos \alpha + l \sin \alpha + R \cos(\alpha + \beta) + l_1 \sin(\alpha + \beta) - e \bar{\cos} \psi}{2R} =$$

$$= \frac{\left[\begin{array}{l} 250 \cos 6^{\circ}20'25'' + 23,97 \sin 6^{\circ}20'25'' + \\ + 250 \cos(6^{\circ}20'25'' + 0^{\circ}40') + 23,97 \sin(6^{\circ}20'25'' + 0^{\circ}40') - 9,0 \end{array} \right] \cos 1,72^{\circ}}{2 \cdot 250} =$$

$$= \frac{\left[\begin{array}{l} 250 \cdot 0,993884 + 23,97 \cdot 0,110433 + 250 \cdot 0,992531 + \\ + 23,97 \cdot 0,121990 - 9,0 \end{array} \right] \cdot 0,99955}{2 \cdot 250} = 0,985906;$$

$$\gamma = \arccos 0,985906 = 9,63^{\circ}.$$

Углы φ и φ_1 , как видно из рисунка 1.28, составляют разность величин соответствующих углов

$$\varphi = \gamma - (\psi + \alpha) = 9,63^{\circ} - (1,72^{\circ} + 6^{\circ}20'25'') = 1,57^{\circ};$$

$$\varphi_1 = \gamma - (\psi + \alpha + \beta) = 9,63^{\circ} - (1,72^{\circ} + 6^{\circ}20'25'' + 0^{\circ}40') = 0,91^{\circ}.$$

Тогда параметры сопрягающих кривых составят:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = 250 \operatorname{tg} \frac{1,57^{\circ}}{2} = 3,43 \text{ м};$$

$$T_1 = R \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} = 250 \operatorname{tg} \frac{0,91^{\circ}}{2} = 1,98 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} R \varphi = \frac{3,14159}{180} \cdot 250 \cdot 1,57^{\circ} = 6,86 \text{ м};$$

$$K_1 = \frac{\pi}{180} R \varphi_1 = \frac{3,14159}{180} \cdot 250 \cdot 0,91^{\circ} = 3,95 \text{ м}.$$

Проекция на горизонтальную ось расстояния между центрами стрелочных переводов, входящих в состав съезда,

$$\begin{aligned} x &= (l + T) \cos \alpha + (T + d + T_1) \cos (\alpha + \varphi) + (l_1 + T_1) \cos (\alpha + \beta) = \\ &= (23,97 + 3,43) \cos 6^{\circ}20'25'' + (3,43 + 15 + 1,98) \cos (6^{\circ}20'25'' + 1,57^{\circ}) + \\ &\quad + (23,97 + 1,98) \cos (6^{\circ}20'25'' + 0^{\circ}40') = 73,204 \text{ м}. \end{aligned}$$

Полная длина соединения при $a_1 = a_2 = 15,227 \text{ м}$

$$\begin{aligned} L &= 73,204 + 15,227 + 15,227 \cos 0^{\circ}40' = 88,431 + 15,227 \cdot 0,999932 = \\ &= 103,657 \approx 103,66 \text{ м}. \end{aligned}$$

Пример 1.29. Рассчитаем параметры сокращенного съезда между прямыми непараллельными путями со стрелочными переводами разных марок (рисунок 1.29). Тип рельсов Р50, марки стрелочных переводов – 1/9 и 1/11, расстояние между осями путей $e = 20,0$ м, радиус сопрягающих кривых $R = 550$ м, прямая вставка между обратными кривыми $d = 30,0$ м, угол наклона нижнего пути $\beta = 3^\circ 15'$.

Решение. Расчет параметров съезда такого вида выполняется с учетом опыта решения примеров 1.25 и 1.27.

Вначале определяется вспомогательный угол ψ :

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{d}{2R} = \frac{30}{2 \cdot 550} = 0,027273;$$

$$\psi = \operatorname{arctg} 0,027273 = 1,56^\circ.$$

Затем по [1, таблица 53] находим параметры l и l_1 для стрелочных переводов марок 1/9 и 1/11 с типом рельсов Р50

$$l_{1(1/9)} = b_1 + k_0 = 23,70 \text{ м}; \quad l_{2(1/11)} = b_2 + k_0 = 25,22 \text{ м}.$$

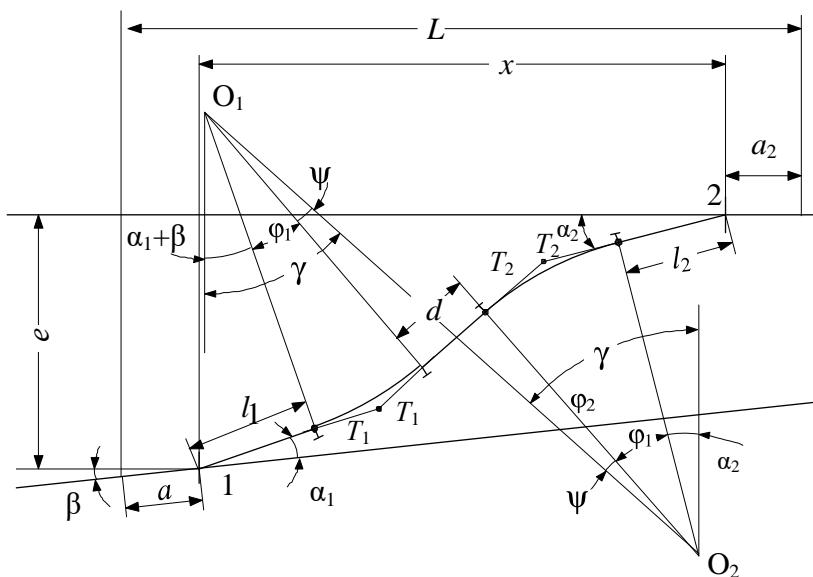


Рисунок 1.29 – Схема сокращенного съезда между прямыми непараллельными путями с крестовинами разных марок при наклоне нижнего пути

Угол γ определяется аналогично предыдущему примеру

$$\cos \gamma = \frac{R \cos \alpha_2 + l_2 \sin \alpha_2 + R \cos(\alpha_1 + \beta) + l_1 \sin(\alpha_1 + \beta) - e \cos \psi}{2R} =$$

$$= \frac{\left[550 \cdot 0,995893 + 25,22 \cdot 0,110433 + 550 \cdot 0,986025 + \right.}{2 \cdot 550} \cdot 0,999629 = 0,978535;$$

$$\gamma = \arccos 0,978535 = 11,89^\circ.$$

Углы φ_1 и φ_2 определяем из рисунка 1.29 как разность соответствующих величин углов (см. пример 1.28)

$$\varphi_1 = \gamma - (\psi + \alpha_1 + \beta) = 11,89 - (1,56^\circ + 6^\circ 20' 25'' + 3^\circ 15') = 0,74^\circ;$$

$$\varphi_2 = \gamma - (\psi + \alpha_2) = 11,89^\circ - (1,56^\circ + 5^\circ 11' 40'') = 5,14^\circ.$$

Параметры сопрягающих кривых получаем по известным формулам

$$T_1 = R \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} = 550 \operatorname{tg} \frac{0,74^\circ}{2} = 3,55 \text{ м};$$

$$T_2 = R \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} = 550 \operatorname{tg} \frac{5,14^\circ}{2} = 24,69 \text{ м};$$

$$K_1 = \frac{\pi}{180} R \varphi_1 = \frac{3,14159}{180} \cdot 550 \cdot 0,74^\circ = 7,10 \text{ м};$$

$$K_2 = \frac{\pi}{180} R \varphi_2 = \frac{3,14159}{180} \cdot 550 \cdot 5,14^\circ = 49,34 \text{ м}.$$

Проекция на горизонтальную ось расстояния между центрами стрелочных переводов съезда

$$x = (l_2 + T_2) \cos \alpha_2 + (T_1 + d + T_2) \cos(\alpha_2 + \varphi_2) + (l_1 + T_1) \cos(\alpha_1 + \beta) =$$

$$= (25,22 + 24,69) \cos 5^\circ 11' 40'' + (24,69 + 30 + 3,55) \cos(5^\circ 11' 40'' + 5,14^\circ) +$$

$$+ (23,70 + 3,55) \cos(6^\circ 20' 25'' + 3^\circ 15') = 133,867 \text{ м}.$$

Полная длина съезда при $a_1 = 15,459$ м и $a_2 = 14,475$ м

$$L = a_1 \cos \beta + x + a_2;$$

$$L = 15,459 \cos 3^\circ 15' + 133,867 + 14,475 = 15,459 \cdot 0,998392 + 168,025 =$$

$$= 183,459 \approx 183,46 \text{ м}.$$

Пример 1.30. Необходимо уложить криволинейный стрелочный перевод марки 1/11 на основном неглавном пути взамен обыкновенного стрелочного перевода марки 1/11 (см. рисунок 1.1), определить его основные параметры и выполнить расчет разбивки одностороннего криволинейного стрелочного перевода.

Решение. При расположении обыкновенного стрелочного перевода в кривой по основному неглавному пути (рисунок 1.30) расчетное расстояние определяется по формуле, м,

$$L = 2k + a + b,$$

где k – длина прямого участка пути, на котором производится уширение колеи, м;

a и b – параметры стрелочного перевода, м.

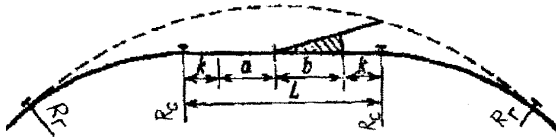


Рисунок 1.30 – Схема укладки стрелочного перевода по основному неглавному пути

Значения размеров стрелочных переводов принимаются согласно данным [1, таблица 19]. Для перевода марки 1/11 основные параметры: $a = 14,063$ м; $b = 19,304$ м; $\alpha = 5^{\circ}11'40''$. Расчеты ведутся с точностью 0,001.

При радиусе сопрягающей кривой более 350 м $k = 0$ м расчетное расстояние стрелочного перевода

$$L = 14,063 + 19,304 = 33,367 \text{ м.}$$

Криволинейные одиночные односторонние стрелочные переводы (рисунок 1.31, б) образуются из одиночных обыкновенных стрелочных переводов (рисунок 1.31, а) искривлением соединительных путей, причем крестовиная часть $h + q_1$ и часть рамного рельса от начала до корня острьяка (по основному пути) $q + l_0$ остаются прямолинейными.

Длина изгибаемой части основного пути

$$L_0 = L - (q + l_0) - (h + q_1),$$

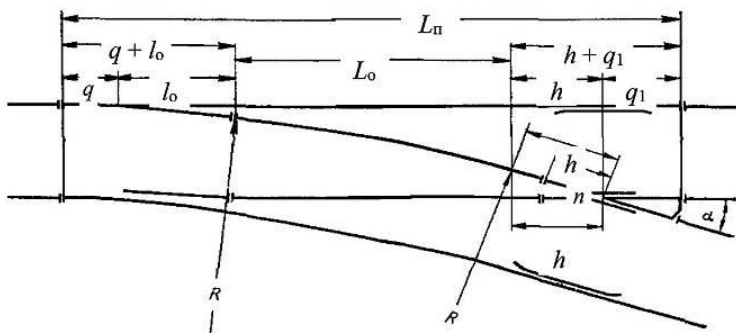
где q – передний выступ рамного рельса, м;

l_0 – расстояние от начала острьяков до корня их, измеренное по рабочей грани рамного рельса прямого основного пути, м;

h – прямая вставка перед крестовиной, м;

q_1 – длина хвостовой части крестовины, м.

а)



б)

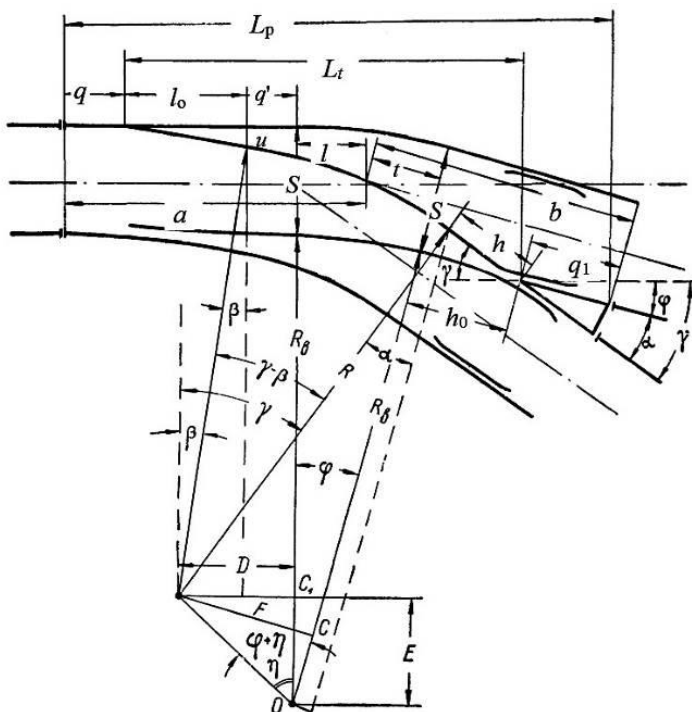


Рисунок 1.31 – Схема одиночного стрелочного перевода в рельсовых нитях:
 а – обыкновенного; б – криволинейного

Для перевода марки 1/11 основные размеры: $q = 1,750$ м; $l_o = 4,788$ м; $q_1 = 2,594$ м; $h_0 = 2,906$ м; $\alpha = 5^\circ 11' 40''$; $R_b = 600$ м; $q' = 5,955$ м.

Радиус ответвляющегося пути перевода (до упорной нити)

$$R = \frac{R_B (h \sin \alpha - S + u) - h_0 h \cos \alpha + \frac{h_0^2 + h^2 - (q')^2 - (S - u)^2}{2}}{q' \sin \alpha - R_B (\cos \beta - \cos \alpha) + h_0 \sin \alpha - (S - u) \cos \beta},$$

где R_B – радиус основного пути по рабочей грани внутренней нити, м;

h и h_0 – прямые вставки перед математическим центром крестовины, м;

α – угол крестовины, град;

S – ширина колеи в начале и в конце кривой основного пути, м;

u – расстояние от рабочей грани рамного рельса до рабочей грани остряка, измеренное по перпендикуляру к оси прямого пути, м;

q' – задний выступ рамного рельса, м;

β – стрелочный угол, град.

Подставляя численные значения, получим

$$R = \frac{\left(\begin{array}{l} 600(2,906 \sin 5,194444^\circ - 1,52 + 0,096) - \\ - 2,906 \cdot 2,906 \cdot \cos 5,194444^\circ + \\ + 0,5 \left(2,906^2 + 2,906^2 - 2,594^2 - (52 - 0,096)^2 \right) \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{l} 2,594 \sin 5,194444^\circ - 600(\cos 1,430894^\circ - \cos 5,194444^\circ) + \\ + 2,906 \sin 5,194444^\circ - (1,52 - 0,096) \cos 1,430894^\circ \end{array} \right)} = 219,207 \text{ м.}$$

Из прямоугольных треугольников (см. рисунок 1.31, б) видно, что угол

$$\eta + \varphi = \operatorname{arctg} \frac{R \sin \alpha - h_0 + h \cos \alpha}{R_B + h \sin \alpha - R \cos \alpha}$$

и угол

$$\eta = \operatorname{arctg} \frac{R \sin \beta + q'}{R_B + S - u - R \cos \beta}.$$

Определим величины углов

$$\operatorname{tg}(\eta + \varphi) = \frac{219,207 \sin 5,194444^\circ - 1,52 + 1,52 \cos 5,194444^\circ}{600 + 2,906 \sin 5,194444^\circ - 219,207 \cos 5,194444^\circ} = 0,051928;$$

$$\eta + \varphi = \operatorname{arctg} 0,051928 = 2,972576^\circ;$$

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{219,207 \sin 1,430894^\circ + 2,594}{600 + 1,52 - 0,096 - 219,207 \cos 1,430894^\circ} = 0,029896;$$

$$\eta = \arctg 0,029896 = 1,712399^\circ.$$

Таким образом, угол поворота основного пути

$$\gamma = \alpha + \varphi = 5,194444^\circ + (2,972576^\circ - 1,712399^\circ) = 6,454621^\circ.$$

Теоретическая длина криволинейного стрелочного перевода

$$L_t = l_0 + R(\sin\gamma - \sin\beta) + h\cos\gamma = 4,788 + 219,207(\sin 6,454621^\circ - \sin 1,430894^\circ) + 2,906\cos 6,454621^\circ = 26,844 \text{ м},$$

практическая

$$L_p = q + L_t + q_1\cos\varphi = 1,750 + 26,844 + 2,594\cos 1,260177^\circ = 31,187 \text{ м}.$$

Осевые размеры перевода при этом будут равны

$$a = q + l_0 + q' + t$$

и

$$b = t + h_0 + m,$$

где

$$t = \left(R_B + \frac{S}{2} \right) \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}.$$

Подставляя численные значения, получим

$$t = \left(600 + \frac{1,520}{2} \right) \operatorname{tg} \frac{1,260177^\circ}{2} = 6,607 \text{ м};$$

$$b = 6,607 + 2,906 + 2,594 = 12,107 \text{ м};$$

$$a = 1,750 + 4,788 + 5,955 + 6,607 = 19,100 \text{ м}.$$

Длины рельсов, входящих в состав рассматриваемого стрелочного перевода, которые представлены на рисунке 1.32, определяются следующим образом.

Из рисунка 1.32 видно, криволинейный стрелочный перевод состоит из восьми рельсов, причем рельсы l_1 , l_3 , l_5 и l_7 принимаются равными t , т. е.

$$l_1 = l_3 = l_5 = l_7 = t = 6,607 \text{ м}.$$

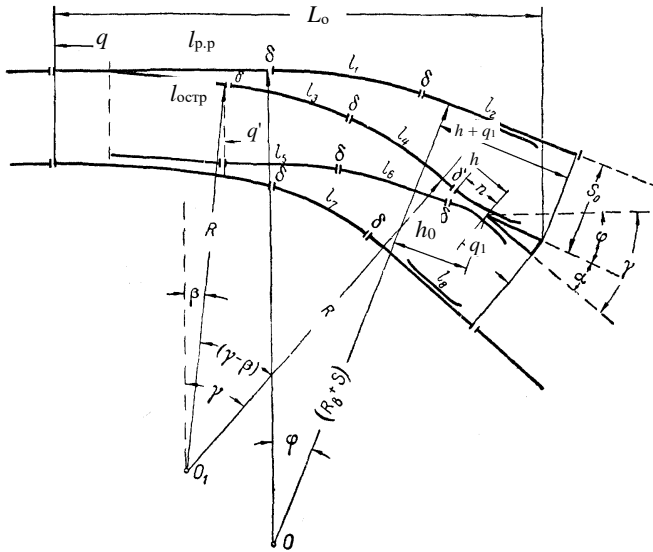


Рисунок 1.32 – Схема одностороннего криволинейного стрелочного перевода

Длина второго рельса

$$l_2 = \frac{\pi \left(R_B + S + \frac{b}{2} \right)}{180} \varphi + h_0 + q_1 - l_1 - 2\delta = \frac{3,14159 \left(600 + 1,520 + \frac{12,107}{2} \right)}{180} \times \\ \times 1,260177 + 2,906 + 2,594 - 6,607 - 2 \cdot 0,006 = 12,244 \text{ м.}$$

Длина четвертого рельса

$$l_4 = \frac{\pi \left(R + \frac{b}{2} \right)}{180} (\gamma - \beta) + h - l_3 - n - 2\delta = \frac{3,14159 \left(219,207 + \frac{12,107}{2} \right)}{180} \times \\ \times (6,454621 - 1,430894) + 2,906 - 6,607 - 2,900 - 2 \cdot 0,006 = 13,138 \text{ м.}$$

Длина шестого рельса

$$l_6 = q' + \frac{\pi \left(R_B + \frac{b}{2} \right)}{180} \varphi + h_0 - l_5 - n - 2\delta = 5,955 + \frac{3,14159 \left(600 - \frac{12,107}{2} \right)}{180} \times \\ \times 1,260177 + 2,906 - 6,607 - 2,900 - 2 \cdot 0,006 = 12,405 \text{ м.}$$

Длина восьмого рельса

$$l_8 \approx q + l_o - S_6 \sin \beta + \frac{\pi \left(R - S - \frac{b}{2} \right)}{180} (\gamma - \beta) + h + q_1 - l_{pp} - l_7 - 2\delta =$$

$$= 1,750 + 4,788 - 1,520 \sin 1,430894^\circ + \frac{3,14159 \left(219,207 - 1,520 - \frac{12,107}{2} \right)}{180} \times$$

$$\times (6,454621^\circ - 1,430894^\circ) + 2,906 + 2,594 - 6,607 - 6,607 - 2 \cdot 0,006 = 11,437 \text{ м,}$$

где b – ширина головки рельса;

δ – стыковой зазор (принимается 6–8 мм).

Определение координат кривых основного пути и пути отвления криволинейного стрелочного перевода производится следующим образом. За начало координат принимают точку A (рисунок 1.33), находящуюся на рабочей грани рамного рельса прямого направления против корня остряка. За ось x (абсцисс) принимается продолжение рабочего канта прямой части рамного рельса.

Абсциссы x принимают последовательно равными 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 и т. д. метрам. Конечные абсциссы x_k и x'_k определяются согласно рисункам 1.32, 1.33:

$$x_k = R(\sin \gamma - \sin \beta)$$

или

$$x_k = L_r - l' - h \cos \gamma; \quad x'_k = (R_B + S) \sin \phi + q'.$$

Ординаты кривой радиуса R ответвляющегося пути стрелочного перевода находятся следующим образом:

при $x = x_0 = 0$

$$y_0 = u;$$

при $x = x_1 = 2 \text{ м}$

$$y_1 = y_0 + R(\cos \beta - \cos \theta_1);$$

при $x = x_2 = 4 \text{ м}$

$$y_2 = y_0 + R(\cos \beta - \cos \theta_2)$$

и в общем виде при $x = x_n$

$$y_n = y_0 + R(\cos \beta - \cos \theta_n),$$

где θ_n – угол наклона кривой радиуса R к горизонтالي в данной точке n , который определяется через $\sin \theta$, причем $\sin \theta_n = \sin \beta + \frac{x_n}{R}$.

Для конечной ординаты при $x = x_k$ и $\theta_k = \gamma$

$$y_k = y_0 + R(\cos \beta - \cos \gamma).$$

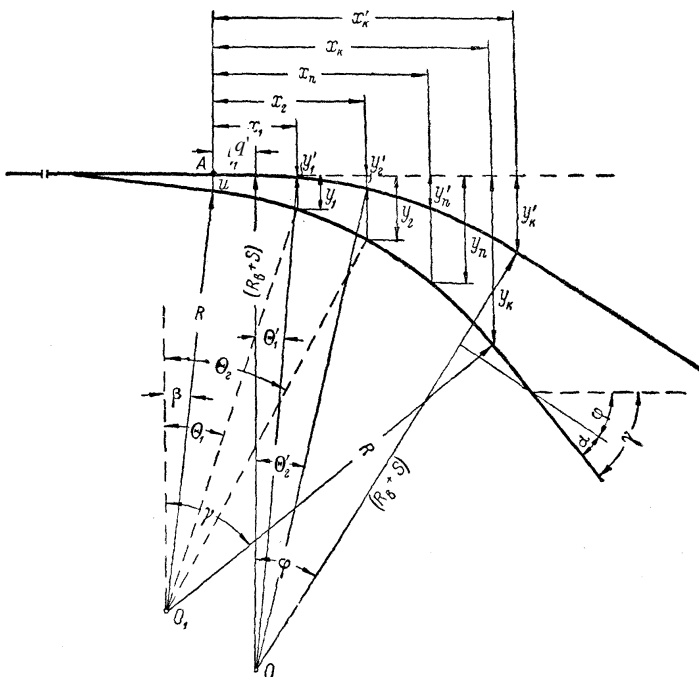


Рисунок 1.33 – Расчетная схема для определения координат кривых в криволинейном стрелочном переводе

Ординаты кривой основного пути перевода равны:

при $x = x_0 = 0$

$$y_0' = 0;$$

при $x = x_1 = 2$ м

$$y_1' = (R_b + S)(1 - \cos\theta_1');$$

при $x = x_2 = 4$ м

$$y_2' = (R_b + S)(1 - \cos\theta_2');$$

и в общем виде при $x = x_n$

$$y_n' = (R_b + S)(1 - \cos\theta_n'),$$

где θ_n' – угол наклона кривой основного пути перевода к горизонтали в данной точке n' , который определяется через $\sin\theta_n'$, причем

$$\sin\theta_n' = \frac{x_n - q'}{R_b + S}.$$

Конечная ордината кривой основного пути

$$y'_k = (R_B + S)(1 - \cos\varphi),$$

поскольку при $x = x'_k$ $\theta'_k = \varphi$.

Рассчитаем координаты стрелочного перевода. Результаты расчетов приведены в таблицах 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2 – Результаты расчетов координат для разбивки кривых
ответвляющегося пути стрелочного перевода

Элемент разбивки	x_i , м	$\sin\theta_i$	θ_i	y_i , м
1	0	0,024971	1,430894	0,096
2	2	0,034095	1,953880	0,155
3	4	0,043219	2,477028	0,233
4	6	0,052343	3,000383	0,328
5	8	0,061466	3,523989	0,442
6	10	0,070590	4,047890	0,574
7	12	0,079714	4,572129	0,725
8	14	0,088838	5,096753	0,894
9	16	0,097962	5,621806	1,082
10	18	0,107085	6,147332	1,288
11	19,168	0,112416	6,454621	1,417

Таблица 1.3 – Результаты расчетов координат для разбивки кривых
основного пути стрелочного перевода

Элемент разбивки	x_i , м	$\sin\theta'_i$	θ'_i	y'_i , м
1	0	0	0	0
2	2	-0,006575	-0,37672	0,013
3	4	-0,003250	-0,18622	0,003
4	6	0,000075	0,00429	0,000
5	8	0,003400	0,19479	0,003
6	10	0,006725	0,38529	0,014
7	12	0,010049	0,5758	0,030
8	14	0,013374	0,76632	0,054
9	16	0,016699	0,95684	0,084
10	18	0,020024	1,14738	0,121
11	19,184	0,021992	1,26018	0,145

1.3 Стрелочные улицы

Пример 1.31. Определить расчетные параметры простейшей стрелочной улицы, проектируемой для соединения четырех приемоотправочных путей под углом α (рисунок 1.34) стрелочными переводами марки 1/9 из рельсов типа Р50, используя справочные данные пособия [1]. Расстояние между

осями путей $e = 5,30$ м. Сопряжение крайнего пути осуществляется кривой $R = 200$ м.

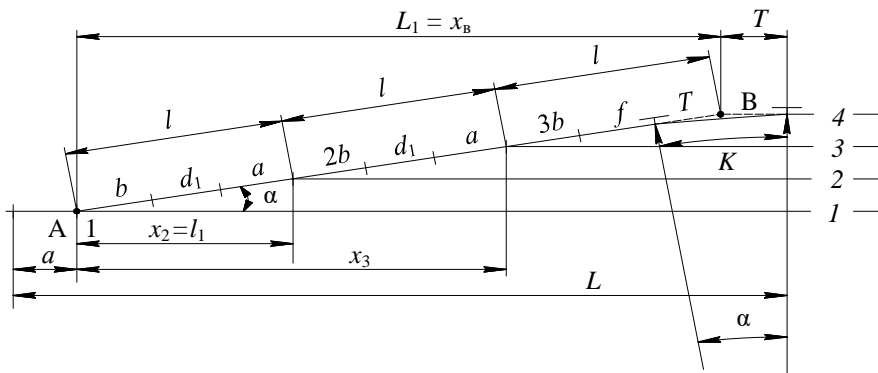


Рисунок 1.34 – Простейшая стрелочная улица под углом крестовины

Решение. Для определения параметров простейшей стрелочной улицы необходимо рассчитать значения элементов l , l_1 , T , K , координаты центров стрелочных переводов и вершины угла поворота (точка В). Значения размеров стрелочных переводов принимаются согласно данным [1, таблица 19]. Для перевода марки 1/9 основные параметры: $a = 15,459$ м; $b = 15,602$ м; $\alpha = 6^\circ 20' 25''$. Расчеты ведутся с точностью 0,001.

Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$l = \frac{e}{\sin \alpha} = \frac{5,30}{0,110433} = 47,993 \text{ м.}$$

Тангенс кривой

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg} \frac{6,340278^\circ}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,077 \text{ м.}$$

Длина кривой

$$K = \frac{\pi}{180} R \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 6,340278^\circ = 22,131 \text{ м.}$$

Проведем проверку достаточности величины вставки f для разгонки уширения колеи ($f \geq p$, где p – прямая вставка между корнем крестовины и началом сопрягающей кривой, $p = 8,060$ м)

$$f = l - (b + T) = 47,993 - (15,602 + 11,077) = 21,314 \text{ м} > 8,060 \text{ м.}$$

Длина соединительной прямой вставки от торца крестовины до стыка рамного рельса следующего стрелочного перевода

$$d_1 = l - (a + b) = 47,993 - (15,459 + 15,602) = 16,932 \text{ м.}$$

Проекция расстояния между центрами стрелочных переводов на горизонтальную ось

$$l_1 = \frac{e}{\operatorname{tg}\alpha} = \operatorname{ectg}\alpha = 5,30 \cdot 8,999877 = 47,699 \text{ м.}$$

Длина стрелочной улицы (т. е. проекция линии АВ на горизонтальную ось) от центра перевода (точка А) до вершины угла поворота крайнего пути (точка В)

$$L_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} e}{\operatorname{tg}\alpha} = \operatorname{ctg}\alpha \cdot \sum_{i=1}^{n-1} e = 8,999877 \cdot 3 \cdot 5,30 = 143,098 \text{ м,}$$

где n – количество путей в простейшей стрелочной улице.

Полная длина стрелочной улицы

$$L = a + L_1 + T = 15,459 + 143,098 + 11,077 = 169,634 \text{ м.}$$

Определим координаты центров переводов и вершины угла поворота, приняв центр первого перевода (точка А) за начало координат ($x_0 = 0, y_0 = 0$) и проектируя на горизонтальную и вертикальные оси рассчитанные расстояния, с учетом угла наклона α :

– стрелочного перевода 2

$$x_2 = l_1 = \operatorname{ectg}\alpha = 5,30 \cdot 8,999877 = 47,699 \text{ м; } y_2 = e = 5,300 \text{ м;}$$

– стрелочного перевода 3

$$x_3 = x_2 + \operatorname{ectg}\alpha = 2\operatorname{ectg}\alpha = 2 \cdot 5,30 \cdot 8,999877 = 95,399 \text{ м;}$$

$$y_3 = 2e = 10,600 \text{ м;}$$

– вершины угла поворота В

$$x_B = L_1 = x_2 + \operatorname{ectg}\alpha = 3\operatorname{ectg}\alpha = 143,098 \text{ м; } y_B = 3e = 15,900 \text{ м.}$$

Пример 1.32. Определить расчетные параметры простейшей стрелочной улицы, укладываемой на основном пути в техническом парке станции стрелочными переводами марки 1/9 из рельсов типа Р50 (рисунок 1.35). Количество соединяемых путей – 4. Расстояние между осями двух путей 5,30 м, а между парой смежных путей – 7,50 м. Сопряжение путей производится:

- концентрическими кривыми $R_{\min} = 200$ м;
- неконцентрическими кривыми $R_{\min} = 200$ м.

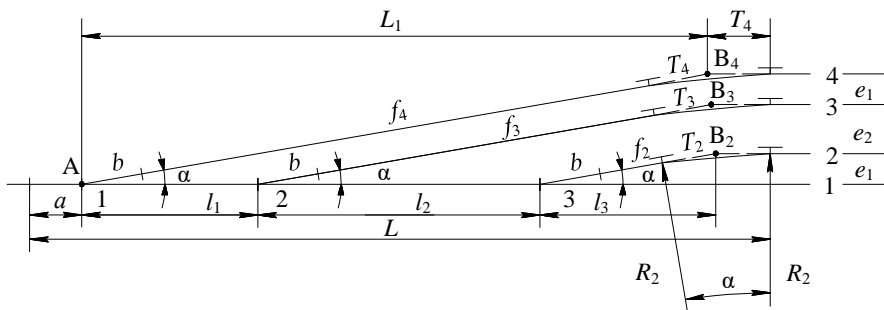


Рисунок 1.35 – Простейшая стрелочная улица на основном пути

Решение. 1 При условии сопряжения concentрическими кривыми $R_{\min} = 200$ м.

Параметры стрелочных переводов принимаются такими же, как в примере 1.30. В соответствии с условием примера радиус сопрягающей кривой каждого последующего пути, начиная со второго, возрастает на величину междупутья, следовательно:

$$R_3 = R_2 + e_2 = 200,000 + 7,500 = 207,500 \text{ м};$$

$$R_4 = R_2 + (e_2 + e_1) = 200,000 + (7,500 + 5,300) = 212,800 \text{ м}.$$

Таким образом, получим

$$T_2 = R_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg} \frac{6,340278^\circ}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,077 \text{ м};$$

$$T_3 = R_3 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = (200 + 7,500) \cdot 0,055386 = 11,493 \text{ м};$$

$$T_4 = R_4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = (200 + 7,500 + 5,300) \cdot 0,055386 = 11,786 \text{ м}.$$

Длины кривых

$$K_2 = \frac{\pi}{180} R_2 \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 6,340278^\circ = 22,131 \text{ м};$$

$$K_3 = \frac{\pi}{180} R_3 \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 207,500 \cdot 6,340278^\circ = 22,961 \text{ м};$$

$$K_4 = \frac{\pi}{180} R_4 \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 212,800 \cdot 6,340278^\circ = 23,548 \text{ м.}$$

Произведем проверку достаточности величины вставки f_i для разгонки уширения колеи ($f \geq p$ при $p = 8,060$ м)

$$f_2 = \frac{e_1}{\sin\alpha} - \left(\frac{e_1}{\sin\alpha} + T_2 \right) = 47,993 - (5,602 + 11,077) = 21,314 \text{ м} > 8,060 \text{ м};$$

$$f_3 = \frac{e_1 + e_2}{\sin\alpha} - \left(\frac{e_1 + e_2}{\sin\alpha} + T_2 \right) = \frac{5,300 + 7,500}{0,110433} - (5,602 + 11,371) = 88,934 \text{ м} > 8,060 \text{ м};$$

$$f_4 = \frac{e_1 + e_2 + e_1}{\sin\alpha} - \left(\frac{e_1 + e_2 + e_1}{\sin\alpha} + T_2 \right) = \frac{5,300 + 7,500 + 3,500}{0,110433} - (5,602 + 11,786) = 136,512 \text{ м} > 8,060 \text{ м.}$$

Таким образом, во всех рассмотренных случаях условие $f \geq p$ выполняется.

Расстояние между центрами стрелочных переводов:

$$l_1 = \frac{e_1}{\sin\alpha} = \frac{5,300}{0,110433} = 47,993 \text{ м};$$

$$l_2 = \frac{e_2}{\sin\alpha} = \frac{7,500}{0,110433} = 67,914 \text{ м};$$

$$l_3 = e_1 \operatorname{ctg}\alpha = 5,300 \cdot 8,999877 = 47,699 \text{ м.}$$

Длина стрелочной улицы (т. е. проекция линии АВ₄ на горизонтальную ось) от центра перевода (точка А) до вершины угла поворота крайнего пути (точка В₄)

$$L_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} e}{\operatorname{tg}\alpha} = \operatorname{ctg}\alpha \cdot \sum_{i=1}^{n-1} e = 8,999877 \cdot (5,300 + 7,500 + 5,300) = 162,898 \text{ м},$$

где n – количество путей в простейшей стрелочной улице.

Определим координаты центров стрелочных переводов и вершин углов поворота:

– стрелочного перевода 1

$$x_1 = 0 \text{ м}; \quad y_1 = 0 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 2

$$x_2 = l_1 = \frac{e_1}{\sin\alpha} = \frac{5,300}{0,110433} = 47,993 \text{ м}; \quad y_2 = 0 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 3

$$x_3 = x_2 + l_2 = x_2 + \frac{e_2}{\sin\alpha} = 47,993 + \frac{7,500}{0,110433} = 115,907 \text{ м}; \quad y_3 = 0 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B₂

$$x_{B_2} = x_3 + l_3 = x_3 + e_1 \operatorname{ctg}\alpha = 115,907 + 5,300 \cdot 8,999877 = 163,606 \text{ м};$$

$$y_{B_2} = 5,300 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B₃

$$x_{B_3} = x_2 + \operatorname{ctg}\alpha (e_1 + e_2) = 47,993 + 8,999877 \cdot (5,300 + 7,500) = 163,191 \text{ м};$$

$$y_{B_3} = e_1 + e_2 = 5,300 + 7,500 = 12,800 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B₄

$$x_{B_4} = L_1 = 162,898 \text{ м};$$

$$y_{B_4} = e_1 + e_2 + e_1 = 5,300 + 7,500 + 5,300 = 18,100 \text{ м}.$$

Полная длина стрелочной улицы

$$L = a + L_1 + T_4 = 15,459 + 162,898 + 11,786 = 190,143 \text{ м}.$$

2 При условии сопряжения неконцентрическими кривыми $R_{\min} = 200 \text{ м}$.

Согласно условию примера, радиус сопрягающей кривой остается постоянным, т. е. $R_2 = R_3 = R_4 = R_{\min} = 200 \text{ м}$.

Определим величины тангенсов

$$T_2 = T_3 = T_4 = R_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg} \frac{6,340278^\circ}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,077 \text{ м}$$

и длины кривых

$$K_2 = K_3 = K_4 = \frac{\pi}{180} R_2 \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 6,340278^\circ = 22,131 \text{ м}.$$

Произведем проверку достаточности величины вставки f для разгонки уширения колеи ($f \geq p$ при $p = 8,060 \text{ м}$):

$$f_2 = \frac{e_1}{\sin\alpha} - (b + T_2) = 47,993 - (5,602 + 11,077) = 21,314 \text{ м} > 8,060 \text{ м};$$

$$f_3 = \frac{e_1 + e_2}{\sin\alpha} - (b + T_2) =$$

$$= \frac{5,300 + 7,500}{0,110433} - (15,602 + 11,077) = 89,228 \text{ м} > 8,060 \text{ м};$$

$$f_4 = \frac{e_1 + e_2 + e_1}{\sin\alpha} - (b + T_2) =$$

$$= \frac{5,300 + 7,500 + 3,500}{0,110433} - (15,602 + 11,077) = 137,221 \text{ м} > 8,060 \text{ м},$$

т. е. во всех рассмотренных выше случаях условие $f \geq p$ выполняется.

Расстояние между центрами стрелочных переводов:

$$l_1 = \frac{e_1}{\sin\alpha} = \frac{5,300}{0,110433} = 47,993 \text{ м};$$

$$l_2 = \frac{e_2}{\sin\alpha} = \frac{7,500}{0,110433} = 67,914 \text{ м};$$

$$l_3 = e_1 \operatorname{ctg}\alpha = 5,300 \cdot 8,999877 = 47,699 \text{ м}.$$

Длина стрелочной улицы (т. е. проекция линии АВ₄ на горизонтальную ось) от центра перевода (точка А) до вершины угла поворота пути 4 (точка В₄)

$$L_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} e}{\operatorname{tg}\alpha} = \operatorname{ctg}\alpha \sum_{i=1}^{n-1} e = 8,999877 \cdot (5,300 + 7,500 + 5,300) = 162,898 \text{ м},$$

где n – количество путей в простейшей стрелочной улице.

Определим координаты центров стрелочных переводов и вершин углов поворота:

– стрелочного перевода 1

$$x_1 = 0 \text{ м}; \quad y_1 = 0 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 2

$$x_2 = l_1 = \frac{e_1}{\sin\alpha} = \frac{5,300}{0,110433} = 47,993 \text{ м}; \quad y_2 = 0 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 3

$$x_3 = x_2 + l_2 = x_2 + \frac{e_2}{\sin\alpha} = 47,993 + \frac{7,500}{0,110433} = 115,907 \text{ м}; \quad y_3 = 0 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B_2

$$x_{B_2} = x_3 + l_3 = x_3 + e_1 \operatorname{ctg}\alpha = 115,907 + 5,300 \cdot 8,999877 = 163,606 \text{ м};$$

$$y_{B_2} = 5,300 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B_3

$$x_{B_3} = x_2 + \operatorname{ctg}\alpha(e_1 + e_2) = 47,993 + 8,999877 \cdot (5,300 + 7,500) = 163,191 \text{ м};$$

$$y_{B_3} = e_1 + e_2 = 5,300 + 7,500 = 12,800 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B_4

$$x_{B_4} = L_1 = 162,898 \text{ м};$$

$$y_{B_4} = e_1 + e_2 + e_1 = 5,300 + 7,500 + 5,300 = 18,100 \text{ м}.$$

Полная длина стрелочной улицы

$$L = a + L_1 + T_4 = 15,459 + 162,898 + 11,786 = 190,143 \text{ м}.$$

Пример 1.33. Рассчитать параметры комбинированной стрелочной улицы, проектируемой для соединения пучка выходной горловины сортировочного парка, который состоит из восьми путей (рисунок 1.36). Конструкция комбинированной стрелочной улицы включает две простейшие стрелочные улицы. Марки стрелочных переводов 1/9. Тип рельсов Р50. Радиусы сопрягающих кривых $R = 200$ м. Расстояние между осями путей в стрелочных улицах $e_1 = 5,30$ м, а между стрелочными улицами $e_2 = 7,50$ м. Параметры стрелочных переводов принять по [1, таблица 19].

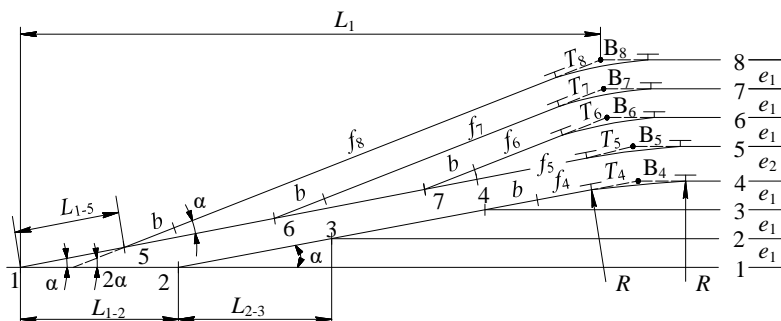


Рисунок 1.36 – Комбинированная стрелочная улица

Решение. Определим параметры кривых для углов поворота α и 2α , координаты стрелочных переводов и вершин углов поворота, полную длину

комбинированной стрелочной улицы, состоящей из двух простейших. Так как кривые соединяемых путей 4 и 5 неконцентричны, то тангенсы кривых:

– путей 4 и 5

$$T_4 = T_5 = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg} \frac{6,340278^\circ}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,077 \text{ м};$$

– путей 6, 7, 8

$$T_6 = T_7 = T_8 = R \operatorname{tg} \frac{2\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg} \frac{2 \cdot 6,340278^\circ}{2} = 200 \cdot 0,111113 = 22,223 \text{ м}.$$

Длины кривых

$$K_4 = K_5 = \frac{\pi}{180} \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 6,340278^\circ = 22,131 \text{ м};$$

$$K_6 = K_7 = K_8 = \frac{\pi}{180} R 2\alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 2 \cdot 6,340278^\circ = 44,262 \text{ м}.$$

Проецируя на оси координат полученные при расчете расстояния с учетом углов наклона, определим координаты центров стрелочных переводов и вершин углов поворота, принимая за начало координат центр стрелочного перевода 1 ($x_1 = 0$; $y_1 = 0$):

– стрелочного перевода 2

$$x_2 = L_{1-2} = \frac{e_2}{\sin \alpha} = \frac{7,50}{0,110433} = 67,914 \text{ м}; \quad y_2 = 0 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 3

$$x_3 = x_2 + L_{2-3} = x_2 + e_1 \operatorname{ctg} \alpha = 67,914 + 5,300 \cdot 8,999877 = 115,613 \text{ м};$$

$$y_3 = e_1 = 5,300 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 4

$$x_4 = x_3 + L_{3-4} = x_3 + e_1 \operatorname{ctg} \alpha = 115,613 + 5,300 \cdot 8,999877 = 163,312 \text{ м};$$

$$y_4 = 2e_1 = 10,600 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 5

$$\begin{aligned} x_5 &= L_{1-5} \cos \alpha = (a_1 + d + b_5) \cos \alpha = \\ &= (5,459 + 6,250 + 15,605) \cdot 0,993884 = 37,086 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$y_5 = L_{1-5} \sin \alpha = (a_1 + d + b_5) \sin \alpha = 37,314 \cdot 0,110433 = 4,121 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 6

$$\begin{aligned}x_6 &= x_5 + L_{5-6} \cos \alpha = x_5 + \frac{e_1}{\sin \alpha} \cos \alpha = x_5 + e_1 \operatorname{ctg} \alpha = \\ &= 37,086 + 5,300 \cdot 8,999877 = 84,785 \text{ м};\end{aligned}$$

$$y_6 = y_5 + L_{5-6} \sin \alpha = y_5 + \frac{e_1}{\sin \alpha} \sin \alpha = y_5 + e_1 = 4,121 + 5,300 = 9,421 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 7

$$x_7 = x_6 + L_{6-7} \cos \alpha = x_6 + e_1 \operatorname{ctg} \alpha = 84,785 + 5,300 \cdot 8,999877 = 132,484 \text{ м};$$

$$y_7 = y_6 + L_{6-7} \sin \alpha = y_6 + \frac{e_1}{\sin \alpha} \sin \alpha = y_6 + e_1 = 9,421 + 5,300 = 14,721 \text{ м};$$

– вершины угла поворота В₄

$$x_{B_4} = x_4 + L_{4-B_4} = x_4 + e_1 \operatorname{ctg} \alpha = 163,312 + 47,699 = 211,011 \text{ м};$$

$$y_{B_4} = 3e_1 = 15,90 \text{ м};$$

– вершины угла поворота В₅

$$x_{B_5} = L_{1-B_5} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} e}{\operatorname{tg} \alpha} = \operatorname{ctg} \alpha \sum_{i=1}^{n-1} e = 8,999877 \cdot (3 \cdot 5,300 + 7,500) = 210,597 \text{ м};$$

$$y_{B_5} = 3e_1 + e_2 = 3 \cdot 5,300 + 7,500 = 23,400 \text{ м};$$

– вершины угла поворота В₆

$$\begin{aligned}x_{B_6} &= x_7 + \frac{\sum e - y_7}{\operatorname{tg} 2\alpha} = x_7 + \frac{4e_1 + e_2 - y_7}{\operatorname{tg} 2\alpha} = \\ &= 132,484 + \frac{4 \cdot 5,300 + 7,500 - 14,721}{0,2250032} = 194,621 \text{ м};\end{aligned}$$

$$y_{B_6} = y_{B_5} + e_1 = 23,400 + 5,300 = 28,700 \text{ м};$$

– вершины угла поворота В₇

$$\begin{aligned}x_{B_7} &= x_6 + \frac{\sum e - y_6}{\operatorname{tg} 2\alpha} = x_6 + \frac{5e_1 + e_2 - y_6}{\operatorname{tg} 2\alpha} = \\ &= 84,785 + \frac{5 \cdot 5,300 + 7,500 - 9,421}{0,2250032} = 194,023 \text{ м};\end{aligned}$$

$$y_{B_7} = y_{B_6} + e_1 = 28,700 + 5,300 = 34,000 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B_8

$$\begin{aligned} x_{B_8} &= L_1 = x_5 + \frac{\sum e - y_5}{\operatorname{tg} 2\alpha} = x_5 + \frac{6e_1 + e_2 - y_5}{\operatorname{tg} 2\alpha} \\ &= 37,086 + \frac{6 \cdot 5,30 + 7,500 - 4,121}{0,2250032} = 193,435 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$y_{B_8} = y_{B_7} + e_1 = 34,000 + 5,300 = 39,300 \text{ м}.$$

Полная длина стрелочной улицы

$$L = a + L_1 + T_8 = 15,459 + 193,435 + 22,223 = 231,117 \text{ м}.$$

Проведем проверку достаточности минимальной величины вставки f для разгонки уширения колеи для пути 4 ($f \geq p$ при $p = 8,060$ м), т. к. явно видно, что для остальных путей это условие выполняется

$$f_4 = \frac{e_1}{\sin \alpha} - (b + T_4) = \frac{5,300}{0,110433} - (15,602 + 11,077) = 21,314 \text{ м} > 8,060 \text{ м}.$$

Пример 1.34. Определить параметры сокращенной стрелочной улицы под углом наклона, кратным углу крестовины ($\beta > \alpha$, $\beta = 2\alpha$), для горловины технической станции (рисунок 1.37). Стрелочные переводы марки 1/9. Тип рельсов Р50. Радиусы сопрягающих кривых $R = 200$ м. Расстояние между осями смежных путей $e_1 = 5,30$ м, $e_2 = 7,50$ м. Длина прямого участка для разгонки уширения в кривой $p = 8,06$ м.

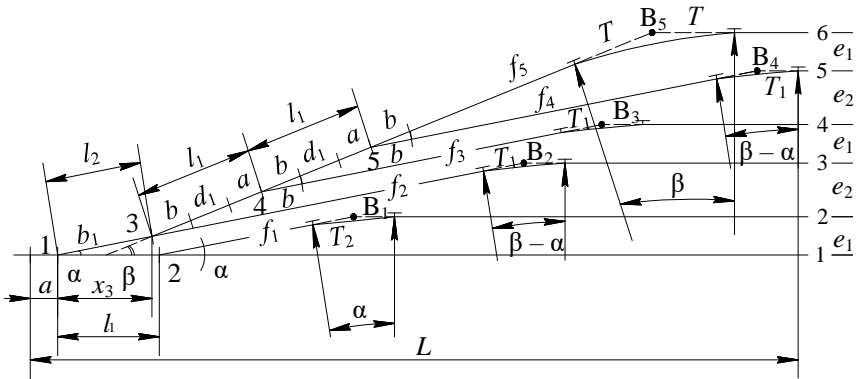


Рисунок 1.37 – Сокращенная стрелочная улица под углом наклона, кратным углу крестовины

Решение. Определим расстояния между центрами стрелочных переводов 1–2, 1–3, 3–4 и 4–5 по стрелочной улице. Значения параметров стрелочного перевода 1/9 для Р50: $a = 15,459$ м; $b = 15,602$ м; $\alpha = 6^\circ 20' 25''$. Так как $\beta = 2\alpha = 12^\circ 40' 50''$, то получим

$$l_1 = \frac{e_1}{\sin(\beta - \alpha)} = \frac{e_1}{\sin(2\alpha - \alpha)} = \frac{e_1}{\sin \alpha} = \frac{5,300}{0,110433} = 47,993 \text{ м};$$

$$l_2 = b + d_2 + a = 15,602 + 6,25 + 15,459 = 37,311 \text{ м}.$$

Рассчитаем величину тангенсов (T , T_1 и T_2) и длины кривых (K , K_1 и K_2) для углов β , α и β :

$$\begin{aligned} T &= R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = R \operatorname{tg} \frac{2\alpha}{2} = R \operatorname{tg} \alpha = \\ &= 200 \operatorname{tg} 6,340278^\circ = 200 \cdot 0,111113 = 22,223 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= R \operatorname{tg} \frac{\beta - \alpha}{2} = R \operatorname{tg} \frac{2\alpha - \alpha}{2} = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \\ &= 200 \operatorname{tg} \frac{6,340278^\circ}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,077 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$T_2 = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg} \frac{6,340278^\circ}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,077 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi}{180} \cdot R \beta^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 12,680556^\circ = 44,263 \text{ м};$$

$$K_1 = \frac{\pi}{180} R(\beta^\circ - \alpha^\circ) = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot (12,680556^\circ - 6,340278^\circ) = 22,131 \text{ м};$$

$$K_2 = \frac{\pi}{180} R \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 6,340278^\circ = 22,131 \text{ м}.$$

Определим минимальное расстояние от центра стрелочного перевода до начала кривой

$$b_1 = b + k_0,$$

где b – расстояние от центра перевода до торца крестовины;

k_0 – вставка между концом стрелочного перевода 1 и началом круговой кривой 1 по боковому пути, равная

$$k_0 = 12 - h - q_1,$$

h – прямая вставка перед крестовиной;

q_1 – расстояние от математического центра крестовины до торца крестовины.

Для условий примера: $h = 2,018$ м; $q_1 = 1,880$ м. Тогда получим

$$k_0 = 12 - 2,018 - 1,880 = 8,102 \text{ м};$$

$$b_1 = 15,602 + 8,102 = 23,704 \text{ м}.$$

Проецируя на оси координат полученные при расчете расстояния с учетом углов наклона, определим координаты вершин углов поворота и центров стрелочных переводов и, принимая за начало координат центр стрелочного перевода 1 ($x_1 = 0$; $y_1 = 0$):

– стрелочного перевода 2

$$x_2 = l_1 = 47,993 \text{ м}; \quad y_2 = 0 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 3

$$x_3 = l_2 \cos \alpha = 37,311 \cdot 0,993884 = 37,083 \text{ м};$$

$$y_3 = l_2 \sin \alpha = 37,311 \cdot 0,110433 = 4,120 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 4

$$x_4 = x_3 + l_1 \cos \beta = 37,083 + 47,993 \cdot 0,975609 = 85,072 \text{ м};$$

$$y_4 = y_3 + l_1 \sin \beta = 4,120 + 47,993 \cdot 0,219515 = 14,655 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 5

$$x_5 = x_4 + l_1 \cos \beta = 85,072 + 47,993 \cdot 0,975609 = 131,894 \text{ м};$$

$$y_5 = y_4 + l_1 \sin \beta = 14,655 + 47,993 \cdot 0,219515 = 25,190 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B₂

$$x_{B_2} = x_3 + \frac{e_1 + e_2 - y_3}{\operatorname{tg} \alpha} = 37,083 + \frac{7,500 + 5,300 - 4,120}{0,111113} = 115,202 \text{ м};$$

$$y_{B_2} = e_1 + e_2 = 5,300 + 7,500 = 12,800 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B₃

$$x_{B_3} = x_4 + \frac{e_2 + 2e_1 - y_4}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)} = 85,072 + \frac{7,500 + 2 \cdot 5,300 - 14,655}{0,111113} = 116,076 \text{ м};$$

$$y_{B_3} = e_1 + 2e_2 = 7,500 + 2 \cdot 5,300 = 18,100 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B₄

$$x_{B_4} = x_5 + \frac{2e_1 + 2e_2 - y_5}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)} =$$

$$= 131,894 + \frac{2 \cdot 5,300 + 2 \cdot 7,500 - 21,190}{0,111113} = 171,583 \text{ м};$$

$$y_{B_4} = 2e_2 + 2e_1 = 2 \cdot 7,500 + 2 \cdot 5,300 = 25,600 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B_5

$$x_{B_5} = x_5 + \frac{\sum e - y_5}{\operatorname{tg}\beta} = x_5 + \frac{(3e_1 + 2e_2) - y_5}{\operatorname{tg}2\alpha} =$$

$$= 131,894 + \frac{(3 \cdot 5,300 + 2 \cdot 7,500) - 25,190}{0,225003} = 157,271 \text{ м};$$

$$y_{B_5} = \sum e = 3e_1 + 2e_2 = 3 \cdot 5,300 + 2 \cdot 7,500 = 30,900 \text{ м}.$$

Проверим длину вставки f для пути 2, поскольку, как видно из рисунка 1.37, она является наименьшей

$$f_1 = \frac{y_{B_1}}{\sin\alpha} - (b + T_2) \geq p;$$

$$f_1 = \frac{5,300}{0,110433} - (15,602 + 11,077) = 21,314 \text{ м} > 8,060 \text{ м}.$$

Полная длина стрелочной улицы

$$L = a + x_4 + T_1 = 15,459 + 85,072 + 11,077 = 111,608 \text{ м}.$$

Пример 1.35. Определить параметры сокращенной стрелочной улицы под углом наклона, некратным углу крестовины ($\beta > \alpha$), для горловины технической станции при условии расположения в первом междупутье служебно-технического помещения (рисунок 1.38). Стрелочные переводы марки 1/9. Тип рельсов Р50. Радиусы сопрягающих кривых $R = 200$ м. Расстояние между осями смежных путей $e = 5,30$ м. Длина прямого участка для разгонки уширения в кривой $p = 8,06$ м.

Решение. Значения параметров стрелочного перевода 1/9 для Р50 [1, таблица 19]: $a = 15,459$ м; $b = 15,602$ м; $\alpha = 6^\circ 20' 25''$. Согласно условию примера примем значение угла β таким, чтобы выполнялось условие $(\beta - \alpha) < \alpha$, т. е. $\beta = 7^\circ 50' 25''$.

Определим расстояния между центрами стрелочных переводов 2–3, 3–4 и 4–5 по стрелочной улице:

$$l = \frac{e}{\sin \alpha} = \frac{e}{\sin 6,340278^\circ} = \frac{5,300}{0,110433} = 47,993 \text{ м.}$$

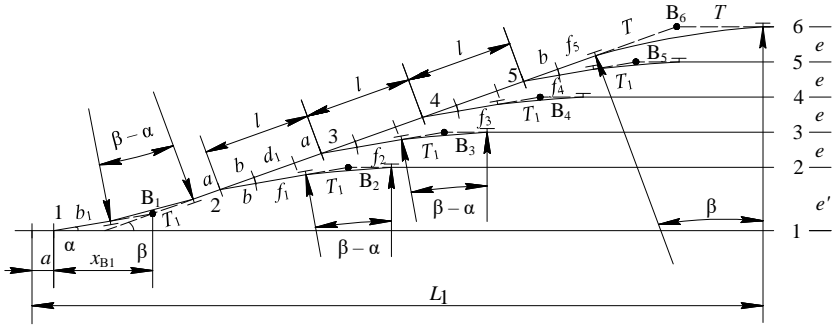


Рисунок 1.38 – Сокращенная стрелочная улица под углом наклона, некратным углу крестовины

Определим расчетную величину первого междупутья e' при расположении в нем служебно-технического здания шириной 4 м. Минимально требуемое расстояние между осями смежных путей при размещении в междупутье необходимых сооружений

$$e \geq b + 2g,$$

где b – ширина сооружения перпендикулярно пути (или диаметр круглых матч, столбов, опор);

g – габаритное расстояние от оси пути до сооружения.

Для служебно-технических зданий согласно габариту приближения строений C габаритное расстояние составляет 3,1 м. Таким образом, минимально требуемое расстояние между осями смежных путей

$$e' = 4,000 + 2 \cdot 3,100 = 10,200 \text{ м.}$$

Определим тангенсы (T_1 и T) и длины кривых (K_1 и K) для углов $\beta - \alpha$ и β :

$$T_1 = R \operatorname{tg} \frac{\beta - \alpha}{2} = 200 \cdot 0,013091 = 2,618 \text{ м,}$$

где $(\beta - \alpha)/2 = (7^\circ 50' 25'' - 6^\circ 20' 25'')/2 = 0^\circ 45' 00''$;

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 200 \cdot 0,068526 = 13,705 \text{ м,} \quad \beta/2 = 3^\circ 55' 12,5'';$$

$$K_1 = \frac{\pi}{180} R(\beta^\circ - \alpha^\circ) = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 1,500^\circ = 5,236 \text{ м;}$$

$$K = \frac{\pi}{180} R\beta^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 7,840278^\circ = 27,367 \text{ м.}$$

Определим минимальное расстояние от центра стрелочного перевода до начала кривой

$$b_1 = b + k_0,$$

где b – расстояние от центра перевода до торца крестовины;

k_0 – вставка между концом стрелочного перевода 1 и началом круговой кривой 1 по боковому пути,

$$k_0 = 12 - h - q_1,$$

h – прямая вставка перед крестовиной;

q_1 – расстояние от математического центра крестовины до торца крестовины.

Для условий примера: $h = 2,018$ м; $q_1 = 1,880$ м. Тогда получим

$$k_0 = 12 - 2,018 - 1,880 = 8,102 \text{ м;}$$

$$b_1 = 15,602 + 8,102 = 23,704 \text{ м.}$$

Рассчитаем координаты вершин углов поворота и стрелочных переводов, проецируя на оси координат полученные при расчете расстояния с учетом углов наклона, принимая за начало координат центр стрелочного перевода 1 ($x_1 = 0$; $y_1 = 0$):

– вершины угла поворота B_1

$$x_{B_1} = (b_1 + T_1)\cos\alpha = (23,704 + 2,618) \cdot 0,993884 = 26,161 \text{ м;}$$

$$y_{B_1} = (b_1 + T_1)\sin\alpha = (23,704 + 2,618) \cdot 0,110433 = 2,907 \text{ м;}$$

– стрелочного перевода 2

$$x_2 = x_{B_1} + (T_1 + a)\cos\beta = 26,161 + (2,618 + 15,459) \cdot 0,990652 = 44,069 \text{ м;}$$

$$y_2 = y_{B_1} + (T_1 + a)\sin\beta = 2,907 + (2,618 + 15,459) \cdot 0,136412 = 5,373 \text{ м;}$$

– стрелочного перевода 3

$$x_3 = x_2 + l\cos\beta = 44,069 + 47,993 \cdot 0,990652 = 91,613 \text{ м;}$$

$$y_3 = y_2 + l\sin\beta = 5,373 + 47,993 \cdot 0,136412 = 11,920 \text{ м;}$$

– стрелочного перевода 4

$$x_4 = x_3 + l\cos\beta = 91,613 + 47,993 \cdot 0,990652 = 139,157 \text{ м;}$$

$$y_4 = y_3 + l\sin\beta = 11,920 + 47,993 \cdot 0,136412 = 18,467 \text{ м;}$$

– стрелочного перевода 5

$$x_5 = x_4 + l \cos \beta = 139,157 + 47,993 \cdot 0,990652 = 186,701 \text{ м};$$

$$y_5 = y_4 + l \sin \beta = 18,467 + 47,993 \cdot 0,136412 = 25,014 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B_2

$$x_{B_2} = x_2 + \frac{e' - y_2}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)} = 44,069 + \frac{10,200 - 5,373}{0,026177} = 228,405 \text{ м};$$

$$y_{B_2} = e' = 10,200 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B_3

$$x_{B_3} = x_3 + \frac{e' + e - y_3}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)} = 91,613 + \frac{10,200 + 5,300 - 11,920}{0,026177} = 228,328 \text{ м};$$

$$y_{B_3} = e' + e = 10,200 + 5,300 = 15,500 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B_4

$$x_{B_4} = x_4 + \frac{e' + 2e - y_4}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)} = 139,157 + \frac{10,200 + 2 \cdot 5,300 - 18,467}{0,026177} = 228,251 \text{ м};$$

$$y_{B_4} = e' + 2e = 10,200 + 2 \cdot 5,300 = 20,800 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B_5

$$x_{B_5} = x_5 + \frac{e' + 3e - y_5}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)} = 186,701 + \frac{10,200 + 3 \cdot 5,300 - 25,014}{0,026177} = 228,174 \text{ м};$$

$$y_{B_5} = e' + 3e = 10,200 + 3 \cdot 5,300 = 26,100 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B_6

$$x_{B_6} = x_5 + \frac{\sum e - y_5}{\operatorname{tg} \beta} = 186,701 + \frac{(10,200 + 4 \cdot 5,300) - 25,014}{0,137699} = 233,077 \text{ м};$$

$$y_{B_6} = \sum e = e' + 4e = 10,200 + 4 \cdot 5,300 = 31,400 \text{ м}.$$

Проверим длину вставки f_5 , м, на крайнем пути, поскольку она принимает наименьшие значения

$$f_5 = \frac{y_{B_6} - y_5}{\sin \beta} - (b + T) \geq p;$$

$$f_5 = \frac{31,400 - 25,014}{0,136412} - (15,602 + 13,705) = 12,557 > 8,060 \text{ м}.$$

Полная длина стрелочной улицы

$$L = a + x_{B_6} + T = 15,459 + 233,077 + 13,705 = 251,155 \text{ м.}$$

Пример 1.36. Определить параметры неконцентрической веерной улицы (рисунок 1.39). Стрелочные переводы марки 1/9, тип рельсов Р50. Радиусы сопрягающих кривых $R = 200$ м. Расстояние между осями путей $e = 5,30$ м.

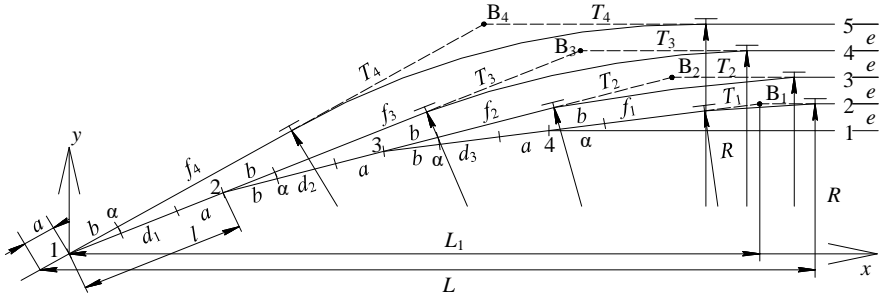


Рисунок 1.39 – Неконцентрическая веерная улица

Решение. Определим расстояния между центрами смежных стрелочных переводов по стрелочной улице $l = b + d + a$. Значения параметров стрелочного перевода 1/9 для Р50: $a = 15,459$ м; $b = 15,602$ м; $\alpha = 6^\circ 20' 25''$; $d = 6,25$ м. Откуда

$$l = b + d + a = 15,602 + 6,250 + 15,459 = 37,311 \text{ м.}$$

Определим тангенсы углов поворота и длины кривых при $R = 200$ м:

$$T_1 = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg} \frac{6,340278^\circ}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,077 \text{ м;}$$

$$T_2 = R \operatorname{tg} \frac{2\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg} 6,340278^\circ = 200 \cdot 0,111113 = 22,223 \text{ м;}$$

$$T_3 = R \operatorname{tg} \frac{3\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg} \frac{3 \cdot 6,340278^\circ}{2} = 200 \cdot 0,167529 = 33,506 \text{ м;}$$

$$T_4 = R \operatorname{tg} \frac{4\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg}(2 \cdot 6,340278^\circ) = 200 \cdot 0,225003 = 45,001 \text{ м;}$$

$$K_1 = \frac{\pi}{180} R \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 6,340278^\circ = 22,131 \text{ м;}$$

$$K_2 = \frac{\pi}{180} \cdot 2R \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 2 \cdot 200 \cdot 6,340278^\circ = 44,263 \text{ м;}$$

$$K_3 = \frac{\pi}{180} \cdot 3R\alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 3 \cdot 200 \cdot 6,340278^\circ = 66,394 \text{ м};$$

$$K_4 = \frac{\pi}{180} \cdot 4R\alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 4 \cdot 200 \cdot 6,340278^\circ = 88,525 \text{ м}.$$

Определим координаты вершин углов поворота и стрелочных переводов, м, приняв за начало координат центр стрелочного перевода 1:

– стрелочного перевода 2

$$x_2 = l \cos 3\alpha = 37,311 \cdot 0,945400 = 35,274 \text{ м};$$

$$y_2 = l \sin 3\alpha = 37,311 \cdot 0,325912 = 12,160 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 3

$$x_3 = x_2 + l \cos 2\alpha = 35,274 + 37,311 \cdot 0,975609 = 71,675 \text{ м};$$

$$y_3 = y_2 + l \sin 2\alpha = 12,160 + 37,311 \cdot 0,219515 = 20,350 \text{ м};$$

– стрелочного перевода 4

$$x_4 = x_3 + l \cos \alpha = 71,675 + 37,311 \cdot 0,993884 = 108,758 \text{ м};$$

$$y_4 = y_3 + l \sin \alpha = 20,350 + 37,311 \cdot 0,110433 = 24,470 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B₁

$$x_{B_1} = L_1 = x_4 + e \operatorname{ctg} \alpha = 108,758 + 5,300 \cdot 8,999877 = 156,457 \text{ м};$$

$$y_{B_1} = y_4 + e = 24,470 + 5,300 = 29,770 \text{ м};$$

– вершины угла поворота B₂

$$x_{B_2} = x_3 + (b + f_2 + T_2) \cos 2\alpha.$$

Величина вставки f_2 определяется следующим образом:

$$f_2 = \frac{2e + (a + d_1 + b) \sin \alpha}{\sin 2\alpha} - (b + T_2) = \frac{2e + l \sin \alpha}{\sin 2\alpha} - (b + T_2).$$

Подставляя значение, получим

$$\begin{aligned} x_{B_2} &= x_3 + (b + f_2 + T_2) \cos 2\alpha = x_3 + \left(b + \left(\frac{2e + l \sin \alpha}{\sin 2\alpha} - (b + T_2) \right) + T_2 \right) \cos 2\alpha = \\ &= x_3 + \frac{2e + l \sin \alpha}{\sin 2\alpha} \cos 2\alpha = x_3 + (2e + l \sin \alpha) \operatorname{ctg} 2\alpha; \end{aligned}$$

$$x_{B_2} = 71,675 + (2 \cdot 5,300 + 37,311 \cdot 0,110433) \cdot 4,444382 = 88,505;$$

$$y_{B_2} = y_{B_1} + e = 29,770 + 5,300 = 35,070 .$$

Абсцисса вершины угла поворота B_3

$$x_{B_3} = x_2 + (b + f_3 + T_3) \cos 3\alpha .$$

Величина вставки

$$f_3 = \frac{3e + l \sin \alpha + l \sin 2\alpha}{\sin 3\alpha} - (b + T_3).$$

Тогда получим

$$\begin{aligned} x_{B_3} &= x_2 + (b + f_3 + T_3) \cos 3\alpha = \\ &= x_2 + \left(b + \left(\frac{3e + l \sin \alpha + l \sin 2\alpha}{\sin 3\alpha} - (b + T_3) \right) + T_3 \right) \cos 3\alpha = \\ &= x_2 + \frac{3e + l(\sin \alpha + \sin 2\alpha)}{\sin 3\alpha} \cos 3\alpha = x_2 + (3e + l(\sin \alpha + \sin 2\alpha)) \operatorname{ctg} 3\alpha; \end{aligned}$$

$$x_{B_3} = 35,274 + (3 \cdot 5,300 + 37,311(0,110433 + 0,219515)) \cdot 2,900784 = 117,108 \text{ м};$$

$$y_{B_3} = y_{B_2} + e = 35,070 + 5,300 = 40,370 \text{ м}.$$

Абсцисса вершины угла поворота B_4

$$x_{B_4} = (b + f_4 + T_4) \cos 4\alpha .$$

Величина, м, вставки f_4 равна

$$f_4 = \frac{4e + l \sin \alpha + l \sin 2\alpha + l \sin 3\alpha}{\sin 4\alpha} - (b + T_4).$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} x_{B_4} &= (b + f_4 + T_4) \cos 4\alpha = \\ &= \left(b + \left(\frac{4e + l \sin \alpha + l \sin 2\alpha + l \sin 3\alpha}{\sin 4\alpha} - (b + T_4) \right) + T_4 \right) \cos 4\alpha = \\ &= \frac{4e + l(\sin \alpha + \sin 2\alpha + \sin 3\alpha)}{\sin 4\alpha} \cos 4\alpha = \\ &= (4e + l(\sin \alpha + \sin 2\alpha + \sin 3\alpha)) \operatorname{ctg} 4\alpha; \\ x_{B_4} &= \frac{4 \cdot 5,300 + 37,311(0,110433 + 0,219515 + 0,325912)}{0,474003} = 96,351 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$y_{B_4} = y_{B_3} + e = 40,370 + 5,300 = 45,670 \text{ м.}$$

Определим численные значения прямых вставок f_1, f_2, f_3, f_4 :

– для пути 1

$$f_1 = \frac{e}{\sin\alpha} - (b + T_1) = \frac{5,300}{0,110433} - (15,602 + 11,077) = 21,314 \text{ м;}$$

– для пути 2

$$\begin{aligned} f_2 &= \frac{2e + l\sin\alpha}{\sin 2\alpha} - (b + T_2) = \\ &= \frac{2 \cdot 5,300 + 37,311 \cdot 0,110433}{0,219515} - (15,602 + 22,223) = 29,234 \text{ м;} \end{aligned}$$

– для пути 3

$$\begin{aligned} f_3 &= \frac{3e + l(\sin\alpha + \sin 2\alpha)}{\sin 3\alpha} - (b + T_3) = \\ &= \frac{3 \cdot 5,300 + 37,311 \cdot (0,110433 + 0,219515)}{0,325912} - (15,602 + 33,506) = 37,451 \text{ м;} \end{aligned}$$

– для пути 4

$$\begin{aligned} f_4 &= \frac{4e + l(\sin\alpha + \sin 2\alpha + \sin 3\alpha)}{\sin 4\alpha} - (b + T_4) = \\ &= \frac{4 \cdot 5,300 + 37,311 \cdot (0,110433 + 0,219515 + 0,325912)}{0,428322} - \\ &\quad - (15,602 + 45,001) = 46,024 \text{ м.} \end{aligned}$$

Проведем проверку условия $f_{\text{п}} \geq p$ (при $p = 8,060$ м) для пути 1, поскольку длина вставки f_1 имеет наименьшее значение,

$$f_1 = \frac{e}{\sin\alpha} - b - T_1 = \frac{5,300}{0,110433} - 15,602 - 11,077 = 21,314 > 8,060 \text{ м.}$$

Полная длина стрелочной улицы (проекция на ось x)

$$L = a \cos 4\alpha + L_1 + T_1 = 15,459 \cdot 0,903626 + 156,457 + 11,077 = 181,504 \text{ м.}$$

Пример 1.37. Определить параметры концентрической вверной улицы (рисунок 1.40). Стрелочные переводы марки 1/9, тип рельсов Р50. Радиусы сопрягающих кривых $R = 200$ м. Расстояние между осями путей $e = 5,30$ м.

Решение. Радиус сопрягающей кривой, м, каждого последующего пути возрастает по сравнению с радиусом предыдущего на величину междупутья, т. е.

$$R_2 = R_1 + e; \quad R_3 = R_1 + 2e; \quad R_4 = R_1 + 3e; \quad R_5 = R_1 + 4e.$$

Определим тангенсы углов поворота:

$$T_1 = R_1 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \operatorname{tg} \frac{6,340278^\circ}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,077 \text{ м};$$

$$T_2 = R_2 \operatorname{tg} \frac{2\alpha}{2} = (200 + 5,30) \operatorname{tg} 6,340278^\circ = 205,3 \cdot 0,111113 = 22,811 \text{ м};$$

$$T_3 = R_3 \operatorname{tg} \frac{3\alpha}{2} = (200 + 2 \cdot 5,30) \operatorname{tg} \frac{3 \cdot 6,340278^\circ}{2} = 210,6 \cdot 0,167529 = 35,282 \text{ м};$$

$$\begin{aligned} T_4 &= R_4 \operatorname{tg} \frac{4\alpha}{2} = (200 + 3 \cdot 5,30) \operatorname{tg} (2 \cdot 6,340278^\circ) = \\ &= 215,9 \cdot 0,225003 = 48,578 \text{ м}. \end{aligned}$$

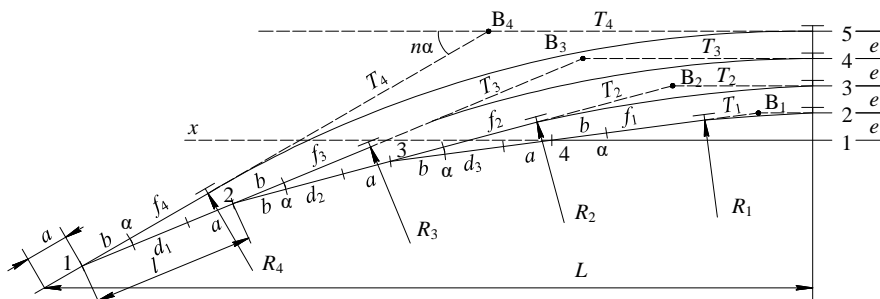


Рисунок 1.40 – Концентрическая всерная улица

Длины кривых

$$K_1 = \frac{\pi}{180} R_1 \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot 200 \cdot 6,340278^\circ = 22,131 \text{ м};$$

$$K_2 = \frac{\pi}{180} R_2 \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot (200 + 5,30) \cdot 6,340278^\circ = 22,718 \text{ м};$$

$$K_3 = \frac{\pi}{180} R_3 \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot (200 + 5,30 + 5,30) \cdot 6,340278^\circ = 23,304 \text{ м};$$

$$K_4 = \frac{\pi}{180} R_4 \alpha^\circ = \frac{3,14159}{180} \cdot (200 + 3 \cdot 5,30) \cdot 6,340278^\circ = 23,891 \text{ м}.$$

Значения размеров стрелочных переводов принимаются согласно [1, таблица 19]. Для перевода марки 1/9 основные параметры: $a = 15,459$ м; $b = 15,602$ м.

Расстояния между центрами стрелочных переводов $l = b + d + a$. При $d = 6,25$ м

$$l = b + d + a = 15,602 + 6,25 + 15,459 = 37,311 \text{ м.}$$

Координаты вершин углов поворота и стрелочных переводов:

– стрелочного перевода 2

$$x_2 = l \cos 3\alpha = 37,311 \cdot 0,945400 = 35,274 \text{ м;}$$

$$y_2 = l \sin 3\alpha = 37,311 \cdot 0,325912 = 12,160 \text{ м;}$$

– стрелочного перевода 3

$$x_3 = x_2 + l \cos 2\alpha = 35,274 + 37,311 \cdot 0,975609 = 71,675 \text{ м;}$$

$$y_3 = y_2 + l \sin 2\alpha = 12,160 + 37,311 \cdot 0,219515 = 20,350 \text{ м;}$$

– стрелочного перевода 4

$$x_4 = x_3 + l \cos \alpha = 71,675 + 37,311 \cdot 0,993884 = 108,758 \text{ м;}$$

$$y_4 = y_3 + l \sin \alpha = 20,350 + 37,311 \cdot 0,110433 = 24,470 \text{ м;}$$

– вершины угла поворота B_1

$$x_{B_1} = x_4 + e \operatorname{ctg} \alpha = 108,758 + 5,30 \cdot 8,999877 = 156,458 \text{ м;}$$

$$y_{B_1} = y_4 + e = 24,470 + 5,300 = 29,770 \text{ м;}$$

– вершины угла поворота B_2

$$x_{B_2} = x_3 + (b + f_2 + T_2) \cos 2\alpha.$$

Величина вставки f_2 для пути 3 определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} f_2 &= \frac{2e + (a + d_3 + b) \sin \alpha}{\sin 2\alpha} - (b + T_2) = \frac{2e + l \sin \alpha}{\sin 2\alpha} - (b + T_2) = \\ &= \frac{2 \cdot 5,300 + 37,311 \cdot 0,110433}{0,219515} - (15,602 + 22,811) = 28,646 \text{ м.} \end{aligned}$$

Таким образом,

$$x_{B_2} = 71,675 + (15,602 + 28,646 + 22,811) \cdot 0,975609 = 137,098 \text{ м;}$$

$$y_{B_2} = y_{B_1} + e = 29,770 + 5,300 = 35,070 \text{ м.}$$

Абсцисса вершины угла поворота B_3

$$x_{B_3} = x_2 + (b + f_3 + T_3) \cos 3\alpha;$$

$$f_3 = \frac{3e + l \sin \alpha + l \sin 2\alpha}{\sin 3\alpha} - (b + T_3) =$$

$$= \frac{3 \cdot 5,300 + 37,311(0,110433 + 0,219515)}{0,325912} - (15,602 + 35,282) = 35,675 \text{ м};$$

$$x_{B_3} = 35,274 + (15,602 + 35,675 + 35,282) \cdot 0,945400 = 117,107 \text{ м};$$

$$y_{B_3} = y_{B_2} + e = 35,070 + 5,300 = 40,370 \text{ м}.$$

Координаты вершины угла поворота B_4

$$x_{B_4} = (b + f_4 + T_4) \cos 4\alpha;$$

$$f_4 = \frac{4e + l \sin \alpha + l \sin 2\alpha + l \sin 3\alpha}{\sin 4\alpha} - (b + T_4) =$$

$$= \frac{4 \cdot 5,300 + 37,311(0,110433 + 0,219515 + 0,325912)}{0,428322} -$$

$$- (15,602 + 48,578) = 42,447 \text{ м};$$

$$x_{B_4} = (15,602 + 42,447 + 48,578) \cdot 0,903626 = 96,351 \text{ м};$$

$$y_{B_4} = y_{B_3} + e = 40,370 + 5,300 = 45,670 \text{ м}.$$

Проведем проверку условия $f_{\Pi} \geq p$ (при $p = 8,060$ м) для пути 1, поскольку длина вставки f_1 имеет наименьшее значение

$$f_1 = \frac{e}{\sin \alpha} - b - T_1 = \frac{5,300}{0,110433} - 15,602 - 11,077 = 21,314 > 8,060 \text{ м}.$$

Полная длина стрелочной улицы (проекция на ось x)

$$L = a \cos 4\alpha + x_{B_1} + T_1 = 15,459 \cdot 0,903626 + 156,458 + 11,077 = 181,504 \text{ м}.$$

1.4 Параллельное смещение и сплетение путей

Пример 1.38. Для перехода от расстояния между осями смежных путей $e_1 = 6,50$ м к $e_2 = 7,50$ м рассчитаем параллельное смещение одного из них на 1 м (рисунок 1.41). Радиус сопрягающей кривой $R = 600$ м. Прямая вставка между концами круговых кривых $d = 50$ м. Переходные кривые не устраиваются.

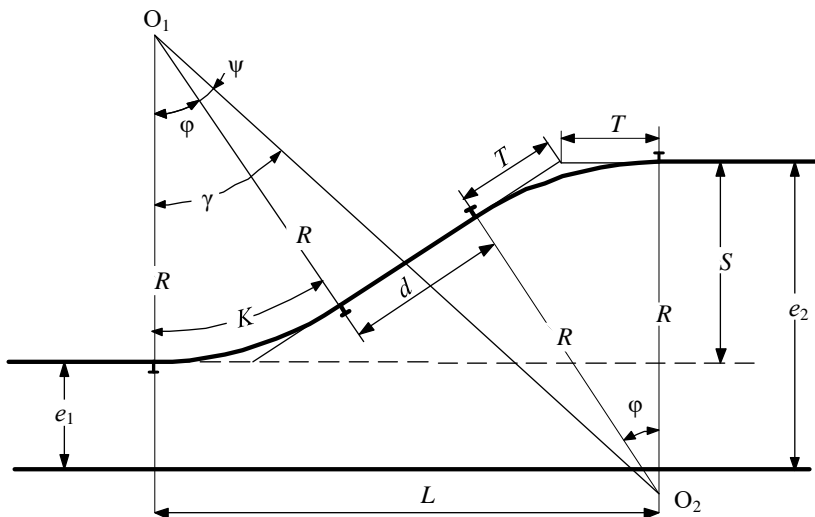


Рисунок 1.41 – Схема параллельного смещения пути без переходной кривой с прямой вставкой

Р е ш е н и е. Находим вспомогательный угол ψ

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{d}{2R} = \frac{50}{2 \cdot 600} = 0,041667;$$

$$\psi = \operatorname{arctg} 0,41667 = 2,38^\circ.$$

Угол γ определяем из рисунка 1.41. Так как проекция на вертикальную ось отрезка O_1-O_2 равна $(2R - S)$, то

$$\cos \gamma = \left(1 - \frac{S}{2R}\right) \cos \psi = \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 600}\right) \cos 2,38^\circ = 0,999167 \cdot 0,999137 = 0,998305;$$

$$\gamma = \operatorname{arccos} 0,998305 = 3,34^\circ.$$

Из рисунка 1.41 видно, что угол ϕ составляет разность между углами γ и ψ

$$\phi = 3,34^\circ - 2,38^\circ = 0,96^\circ.$$

Параметры кривых

$$K = \frac{\pi}{180} R \phi = \frac{3,14159}{180} \cdot 600 \cdot 0,96^\circ = 10,05 \text{ м};$$

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\phi}{2} = 600 \cdot \operatorname{tg} \frac{0,96^\circ}{2} = 600 \cdot 0,008378 = 5,03 \text{ м}.$$

Полная длина параллельного смещения путей без переходных кривых с прямой вставкой

$$L = 2R \cdot \sin \varphi + d \cos \varphi;$$

$$L = 2 \cdot 600 \cdot \sin 0,96^\circ + 50 \cdot \cos 0,96^\circ = 1200 \cdot 0,016754 + 50 \cdot 0,999860 = 70,10 \text{ м.}$$

Проверку правильности расчетов выполняем через уравнение

$$S - (2 \cdot T + d) \cdot \sin \varphi = 0;$$

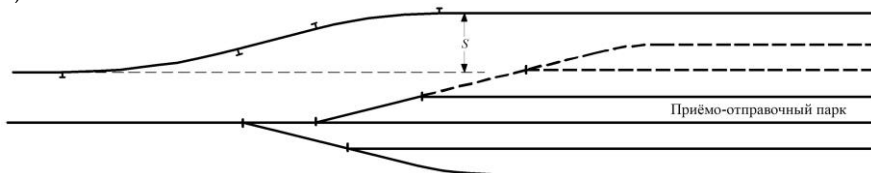
$$1,0 - (2 \cdot 5,03 + 50) \sin 0,96^\circ = 0;$$

$$1,0 - 60,06 \cdot 0,016754 = 0;$$

$$1,0 - 1,01 \approx 0.$$

Пример 1.39. Для укладки главного пути в обход развивающегося приемо-отправочного парка рассчитаем параллельное смещение пути при увеличении междупутья на $S = 10,0$ м (рисунок 1.42, а). Радиус сопрягающей кривой $R = 1200$ м. Прямая вставка между концами обратных круговых кривых $d = 75$ м. Длина переходной кривой $l = 40$ м.

а)



б)

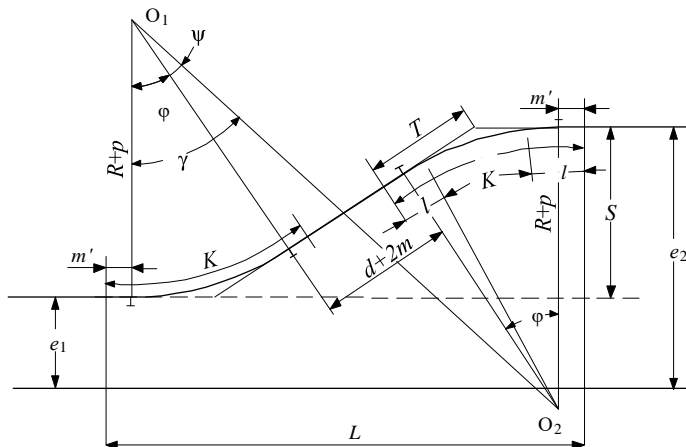


Рисунок 1.42 – Схема параллельного смещения пути с переходными кривыми и прямой вставкой:

а – общий вид в плане; б – с расчетными элементами

Решение. Для расчета полной длины параллельного смещения необходимо определить величину сдвижки p круговой кривой при устройстве переходной кривой [2]

$$p = \frac{l^2}{24R} \left[1 - \frac{l^2}{112R^2} + \frac{l^4}{21120R^4} \right];$$

$$p = \frac{40^2}{24 \cdot 1200} \left[1 - \frac{40^2}{112 \cdot 1200^2} + \frac{40^4}{21120 \cdot 1200^4} \right] = 0,06 \text{ м}$$

и приращение тангенса круговой кривой m' при устройстве переходной кривой

$$m' = \frac{l}{2} \left[1 - \frac{l^2}{120R^2} + \frac{l^4}{17280R^4} \right];$$

$$m' = \frac{40}{2} \cdot \left[1 - \frac{40^2}{120 \cdot 1200^2} + \frac{40^4}{17280 \cdot 1200^4} \right] = 20,00 \text{ м.}$$

Находим из рисунка 1.42, б вспомогательный угол ψ

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{d + 2m'}{2 \cdot (R + p)} = \frac{75 + 2 \cdot 20,00}{2 \cdot (1200 + 0,06)} = 0,047914;$$

$$\psi = \operatorname{arctg} 0,047914 = 2,74^\circ.$$

Угол γ определяем из выражения

$$\cos \gamma = \left(1 - \frac{S}{2(R + p)} \right) \cos \psi;$$

$$\cos \gamma = \left(1 - \frac{10}{2 \cdot (1200 + 0,06)} \right) \cos 2,74^\circ = 0,995834 \cdot 0,998857 = 0,994696;$$

$$\gamma = \arccos 0,994696 = 5,90^\circ.$$

Также из рисунка 1.42, б видно, что угол ϕ является разностью углов γ и ψ

$$\phi = 5,90^\circ - 2,74^\circ = 3,16^\circ.$$

Параметры круговых кривых составляют

$$K = \frac{\pi}{180} R \phi + l = \frac{3,14159}{180} \cdot 1200 \cdot 3,16^\circ + 40 = 106,18 \text{ м};$$

$$T = (R + p) \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + m' = (200 + 0,06) \cdot \operatorname{tg} \frac{3,16^\circ}{2} + 20,00 =$$

$$= 1200,06 \cdot 0,027583 + 20,00 = 53,10 \text{ м.}$$

Полная длина параллельного смещения путей при устройстве переходной кривой и прямой вставки

$$L = 2 \cdot (R + p) \sin \varphi + (d + 2m') \cos \varphi + 2m';$$

$$L = 2 \cdot (1200 + 0,06) \sin 3,16^\circ + (75 + 2 \cdot 20,00) \cos 3,16^\circ + 2 \cdot 20,00 =$$

$$= 2400,12 \cdot 0,055124 + 115 \cdot 0,998479 + 40,00 = 287,13 \text{ м.}$$

Проверка правильности расчетов

$$S - (2T + d) \sin \varphi = 0;$$

$$10,00 - (2 \cdot 53,10 + 75) \sin 3,16^\circ = 0;$$

$$10,00 - 181,20 \cdot 0,055124 = 0;$$

$$10,00 - 9,9885 \approx 0.$$

Пример 1.40. Рассчитаем сплетение путей (рисунок 1.43) колеи $S_1 = 1520$ мм и $S_2 = 1435$ мм с укладкой на подкладках с зазором $W \approx 30$ мм на прямо-отправочных путях перегрузочной станции при сквозном пропуске поездов со скоростями движения менее 140 км/ч. Тип рельсов Р50, крестовина марки 1/11 ($\alpha = 5^\circ 11' 40''$), расстояние между осями путей $e = 5,30$ м, радиусы сопрягающих кривых $R_1 = R_2 = 200$ м, расстояние от математического центра крестовины до начала кривой $h = 2,65$ м, до торца крестовины $q = 2,30$ м.

Решение. По условию задачи ширина основной колеи S_1 больше ширины вплетаемого пути S_2 , т. е. $S_1 > S_2$ (см. рисунок 1.43 б). Расстояние между рабочими гранями сближенных рельсов k_{\min} принимается по таблице 1.4 [47, таблица 4.1], которое для типа рельсов Р50 при зазоре между гранями подкладок $W \approx 30$ мм составляет $k_{\min} = 340$ мм. В случае укладки сближенных рельсов на подкладках, уложенных вплотную, необходимо из величины k_{\min} , приведенной в таблице 1.4, вычесть зазор $W \approx 30$ мм.

Расстояние между рабочими гранями вплетаемых рельсов (см. рисунок 1.43)

$$k = S_1 + k_{\min} - S_2 = 1520 + 340 - 1435 = 425 \text{ мм.}$$

Расстояние между осями путей I и II составит

$$e_{\text{см}} = k_{\min} + \frac{S_1 - S_2}{2} = 340 + \frac{1520 - 1435}{2} = 382,5 \text{ мм.}$$

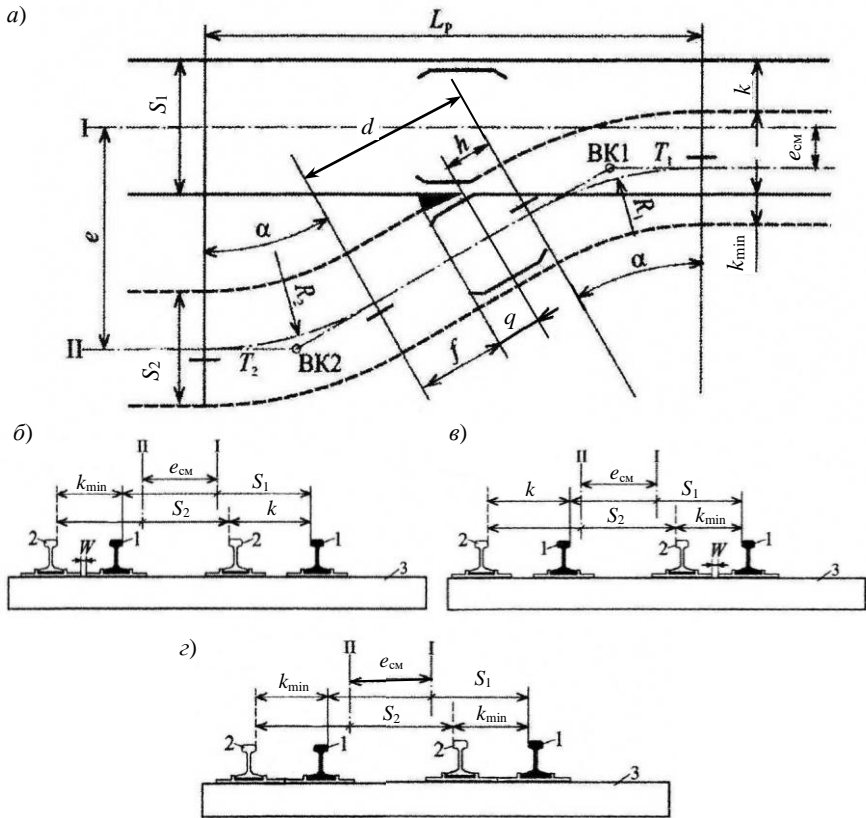


Рисунок 1.43 – Расчетная схема сплетения путей:

a – в плане; *б* – в сечении по вертикали (в рабочих гранях рельсов) при $S_1 > S_2$; *в* – то же при $S_1 < S_2$; *г* – то же при $S_1 = S_2$: 1 – рельсы основного пути; 2 – рельсы влетаемого пути; 3 – шпалы

Т а б л и ц а 1.4 – Расстояние k_{\min} между рабочими гранями сближенных рельсов

Тип рельсов	Тип подкладок	Длина подкладки, мм	k_{\min} для сближенных рельсов, мм		
			P75, P65	P50	P43
P75, P65	Д65	360	390	365	355
P50	Д50	310	365	340	330
P43	Д43	290	355	330	320

Тангенсы кривых ВК1 и ВК2

$$T_1 = T_2 = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \cdot \operatorname{tg} \frac{5,194444}{2} = 9,072 \text{ м.}$$

Расчетная длина прямого участка h_p перед крестовиной

$$h_p = \frac{S_1 - k}{\sin \alpha} \cdot 10^{-3} - T_1 = \frac{1520 - 425}{\sin 5,194444} \cdot 10^{-3} - 9,072 = 3,022 \text{ м.}$$

Полученная величина $h_p = 3,022$ м превышает конструкционную длину передней части крестовины $h = 2,65$ м, что соответствует нормам проектирования.

Длина прямого участка от хвоста крестовины до начала закрестовинной кривой равна

$$f = \frac{e - \frac{S_1}{2} \cdot 10^{-3}}{\sin \alpha} - (T_1 + q) = \frac{5,30 - \frac{1520}{2} \cdot 10^{-3}}{\sin 5,194444} - (9,072 + 2,30) = 38,773 \text{ м.}$$

Полученное значение удовлетворяет условию из [1, с. 79] при пропуске организованных поездов по прямо-отправочным путям $f \geq 12 - h - q$, т. е. $38,773 > 7,05$ м.

Расстояние между вершинами углов поворота влетаемого пути

$$L_{\text{БК1-БК2}} = \frac{e - e_{\text{см}} \cdot 10^{-3}}{\sin \alpha} = \frac{5,30 - 382,5 \cdot 10^{-3}}{\sin 5,194444} = 54,315 \text{ м,}$$

длина прямой вставки между обратными кривыми с вершинами БК1 и БК2

$$d = L_{\text{БК1-БК2}} - T_1 - T_2 = 54,315 - 9,072 - 9,072 = 36,171 \text{ м.}$$

Расчетная длина сплетения путей составит

$$L_p = L_{\text{БК1-БК2}} \cdot \cos \alpha + T_1 + T_2 = 54,315 \cdot \cos 5,194444 + 9,072 + 9,072 = 72,236 \text{ м.}$$

2 ПРИМЕНЕНИЕ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТАХ И РАЗМЕЩЕНИИ УСТРОЙСТВ

2.1 Габариты на железнодорожном транспорте

Пример 2.1. Используя габарит приближения строений *C* [5], изображенный на рисунке 2.1, определить расстояние от оси пути до устройств, расположенных с их внешней стороны:

- кирпичное здание (пост оператора поста централизации) высотой $h = 5500$ мм и шириной $b = 4000$ мм;
- пассажирская платформа высотой $h = 1100$ мм;
- опора путепровода высотой $h = 6300$ мм и шириной $b = 800$ мм;
- габаритных ворот, расположенных при выходе с пути необщего пользования.

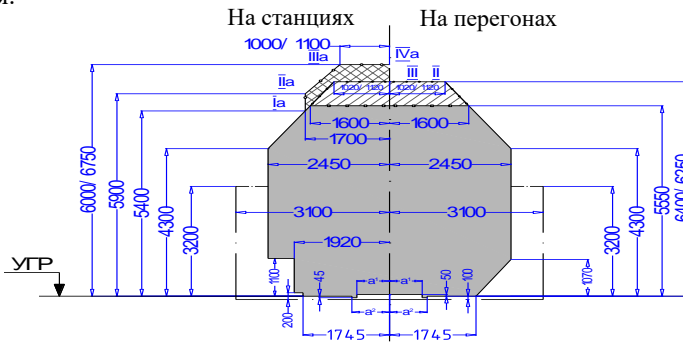


Рисунок 2.1 – Габарит приближения строений *C*

Решение. 1 Согласно габариту приближения строений *C* (см. рисунок 2.1) кирпичное здание высотой $h = 5500$ мм над уровнем головки рельсов (УГР) и шириной $b = 4000$ мм размещается на габаритном расстоянии $e' = 3100$ мм от оси пути (рисунок 2.2, *a*).

2 Край пассажирской платформы высотой $h = 1100$ мм над УГР размещается на габаритном расстоянии $e' = 1920$ мм от оси пути (рисунок 2.2, *b*).

3 Опора путепровода высотой $h = 6300$ мм над УГР и шириной $b = 800$ мм размещается на габаритном расстоянии $e' = 3100$ мм от оси пути (рисунок 2.2, *в*).

4 Габаритные ворота, предназначенные для проверки и контроля нарушения габарита *C* по высоте, при выходе с пути необщего пользования размещаются на расстоянии 2450 мм от оси пути (см. рисунок 2.2, *б*).

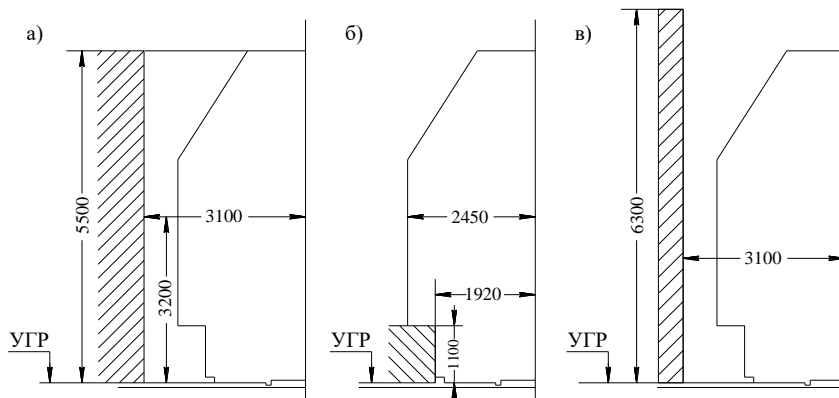


Рисунок 2.2 – Расчетная схема для определения габаритного расстояния от оси пути до устройств:
а – кирпичное здание; *б* – высокая пассажирская платформа; *в* – опора путепровода

Пример 2.2. Определить минимальное габаритное расстояние для размещения следующих устройств при расположении между путями:

а) светофор на железобетонной мачте со складной лестницей высотой более 6000 мм и шириной $b = 270$ мм;

б) карликовый сдвоенный светофор высотой не более 1100 мм и шириной $b = 660$ мм;

в) низкая пассажирская платформа высотой $h = 200$ мм и шириной $b = 4000$ мм.

Решение. Минимально допустимое расстояние между осями путей определяется по формуле

$$e_{\min} = b_y + 2e', \quad (2.1)$$

где b_y – ширина устройства перпендикулярно оси пути, мм;

e' – габаритное расстояние от оси пути до устройства, принимаемое по габариту приближения строений (см. рисунок 2.1), мм.

1 При размещении мачтового светофора шириной $b = 270$ мм между осями путей и габаритном расстоянии $e' = 2450$ мм (рисунок 2.3, *а*) минимальное расстояние между путями

$$\left(\overset{\text{MC}}{\underset{\text{min}}{\curvearrowright}} \right) = 270 + 2 \cdot 2450 = 5170 \text{ мм.}$$

2 При размещении карликового сдвоенного светофора $b = 660$ мм в междупутье и габаритном расстоянии $e' = 1920$ мм (рисунок 2.3, *б*) минимальное расстояние между осями путей

$$\left(\overset{\text{KC}}{\underset{\text{min}}{\curvearrowright}} \right) = 660 + 2 \cdot 1920 = 4500 \text{ мм.}$$

3 При размещении низкой пассажирской платформы шириной $b = 4000$ мм и габаритном расстоянии $e' = 1745$ мм (рисунок 2.3, в) минимальное расстояние между осями путей равно

$$e_{\min}^{\text{НПП}} = 4000 + 2 \cdot 1745 = 7490 \text{ мм.}$$

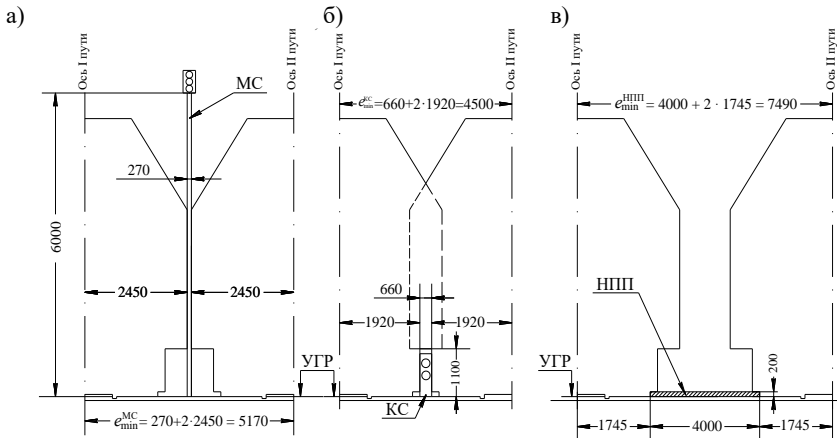


Рисунок 2.3 – Расчетная схема для определения ширины междупутья при расположении внутри:

a – светофора на железобетонной мачте со складной лестницей (МС); *б* – карликового сдвоенного светофора (КС); *в* – низкой пассажирской платформы

2.2 Нумерация путей и стрелочных переводов

Пример 2.3. Пронумеруем пути и стрелочные переводы на промежуточной станции, расположенной на однопутной линии (рисунок 2.4).

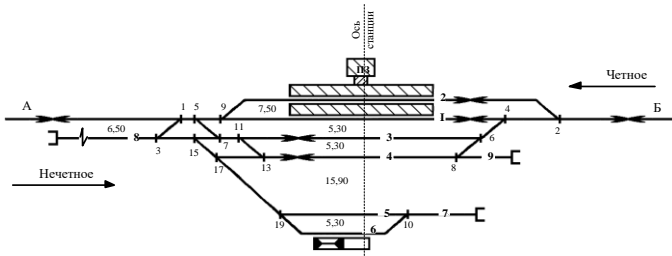


Рисунок 2.4 – Схема промежуточной станции на однопутной линии

На станции имеется шесть сквозных путей: один главный, три приемо-отправочных, один выставочный и один погрузочно-выгрузочный, а также три тупиковых пути – вытяжной и два предохранительных. Направление

движения поездов из *A* на *B* – нечетное, обратно – четное. Все приемо-отправочные пути специализируются для приема и отправления поездов обоих направлений движения.

Решение. В соответствии с правилами нумерации путей и стрелочных переводов на отдельных пунктах [4] главные пути нумеруются римскими (I, II, III и т. д.), остальные пути, включая приемо-отправочные – арабскими цифрами. На схеме (см. рисунок 2.4) главному пути присваивается номер I. Приемо-отправочные пути нумеруем по порядку вслед за номером главного пути, начиная от пассажирского здания в полевую сторону – 2, 3, 4, выставочный и погрузочно-выгрузочный пути – соответственно, номерами 5 и 6. Тупиковые пути нумеруем порядковыми номерами 7, 8, 9.

Стрелочные переводы нумеруются, начиная с входных стрелочных переводов станции: расположенные в горловине станции со стороны прибытия нечетных поездов (нечетная горловина) – порядковыми нечетными номерами (1-3, 5-7, 9, 11-13, 15-17-19), со стороны прибытия четных поездов (четная горловина) – порядковыми четными номерами (2, 4-6-8, 10).

Через тире обозначены номера съездов или стрелочных улиц.

Границей, разделяющей нечетную и четную горловину, а следовательно, и нумерацию стрелочных переводов, служит ось станции, совпадающая, как правило, с осью пассажирского здания. Спаренные стрелочные переводы (съезды), а также стрелочные переводы, входящие в одну стрелочную улицу, обозначаются последовательными номерами.

Пример 2.4. Пронумеруем пути и стрелочные переводы на промежуточной станции, расположенной на двухпутной линии (рисунок 2.5).

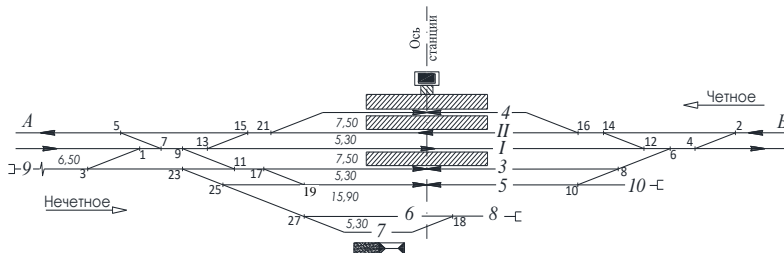


Рисунок 2.5 – Схема промежуточной станции на двухпутной линии

Количество приемо-отправочных путей и их специализация, тупиковых путей и путей, предназначенных для выполнения грузовых операций, а также направление движения поездов приняты такими же, как и в примере 2.3.

Решение. Особенность нумерации путей промежуточных станций и обгонных пунктов, расположенных на двухпутных линиях, состоит в том, что путям, предназначенным для приема преимущественно нечетных поездов, включая главные, присваиваются последовательные нечетные номера, а путям для приема четных поездов – последовательные четные номера.

Остальные станционные пути нумеруются по порядку, начиная со следующего номера, за последним номером приемо-отправочного пути.

Таким образом, на схеме станции (см. рисунок 2.5) главному пути, предназначенному для приема нечетных поездов, присваивается номер I, а приемо-отправочным, расположенным с его стороны – соответственно, номера 3 и 5. Главный путь, предназначенный для приема четных поездов, обозначается номером II, а расположенный с его стороны приемо-отправочный путь – номером 4. Остальным путям (при необходимости может быть установлен приоритет) присваиваем следующие номера: выставочному – 6, погрузочно-выгрузочному – 7, предохранительным тупикам – 8 и 10, а вытяжному – 9.

Стрелочные переводы нумеруем следующим образом: в нечетной горловине станции (со стороны прибытия нечетных поездов) присваиваем номера 1-3, 5-7, 9-11, 13-15, 17-19, 21, 23-25-27; в четной горловине номерами 2-4, 6-8-10, 12-14, 16, 18.

Пример 2.5. Пронумеруем главные, приемо-отправочные, сортировочные и пути другого назначения, а также стрелочные переводы на участковой станции, представленной на рисунке 2.6 и состоящей из двух приемо-отправочных и сортировочного парков. В центральной горловине к станции примыкает локомотивное предприятие и грузовой район.

Решение. В соответствии с правилами нумерации путей и стрелочных переводов [4] на станциях, имеющих отдельные парки, выделенные для приема и отправления поездов соответствующего направления движения, каждый парк должен иметь буквенное обозначение.

В рассматриваемом случае приемо-отправочному парку, предназначенному преимущественно для приема и отправления нечетных поездов, присваиваем обозначение ПО-I, парку для приема и отправления четных поездов – ПО-II, а сортировочному – С.

Нумерацию путей начинаем с главных (их на станции два) и перронных путей, служащих для приема и отправления пассажирских поездов. Как и в предыдущих примерах, главному пути, предназначенному для приема и отправления нечетных поездов, присваивается номер I, четных – номер II, перронному пути, расположенному со стороны II главного пути, – номер 4. Далее осуществляем нумерацию путей в парках. В парке ПО-I пути нумеруем последовательно нечетными номерами – 3, 5, 7, 9, 11, 13, в парке ПО-II – четными номерами, после номера перронного пути – 6, 8, 10, 12, 14, 16.

Пути сортировочного парка нумеруем последовательными номерами от 17 до 24 (см. рисунок 2.6, а–в).

Станционные пути, не входящие в состав парков, нумеруются последовательно, начиная со следующего номера за последним номером путей приемо-отправочных парков: вытяжные – номерами 25, 26, 27, локомотивный тупик – 28, соединительные пути – 29, 30, 31, ходовые пути, ведущие в локомотивное предприятие, – 32, 33 и пути стоянки пассажирских составов – 34, 35, 36.

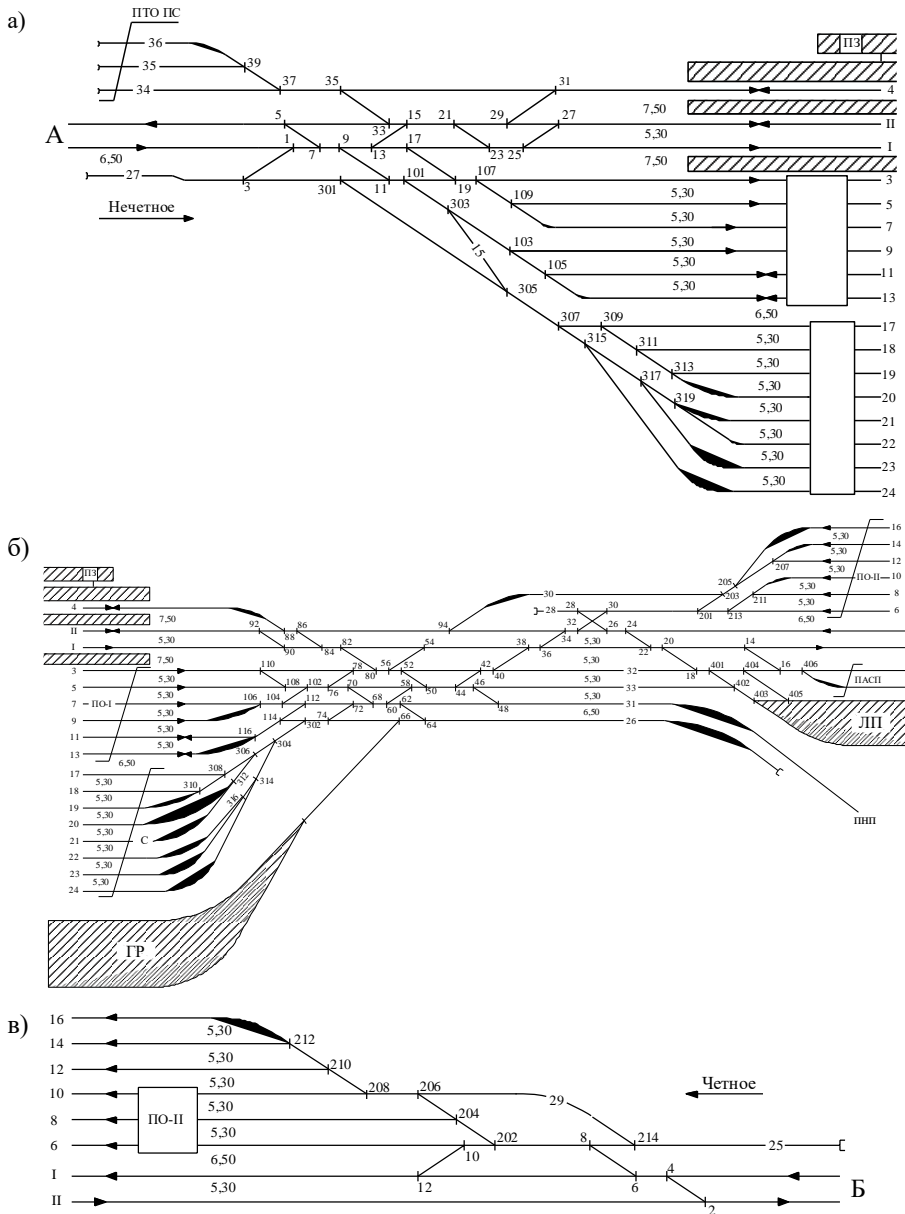


Рисунок 2.6 – Схема участковой станции продольного типа:
а – нечетная; *б* – центральная; *в* – четная горловины

Стрелочные переводы на станциях, имеющих большое путевое развитие, нумеруются следующим образом:

- стрелочные переводы, не входящие в состав парков, нумеруются последовательно нечетными или четными номерами (в зависимости от направления движения поездов) относительно оси станции (обычно ось пассажирского здания);

- стрелочные переводы, входящие в отдельные парки, – последовательными нечетными или четными номерами, начиная с входных стрелочных переводов, относительно оси парка с присвоением соответствующей сотни номеров.

В примере: стрелочным переводам, входящим в состав горловин парка ПО-I, присваивается первая сотня, ПО-II – вторая сотня и парка С – третья сотня (см. рисунок 2.6). Стрелочным переводам, расположенным на путях локомотивного предприятия, присваивается четвертая сотня, а нумерация осуществляется последовательными номерами (401, 402, 403 и т. д.).

2.3 Размещение предельных столбиков, сигналов, изолирующих стыков и опор контактной сети*

Пример 2.6. Определим расстояние от центра стрелочного перевода марки $1/9$ до предельного столбика и светофора на железобетонной мачте с одной головкой и складной лестницей, расположенные между прямыми расходящимися путями (рисунок 2.7).

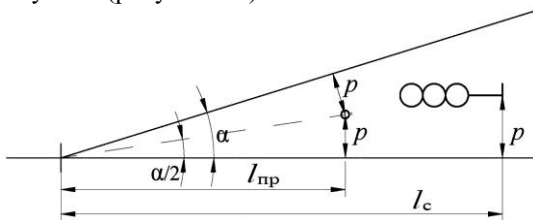


Рисунок 2.7 – Схема установки предельного столбика и светофора при прямых расходящихся путях

Решение. Расстояние от центра стрелочного перевода до предельного столбика или сигнала при заданных условиях их размещения определяется по формуле

$$l = \frac{p}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = p \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (2.2)$$

* Примеры 2.9–2.12 разработаны с участием инж. Д. В. Сергалеса.

где p – половина минимального расстояния между осями путей на прямом участке, допускаемого при размещении в междупутье предельных столбиков и сигналов.

Принимается для предельного столбика $p = 4100 / 2 = 2050$ мм = 2,05 м, для сигналов минимальное расстояние между осями путей на прямом участке определяется по таблице 2.1.

Т а б л и ц а 2.1 – Минимальное расстояние между осями смежных прямых участков путей для установки между ними сигналов (e_{\min})

В миллиметрах

Наименование сигналов	Наименьшее междупутье
Светофоры на железобетонных мачтах: с одной головкой (одним маршрутным указателем, щитом) и складной лестницей	5170
с двумя головками или одной головкой и маршрутным указателем и наклонной лестницей	5200
Светофоры на металлических мачтах: без лестниц или со складными лестницами	5040
с наклонными лестницами	5200
Светофоры карликовые: одиночные	4200
сдвоенные	4500
<i>Примечание</i> – В кривых участках путей эти расстояния увеличиваются в соответствии с проектными нормами (указания по применению габарита ПС).	

Для предельного столбика

$$l_{\text{пр}} = p \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 2,05 \cdot 18,05515 = 37,01 \text{ м.}$$

Для мачтового светофора

$$l_{\text{пр}} = p \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \frac{5,170}{2} \cdot 18,05515 = 46,67 \text{ м.}$$

Пример 2.7. Определим расстояние от центра стрелочного перевода марки $1/11$ до предельного столбика и светофора на металлической мачте со складной лестницей, расположенных в пределах кривой бокового расходящегося пути (рисунок 2.8). Радиус кривой $R = 300$ м, ширина междупутья $e = 5,3$ м.

Решение. В рассматриваемом случае $\beta < \alpha$, а $e > 2p + \Delta$, тогда из рисунка 2.8 находим

$$l_{\text{пр}} = e \operatorname{ctg} \alpha + T - (R - e + p) \operatorname{tg} \beta; \quad (2.3)$$

$$\cos \beta = \frac{R - e + p}{R - p - \Delta}, \quad (2.4)$$

где T – тангенс кривой бокового пути,

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 300 \cdot 0,05361 = 13,61 \text{ м};$$

Δ – увеличение горизонтальных расстояний в кривых до сооружений и устройств (предельных столбиков, опор различного назначения), мм.

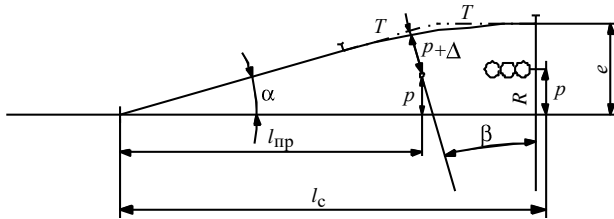


Рисунок 2.8 – Схема установки предельного столбика и светофора при расходящихся путях с отдаляющейся кривой

Руководствуясь указаниями по применению габарита [5], величину Δ принимаем для условий размещения устройств с внутренней стороны кривой при $R = 300$ м равной 120 мм.

Определяя расстояние от центра стрелочного перевода до предельного столбика, находим

$$\cos \beta = \frac{300 - 5,3 + 2,05}{300 - 2,05 - 0,12} = 0,996374;$$

$$\beta = 4^{\circ}52'50''; \operatorname{tg} \beta = 0,085388;$$

$$l_{\text{пр}} = 5,3 \cdot 10,99997 + 13,61 - (300 - 5,30 + 2,05) \cdot 0,085388 = 46,57 \text{ м.}$$

Расстояние от центра стрелочного перевода до светофора на металлической мачте определяем следующим образом

По таблице 2.1 устанавливаем величину e_{\min} , которая равна 5040 мм.

Следовательно, $p = 5040 / 2000 = 2,52$ м. Тогда

$$\cos \beta = \frac{300 - 5,3 + 2,52}{300 - 2,52 - 0,12} = 0,999529;$$

$$\beta = 1^{\circ}45'31''; \operatorname{tg} \beta = 0,030695;$$

$$l_c = 5,3 \cdot 10,99997 + 13,61 - (300 - 5,30 + 2,52) \cdot 0,030695 = 62,79 \text{ м.}$$

Пример 2.8. Предельный столбик и одиночный карликовый светофор необходимо установить между расходящимися с кривой путями (рисунок 2.9). Марка крестовины стрелочного перевода $1/9$, радиус закрестовинной кривой $R = 200$ м.

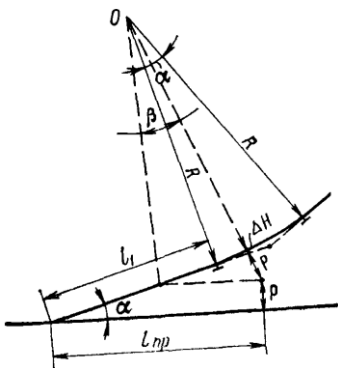


Рисунок 2.9 – Схема установки предельного столбика и светофора при расходящихся путях с кривой, направленной в сторону от прямого пути

Решение. Из рисунка 2.9 находим

$$l_{np} = l_1 \cos \alpha - R \sin \alpha + (R + p + \Delta_n) \sin \beta; \quad (2.5)$$

Величину $\sin \beta$ определяем через $\cos \beta$:

$$\cos \beta = \frac{R \cos \alpha + l_1 \sin \alpha - p}{R + p + \Delta_n}. \quad (2.6)$$

В соответствии с указаниями по применению габарита [5] при $R = 200$ м $\Delta_n = 0,18$ м.

Тогда для схемы установки предельного столбика

$$l_1 = 24 \text{ м [2, таблица 16];}$$

$$\cos \beta = \frac{200 \cdot 0,993884 + 24 \cdot 0,110433 - 2,05}{200 + 2,05 + 0,18} = 0,985893;$$

$$\sin \beta = 0,167377;$$

$$l_{np} = 24 \cdot 0,993884 - 200 \cdot 0,110433 + (200 + 2,05 + 0,18) \cdot 0,167377 = 35,62 \text{ м.}$$

Для схемы установки одиночного карликового светофора с учетом данных таблицы 2.1

$$p = 4200 / 2 = 2100 \text{ мм} = 2,10 \text{ м;}$$

$$\cos \beta = \frac{200 \cdot 0,993884 + 24 \cdot 0,110433 - 2,10}{200 + 2,10 + 0,18} = 0,985402;$$

$$\sin \beta = 0,170241;$$

$$l_c = 24 \cdot 0,993884 - 200 \cdot 0,110433 + (200 + 2,10 + 0,18) \cdot 0,170241 = 36,20 \text{ м.}$$

Пример 2.9. Определить расстояние от начала острьяков до изолирующих стыков (рисунок 2.10), используя расчетные данные примера 2.7.

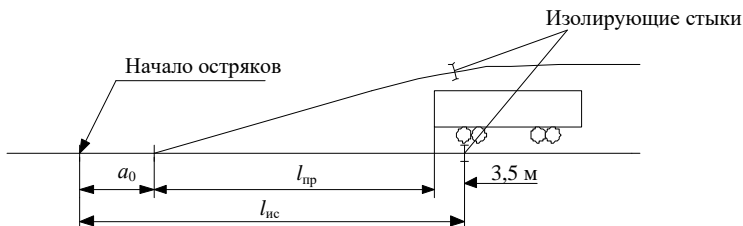


Рисунок 2.10 – Схема размещения изолирующих стыков

Решение. Расстояние от начала острьяков до изолирующих стыков определяется по формуле

$$l_{ис} = l_{пр} + a_0 + 3,5, \quad (2.7)$$

где 3,5 – минимально допустимое расстояние от предельного столбика до изолирующего стыка, определяемое как расстояние от колесной пары до вертикальной оси автосцепки, м.

В примере 2.7 получено $l_{пр} = 46,57$ м, a_0 для стрелочного перевода марки $1/11$ и типа рельсов Р65 равно 11,294 (см. таблицу 1.1), тогда

$$l_{ис} = 46,57 + 11,294 + 3,5 = 61,394 \text{ м.}$$

Пример 2.10. На схеме промежуточной станции, расположенной на двухпутном участке (см. рисунок 2.5), определим местоположение входных, выходных и маневровых светофоров (с приемо-отправочных, вытяжного путей и путей грузового района). Главные пути уложены рельсами типа Р65, остальные станционные пути – Р50. Стрелочные переводы 5-7, 9-11, 17-19, 21, 2-4, 6-8-10, 12-14, 16 – марки $1/11$, остальные – марки $1/9$. Радиусы закрестовинных кривых при стрелочных переводах марки $1/11$ – 300 м, $1/9$ – 200 м. Пути, за исключением погрузочно-выгрузочных, оборудованы рельсовыми электрическими цепями. Тяга тепловозная.

Решение. Все сигналы устанавливаются с правой стороны железнодорожного пути по направлению движения. Входные светофоры, выходные светофоры с главных и приемо-отправочных путей, по которым может осуществляться безостановочный пропуск поездов, как правило, должны быть мачтовыми. В остальных случаях (нет достаточных габаритных расстояний, отсутствует сквозной пропуск поездов и др.) могут устанавливаться карликовые одиночные или сдвоенные светофоры [2].

На заданной схеме промежуточной станции (рисунок 2.11) в нечетной горловине входной светофор с I главного пути при тепловозной тяге следует установить на удалении ($l_{вх}$) не менее 50 метров от предельного столбика пошерстного стрелочного перевода № 1, в междупутье между I и 9 (вытяж-

ным) путями. С учетом расстояния от центра стрелочного перевода до предельного столбика [1] $L'_c = 50 + l_{пр} = 50 + 46,81 = 96,81$ м.

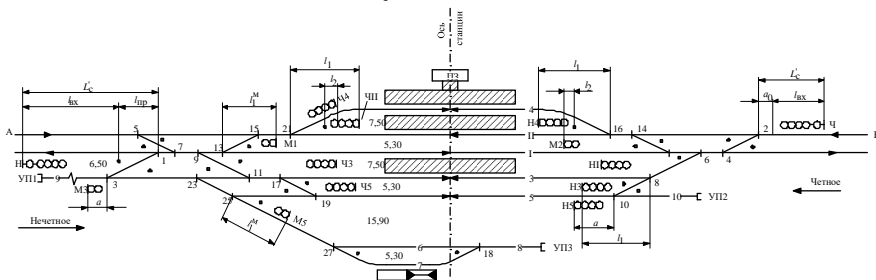


Рисунок 2.11 – Схема размещения сигналов на станции

Входной светофор в четной горловине со II главного пути должен находиться от входного противошерстного стрелочного перевода № 2 не ближе $l_{вх} + a_0$, т. е. $L''_c = 50 + a_0 = 50 + 11,294 = 61,294$ м.

Выходные светофоры размещаются в соответствии со специализацией главных и прямо-отправочных путей по направлениям движения поездов применительно к следующим трем схемам.

1 Выходной светофор устанавливается в одном междупутье с предельным столбиком, ограничивающим длину данного пути.

Расстояние от центра стрелочного перевода до светофора l_1 в этом случае определяется в зависимости от конструкции светофора, ширины междупутья, марки крестовины стрелочного перевода и радиуса закрестовинной кривой в соответствии с [1, таблицы 40, 41].

В нечетной горловине (см. рисунок 2.11) по данной схеме следует установить выходной мачтовый светофор со II главного пути, в четной горловине – с путей 4 и 3. Так как с путей II и IV светофоры располагаются в одинаковых условиях: $e = 7,50$ м, марка крестовины $1/_{11}$, $R = 300$ м, то расстояние l_1 по [1, таблица 40] для светофора на железобетонной опоре с наклонной лестницей составит 58 м. С пути 3 при $e = 5,30$ м, марке крестовины $1/_{11}$ и $R = 300$ м расстояние $l_1 = 72$ м.

2 Выходной светофор и предельный столбик, ограничивающий длину данного пути, находятся в разных междупутьях.

В этом случае светофор устанавливается в створе с изолирующим стыком, удаленном от предельного столбика на расстояние $l_2 = 3,5$ м (см. пример 2.9). По такой схеме следует разместить выходные светофоры в нечетной горловине с путей 4 и 3, в четной – с I главного пути.

3 Выходной светофор располагается перед противошерстным стрелочным переводом.

В таком случае его устанавливают в створе с передним стыком рамного рельса, т. е. на расстоянии “а” от центра стрелочного перевода. В примере

по данной схеме в нечетной и четной горловинах станции размещаем выходные светофоры с пути 5. Причем в нечетной горловине расстояние от центра стрелочного перевода 15 марки $1/9 a = 15,459$ м, в четной – от центра стрелочного перевода 10 марки $1/11 a = 14,475$ м.

Маневровые светофоры в горловинах станции расставляются после разработки схемы изоляции станционных путей и стрелочных переводов*. Принципиально местоположение маневровых светофоров определяется аналогично выходным. В нечетной горловине с первого главного пути I и погрузочно-выгрузочных путей на вытяжной путь 9 установка одиночных карликовых маневровых светофоров осуществляется на расстоянии l_1^M от центра пошерстного стрелочного перевода: с пути I при $e = 5,30$ м и марке стрелочного перевода 13 $1/11$ по [1, таблица 42] $l_1^M = 51$ м; с погрузочно-выгрузочных путей на вытяжной путь 9 от центра стрелочного перевода марки $1/9$ при $e = 15,9$ м $l_1^M = 41$ м.

С вытяжного пути 9 перед противощерстным стрелочным переводом 3 мачтовый маневровый светофор следует установить от центра стрелочного перевода 3 марки $1/9$ на расстоянии $a = 15,459$ м.

В четной горловине маневровый светофор со II главного пути размещается на расстоянии $l_2 = 3,5$ м от предельного столбика стрелочного перевода 16.

Пример 2.11. Обозначим выходные, входные и маневровые светофоры на схеме промежуточной станции (см. рисунок 2.11).

Решение. Входные светофоры, разрешающие или запрещающие следовать поезду с перегона на станцию, обозначаются литерой, соответствующей направлению движения, Н – нечетный, Ч – четный. При примыкании в горловине двух и более подходов литеры Н и Ч внизу буквы дополняются индексом наименования подхода (например, Н_A, Н_B). На представленной схеме входные светофоры обозначаются литерами Н – в нечетной и Ч – в четной горловинах (см. рисунок 2.11).

Выходные светофоры, разрешающие или запрещающие отправление поезда со станции на перегон, также обозначаются литерой, соответствующей направлению движения, и дополняются индексом номера пути, у которого он установлен. На рисунке 2.11 в нечетной горловине выходные светофоры будут иметь следующие обозначения: с пути 4 – Ч₄, со II главного пути – Ч_{II}, с 3 и 5 путей – соответственно Ч₃ и Ч₅. В четной горловине: с пути 4 – Н₄, с I главного пути – Н_I и с путей 3 и 5 – Н₃ и Н₅.

Если на станции имеются маршрутные светофоры, разрешающие или запрещающие поезду проследовать из одного района станции в другой, то они к литере, означающей направление движения, дополняются литерой М и индексом пути, у которого он установлен.

* Изучается в курсе «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте».

Маневровые светофоры обозначаются литерой М и индексом порядкового номера в нечетной горловине – нечетного, в четной – четного.

На рисунке 2.11 маневровые светофоры в нечетной горловине обозначим: с I главного пути М₁, с вытяжного пути 9 – М₃, с погрузочно-выгрузочных путей – М₅; в четной горловине – со II главного пути – М₂.

Пример 2.12. Расставим поездные и маневровые сигналы в нечетной горловине участковой станции, приведенной на рисунке 2.6, а, при тепловозной тяге. Специализация и нумерация путей и стрелочных переводов показана на рисунке 2.12.

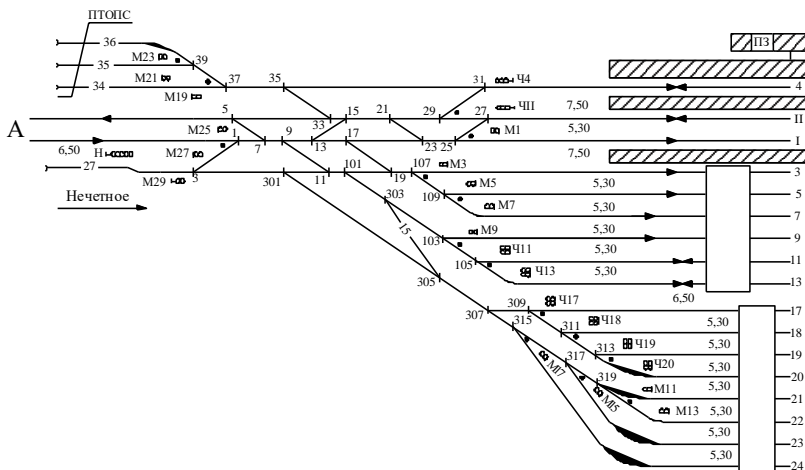


Рисунок 2.12 – Расстановка сигналов в горловине участковой станции

Решение. Руководствуясь требованиями к расстановке поездных сигналов и принятыми условными обозначениями расстояний (см. пример 2.10) входной светофор *Н* устанавливается на расстоянии $l_{вх}$ не менее 50 м от предельного столбика пошерстного стрелочного перевода 1 (см. рисунок 2.12). Выходные светофоры со II главного (ЧII) и 4-го приемо-отправочного (Ч₄) путей устанавливаются мачтовые (так как возможен безостановочный пропуск поездов по этим путям, на расстоянии) ”а” соответственно от центров стрелочных переводов 27 и 31. Выходные светофоры с путей 11 и 13, с которых предусмотрено отправление поездов, могут быть четырехзначными (сдвоенными) карликовыми. С пути 11 светофор Ч11 устанавливается на расстоянии $l_2 = 3,5$ м от предельного столбика стрелочного перевода 105 (сигнал и предельный столбик расположены в разных междупутьях). С пути 13, где сигнал и предельный столбик расположены в одном междупутье, светофор Ч13 устанавливается на расстоянии l_1 . При марке стрелочного перевода $1/9$ и ширине междупутья $e = 5,30$ м $l_1 = 47$ м.

В сортировочном парке с путей, с которых предусматривается отправление поездов в четном направлении (пути 17, 18, 19 и 20) устанавливаются четырехзначные карликовые светофоры. С путей 17, 18 и 19 выходные карликовые светофоры устанавливаются на расстоянии $l_2 = 3,5$ м соответственно от предельных столбиков стрелочных переводов 309, 311 и 313. С пути 20 – на расстоянии $l_1 = 47$ м от центра стрелочного перевода.

С приемо-отправочных и сортировочных путей, с которых не предусмотрено отправление поездов, и путей 34, 35, 36 ПТОПС устанавливаются одиночные карликовые маневровые светофоры. С I главного и 7-го приемо-отправочного путей, а также путей 22, 23, 24 и 36 маневровые светофоры соответственно $M_1, M_7, M_{13}, M_{15}, M_{17}$ и M_{23} устанавливаются на расстоянии l^M от соответствующего центра стрелочного перевода, принимаемого по таблице 42 [1].

С путей 3, 5, 9, 21, 34 и 35 маневровые сигналы $M_3, M_5, M_9, M_{11}, M_{19}$ и M_{21} размещаются на расстоянии $l_2 = 3,5$ м от предельного столбика соответствующего стрелочного перевода. Со стороны перегона по II главному маневровый карликовый светофор M_{25} устанавливается на расстоянии "а" от центра стрелочного перевода 5, а по I главному пути M_{27} – на расстоянии l^M от центра стрелочного перевода 1.

С вытяжного пути 21 устанавливается мачтовый маневровый светофор M_{29} на расстоянии "а" от центра стрелочного перевода 3.

Пример 2.13. На промежуточной станции, расположенной на электрифицируемой двухпутной линии, со стороны четной ее горловины (рисунок 2.13) произведена расстановка опор контактной сети. Электрификации подлежат I и II главные, 3, 4 и 6 – приемо-отправочные пути. На главных путях уложены стрелочные переводы марки $1/_{11}$, на остальных, в том числе № 6, 8 и 20 – марки $1/_{9}$. В качестве основного типа несущих конструкций использовать жесткие поперечины для перекрытия трех – восьми путей на железобетонных конических опорах, а в случае необходимости для фиксации воздушных стрелочных переводов и контактных проводов над закрестовинной кривой – железобетонные опоры с однопутной консолью или жесткую поперечину. Скорость движения поездов на электрифицируемой линии предусматривается до 140 км/ч.

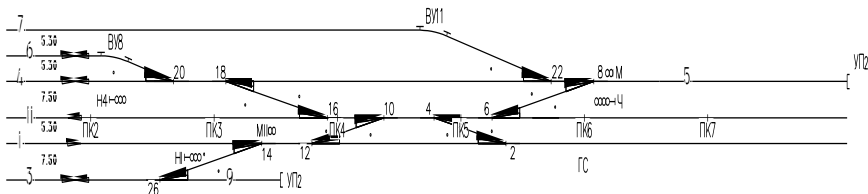


Рисунок 2.13 – Схема четной горловины промежуточной станции

Р е ш е н и е. При проектировании и сооружении контактной сети следует соблюдать нормы, установленные ГОСТ 9238–2013 «Габариты приближения

строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм» [5]. При этом должны учитываться: принятая система организации и скоростные режимы движения поездов, а также специализация станционных путей.

Расстояние от оси ближайшего пути до края опор контактной сети и фундаментов на прямых участках следует принимать не менее 3,3 м.

В зависимости от сложенных грунтов и места установки опор (в насыпи или выемке) могут применяться габаритные расстояния 3,5, 4,9 и 5,7 м.

Опоры в выемках и нулевых местах следует устанавливать вне водоотводов с полевой стороны.

При необходимости установки опор контактной сети между смежными путями междупутные расстояния должны быть при: постоянном токе – 5,35–5,40 м; переменном токе – 6,50–6,60 м.

Допустимые длины пролетов между опорами определяют с учетом типа подвески, марки, площади сечения и натяжения проводов, радиуса кривых, расчетных климатических и эксплуатационных условий. Значения наибольших ~~допустимых~~ длин пролета для различных контактных подвесок приведены в таблице 2.2 [6].

Т а б л и ц а 2.2 – Значения наибольших допустимых длин пролета для различных контактных подвесок

Место расположения контактной подвески	Максимальная длина пролета, м
<i>На прямых участках</i>	
Места сплошной застройки, лесные массивы и выемки глубиной более 7 м при скорости движения поездов, км/ч: до 160 от 161 до 200	70 65
Места, не защищенные от ветра: равнины, выемки глубиной до 7 м, насыпи высотой до 5 м в открытой местности и до 10 м в лесных массивах насыпи высотой от 5 до 10 м в открытой местности и от 10 до 25 м в лесных массивах, поймы рек, овраги насыпи, эстакады и мосты высотой более 10 м в открытой местности и более 25 м в лесных массивах	60 50 40
<i>На кривых участках</i>	
Места, не защищенные от ветра, при радиусе кривой, м: более 2000» от 1500 до 2000 » 1200 » 1500 » 1000 » 1200 » 800 » 1000 » 500 » 800 » 300 » 500 менее 300	65 60 55 50 45 40 35 30

Отклонение фактической длины пролета от проектной допускается в пределах от +1 до –2 м, а на участках со скоростью движения поездов 161–200 км/ч – не более $\pm 0,5$ м.

Смежные пролеты контактной подвески не должны быть по длине менее 25 % длины большего пролета (таблица 2.3).

Т а б л и ц а 2.3 – Допустимая разность длины смежных пролетов

Участок пути	Сокращения длины переходного пролета изолирующего сопряжения, %
Прямая	25
Кривая радиусом, м:	
более 1500	25
от 1000 до 1500	20
» 500 » 1000	15
менее 500	10

Опоры на двухпутных и многопутных участках, как правило, располагают в одном створе.

Взаимное расположение опор контактной сети и сигналов должно обеспечивать видимость последних на расстоянии, необходимом по условиям безопасности движения поездов.

При проектировании контактную сеть станций отделяют от контактной сети перегонов воздушными промежутками, размещаемыми между входным сигналом или знаком «Граница станции» и ближайшим к перегону стрелочным переводом с учетом, как правило, перспективы путевого развития.

На двухпутных и многопутных участках контактную сеть каждого главного пути выделяют в отдельные секции.

При расстановке опор контактной сети в пределах станции рекомендуется применять варианты схем перекрытия путей, представленные в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Варианты схем перекрытия путей

Вариант	Количество перекрываемых путей*	Расстояние между опорами, м
1	0-3-1	14,80–18,30
2	1-3-0	
3	1-3-1	
4	0-4-0	19,00–22,50
5	1-4-0	
6	1-4-1	
7	0-5-0	22,60–27,10
8	1-5-0	
9	1-5-1	
10	0-6-0	27,80–33,41
11	1-6-0	
12	1-6-1	

Окончание таблицы 2.4

Вариант	Количество перекрываемых путей*	Расстояние между опорами, м
13	0-7-0	33,41–38,42
14	1-7-0	
15	1-7-1	
* Первая и третья цифры обозначают количество путей, перекрываемых с помощью консолей.		

Расстановку опор на станции следует начинать с горловин, где сосредоточено наибольшее количество мест фиксации контактных проводов над стрелочными переводами и закрестовинными кривыми. Из намеченных мест фиксации производится выбор тех, где рационально установить опоры с консолями или с жесткими (гибкими) поперечинами, расстояния между которыми и будут определять длину пролетов. В первую очередь намечаются места фиксации воздушных стрелок над главными путями, где и определяется место установки первых несущих опор, а затем определяют места фиксации остальных воздушных стрелок применительно к схемам, представленным на рисунке 2.14.

Расстояние l от фиксирующего устройства до центра обыкновенного стрелочного перевода (см. рисунок 2.14, *a*) приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Расстояние l от фиксирующего устройства до центра обыкновенного стрелочного перевода

Марка крестовины стрелочного перевода	Расстояние l от фиксирующего устройства до центра перевода, м		
	рекомендуемое	допустимое	оптимальное C
$1/22$	12,5	10,5–14,5	12,5
$1/18$	10,8	8,8–12,8	11,0
$1/11$	7,5	5,5–8,5	6,0
$1/9$	6,0	4,0–7,0	5,0
$1/6$	3,5	3,0–6,0	4,0
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Расстояния C указаны для полукомпенсированных подвесок.</p> <p>2 Опоры до центра стрелочных переводов должны отстоять не менее 4–6 м в зависимости от марки крестовины.</p> <p>3 Увеличивать указанные расстояния допускается не более, чем на 1 м.</p>			

Фиксирующие устройства над перекрестным стрелочным переводом размещают напротив места пересечения осей пересекающихся путей (см. рисунок 2.14, *б*).

Над глухим пересечением путей контактные провода располагают над центром пересечения осей путей (см. рисунок 2.14, *в*).

На главных путях участков скоростного движения поездов (161–200 км/ч) воздушные стрелки должны быть, как правило, зафиксированы с помощью двух консолей при расстоянии между ними 1,2 м. При марке крестовины 1/11 оптимальное расстояние от опоры для фиксации воздушной стрелки до математического центра стрелочного перевода составит 4,5 м.

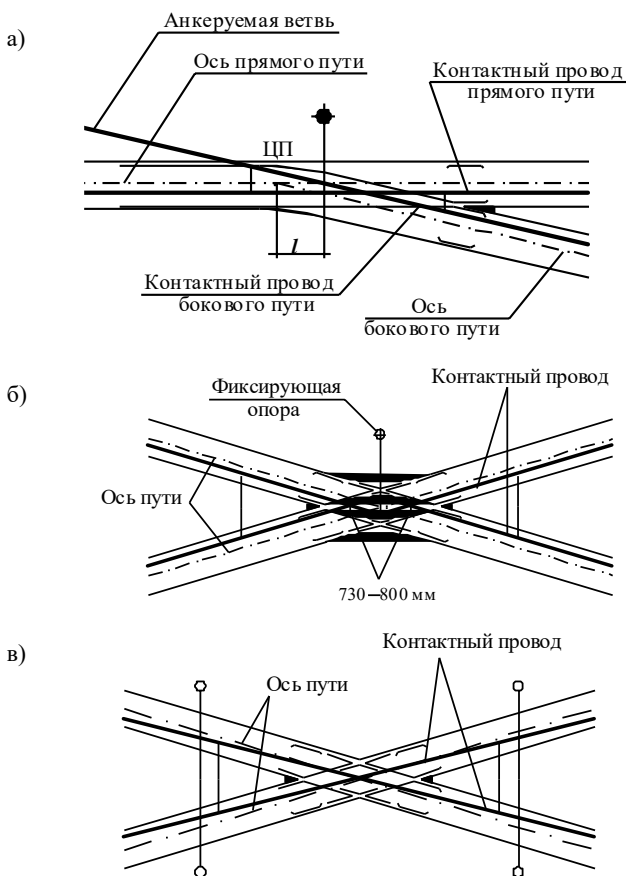


Рисунок 2.14 – Схема фиксирования воздушной стрелки:

a – на обыкновенном стрелочном переводе; *b* – на перекрестном стрелочном переводе;
c – на глухом пересечении

Руководствуясь рекомендациями, изложенными выше, расстановку опор начинаем со стрелочной горловины (I этап), так как в ней сосредоточено наибольшее количество мест фиксации проводов над стрелочными переводами и закрестовинными кривыми. В первую очередь, с соблюдением расстояний от фиксирующего устройства до центра стрелочных переводов равного для марки $1/11$ 6 м (см. таблицу 2.5) определяются места фиксации воздушных стрелок главных путей, где намечается место установки первых несущих опор. На рисунке 2.15 это опоры с жесткими поперечинами: 1 – 1' – для фиксации воздушных стрелок над стрелочными переводами 2, 6; 2 – 2' и 3 – 3' – соответственно над стрелочными переводами 4 и 10, 4 – 4' – над стрелочными переводами 12 и 16 и 5 – 5' – над стрелочным переводом 14.

Далее определяются места фиксации воздушных стрелок остальных стрелочных переводов. Так, для фиксации воздушных стрелок стрелочных переводов 16–20 устанавливаем опоры 6 – 6' с жесткими поперечинами. При этом расстояние от центра стрелочного перевода 20 марки $\frac{1}{9}$ до места фиксации воздушной стрелки равно 6 м. Для фиксации воздушной стрелки стрелочного перевода 18 размещаем опору 7 с однопутной консолью.

Для фиксации проводов над закрестовинной кривой стрелочного перевода 20 применяем жесткую поперечину, установленную на опорах 8 – 8'.

Чтобы соблюсти габаритные расстояния при размещении опор контактной сети, место их установки намечаем следующим образом:

– опоры 1 – с внешней стороны ответвления пути между стрелочным переводом 22 и ВУ11;

– опоры 2, 3, 4, 5, 6 и 7 – в широком междупутье между путем 7 и продолжением приемо-отправочного пути 4 в границах стрелочных переводов 22–20;

– опоры 1', 2', 3' и 4' – с внешней стороны I главного пути;

– опоры 5' и 6' – с внешней стороны пути 11;

– опоры 8 – 8' – соответственно с внешней стороны пути 7 и в междупутье шириной 7,5 м между путями I и 4.

Решив вопросы места установки, определяется величина пролетов между смежными поперечинами и соответствие их установленным нормам с учетом допусков. Расстояние между пролетами в пределах горловины составляет: (1 – 1') – (2 – 2') – 46,30 м, (2 – 2') – (3 – 3') – 52,63 м, (3 – 3') – (4 – 4') – 46,30 м, (4 – 4') – (5 – 5') – 52,63 м, (5 – 5') – (6 – 6') – 70,50 м и (6 – 6') – (8 – 8') – 42,70 м.

Анализируя длину пролетов между опорами, следует, что протяженность пролета между опорами (5 – 5') и (6 – 6'), превышает допустимую величину разницы между смежными пролетами на прямом участке пути (25 %). В связи с этим необходимо произвести корректировку расстановки опор контактной сети для удовлетворения требуемым нормам. Руководствуясь рекомендациями, приведенными в таблице 2.5, опоры 5 – 5' смещаем в сторону крестовины на 1,0 м (рисунок 2.16), при этом расстояние l от центра стрелочного перевода 14 до фиксирующего устройства составит 7,0 м. В результате величина пролета (5 – 5') и (6 – 6') составит 69,5 м, а пролета (4 – 4') – (5 – 5') увеличивается до величины 53,13 м. В этом случае разница длин пролетов составит 23,6 %, что удовлетворяет установленным нормам.

На следующем этапе производится расстановка опор контактной сети в сторону перегона Б и в пределах главных и приемо-отправочных путей между четной и нечетной горловинами станций. В сторону перегона Б следующая за опорами 1 – 1' длина пролета должна составлять 60,0 м. При этом разница их длин составляет 22,8 %. Последующие опоры устанавливаются через 70 м.

Для электрификации станционных путей между четной и нечетной горловинами станции опоры контактной сети на жестких поперечинах устанавливаются с длиной пролета 70 м, начиная от опор 6 – 6' в сторону нечетной горловины.

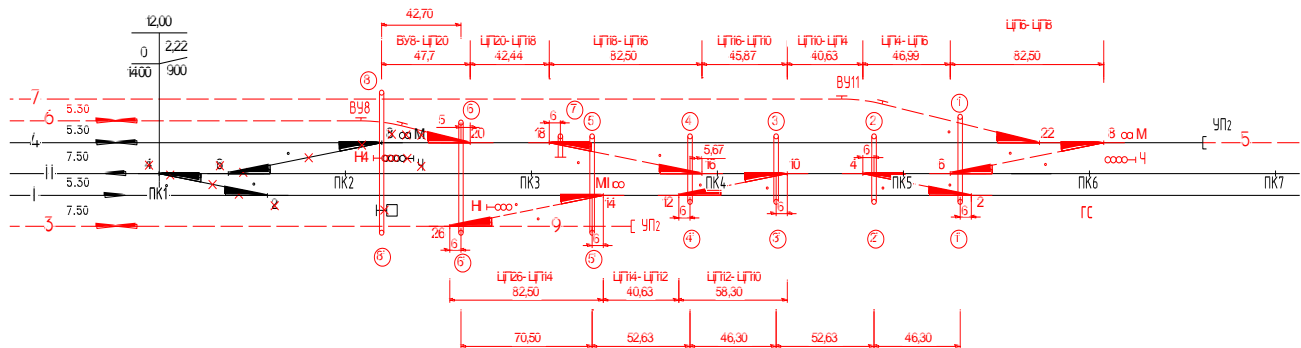


Рисунок 2.15 – I этап расстановки опор контактной сети на станции

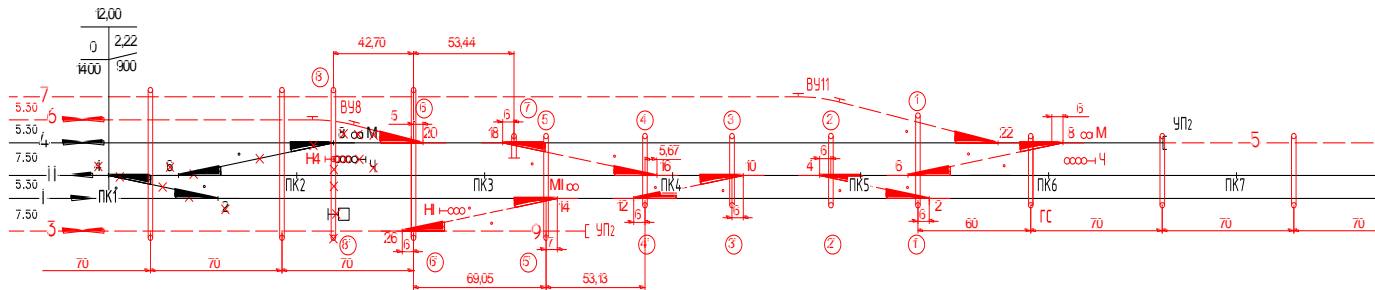


Рисунок 2.16 – II этап расстановки опор контактной сети на станции

2.4 Полная, полезная и строительная длина путей

Пример 2.14. Определим полную и полезную длину главных, станционных и путей специального назначения промежуточной станции, представленной на рисунке 2.11. Данные о проектируемом путевом развитии и стрелочных переводах использовать из примера 2.10. Координаты X базовых точек относительно оси пассажирского здания (ПЗ) приведены в таблице 2.6. Минимальная полезная длина приемо-отправочных путей – 1050 м, вытяжного пути – 525 м и предохранительных тупиков – 50 м.

Решение. Полную длину главных путей определяем (между входными сигналами или знаком «Граница станции») в зависимости от положения входных, со стороны перегонов, стрелочных переводов. Если стрелочный перевод является противошерстным, то за точку отсчета полной длины принимают передний стык рамного рельса, если пошерстный – за точку отсчета принимают торцевой стык крестовины.

На рассматриваемой промежуточной станции полная длина I пути ограничивается торцевыми стыками крестовины стрелочных переводов № 1 в нечетной горловине и № 4 – в четной. Полная длина II главного пути ограничивается передними стыками соответственно стрелочных переводов № 5, 2.

Следовательно, полная длина этих путей с учетом геометрических параметров “ a ” и “ b ” стрелочных переводов:

$$L_I = b_1 + X_{цп1} + X_{цп4} + b_4 = 15,812 + 794,489 + 778,191 + 19,304 = 1607,796 \text{ м};$$

$$L_{II} = a_5 + X_{цп5} + X_{цп2} + a_2 = 14,063 + 805,779 + 836,491 + 14,063 = 1670,396 \text{ м},$$

где $X_{цп1}$, $X_{цп2}$, $X_{цп4}$, $X_{цп5}$ – координаты соответственно центров стрелочных переводов 1, 2, 4, 5 принимают по таблице 2.6.

Полную длину сквозных путей ориентировочно составляет расстояние между центрами стрелочных переводов, ведущих из нормального положения, на данный путь. На рисунке 2.11 полная длина сквозных путей 4 и 7:

$$L'_4 = X_{цп21} + X_{цп16} = 562,049 + 592,761 = 1154,81 \text{ м};$$

$$L'_7 = X_{цп23} + X_{цп18} = 695,849 + 22,951 = 718,80 \text{ м}.$$

Схемы расчета приведены на рисунках 2.17 и 2.18.

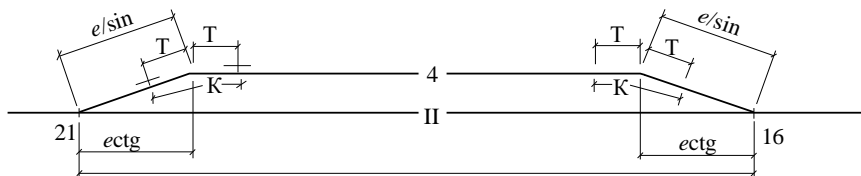


Рисунок 2.17 – Схема расчета полной длины пути № 4

Таблица 2.6 – Координаты базовых точек

X	Координаты	X	Координаты	
			Четная горловина	Нечетная горловина
534,761	Н4	1393,448	Упор ЦП3+ $+a(1/9+1)(по/2)$	
592,761	ЦП16	525,000	Ч5	
545,951	ПС16	540,459	ЦП15	
633,391	ЦП14	541,299	Ч3	
691,691	ЦП12	544,799	ПС13	
644,881	ПС12	583,819	ПС15	
641,381	Н1	588,159	ЦП13	
737,561	ЦП6	624,349	ЦП11	
655,061	ЦП8	706,849	ЦП9	
608,251	ПС8	695,849	ЦП23	
574,061	Н3	747,479	ЦП7	
596,761	ЦП10	805,779	ЦП5	
582,286	Н5	794,489	ЦП1	
643,571	ПС10	852,989	ЦП3	
665,815	Упор 2	841,299	ПС1	
778,191	ЦП4	648,149	ЦП25	
836,491	ЦП2	505,049	ЦП27	
825,001	ПС4	466,049	ПС27	
22,951	ЦП18	660,979	ЦП17	
88,410	Упор 3 $+a(1/9)+50$	614,169	ПС17	
		602,679	ЦП19	
		562,049	ЦП21	
		515,239	ПС21	
		511,739	Ч4	
		504,049	ЧП	
		16,049	ПС18	

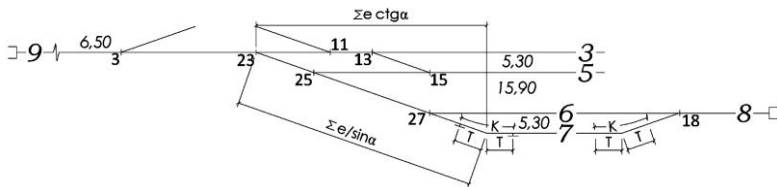


Рисунок 2.18 – Схема расчета полной длины пути № 7

Однако в таких случаях полная длина пути будет увеличиваться за счет его отклонения от пути примыкания под углом α . Тогда величина ΔL_4 , используя рисунок 2.17, при одинаковых α

$$\Delta L_4 = 2 \left[\left(\frac{e}{\sin \alpha} - e \operatorname{ctg} \alpha \right) - 2T + K \right].$$

Для заданных условий $\frac{e}{\sin \alpha} = 82,84$ м, $e \operatorname{ctg} \alpha = 82,5$ м, $T = 13,61$ м и $K = 27,20$ м, следовательно, $\Delta L_4 = 2 \cdot [(82,84 - 82,50) - 2 \cdot 13,61 + 27,20] = 0,62$ м, а полная длина пути № 4 $L_4^{\text{полн}} = L_4' + \Delta L_4 = 1154,81 + 0,62 = 1155,43$ м.

Величину ΔL_7 определяем применительно к схеме, приведенной на рисунке 2.11:

$$\Delta L_7 = \left(\frac{\sum e}{\sin \alpha} - \sum e \operatorname{ctg} \alpha \right) + \left(\frac{e}{\sin \alpha} - e \operatorname{ctg} \alpha \right) - 4T + 2K.$$

В примере $\sum e = 5,30 + 15,90 + 5,30 = 26,50$ м, марка крестовины стрелочных переводов 23 и 18 – 1/9, $T = 11,08$ м, $K = 22,13$ м. Тогда

$$\Delta L_7 = \left(\frac{26,5}{0,110433} - 26,5 \cdot 9 \right) + \left(\frac{5,3}{0,110433} - 5,3 \cdot 9 \right) - 4 \cdot 11,08 + 2 \cdot 22,13 = 1,698 \text{ м.}$$

Следовательно $L_7^{\text{полн}} = L_7' + \Delta L_7 = 718,80 + 1,698 = 720,50$ м.

Если один путь является продолжением другого, то за границу отсчета их полных длин принимают центр одного из стрелочных переводов, уложенных между ними.

Так, за границу полных длин путей 3 и 9 удобнее принять центр стрелочного перевода 23, путей 5 и 10 – центр стрелочного перевода 10, а путей 6 и 8 – центр стрелочного перевода 18. Тогда

$$L_3 = X_{\text{цн}23} + X_{\text{цн}8} = 695,849 + 655,061 = 1350,91 \text{ м;}$$

$$L_5 = X_{цп25} + X_{цп10} = 648,149 + 596,761 = 1244,91 \text{ м};$$

$$L_6 = X_{цп27} + X_{цп18} = 505,049 + 22,951 = 528,00 \text{ м}.$$

Полную длину тупиковых путей (вытяжного 9 и предохранительных тупиков 8, 10) находим от ранее установленных центров граничащих стрелочных переводов до упоров.

В рассматриваемых случаях:

$$L_8 = X_{уп3} - X_{цп18} = 88,410 - 22,951 = 65,459 \text{ м};$$

$$L_9 = X_{уп1} - X_{цп23} = 1393,448 - 695,849 = 657,599 \text{ м};$$

$$L_{10} = X_{уп2} - X_{цп10} = 665,815 - 596,761 = 69,054 \text{ м}.$$

По результатам выполненных расчетов формируем ведомость путей станции (таблица 2.7).

Длина съездов между путями определяется по центрам стрелочных переводов в зависимости от марки крестовины и ширины междупутий по формуле

$$l = e / \sin \alpha . \quad (2.8)$$

Например, длина съездов 5–7, 17–19, 12–14, 2–4, 8–10 при $e = 5,30$ м и марке крестовины $1/11$ составит $l = \frac{5,30}{0,090536} = 58,54$ м;

съездов 9–11 и 6–8 при $e = 7,50$ м и марке крестовины $1/11$ составит $l = \frac{7,50}{0,090536} = 82,84$ м;

съезда 13–15 при $e = 5,30$ м и марке крестовины $1/9$ составит $l = \frac{5,30}{0,110433} = 47,99$ м;

съезда 1–3 при $e = 6,50$ м и марке крестовины $1/9$ составит $l = \frac{6,50}{0,110433} = 58,86$ м.

Результаты расчетов заносим в таблицу 2.7.

Полезную длину станционных путей рассматривают как часть полной длины, в пределах которой может быть расположен подвижной состав, не создавая опасности для движения по смежным путям. Она может быть ограничена выходными и маневровыми светофорами, предельными столбиками, изолирующими стыками, передними стыками рамных рельсов стрелочных переводов и упорами. Для путей, предназначенных для приема и

отправления поездов в четном и нечетном направлениях, полезную длину определяют для обоих направлений движения. Полезная длина пути I, предназначенного для приема и отправления поездов нечетного направления, ограничивается выходным сигналом Н_I и предельным столбиком стрелочного перевода 17 (см. рисунок 2.11 и таблицу 2.6):

$$L_I = X_{НI} + X_{ПC17} = 641,381 + 614,169 = 1255,55 \text{ м.}$$

Полезная длина II пути

$$L_{II} = X_{ЧII} + X_{ПC16} = 504,049 + 545,951 = 1050,00 \text{ м.}$$

Полезную длину приемо-отправочных путей 4 и 3 определяем для обоих направлений, согласно их специализации для движения поездов:

$$L_4^H = X_{H4} + X_{ПC21} = 534,761 + 515,239 = 1050,00 \text{ м;}$$

$$L_4^Ч = X_{Ч4} + X_{ПC16} = 511,739 + 545,951 = 1057,69 \text{ м;}$$

$$L_3^H = X_{H3} + X_{ПC13} = 574,061 + 544,799 = 1118,86 \text{ м;}$$

$$L_3^Ч = X_{Ч3} + X_{ПC8} = 541,299 + 608,251 = 1149,55 \text{ м.}$$

Полезная длина пути 5 в обоих направлениях будет одинаковой и определяется расстоянием между светофорами Н₅–Ч₅:

$$L_5 = X_{H5} + X_{Ч5} = 582,286 + 525,00 = 1107,286 \text{ м.}$$

Полезная длина выставочного пути 6 и погрузочно-выгрузочного 7 ограничена предельными столбиками стрелочных переводов 27 и 18. Следовательно:

$$L_6 = L_7 = X_{ПC27} - X_{ПC18} = 466,049 - 16,049 = 450,00 \text{ м.}$$

Полезная длина тупиковых путей 8, 9 и 10 равна величине, принятой в исходных данных примера, а расчетные формулы имеют вид:

$$L_8 = X_{УПЗ} - X_{ЦП18} - a_{18};$$

$$L_9 = X_{УП1} - X_{ЦПЗ} - a_3;$$

$$L_{10} = X_{УП2} - X_{ПC10}.$$

Результаты вычислений заносим в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Ведомость путей станции

В метрах

Номер пути	Назначение пути	Длина пути												
		полная						всего	полезная			строительная		
		от стрелочного перевода			через стрелочный перевод	до стрелочного перевода			от светофора, предельного столбика, упора, изолирующего стыка	до светофора, предельного столбика, упора, изолирующего стыка	всего	изымаемых путей (Р65)	укладываемых путей (Р50)	
		переднего стыка	центра стрелочного перевода, упора	торцевого стыка		переднего стыка	центра стрелочного перевода, упора							торцевого стыка
I	Главный			1	7, 9, 17, 12, 6			4	1607,8	ПС17	Н1	1255,55	231,241	
II		5			19, 21, 16, 14	2			1607,4	ПС16	ЧП	1050	200,202	
4	Приемо-отправочный		21				16		1155,47	<u>ПС21</u> ПС16	<u>Н4</u> Ч4	<u>1050</u> 1057,69		1116,862
3			23		11, 13		8		1350,91	<u>ПС13</u> ПС8	<u>Н3</u> Ч3	<u>1118,86</u> 1149,55		1251,664
5			25		15		10		1244,91	Ч5	Н5	1107,29		1183,772
6	Выставочный		27				18		528	ПС27	ПС18	450		496,796
7	Погрузочно-выгрузочный		23				18		720,50	ПС27	ПС18	450		626,879
8	Предохранительный тупик		18				УПЗ		65,452	а18	Упор 3	50		50

Пример 2.15. Определим строительную длину путей промежуточной станции, представленной на рисунке 2.11. Исходные данные и результаты расчетов принять из примера 2.14.

Решение. Под строительной длиной понимаем протяженность железнодорожного пути, определяемую как разность полной длины пути и элементов стрелочных переводов, входящих в ее состав.

Строительную длину главных путей I и II соответственно находим:

$$L_I^c = L_1 - b_1 - a_1 - b_7 - a_7 - a_9 - b_9 - a_{17} - b_{17} - b_{12} - a_{12} - b_6 - a_6 - a_4 - b_4 ;$$

$$L_{II}^c = L_{II} - b_5 - a_5 - b_{19} - a_{19} - a_{21} - b_{21} - a_{16} - b_{16} - b_{14} - a_{14} - b_2 - a_2 ,$$

где a_i и b_i – элементы стрелочных переводов, входящих в состав полной длины, рассматриваемых путей.

Если учесть тип рельсов (Р65) и марку крестовины, укладываемых стрелочных переводов, то L_I^c и L_{II}^c примет вид:

$$\begin{aligned} L_I^c &= L_1 - (b_{1/9} + a_{1/9}) - 6(b_{1/11} + a_{1/11}) = \\ &= 1607,796 - (15,812 + 15,227) - 6(19,304 + 14,063) = 1376,555 \text{ м;} \end{aligned}$$

$$L_{II}^c = L_2 - 6(b_{1/11} + a_{1/11}) = 1670,396 - 200,202 = 1470,194 \text{ м.}$$

В случаях, когда главные пути существуют и на их базе проектируется новая станция, обгонный пункт или разъезд, следует учитывать протяженность изымаемых главных путей для размещения стрелочных переводов. Протяженность этих путей и будет равняться суммарной длине элементов стрелочных переводов, укладываемых в данный путь, т. е.

$$\begin{aligned} L_{II}^{M3} &= (b_{1/9} + a_{1/9}) + 6(b_{1/11} + a_{1/11}) = \\ &= 15,812 + 15,227 + 6(19,304 + 14,063) = 231,241 \text{ м;} \end{aligned}$$

$$L_{II}^{M3} = 6(b_{1/11} + a_{1/11}) = 6(14,063 + 19,304) = 200,202 \text{ м.}$$

Общая длина изымаемых путей (см. таблицу 2.7, гр. 14) составит 431,243 м.

Строительная длина:

– прямо-отправочных путей:

$$L_4^c = L_4 - 2b_{1/11} = 1155,470 - 2 \cdot 19,304 = 1116,862 \text{ м;}$$

$$\begin{aligned} L_3^c &= L_3 - 2b_{1/9} - a_{1/9} - 2b_{1/11} - a_{11} = \\ &= 1350,910 - 31,204 - 15,459 - 38,108 - 14,475 = 1251,664 \text{ м;} \end{aligned}$$

$$L_5^c = L_5 - 2b_{1/9} - a_{1/9} - a_{1/11} = 1244,910 - 31,204 - 15,459 - 14,475 = 1183,772 \text{ м;}$$

– выставочного пути 6:

$$L_6^c = L_6 - 2b_{1/9} = 528,000 - 31,204 = 496,796 \text{ м;}$$

– погрузочно-выгрузочного пути 7:

$$L_7^c = L_7 - 4b_{1/9} - 2a_{1/9} = 720,205 - 4 \cdot 15,602 - 2 \cdot 15,459 = 626,879 \text{ м};$$

– вытяжного пути 9:

$$L_9^c = L_9 - 2a_{1/9} - b_{1/9} = 697,599 - 2 \cdot 30,918 - 15,602 = 651,079 \text{ м};$$

– предохранительных тупиков 8, 10:

$$L_8^c = L_8 - a_{1/9} = 65,459 - 15,459 = 50,00 \text{ м};$$

$$L_{10}^c = L_{10} - b_{1/11} = 69,054 - 19,054 = 50,00 \text{ м}.$$

Результаты вычислений строительной длины путей заносим в таблицу 2.7. Длину укладываемых путей на съездах определяем, используя выражение:

$$L_{сд}^c = \frac{e}{\sin \alpha} - 2b, \quad (2.9)$$

где e – ширина междупутья, в котором укладывается съезд.

Строительная длина съездов 8–10, 5–7, 17–19, 14–12 и 2–4, состоящих из стрелочных переводов марки $1/11$, при $e = 5,30$ составит:

$$\text{для Р65 } L_{сд1}^c = \frac{5,30}{0,090536} - 2 \cdot 19,304 = 58,54 - 38,608 = 19,946 \text{ м},$$

$$\text{для Р50 } L_{сд2}^c = \frac{5,30}{0,090536} - 2 \cdot 19,054 = 20,432 \text{ м};$$

съездов 9–11 и 6–8 – марки $1/11$, $e = 7,50$ м и типе рельсов Р50:

$$L_{сд3}^c = \frac{7,50}{0,090536} - 19,304 - 19,054 = 44,482 \text{ м};$$

съезда 1–3 – при марке $1/9$, $e = 6,50$, Р50:

$$L_{сд4}^c = \frac{6,50}{0,110433} - (15,812 + 15,602) = 27,446 \text{ м};$$

съезда 13–15 – марки $1/9$, $e = 5,30$, Р50:

$$L_{сд5}^c = \frac{5,30}{0,110433} - 2 \cdot 15,602 = 16,786 \text{ м}.$$

Результаты вычислений заносим в графу 15 таблицы 2.7.

Суммарная строительная длина укладываемых путей представляет собой сумму графы 15 и составляет 5660,464 м.

3 ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ НОРМАТИВОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

3.1 Среднесуточные размеры работы

Пример 3.1. Определим характер и размеры предстоящей работы железнодорожного узла *Н* треугольного типа (рисунок 3.1). Основная сортировочная работа сконцентрирована на станции *1*, грузовая – на станциях *1* и *2*. В перспективе предполагается развить предузловую станцию *3*, вынеся на нее грузовую работу – обслуживание промышленного района *II*, и построить пассажирские устройства на станции *2*. Известно, что 20 % грузов будет перевозиться в восьмиосных, а 80 % – в четырехосных вагонах.

Решение. Используя планы перспективного развития отраслей экономики и города, обслуживаемого узлом, устанавливают на отчетный год и перспективные сроки размеры основных грузовых потоков в миллионах тонн (таблица 3.1). В действующей отчетности выделяют грузы: 1 – уголь; 2 – кокс; 3 – нефтепродукты; 4 – руда; 5 – металл; 6 – лес; 7 – минеральные строительные материалы; 8 – хлебные грузы; 9 – минеральные удобрения; 10 – прочие. Среднесуточное количество вагонов для каждого рода грузов

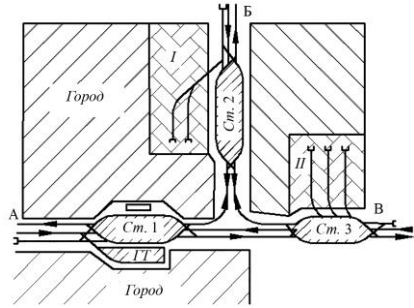


Рисунок 3.1 – Схема железнодорожного узла

$$n_i = \Gamma_i / 365 \bar{q}_i, \quad (3.1)$$

где Γ_i – годовой грузопоток (i – род груза), т
 \bar{q}_i – средняя нагрузка одного вагона, т,

$$\bar{q}_i = p_4 \alpha_{4i} \beta_{4i} + p_8 \alpha_{8i} \beta_{8i}; \quad (3.2)$$

p_4, p_8 – грузоподъемность четырех- и восьмиосных вагонов соответственно, т;
 α_{4i}, α_{8i} – коэффициент использования грузоподъемности четырех- и восьмиосных вагонов соответственно (таблица 3.2) для рода груза i ;
 β_{4i}, β_{8i} – доля участвующих в перевозках четырех- и восьмиосных вагонов соответственно.

Таблица 3.1 – Размеры грузовых потоков в расчетные годы

В миллионах тонн в год

Из	Род груза	На																Итого			
		А				Б				В				Н				Отч. год	5-й	10-й	20-й
		Отч. год	5-й	10-й	20-й	Отч. год	5-й	10-й	20-й	Отч. год	5-й	10-й	20-й	Отч. год	5-й	10-й	20-й				
А	1	–	–	–	–	–	–	–	–	4,0	4,3	4,6	5,6	–	–	–	–	4,0	4,3	4,6	5,6
	2	–	–	–	–	–	–	–	–	3,6	3,7	3,8	3,9	–	–	–	–	3,6	3,7	3,8	3,9
	3	–	–	–	–	1,7	2,0	2,3	2,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	1,9	2,3	2,8	3,1
	4	–	–	–	–	–	–	–	–	2,7	2,7	2,8	2,8	1,2	1,4	1,6	1,8	3,9	4,1	4,4	4,6
	9	–	–	–	–	1,3	1,4	1,5	1,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,1	0,1	0,2	0,2	1,8	2,0	2,3	2,5
	10	–	–	–	–	2,6	3,0	3,2	3,2	1,3	1,3	1,4	1,6	0,9	1,0	1,1	1,2	4,8	5,3	5,7	6,0
	Итого	–	–	–	–	5,6	6,4	7,0	7,3	12,1	12,7	13,5	15,0	2,3	2,6	3,1	3,4	20,0	21,7	23,6	25,7
Б	1	–	–	–	–	–	–	–	–	3,0	3,6	4,3	5,8	–	–	–	–	3,0	3,6	4,3	5,8
	2	–	–	–	–	–	–	–	–	1,9	2,1	2,4	2,6	–	–	–	–	1,9	2,1	2,4	2,6
	4	–	–	–	–	–	–	–	–	4,0	4,1	4,1	4,3	0,6	0,6	0,7	0,7	4,6	4,7	4,8	5,0
	7	1,8	1,9	2,0	2,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,8	1,9	2,0	2,1
	8	4,0	4,3	4,5	4,7	–	–	–	–	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	4,4	4,7	4,9	5,2
	10	2,7	2,9	3,0	3,2	–	–	–	–	1,5	1,6	1,7	1,8	0,1	0,1	0,2	0,2	4,3	4,6	4,9	5,2
	Итого	8,5	9,1	9,5	10,0	–	–	–	–	10,5	11,5	12,6	14,6	1,0	1,0	1,2	1,3	20,0	21,6	23,3	25,9
В	5	1,0	1,0	1,0	1,1	4,6	4,8	4,9	5,1	–	–	–	–	0,1	0,1	0,1	0,1	5,7	5,9	6,1	6,3
	7	2,3	2,3	2,4	2,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,3	2,3	2,4	2,4
	8	2,0	2,2	2,4	2,5	0,3	0,4	0,4	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	2,3	2,6	2,8	2,9
	10	4,6	4,8	4,9	5,3	1,6	1,8	2,0	2,4	–	–	–	–	0,2	0,2	0,3	0,3	6,4	6,8	7,2	8,0
		Итого	9,9	10,3	10,7	11,3	6,5	7,0	7,3	7,9	–	–	–	–	0,3	0,3	0,4	0,4	16,7	17,6	18,5
Н	1	–	–	–	–	–	–	–	–	1,8	2,0	2,4	3,0	–	–	–	–	1,8	2,0	2,4	3,0
	7	0,7	0,8	0,9	1,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,7	0,8	0,9	1,1
	8	0,2	0,2	0,3	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,2	0,2	0,3	0,3
	10	0,6	0,7	0,8	1,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	–	–	–	–	0,8	0,9	1,1	1,4
		Итого	1,5	1,7	2,0	2,5	0,1	0,1	0,2	0,2	1,9	2,1	2,5	3,1	–	–	–	–	3,5	3,9	4,7
	ВСЕГО	19,9	21,1	22,2	23,8	12,2	13,5	14,5	15,4	24,5	26,3	28,6	32,7	3,6	3,9	4,7	5,1	60,2	64,8	70,1	77,0

Таблица 3.2 – Коэффициенты использования грузоподъемности подвижного состава

Тип подвижного состава	Род груза									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Полувагоны: четырёхосные	1,00	0,65	–	1,00	0,90	0,70	0,95	–	1,00	0,50
восьмиосные	1,00	0,65	–	1,00	0,90	0,70	0,95	–	1,00	0,50
Крытые	–	–	–	–	–	0,70	0,90	0,90	1,00	0,50
Платформы	–	–	–	–	0,90	0,70	0,80	–	0,80	0,40
Цистерны	–	–	0,85	–	–	–	–	–	0,90	0,80
Изотермические	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,65
Цементовозы	–	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–

Например, для угля (груз 1) $q_i = 63 \cdot 1,0 \cdot 0,8 + 125 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 75,4$ т. Для остальных грузов q_i приведены в таблице 3.3. Среднесуточное количество вагонов для каждого рода груза на все расчетные сроки приведено в таблице 3.4. Через узел за отчетный год проходит 3268 груженых вагонов, а в перспективе – 4141 вагон.

Таблица 3.3 – Параметры использования подвижного состава

Род груза	Тип подвижного состава	Грузоподъемность*, т	Средняя нагрузка, т
1	Полувагоны	63/125	75,40
2	Полувагоны	63/125	49,01
3	Цистерны	60/120	63,24
4	Полувагоны	63/125	75,40
5	Платформы	66	59,40
6	Платформы	66	46,20
7	Полувагоны	63/125	71,63
8	Крытые	64	57,60
9	Полувагоны	63/125	75,40
10	Крытые	64	32,00

* Числитель – четырехосный вагон, знаменатель – восьмиосный.

Пример 3.2. Для условий примера 3.1 определим расчетные размеры, структуру вагоно- и поездо-потоков на 10-й год эксплуатации и перспективу, если масса состава брутто на 10-й год для направлений А–Н, Н–Б – 3800 т; Н–А, Б–Н – 3900; Н–В – 3600; В–Н – 3800 т, а в перспективе А–Н, Н–Б – 4000 т; Н–А, Б–Н – 4100 т; Н–В – 3800; В–Н – 3800 т.

Решение. Определим среднее количество груженых вагонов, проходящих через узел Н (таблица 3.5), используя данные таблицы 3.4. Количество порожних вагонов определим, учитывая равночисленный обмен ими при регулировке.

Т а б л и ц а 3.4 – Среднесуточные вагонопотоки по родам грузов на расчетные годы

В вагонах

Из	Род груза	На																Итого			
		А				Б				В				Н				Отч.	5-й	10-й	20-й
		Отч.	5-й	10-й	20-й	Отч.	5-й	10-й	20-й	Отч.	5-й	10-й	20-й	Отч.	5-й	10-й	20-й				
А	1	0	0	0	0	0	0	0	0	146	157	168	204	0	0	0	0	146	157	168	204
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	202	207	213	218	0	0	0	0	202	207	213	218
	3	0	0	0	0	74	87	100	109	5	9	13	18	5	5	9	9	84	101	122	136
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	98	98	102	102	44	51	58	66	142	149	160	168
	9	0	0	0	0	48	51	55	58	15	18	22	26	4	4	8	8	67	73	85	92
	10	0	0	0	0	223	257	274	274	112	112	120	137	77	86	94	103	412	455	488	514
	Итого	0	0	0	0	345	395	429	441	578	601	638	705	130	146	169	186	1053	1142	1236	1332
Б	1	0	0	0	0	0	0	0	0	109	131	157	211	0	0	0	0	109	131	157	211
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	107	118	134	146	0	0	0	0	107	118	134	146
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	146	149	149	157	22	22	26	26	168	171	175	183
	7	69	73	77	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	73	77	81
	8	191	205	214	224	0	0	0	0	5	5	5	5	15	15	15	19	211	225	234	248
	10	231	249	257	274	0	0	0	0	129	137	146	154	9	9	17	17	369	395	420	445
	Итого	491	527	548	579	0	0	0	0	496	540	591	673	46	46	58	62	1033	1113	1197	1314
В	5	46	46	47	51	212	222	226	236	0	0	0	0	5	5	5	5	263	273	278	292
	7	88	88	92	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	88	92	92
	8	95	105	114	119	15	19	19	19	0	0	0	0	0	0	0	0	110	124	133	138
	10	394	411	420	454	137	154	172	206	0	0	0	0	17	17	26	26	548	582	618	686
	Итого	623	650	673	716	364	395	417	461	0	0	0	0	22	22	31	31	1009	1067	1121	1208
Н	1	0	0	0	0	0	0	0	0	66	73	88	109	0	0	0	0	66	73	88	109
	7	27	31	35	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	31	35	42
	8	10	10	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	15	15
	10	52	60	69	95	9	9	17	17	9	9	9	9	0	0	0	0	70	78	95	121
	Итого	89	101	119	152	9	9	17	17	75	82	97	118	0	0	0	0	173	192	233	287
ВСЕГО	1203	1278	1340	1447	718	799	863	919	1149	1223	1326	1496	198	214	258	279	3268	3514	3787	4141	

Например, из А на В следует 638 груженых вагонов (10-й год), а из В на А – 673. Чтобы обеспечить равночисленный обмен, необходимо направить из А на В $673 - 638 = 35$ порожних вагонов. Кроме того, из А на В следует 105 порожних вагонов по регулировочному заданию. Аналогично рассчитано количество порожних вагонов для остальных направлений (таблица 3.6).

Таблица 3.5 – Среднесуточный груженный вагонопоток через узел Н

Из	На				Итого
	А	Б	В	Н	
А	0	$\frac{429}{441}$	$\frac{638}{705}$	$\frac{169}{186}$	$\frac{1236}{1332}$
Б	$\frac{548}{579}$	0	$\frac{591}{673}$	$\frac{58}{62}$	$\frac{1197}{1314}$
В	$\frac{677}{716}$	$\frac{417}{461}$	0	$\frac{31}{31}$	$\frac{1125}{1208}$
Н	$\frac{119}{157}$	$\frac{17}{17}$	$\frac{97}{118}$	0	$\frac{233}{287}$
Итого	$\frac{1344}{1447}$	$\frac{863}{919}$	$\frac{1326}{1496}$	$\frac{258}{279}$	$\frac{3791}{4141}$

Примечание – Числитель – количество вагонов на 10-й год эксплуатации, знаменатель – на 20-й год.

Таблица 3.6 – Среднесуточный порожний вагонопоток через узел Н

Из	На				Итого
	А	Б	В	Н	
А	0	$\frac{140}{160}$	$\frac{96}{140}$	0	$\frac{236}{300}$
Б	0	0	$\frac{30}{47}$	0	30 47
В	$\frac{30}{80}$	$\frac{15}{43}$	0	$\frac{66}{87}$	$\frac{111}{210}$
Н	$\frac{50}{34}$	$\frac{41}{45}$	0	0	$\frac{91}{79}$
Итого	$\frac{80}{114}$	$\frac{196}{248}$	$\frac{126}{187}$	$\frac{66}{87}$	$\frac{468}{636}$

Примечание – Числитель – количество вагонов на 10-й год эксплуатации, знаменатель – на 20-й год. В данных таблицы учтено увеличение порожнего пробега в условиях функционирования операторских парков вагонов.

Среднесуточный поездопоток

$$\bar{N}_{ij} = m_{ij} / \bar{m}_{ij}, \quad (3.3)$$

где m_{ij} – среднесуточное количество вагонов с направления i на направление j ;

\bar{m}_{ij} – среднее количество вагонов в составе на направлении ij ,

$$\bar{m}_{ij} = Q_{\text{бр},ij} / (\bar{q}_{ij} + \bar{p}_T), \quad (3.4)$$

$Q_{\text{бр},ij}$ – масса состава брутто на направлении ij , т;

\bar{q}_{ij} – средняя масса груза в одном вагоне на направлении ij ;

\bar{p}_T – средняя масса тары четырехосного вагона, т.

Для направления А–Н (используем данные таблиц 3.1 и 3.3).

$$\bar{q}_{\text{А–Н}} = 75,4 \cdot 5,6 / 25,7 + 49,01 \cdot 3,9 / 25,7 + 63,24 \cdot 3,1 / 25,7 + 75,4 \cdot 2,5 / 25,7 + 32,0 \cdot 6,0 / 25,7 = 59,8 \text{ т.}$$

Для остальных направлений, примыкающих к узлу Н, в числителе в таблице 3.7 приведены значения \bar{q}_{ij} , \bar{T} , а в знаменателе – \bar{m}_{ij} ($\bar{p}_T = 22$ т), количество вагонов. Среднесуточные размеры грузового движения на подходах к узлу Н, рассчитанные по (3.3), приведены в таблице 3.8. Наибольшие среднесуточные размеры грузового движения на направлении Н–В.

Т а б л и ц а 3.7 – Масса груза в вагоне и количество вагонов

Год	Направление					
	А–Н	Б–Н	В–Н	Н–А	Н–Б	Н–В
10-й	<u>59,3</u>	<u>60,5</u>	<u>50,1</u>	<u>51,0</u>	<u>51,4</u>	<u>64,6</u>
	46,7	47,3	52,4	47,9	51,8	41,6
Перспективный	<u>59,8</u>	<u>60,2</u>	<u>49,4</u>	<u>50,7</u>	<u>51,3</u>	<u>65,3</u>
	48,9	49,9	53,2	56,4	54,6	43,5

Т а б л и ц а 3.8 – Среднесуточные вагонопотоки на подходах к узлу Н

Из	На						Узел Н		Итого				Всего грузовых поездов
	А		Б		В				вагонов		поездов		
	Г	П	Г	П	Г	П	Г	П	Г	П	Г	П	
А	0	0	<u>429</u>	<u>140</u>	<u>638</u>	<u>96</u>	<u>169</u>	0	<u>1236</u>	<u>236</u>	<u>26,5</u>	<u>4,7</u>	<u>31,2</u>
			441	160	705	140	186		1332	300	27,2	6,0	33,2
Б	<u>548</u>	0	0	0	<u>591</u>	<u>30</u>	<u>58</u>	0	<u>1197</u>	<u>30</u>	<u>25,3</u>	<u>0,6</u>	<u>25,9</u>
	579				673	47	62		1314	47	26,3	0,9	27,2
В	<u>677</u>	<u>30</u>	<u>417</u>	<u>15</u>	0	0	<u>31</u>	<u>66</u>	<u>1125</u>	<u>111</u>	<u>21,5</u>	<u>2,2</u>	<u>23,7</u>
	716	80	461	43			31	87	1208	210	22,7	4,2	26,9
Узел Н	<u>119</u>	<u>50</u>	<u>17</u>	<u>41</u>	<u>97</u>	0	0	0	<u>233</u>	<u>91</u>	–	–	–
	152	34	17	45	118				287	79			
Итого	<u>1344</u>	<u>80</u>	<u>863</u>	<u>196</u>	<u>1326</u>	<u>126</u>	<u>258</u>	<u>66</u>	<u>3791</u>	<u>468</u>	–	–	–
	1447	114	919	248	1496	187	279	87	4141	636			
поездов	<u>28,1</u>	<u>1,6</u>	<u>16,7</u>	<u>3,9</u>	<u>31,8</u>	<u>2,5</u>							
	25,7	2,3	16,8	5,0	34,4	3,7							
Всего поездов	<u>29,7</u>		<u>20,6</u>		<u>34,3</u>								
	28,0		21,8		38,1								

Примечания

1 Числитель – на 10-й год эксплуатации, знаменатель – на 20-й.

2 Г – груженный вагонопоток; П – порожний.

3.2 Статистические методы расчета параметров транспортной нагрузки

Пример 3.3. В результате анализа хронометражных данных установлено распределение продолжительностей горочного технологического интервала (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Распределение продолжительностей горочного технологического интервала

Горочный интервал t_i , мин	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Итого
Количество повторений a_i	5	11	20	38	51	65	54	45	40	24	9	6	368

Определим математическое ожидание (среднее значение) горочного интервала, его дисперсию, среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации.

Решение. Числовые данные хронометражных наблюдений работы горки сгруппированы по разрядам в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Расчет характеристик неравномерности

Горочный интервал t_i , мин	Количество наблюдений a_i	Частота P_i	$P_i t_i$	$t_i - \bar{t}_r$	$(t_i - \bar{t}_r)^2$	$(t_i - \bar{t}_r)^2 P_i$
7	5	0,0136	0,10	-5,50	30,25	0,41
8	11	0,0299	0,24	-4,50	20,25	0,61
9	20	0,0543	0,49	-3,50	12,25	0,67
10	38	0,1032	1,03	-2,50	6,25	0,65
11	51	0,1386	1,52	-1,50	2,25	0,31
12	65	0,1766	2,12	-0,50	0,25	0,04
13	54	0,1467	1,91	+0,50	0,25	0,04
14	45	0,1222	1,71	+1,50	2,25	0,27
15	40	0,1087	1,63	+2,50	6,25	0,68
16	24	0,0652	1,04	+3,50	12,25	0,80
17	9	0,0245	0,42	+4,50	20,25	0,50
18	6	0,0163	0,29	+5,50	30,25	0,49
Итого	368	–	12,50	–	–	5,47

Математическое ожидание горочного интервала

$$\bar{t}_r = \sum_{i=1}^n t_i P_i, \quad (3.5)$$

где t_i – текущее значение горочного интервала;

P_i – статистическая вероятность текущего значения горочного интервала,

$$P_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}, \quad (3.6)$$

a_i – количество повторений текущего значения горочного интервала.

Мера рассеяния значений горочного интервала – дисперсия

$$D = \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}_r)^2 P_i. \quad (3.7)$$

Среднее квадратичное отклонение характеризует степень колебаний горочного интервала

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (3.8)$$

Результаты расчета приведены в таблице 3.10. Математическое ожидание $t_r = 12,5$ мин, а дисперсия $D = 5,47$. Среднее квадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{5,47} = 2,34.$$

Коэффициент вариации горочного интервала

$$\gamma_r = \sigma / \bar{t}_r = 2,34 / 12,50 = 0,19.$$

Пример 3.4. По данным примера 3.3 установим закон распределения колебаний горочного технологического интервала, а также определим вероятность того, что его значение будет не больше 14 мин.

Решение. Учитывая, что коэффициент вариации горочного интервала невелик (0,19), а отклонения примерно симметричны относительно \bar{t}_r , можно предположить, что колебания горочного технологического интервала распределяются по нормальному закону. Для проверки этой гипотезы предварительно устанавливаем объем выборки, определяющий степень достоверности этого вывода. Минимально необходимое количество наблюдений

$$n_{\min} = x^2 / 4\varepsilon^2. \quad (3.9)$$

где ε – допустимая величина ошибки (обычно 0,1 или 0,05);

x – берется из таблицы значений интеграла вероятностей в зависимости от вероятности P . Если $P = 0,9$, то $x = 1,65$; если $P = 0,95$, то $x = 1,96$.

Приняв $\varepsilon = 0,1$ и $P = 0,9$, получим $n_{\min} = 68$; приняв $\varepsilon = 0,05$ и $P = 0,95$, получим $n_{\min} = 384$. Количество наблюдений в примере 368, что находится в заданных пределах точности расчета. Количество интервалов для группировки обычно принимают равным 8–12. В данном примере удобно принять 12, а ширину интервала 1 мин.

Согласование гипотезы со статистическими данными проверяют, используя критерии Романовского, Колмогорова, Пирсона и др. Критерий Пирсона

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - R \Delta P_i)^2}{(R \Delta P_i)}, \quad (3.10)$$

где ΔP_i – вероятность случайной величины с заданным законом распределения;

R – общее количество наблюдений,

$$R = \sum_{i=1}^n a_i; R = 368. \quad (3.11)$$

Теоретические значения вероятностей ΔP_i вычисляются по таблице нормальной функции распределения [10] $x_i = (t_i - \bar{t}_r) / \sigma$, нормируя t_i . Например, если $t_i = 6,5$ мин, то $x_i = (6,5 - 12,5) / 2,34 = -2,56$; если $t_i = 7,5$ мин, то $x_i = -2,13$.

По таблице нормальной функции распределения для всех x_i , например $x_i = -2,56$, находим значения интегральной функции распределения $\Phi(x_i) = 0,0055$. Теоретическая вероятность для нормального закона

$$\Delta P_i = \Phi[(t_i - \bar{t}_r) / \sigma] - \Phi[(t_{i-1} - \bar{t}_r) / \sigma]. \quad (3.12)$$

Вероятность того, что горочный интервал будет равен 7 мин, $\Delta P_{t_i=7} = 0,0169 - 0,0055 = 0,0114$. Последовательность вычисления χ^2 дана в таблице 3.11 ($\bar{t}_r = 12,5$ мин; $\sigma = 2,34$ мин).

Т а б л и ц а 3.11 – Расчет критерия согласия χ^2

Горочный интервал t_i , мин	Количество наблюдений a_i	x_i	$\sum \Delta P_i$	ΔP_i	$R \Delta P_i$	$(a_i - R \Delta P_i)^2$	$\frac{(a_i - R \Delta P_i)^2}{R \Delta P_i}$
–	–	–2,56	0,0055	–	–	–	–
7	5	–2,14	0,0169	0,0114	4,2	0,64	0,15
8	11	–1,71	0,0446	0,0277	10,2	0,64	0,06
9	20	–1,28	0,1003	0,0557	20,5	0,25	0,01
10	38	–0,85	0,1977	0,0974	35,8	4,84	0,14
11	51	–0,43	0,3336	0,1359	50,0	1,00	0,02
12	65	0,00	0,5000	0,1664	61,2	14,44	0,24
13	54	0,43	0,6628	0,1628	59,9	34,81	0,58
14	45	0,85	0,8023	0,1395	51,3	39,69	0,77
15	40	1,28	0,8997	0,0974	35,8	17,64	0,49
16	24	1,71	0,9564	0,0567	20,9	9,61	0,46
17	9	2,14	0,9837	0,0273	10,0	1,0	0,10
18	6	2,56	0,9946	0,0109	4,0	4,0	1,00
Итого	368	–	–	–	–	–	$\chi^2 = 4,02$

Расчеты, выполненные в таблице 3.11, показали, что $\chi^2 = 4,02$. Чтобы проверить соответствие опытных данных теоретическому закону, найдем предварительно число степеней свободы

$$r = k - s - 1, \quad (3.13)$$

где k – количество разрядов;

s – число параметров теоретического распределения.

У нормального закона два параметра \bar{t}_r и σ , поэтому $s = 2$, а $r = 12 - 2 - 1 = 9$. Теперь по специальной таблице значений χ^2 в зависимости от r и P [10] нахо-

дим вероятность того, что мера расхождения статистического и теоретического распределений не превзойдет рассчитанное значение $\chi^2 = 4,02$. В рассматриваемом примере $P > 0,90$, поэтому гипотеза о нормальном законе распределения колебаний горочного интервала может быть принята, т. е. колебания t_r описываются законом

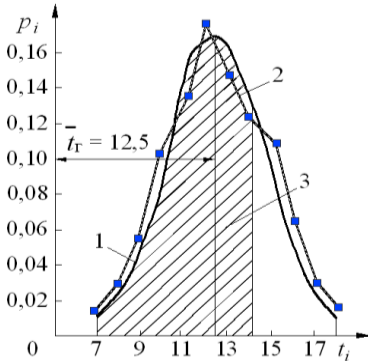


Рисунок 3.2 – Дифференциальные функции распределения:

1 – фактическая; 2 – теоретическая;

3 – доля, соответствующая вероятности $P(t_r < 14)$

$$P(t_i) = \frac{1}{2,34\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t_i - 12,5)^2}{10,94}} \quad (3.14)$$

На рисунке 3.2 показана гистограмма и теоретическая кривая распределения колебаний горочного интервала.

Вероятность того, что $t_r < 14$ мин, определяется по таблице нормальной кривой [7]:

Следовательно,

$$P(t_r < 14) = \Phi[(14 - \bar{t}_r) / \sigma].$$

$$P(t_r < 14) = \Phi[(14 - 12,5) / 2,34] = \Phi(0,641) = 0,739,$$

т. е. в 74 случаях из 100 горочный технологический интервал будет меньше 14 мин.

Пример 3.5. Для выполнения горочных технологических расчетов необходимо произвести выбор основных параметров расчетных отцепов на основе статистической обработки около 900 натурно-сортировочных листов за 10 дней месяца максимальных перевозок, представленной в таблице 3.12.

Решение. Одними из определяющих условий расчета конструктивных и технологических параметров сортировочных устройств являются род вагона и расчетная масса одиночных отцепов (вагонов), перерабатываемых на них.

Распределение одиночных четырехосных вагонов, перерабатываемых на сортировочной горке, по роду и массе может быть получено на основании статистической обработки натурно-сортировочных листов. Все отцепы по их массе и ходовым свойствам делят на следующие категории:

1) «плохие» бегуны – вагоны массой q_n с основным удельным сопротивлением движению w_n и вероятностью α_n ;

2) «хорошие» бегуны – вагоны массой q_x с основным удельным сопротивлением движению w_x и вероятностью α_x ;

3) «очень хорошие» бегуны – вагоны массой q_{ox} , с основным удельным сопротивлением движению w_{ox} и вероятностью α_{ox} .

При этом для каждой весовой категории устанавливается средняя величина разброса массы одиночных отцепов $\sigma = (q_{\max} - q_{\min}) / 3$.

На основании этой величины устанавливается разбиение ряда на диапазоны:

- 1) «плохие» бегуны $q_{п} [q_{\min}; q_1 = q_{\min} + \sigma]$;
- 2) «хорошие» бегуны $q_{х} [q_1; q_2 = q_1 + \sigma]$;
- 3) «очень хорошие» бегуны $q_{ох} [q_2; q_2 + \sigma = q_{\max}]$.

Так, например, если при обработке натурно-сортировочных листов установлено, что наименьшее значение массы одиночного отцепа q_{\min} составляет 20 т, а наибольшее – $q_{\max} = 92$ т, то $\sigma = (92 - 20) / 3 = 24$ т.

К «плохим» бегунам $q_{п}$ в таком случае будут относиться одиночные отцепы с массой в пределах от 20 до 44 т, к «хорошим» бегунам $q_{х}$ – отцепы с массой в пределах от 44 до 68 т, а к «очень хорошим» $q_{ох}$ – вагоны с массой от 68 до 92 т.

Далее распределение масс одиночных отцепов делится с интервалом 4–6 т от нижней до верхней границ каждого диапазона (см. таблицу 3.12).

Т а б л и ц а 3.12 – Распределение одиночных четырехосных вагонов, перерабатываемых на горке, по роду и массе

Диапазон массы вагонов, т	20–26	26–32	32–38	38–44	44–50	50–56	56–62	62–68	68–74	74–80	80–86	86–92
Интервалы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Крытый	23	8	2	1	–	–	–	–	4	11	18	38
Полувагон	390	2		2	1	8	12	41	23	11	37	116
Платформа	9	6	4	2	3	2	3	–	–	2	4	3
Цистерна	28	3	–	3	1	–	–	–	1	1	4	3
Цементовоз	22	–	1	–	1	–	3	1		5	7	6
Зерновоз	10	–	–	–	1	–	–	–	1	–	1	–
Думпкары		9	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Прочие	18	7	6	–	–	–	–	–	1	3	8	6
Количество вагонов	500	35	15	8	7	10	18	42	30	33	79	172
Частота, %	52,69	3,69	1,58	0,84	0,74	1,05	1,9	4,43	3,16	3,48	8,32	18,12
Всего, %	58,8			8,12				33,08				
Категория бегуна	«Плохой»				«Хороший»				«Очень хороший»			
Расчетная масса, т	24,0				60,4				84,5			

Средняя масса четырехосных вагонов в каждой категории отцепов и их вероятности определяются по следующим формулам:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^k q_j \alpha_{q-j}}{\sum_{i=1}^k \alpha_{q-j}}, \quad \alpha = \sum_{i=1}^k \alpha_{q-j},$$

где q_1, q_2, \dots, q_j – средняя масса вагонов для 1, 2, ... j -го интервала в таблице 3.12 распределения масс отцепов, т;

$\alpha_{q-1}, \alpha_{q-2} \dots \alpha_{q-j}$ – частота появления вагонов соответствующей массы в составе поезда;

i, k – номер первого и последнего для данной группы вагонов интервала по массе в таблице 3.12.

Для полученного распределения четырехосных вагонов по массе, приведенного в таблице 3.12, средняя масса «плохих» бегунов

$$q_{\text{п}} = \frac{23 \cdot 52,69 + 29 \cdot 3,69 + 35 \cdot 1,58 + 41 \cdot 0,84}{52,69 + 3,69 + 1,58 + 0,84} = 23,97 \approx 24,0 \text{ т,}$$

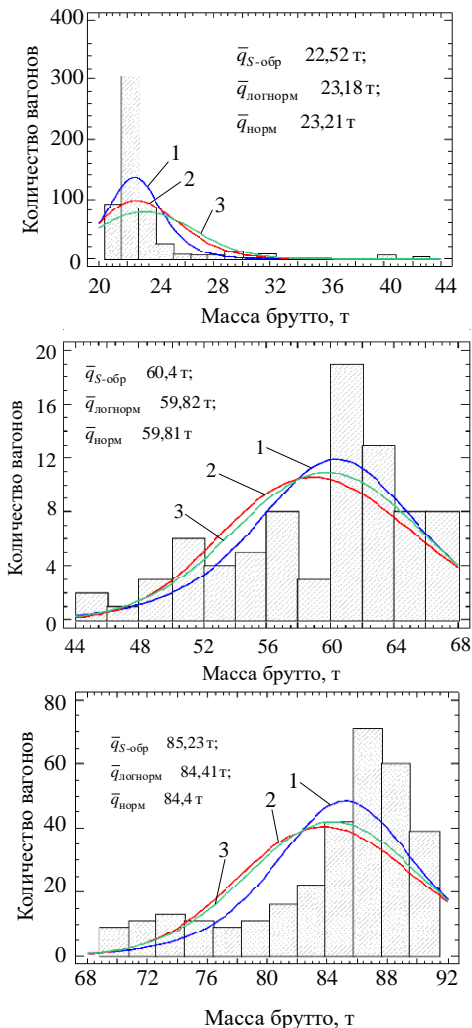


Рисунок 3.3 – Гистограмма распределения весовых характеристик расчетных бегунов: а – одиночных отцепов легковесной категории; б, в – средне- и тяжелогруженных одиночных отцепов

а вероятность их появления в составе $\alpha_{\text{п}} = 52,69 + 3,69 + 1,58 + 0,84 = 58,8 \%$.

Выполнив аналогичные расчеты для «хороших» и «очень хороших» бегунов, получим, что средняя масса и вероятность их появления соответственно равны: $q_{\text{х}} = 60,4 \text{ т}$, $\alpha_{\text{х}} = 8,12 \%$, $q_{\text{ох}} = 84,51 \text{ т}$, $\alpha_{\text{ох}} = 33,08 \%$.

Анализ таблицы 3.12 показывает, что в структуре перерабатываемого вагонопотока преобладают порожние вагоны или вагоны легковесной категории (58,8%) и тяжелогруженные вагоны массой 68–92 т (33,08%).

По данным выборки построена гистограмма распределения случайной величины – массы расчетных бегунов (рисунок 3.3). В соответствии со статистическими критериями распределение исследуемых характеристик наилучшим образом описывается S-образным 1, логнормальным 2 или нормальным 3 вероятностными законами. Наименьшие значения величины критерия χ^2 получены для нормального закона распределения масс легковесных вагонов ($\chi^2 = 7492,29$), логнормального

распределения для среднегруженных отцепов ($\chi^2 = 94,6$) и S-образного распределения для тяжелогруженных отцепов ($\chi^2 = 828,49$).

Таким образом, для дальнейших расчетов в качестве «плохого» бегуна принимается полувагон на роликовых подшипниках среднестатистической массой 24,0 т и основным удельным сопротивлением 1,75 Н/кН (для конструктивных расчетов); «хорошего» – полувагон на роликовых подшипниках массой 60,4 т и основным удельным сопротивлением 1,25 Н/кН; очень «хорошего» – полувагон на роликовых подшипниках массой 84,51–100 т и основным удельным сопротивлением 0,5 Н/кН.

Пример 3.6. Для оценки эксплуатационных свойств конструкции горловины, а также горочных конструктивных и технологических расчётов необходимо определить расчетные неблагоприятные (встречный ветер, расчетная зимняя температура), а также благоприятные (попутный ветер, расчетная летняя температура) климатические условия работы сортировочного комплекса. Данные о климатических условиях функционирования горочного сортировочного комплекса для района расположения станции в летние и зимние месяцы предоставлены гидрометеослужбой (таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Климатические условия в районе расположения станции

Месяц	Румб	Скорость ветра $v_{в}$, м/с	Месяц	Румб	Скорость ветра $v_{в}$, м/с	Месяц	Румб	Скорость ветра $v_{в}$, м/с
Декабрь	ЮЗ	2,71	Февраль	ЮЗ	2,60	Июль	СВ	2,31
	З	3,11		З	2,91		В	2,00
	СЗ	3,20		СЗ	3,11		ЮВ	2,00
	С	3,20		С	3,10		Ю	2,31
Январь	ЮЗ	2,71	Июнь	СВ	2,31	Август	СВ	2,31
	З	3,11		В	2,11		В	1,71
	СЗ	3,20		ЮВ	2,11		ЮВ	2,00
	С	3,00		Ю	2,51		Ю	2,40

Решение. Выбор расчётных климатических параметров среды и ветра при скатывании отцепов производится на основе данных о климатических условиях функционирования горочного сортировочного комплекса для района расположения станции, предоставленных гидрометеослужбой (см. таблицу 3.13) в соответствии с методикой, изложенной в [7] и [8]. Как правило, выбор благоприятных климатических условий производится в летние месяцы, а неблагоприятных – в зимние. Для определения рас-

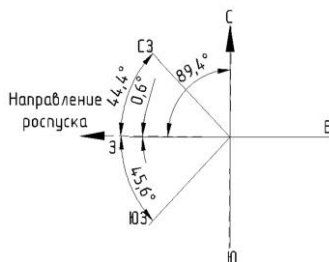


Рисунок 3.4 – Схема выбора встречных и попутных направлений ветров (румбов)

четных углов β встречного и попутного направлений направление продольной оси спускной части горки совмещается со схемой румбов (рисунок 3.4). С учетом принятого направления продольной оси горки с востока на запад для расчета высоты горки принимаются встречные ветры западного направления, а для определения общей мощности тормозных средств – попутные ветры восточного направления, считая по одну сторону плоскости, перпендикулярной к направлению сортировки вагонов [8]. Полученные результаты выбора направлений (угол β) и скоростей ($v_{\text{в}}$) ветра для летних и зимних месяцев сведём в таблицу 3.14.

На основании выбранных климатических условий определены расчётные условия работы сортировочной горки для всех румбов по месяцам благоприятного и неблагоприятного периодов года: расчетная относительная скорость движения отцепа с учетом направления ветра $v_{\text{р}}$, угол α , коэффициент обтекаемости кузова вагона C_x , расчетная температура наружного воздуха $t_{\text{р}}$.

Т а б л и ц а 3.14 – Расчетные климатические условия работы сортировочной горки

Месяц	Румб	Угол β , град	Скорость ветра $v_{\text{в}}$, м/с*	Скорость расчетная $v_{\text{р}}$, м/с	Угол α , град	Кoeffициент C_x	Расчетная температура $t_{\text{р}}$, °С	Удельное сопротивление, Н/кН		
								$w_{\text{св}}$	$w_{\text{сн}}$	Σw
<i>Неблагоприятные условия, при массе ОП бегуна $m_{\text{ОПб}} = 23,9$ т (полувагон)</i>										
Декабрь	ЮЗ	45,6	2,30	4,92	19,51	1,82	-19,52	1,26	0,3	1,56
	З	0,6	2,64	5,67	0,28	1,37	-19,52	1,26	0,3	1,56
	СЗ	44,4	2,72	5,32	20,96	1,82	-19,52	1,47	0,3	1,77
	С	89,4	2,72	4,09	41,68	1,38	-19,52	0,66	0,3	0,96
Январь	ЮЗ	45,6	2,30	4,92	19,51	1,82	-24,40	1,28	0,39	1,67
	З	0,6	2,64	5,67	0,28	1,37	-24,40	1,28	0,39	1,67
	СЗ	44,4	2,72	5,32	20,96	1,82	-24,40	1,50	0,39	1,89
	С	89,4	2,55	3,98	39,84	1,44	-24,40	0,66	0,39	1,05
Февраль	ЮЗ	45,6	2,21	4,84	19,04	1,82	-23,00	1,23	0,36	1,59
	З	0,6	2,47	5,50	0,27	1,37	-23,00	1,20	0,36	1,56
	СЗ	44,4	2,64	5,25	20,60	1,83	-23,00	1,46	0,36	1,82
	С	89,4	2,64	4,04	40,80	1,41	-23,00	0,67	0,36	1,03
<i>Благоприятные условия, при массе ОХ бегуна $m_{\text{ОХб}} = 85$ т (полувагон)</i>										
Июнь	СВ	45,6	1,96	2,17	40,19	1,43	27,28	0,040	–	0,040
	В	0,6	1,79	1,24	0,87	1,39	27,28	0,013	–	0,013
	ЮВ	44,4	1,79	2,15	35,63	1,58	27,28	0,043	–	0,043
	Ю	89,4	2,13	3,68	35,36	1,59	27,28	0,128	–	0,128
Июль	СВ	45,6	1,96	2,17	40,19	1,43	29,04	0,040	–	0,040
	В	0,6	1,70	1,33	0,77	1,38	29,04	0,014	–	0,014
	ЮВ	44,4	1,70	2,17	33,24	1,65	29,04	0,046	–	0,046
	Ю	89,4	1,96	3,59	33,09	1,66	29,04	0,126	–	0,126

Окончание таблицы 3.14

Месяц	Румб	Угол β , град	Скорость ветра v_B , м/с*	Скорость расчетная v_P , м/с	Угол α , град	Коэффициент C_x	Расчетная температура t_p , °С	Удельное сопротивление, Н/кН		
								w_{CB}	w_{CH}	Σw
Август	СВ	45,6	1,96	2,17	40,19	1,43	29,52	0,040	–	0,040
	В	0,6	1,45	1,58	0,55	1,38	29,52	0,020	–	0,020
	ЮВ	44,4	1,70	2,17	33,24	1,65	29,52	0,046	–	0,046
	Ю	89,4	2,04	3,63	34,19	1,62	29,52	0,126	–	0,126

* Принято с учетом коэффициента приведения скорости ветра к уровню центра тяжести вагона $\eta = 0,85$ [7, 8].

Выбор расчетных месяцев для неблагоприятных зимних и благоприятных летних условий выполняется по суммарному удельному сопротивлению движению расчетных отцепов от воздушной среды и ветра, снега и инея на участке от вершины горки до расчетной точки по маршруту с наибольшей расчетной длиной (раздел 6). В качестве расчетного отцепа принимается четырехосный полувагон, либо вагон другой наиболее массовой категории. Основное сопротивление движению вагонов на роликовых подшипниках, а также сопротивление от стрелочных переводов и кривых участков путей не учитываются, так как величина этих сопротивлений принимается не зависящей от температуры воздуха. Таким образом, на основании таблицы 3.14 наибольшее значение суммарного удельного сопротивления 1,89 Н/кН соответствует северо-западному румбу ($\beta = 44,4^\circ$) в январе месяце. Наименьшее значение суммарного удельного сопротивления равно 0,013 Н/кН и соответствует восточному румбу ($\beta = 0,6^\circ$) в июне месяце. Основные расчетные параметры этих периодов, необходимые для оценки качества конструкции горочной горловины и конструктивных расчётов сортировочной горки, приведены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Данные о климатических условиях, необходимые для оценки конструкции горочной горловины и расчёта параметров сортировочных устройств

Параметр	Значение
Направление и угол между направлением ветра и осью спускного пути сортировочной горки при неблагоприятных условиях, град	44,4
Направление и угол между направлением ветра и осью пути при благоприятных условиях, град	0,6
Абсолютный минимум температуры воздуха, °С	–36
Средняя температура воздуха расчетного холодного месяца, °С	–7
Расчетная температура наружного воздуха холодного месяца, °С	–24,4
Румб и скорость ветра в холодный период года, м/с	СЗ – 2,72
Румб и скорость ветра в тёплый период года, м/с	В – 1,79
Абсолютный максимум температуры воздуха, °С	+34,2
Средняя температура воздуха расчетного теплого месяца, град	+16,9
Расчетная температура наружного воздуха теплого месяца, °С	+27,28

3.3 Прогнозирование транспортных потоков

Пример 3.7. На основе автокорреляционного анализа среднемесячных размеров переработки грузов транспортной системой, представленных в таблице 3.16 в виде одномерного временного ряда с равноотстоящими моментами наблюдений, определить тип модели поведения исходных данных и на этой основе предложить наиболее целесообразный метод прогнозирования для расчета объемов работы на средне- и долгосрочную перспективу.

Решение. В соответствии с методологией прогнозирования разработка формализованных прогнозов включает следующие основные этапы: 1) анализ исходных данных, выявление тенденций развития прогнозируемого показателя (ретроспекция); 2) выбор наилучшего из существующих для заданных условий метода прогнозирования, либо разработка нового с учетом выявленных зависимостей, закономерностей и создание теорий (этап *прогнозного диагноза*); 3) расчет параметров прогнозных моделей и перспективных значений прогнозируемого показателя (этап *прогнозной перспективы*).

Таблица 3.16 – Объемы работы транспортной системы

Условный год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Переработка грузов, тыс. т	36	38	42	45	46	47	50	52	54	59

Применение для целей первого этапа математического аппарата автокорреляционных функций позволяет улучшить анализ исходных данных и обоснованность выбора методов прогнозирования и, следовательно, повысить качество разрабатываемых прогнозов.

С помощью автокорреляционного анализа могут надежно определяться различные модели (типы) исходных данных, представленные временными рядами показателей транспортных процессов. Это трендовые модели, стационарные (горизонтальные), сезонные, циклические модели, а также выявляться случайные составляющие данных.

Для решения поставленной задачи важно усвоить ряд важных понятий.

Автокорреляционная функция (АКФ) $f(k) = \text{cor}(y_t, y_{t+k})$ – это последовательность значений коэффициентов автокорреляции, вычисленных для различных периодов запаздывания (временной сдвиги k или лага), и связанных определенной зависимостью. АКФ описывает зависимость коэффициента автокорреляции от лага. В общем случае такая функция называется *корреляционной*.

Частная автокорреляционная функция (ЧАКФ) – это «очищенная» АКФ от связей между переменными на временных сдвигах, отличных от исследуемых.

АКФ (ЧАКФ) задаются аналитическим, табличным и графическим способами. Помимо АКФ и ЧАКФ, для анализа временных рядов показателей транспортных процессов могут применяться автоковариационные, обратные автокорреляционные функции, оценки спектральной плотности и др.

Графическое представление АКФ и ЧАКФ показано на рисунке 3.5.

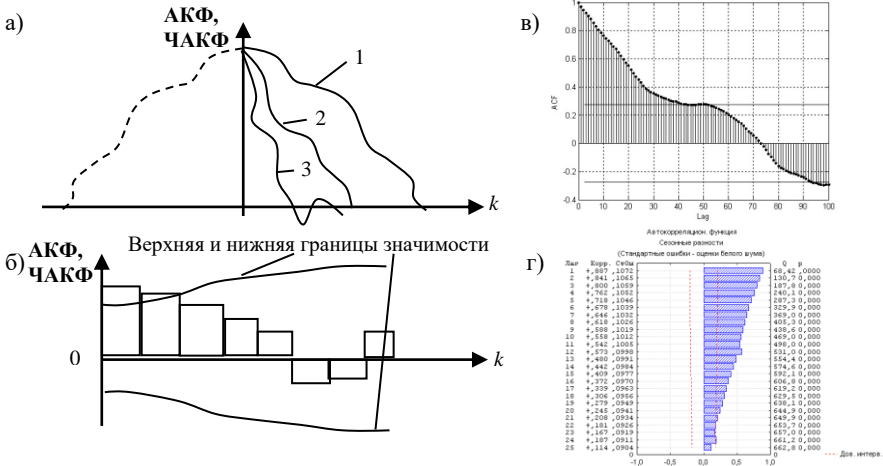


Рисунок 3.5 – Вид графиков (а), (б) и автокоррелограмм АКФ (ЧАКФ) (б), (с)

Автокорреляция – это статистическая зависимость (сила связи) между переменной $y(t)$, характеризующей прогнозируемый показатель, и переменными этого же показателя (лаговыми значениями y) $y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-k)$, смещенными относительно $y(t)$ на периоды $t-1, t-2, \dots, t-k$. Величина k и называется *временной сдвижкой* или *лагом*. Величина k не должна превышать $1/2$ длины временного ряда.

С математической точки зрения члены временных рядов не являются независимыми и одинаково распределенными. Практически это означает, что, как правило, временные ряды транспортных процессов (потоков) имеют внутреннюю взаимосвязь между элементами, которую нельзя игнорировать во избежание ошибок прогнозирования, поэтому она должна быть учтена в прогнозных моделях. Количественно эта зависимость измеряется с помощью *коэффициента автокорреляции* r_k . По своей природе коэффициент автокорреляции идентичен коэффициенту корреляции. На рисунке 3.5, а график АКФ с номером 1 соответствует сильной автокорреляционной зависимости между значениями показателя, с номером 2 – средней, с номером 3 – слабой или показывает ее отсутствие. На рисунке 3.5, б представлен график АКФ с границами значимости. В соответствии с рисунком 3.5, б высоко значимыми являются первые два коэффициента АКФ, что указывает на сильную связь между смежными значениями временного ряда ($k = 1$) и между значениями, отстоящими друг от друга на два периода ($k = 2$). Не учет автокорреляции приводит к ошибкам прогнозов.

Авторегрессия (с точки зрения математических вычислений) представляет собой совокупность приемов регрессионного анализа для установления

вида связи (т. е. вида математической зависимости, уравнения) между переменной $y(t)$, выражающей прогнозируемый показатель, и переменными этого же показателя $y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-k)$, смещенными относительно $y(t)$ на периоды $t-1, t-2, \dots, t-k$ (лаговые значения зависимой переменной y) или, другими словами, между результатами очередного и предыдущих испытаний одного и того же процесса. В моделях авторегрессии k называется *порядком авторегрессии*. Когда говорят, что во временном ряде показателя имеется автокорреляция или авторегрессия, то подразумевают существование эндогенных (внутренних) связей (зависимостей) различного вида между значениями этого показателя. Экзогенные (внешние) связи (независимые факторы) при этом не учитываются, точнее сказать, они учитываются неявно. Ведь воздействие тех или иных факторов внешней среды на прогнозируемый процесс как раз и вызывает автокорреляцию. Автокорреляция показывает, в какие периоды действие различных причин носит схожий характер и продолжительность такого воздействия. В то же время, авторегрессионные компоненты могут входить в регрессионные зависимости общего вида.

Для расчета АКФ определяются коэффициенты автокорреляции при различных k по формуле

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (y_t - \bar{y})(y_{t-k} - \bar{y})}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}; \quad -1 \leq r_k \leq 1, \quad (3.15)$$

где n – количество точек (наблюдений) анализируемого временного ряда показателя; k – временная сдвигка (лаг); y_t, y_{t-k} – частные значения переменной показателя, соответственно, в моменты времени t и $(t-k)$, смещенного на k периодов относительно y ; \bar{y} – среднее значение переменной показателя. Вычисляется с использованием всех значений членов ряда.

При увеличении сдвигки k длина ряда уменьшается. Например, при $k=1$ формула (3.15) примет вид

$$r_{k=1} = \left[\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y})(y_{t-1} - \bar{y}) \right] / \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2; \quad -1 \leq r_{k=1} \leq 1. \quad (3.16)$$

В этом случае исходный временной ряд сократится на одно значение.

Для определения границ значимости коэффициентов автокорреляции используется понятие стандартной ошибки:

$$SE(r_k) = \sqrt{(1 + 2 \sum_{i=1}^{k-1} r_i^2) / n}, \quad (3.17)$$

где n – длина временного ряда (количество наблюдений).

$$\text{При } k = 1 \sum_{i=1}^0 r_{k_i}^2 = 0 \text{ и } SE(r_k) = 1/\sqrt{n}.$$

Интервал значимости составит $\pm t SE(r_k)$, где t – параметр доверительной вероятности, зависящий от длины исходного ряда и уровня доверительной вероятности α . При $n > 30$ и $\alpha = 0,95$ $t \approx 2$, а при $\alpha = 0,997$ $t \approx 3$.

Если значение коэффициента автокорреляции выходит из интервала значимости, то такой коэффициент является высоко значимым. Это указывает на наличие связи между зависимыми переменными показателя, смещенными друг от друга на k периодов, при котором этот коэффициент значим.

АКФ и ЧАКФ имеют ряд полезных свойств, используемых для прогнозного анализа. Подробно эти свойства рассмотрены в [9]. Так, установлено [11], что АКФ для различных моделей данных имеют определенную структуру и логику (зависимость) поведения, что и позволяет выявлять эти модели. На рисунке 3.6 представлены графики изменения динамики показателей, соответствующие основным типам поведения данных, и графики АКФ для этих типов.

Рассчитав значения АКФ, можно приступить к выбору метода прогнозирования в следующем порядке:

1 Построить график изменения динамики прогнозируемого показателя.

2 По рассчитанным значениям коэффициентов автокорреляции при различной величине временной сдвижки k построить график АКФ. Определить границы значимости коэффициентов автокорреляции и наиболее значимые значения этих коэффициентов.

3 По виду графиков и с использованием численных значений АКФ определить модель поведения данных, соответствующую неслучайной функции (тренд, горизонтальная, сезонная и циклическая составляющие), которая влияет на формирование значений членов временного ряда.

4 На основе установленной модели поведения данных, требуемого периода упреждения и длины временного ряда с учетом сезонности (если имеется) выбрать наиболее приемлемый метод прогнозирования для заданных условий (таблица 3.17).

Таблица 3.17 – Выбор формализованных методов прогнозирования по компонентному признаку поведения данных

Наименование метода прогнозирования	Тип модели данных*	Период упреждения прогноза**	Минимальные требования к данным	
			несезонным	сезонным
Простые средние	Ст	К	30	
Скользящее среднее	Ст	К	4–20	
Экспоненциальное сглаживание	Ст	К	2	

Окончание таблицы 3.17

Наименование метода прогнозирования	Тип модели данных*	Период упреждения прогноза**	Минимальные требования к данным	
			несезонным	сезонным
Линейное экспоненциальное сглаживание	Тр	К	3	
Квадратичное экспоненциальное сглаживание	Тр	К	4	
Сезонное экспоненциальное сглаживание	Сз	К		$2 \times C$
Адаптивная фильтрация	Сз	К		$5 \times C$
Однофакторная регрессия	Тр	С	10	
Множественная регрессия	Ц, Сз	С	$10 \times m^{***}$	
Классическое разложение	Сз	К		$5 \times C$
Экспоненциальная трендовая модель	Тр	С, Д	10	
S-кривая	Тр	С, Д	10	
Логистические кривые	Тр	С, Д	10	
Возрастающие кривые	Тр	С, Д	10	
Модели Бокса-Дженкина	Ст, Тр, Ц, Сз	К, С	24	$3 \times C$
Ведущие индикаторы	Ц	К	24	
Эконометрические модели	Ц	К	30	
Многомерная регрессия временного ряда	Тр, Сз	С, Д		$6 \times C$

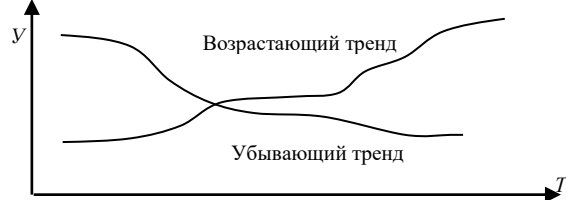
* Модели поведения данных: Ст – стационарные (горизонтальные); Тр – трендовые; Сз – сезонные; Ц – циклические.

** Период упреждения прогноза (глубина прогнозирования): К – краткосрочный (до года); С – среднесрочный (1–5 лет); Д – долгосрочный (5–10 лет).

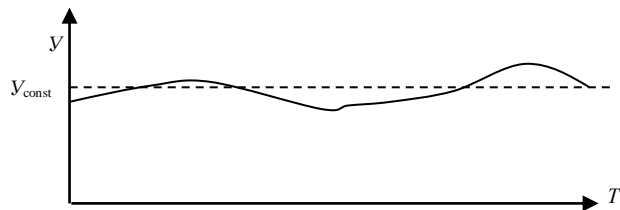
*** Количество независимых факторов-предикторов множественной регрессии.

Графики основных моделей данных

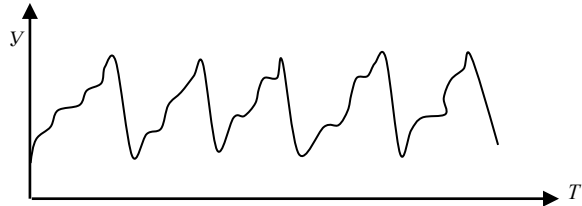
1 Трендовая модель



2 Стационарная модель (горизонтальная)

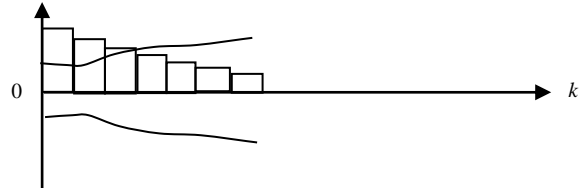


3 Сезонная модель

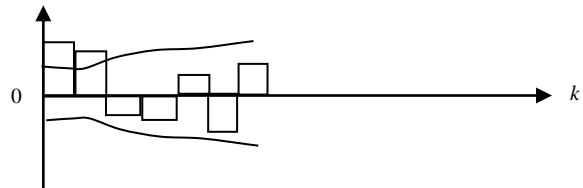


Графики АКФ, соответствующие моделям

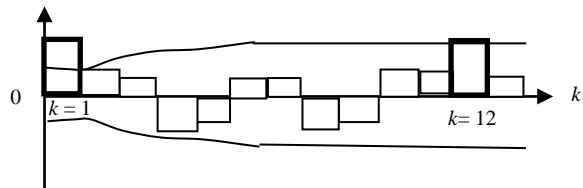
АКФ



АКФ



АКФ



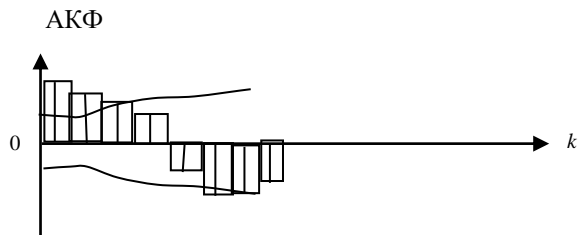
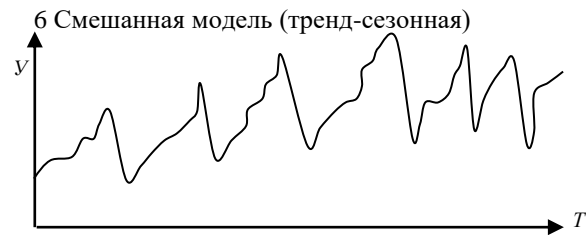
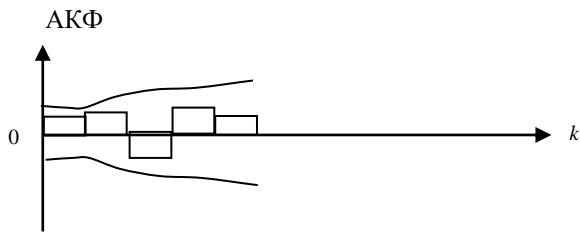
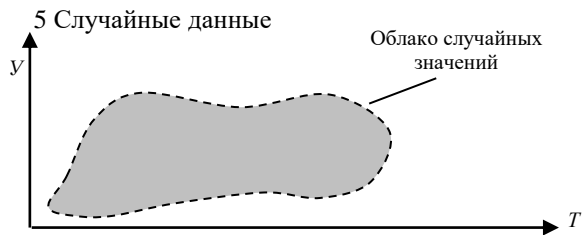
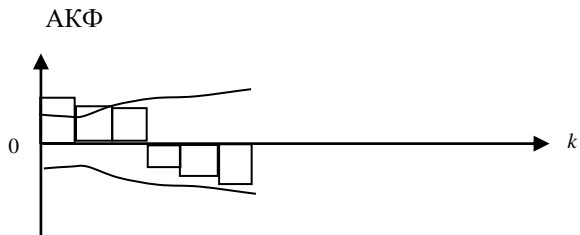
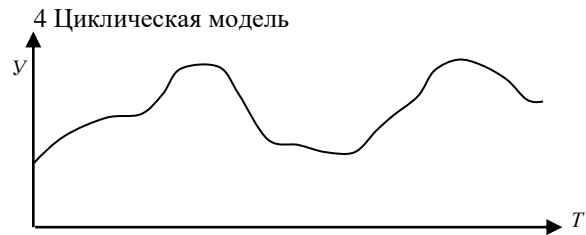


Рисунок 3.6 – Модели поведения данных и соответствующие им графики АКФ

5 Если автокорреляция в данных имеется (трендовые, циклические, сезонные модели) и учесть ее не представляется возможным, необходимо использовать в прогнозных моделях авторегрессионные составляющие либо авторегрессионные модели вида

$$y_t = \mu + \Phi_1 y_{t-1} + \Phi_2 y_{t-2} + \dots + \Phi_k y_{t-k} + \varepsilon_t$$

Для условий примера выполним расчет значений АКФ и на основе анализа автокорреляционной функции определим наиболее приемлемый метод прогнозирования. Для удобства вычислений составляется корреляционная таблица для каждой временной сдвиги (лага) k (таблица 3.18).

Таблица 3.18 – Корреляционная таблица результатов вычисления коэффициента АКФ на лаге $k = 1$

Условный год t	y_t	y_{t-1}	$(y_t - \bar{y})$	$(y_{t-1} - \bar{y})$	$(y_t - \bar{y})^2$	$(y_t - \bar{y})(y_{t-1} - \bar{y})$
1	36	–	–10,9	–	118,81	–
2	38	36	–8,9	–10,9	79,21	97,01
3	42	38	–4,9	–8,9	24,01	43,61
4	45	42	–1,9	–4,9	3,61	9,31
5	46	45	–0,9	–1,9	0,81	1,71
6	47	46	0,1	–0,9	0,01	–0,09
7	50	47	3,1	0,1	9,61	0,31
8	52	50	5,1	3,1	26,01	15,81
9	54	52	7,1	5,1	50,41	36,21
10	59	54	12,1	7,1	146,41	85,91
	$\sum y_t = 469;$ $\bar{y} = 46,9$				$\sum (y_t - \bar{y})^2 =$ $= 458,9$	$\sum (y_t - \bar{y})(y_{t-1} - \bar{y}) =$ $= 289,79$

В соответствии с полученными в таблице 3.18 значениями первый коэффициент автокорреляционной функции на лаге $k = 1$, вычисляемый по формуле (3.16), $r_{k=1} = 289,79/458,9$ или $r_{k=1} = 0,63$. Границы значимости коэффициента автокорреляции $r_k = 1$ при

$$SE(r_k) = \frac{1}{\sqrt{10}} = 0,32,$$

и интервал значимости составят $\pm 1,96 \cdot 0,32$ или $\pm 0,63$.

Промежуточные результаты вычислений коэффициента автокорреляции $r_k = 2$ при $k = 2$ приведены в таблице 3.19. Коэффициент автокорреляции на лаге $k = 2$, вычисляемый по формуле (3.15), составит $r_{k=2} = 155,98/458,9 = 0,34$. Вычислим границы значимости этого коэффициента автокорреляции по формуле (3.17):

$$SE(r_{k=2}) = \sqrt{\frac{1 + 2 \cdot 0,63^2}{10}} = 0,42.$$

Тогда интервал значимости составит $\pm 1,96 \cdot 0,42$ или $\pm 0,82$.

Таблица 3.19 – Корреляционная таблица результатов вычисления коэффициента АКФ на лаге $k = 2$

Условный год t	y_t	y_{t-2}	$(y_t - \bar{y})$	$(y_{t-2} - \bar{y})$	$(y_t - \bar{y})^2$	$(y_t - \bar{y})(y_{t-2} - \bar{y})$
1	36	–	–10,9	–	118,81	–
2	38	–	–8,9	–	79,21	–
3	42	36	–4,9	–10,9	24,01	53,41
4	45	38	–1,9	–8,9	3,61	16,91
5	46	42	–0,9	–4,9	0,81	4,41
6	47	45	0,1	–1,9	0,01	–0,19
7	50	46	3,1	–0,9	9,61	–2,79
8	52	47	5,1	0,1	26,01	0,51
9	54	50	7,1	3,1	50,41	22,01
10	59	52	12,1	5,1	146,41	61,71
	$\sum y_t = 469;$ $\bar{y} = 46,9$				$\sum (y_t - \bar{y})^2 =$ $= 458,9$	$\sum (y_t - \bar{y})(y_{t-2} - \bar{y}) =$ $= 155,98$

Вычислим коэффициент автокорреляции $r_{k=3}$ при $k = 3$. Результаты вычислений приведены в таблице 3.20. Коэффициент автокорреляции на лаге $k = 3$ составит $r_{k=3} = 55,97/458,9 = 0,12$.

Таблица 3.20 – Корреляционная таблица результатов вычисления коэффициента АКФ на лаге $k = 3$

Условный год t	y_t	y_{t-3}	$(y_t - \bar{y})$	$(y_{t-3} - \bar{y})$	$(y_t - \bar{y})^2$	$(y_t - \bar{y})(y_{t-3} - \bar{y})$
1	36	–	–10,9	–	118,81	–
2	38	–	–8,9	–	79,21	–
3	42	–	–4,9	–	24,01	–
4	45	36	–1,9	–10,9	3,61	20,71
5	46	38	–0,9	–8,9	0,81	8,01
6	47	42	0,1	–4,9	0,01	–0,49
7	50	45	3,1	–1,9	9,61	–5,89
8	52	46	5,1	–0,9	26,01	–4,59
9	54	47	7,1	0,1	50,41	0,71
10	59	50	12,1	3,1	146,41	37,51
	$\sum y_t = 469;$ $\bar{y} = 46,9$				$\sum (y_t - \bar{y})^2 =$ $= 458,9$	$\sum (y_t - \bar{y})(y_{t-3} - \bar{y}) =$ $= 55,97$

Границы значимости этого коэффициента автокорреляции

$$SE(r_{k=3}) = \sqrt{\frac{1 + 2 \cdot (0,63^2 + 0,34^2)}{10}} = 0,45,$$

интервал значимости $\pm 1,96 \cdot 0,45$ или $\pm 0,88$.

Результаты вычислений трех первых коэффициентов автокорреляционной функции, границы их значимости приведены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Результаты расчета коэффициентов АКФ

Лag k	Коэффициент автокорреляции	Стандартная ошибка SE	Границы значимости при 95 % уровне доверительной вероятности ($t = 1,96$)	
			нижняя	верхняя
1	0,63	0,32	-0,63	0,63
2	0,34	0,42	-0,82	0,82
3	0,12	0,45	-0,88	0,88

Анализ данных таблицы 3.21 показывает, что высоко значимым является коэффициент автокорреляции $r_{k=1}$ на первом лаге $k = 1$. Следовательно, в исходном ряде имеется автокорреляционная зависимость между переменными ряда первого порядка, т.е. между смежными значениями.

В соответствии с рисунками 3.6 (модель 1), 3.7, а и 3.7, б можно сделать вывод, что имеется трендовая модель поведения данных (стабильно (монотонно) возрастающий тренд) и, следовательно, для прогнозирования будущих значений показателя у целесообразно использовать методы однофакторной регрессии или его разновидности (метод S-кривой и др.). Максимально возможный период упреждения прогноза составляет 10 лет.

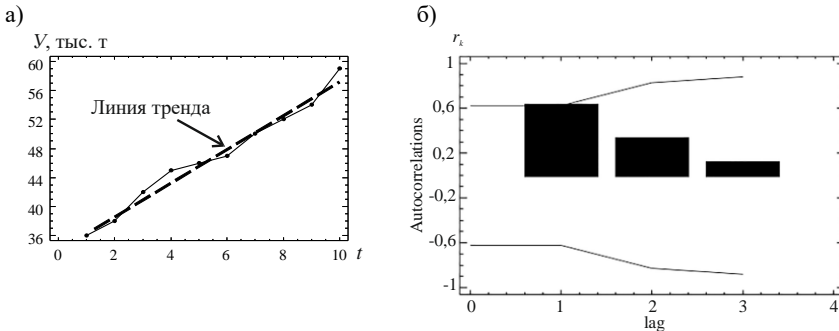


Рисунок 3.7 – График динамики изменения прогнозируемого показателя y (а) и АКФ, соответствующей трендовой модели (б)

По правилам прогнозирования, вначале исследуют простую модель регрессии, а затем ее постепенно усложняют для повышения качества прогноза. В соответствии с этим правилом выбираем для выполнения прогнозного исследования методы однофакторной регрессии (см. таблицу 3.17).

Пример 3.8. На основе однофакторного регрессионного анализа рассчитать прогноз объемов работы транспортной системы на 20-й год (см. таблицу 3.16) для обоснования решения по ее развитию, оценить значимость и силу связи параметров при аппроксимации трендовой составляющей регрессионной прогнозной моделью оптимальной сложности $\hat{N} = f(T) + \varepsilon$.

Решение. Для решения задачи прогноза с помощью аналитического представления тренда среднесуточной переработки транспортной системы необходимо построить график изменения динамики прогнозируемого показателя по годам, который показан на рисунке 3.7, а. По виду этого графика, который характеризует степень рассеивания значений ряда относительно линии тренда, можно предварительно определить несколько наиболее подходящих регрессионных зависимостей $\hat{N} = f(T) + \varepsilon$, наилучшим образом характеризующих сложившиеся тенденции. Параметры регрессионных моделей устанавливаются с помощью методов регрессионного анализа.

На рисунке 3.7, а видно, что среднесуточные объемы переработки транспортной системы возрастают по годам практически линейно. Следовательно, можно сделать вывод, что наиболее простой и экономичной регрессионной зависимостью $\hat{N} = f(T) + \varepsilon$, описывающей эту тенденцию, является «линейная» вида

$$\hat{N} = a_0 + a_1 T + \varepsilon,$$

где a_0, a_1 – МНК-оценки коэффициентов регрессии;

T – предикторный фактор «время», выраженный в условных временных точках с интервалом, который равен одному году;

ε – необъясненная часть исходных данных или ошибка прогнозной модели, $\varepsilon \rightarrow 0$.

С линейной зависимости и следует начинать выбор оптимальной регрессионной зависимости, наиболее адекватной собранному исходным данным. Таким образом, решение задачи сводится к определению правильного положения линии регрессии (зависит от коэффициентов a_0, a_1), характеризующей общую тенденцию прошлого и настоящего, и экстраполяции ее в будущее (при условии сохранения этой тенденции в обозримой перспективе).

Значения коэффициентов регрессии рассчитываются на основе метода наименьших квадратов (МНК). В соответствии с МНК оптимальное положение линии регрессии определяется из условия:

$$F = \sum_{i=1}^n (N_i - \hat{N}_i)^2 \rightarrow \min,$$

где F – функционал рассогласования действительных значений прогнозируемого показателя N_i и прогнозных \hat{N}_i ;

n – количество точек динамического ряда прогнозируемого показателя.

Для нахождения минимума функции F получают систему нормальных уравнений, из которой и находятся неизвестные коэффициенты a_0, a_1 :

$$F = \sum_{i=1}^n (N_i - a_0 - a_1 T_i)^2 \rightarrow \min; \quad (3.18)$$

$$\begin{cases} \frac{dF}{da_0} = 0; \\ \frac{dF}{da_1} = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2\sum (N_i - a_0 - a_1 T_i)(-1) = 0; \\ 2\sum (N_i - a_0 - a_1 T_i)(-T_i) = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_0 n + a_1 \sum T_i = \sum N_i; \\ a_0 \sum T_i + a_1 \sum T_i^2 = \sum T_i N_i. \end{cases} \quad (3.19)$$

В матричном виде система нормальных уравнений $TA = D$ записывается следующим образом:

$$\begin{bmatrix} n & \sum T_i \\ \sum T_i & \sum T_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum N_i \\ \sum T_i N_i \end{bmatrix}. \quad (3.20)$$

$$\text{Тогда } a_0 = \frac{\Delta_0}{\Delta}; a_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta},$$

где $\Delta, \Delta_0, \Delta_1$ – определители второго порядка:

$$\Delta = \begin{vmatrix} n & \sum T_i \\ \sum T_i & \sum T_i^2 \end{vmatrix}; \Delta_0 = \begin{vmatrix} \sum N_i & \sum T_i \\ \sum T_i N_i & \sum T_i^2 \end{vmatrix}; \Delta_1 = \begin{vmatrix} n & \sum N_i \\ \sum T_i & \sum T_i N_i \end{vmatrix}. \quad (3.21)$$

Неизвестные коэффициенты a_0, a_1 по формулам Крамера:

$$a_0 = \frac{\sum N_i \sum T_i^2 - \sum T_i \sum T_i N_i}{n \sum T_i^2 - \left(\sum T_i \right)^2}; a_1 = \frac{n \sum T_i N_i - \sum T_i \sum N_i}{n \sum T_i^2 - \left(\sum T_i \right)^2}. \quad (3.22)$$

Для удобства вычислений a_0, a_1 по формулам (3.22) составляется корреляционная таблица (таблица 3.22).

Т а б л и ц а 3.22 – Корреляционная таблица для расчета коэффициентов a_0, a_1

Условный год T_i	Показатель N_i	T_i^2	$T_i N_i$	N_i^2	\tilde{N}_i
1	36	1	36	1296	36,40
2	38	4	76	1444	38,73
3	42	9	126	1764	41,07
4	45	16	180	2025	43,40
5	46	25	230	2116	45,73
6	47	36	282	2209	48,07
7	50	49	350	2500	50,40
8	52	64	416	2704	52,73
9	54	81	486	2916	55,07
10	59	100	590	3481	57,37
$\sum T_i = 55$	$\sum N_i = 469$	$\sum T_i^2 = 385$	$\sum T_i N_i = 2772$	$\sum N_i^2 = 22455$	

Выполнив вычисления по формулам (3.22), получаем

$$a_0 = \frac{469 \cdot 385 - 55 \cdot 2772}{10 \cdot 385 - 55^2} = 34,07; \quad a_1 = \frac{10 \cdot 2772 - 55 \cdot 469}{10 \cdot 385 - 55^2} = 2,33.$$

Тогда *трендовая прогнозная модель*, полученная на основе уравнения линейной регрессии,

$$\hat{N} = 34,07 + 2,33T + \varepsilon.$$

С помощью трендовых регрессионных моделей можно выполнять прогнозы с высокой точностью максимальной глубиной до 10 лет.

Прогноз объемов среднесуточной переработки транспортной системы на 20-й год перспективы:

$$\hat{N}_{T=20} = 34,07 + 2,33(10+10) = 80,67 \text{ тыс. т.}$$

График прогнознй модели линейного вида приведен на рисунке 3.8.

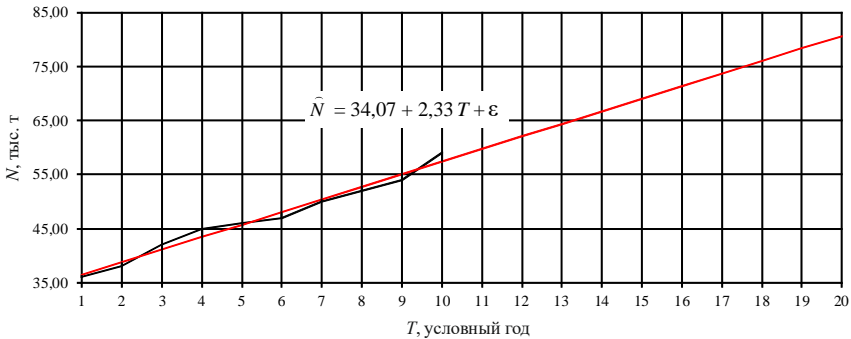


Рисунок 3.8 – Динамика изменения прогнозируемого показателя N по годам

Силу линейной связи между зависимым показателем N и независимым интегрированным фактором «время» T определяют с помощью коэффициента корреляции. Другими словами, коэффициент корреляции показывает, насколько линейно изменяются объемы переработки транспортной системы по времени. Коэффициент корреляции рассчитывается по формулам

$$r = a_1 \frac{\sigma_T}{\sigma_N} \quad \text{или} \quad r = \frac{n \sum T_i N_i - \sum T_i \sum N_i}{\sqrt{[\sum T_i^2 - (\sum T_i)^2] [\sum N_i^2 - (\sum N_i)^2]}}; \quad -1 \leq r \leq 1. \quad (3.23)$$

Если значения показателя, в основном, возрастают ($N_{t=2} > N_{t=1}$ при $t_2 > t_1$) и значения независимой переменной также возрастают (возрастающая функция), коэффициент корреляции примет знак «+» ($r > 0$). В общем случае, такой же знак будет иметь коэффициент корреляции при одновременном уменьшении значений обеих переменных.

С другой стороны, если значения переменной, выражающей изменения первого фактора, уменьшаются ($N_{t=2} < N_{t=1}$ при $t_2 > t_1$), а второго – увеличиваются (или наоборот), коэффициент корреляции примет знак «-» ($r < 0$). В этом случае функция тренда является убывающей.

Связь между переменными сильная, если коэффициент корреляции будет близок к своим экстремумам. При отсутствии связи коэффициент корреляции близок к «0». В остальных случаях коэффициент корреляции имеет промежуточные значения: $|r| \neq 0...0,4$ – слабая сила связи; $|r| = 0,4...0,7$ – средняя сила связи; $|r| = 0,7...1$ – сильная степень связи.

В соответствии с формулой (3.23) и таблицей 3.22 для исходных данных, представленных в таблице 3.24,

$$r = \frac{10 \cdot 2772 - 55 \cdot 469}{\sqrt{[10 \cdot 385 - 55^2][10 \cdot 22455 - 469^2]}} = 0,989 .$$

Полученная оценка коэффициента корреляции указывает на весьма сильную линейность тренда роста объемов переработки грузов.

Необходимо проверить это утверждение, оценив значимость коэффициента корреляции. Для этого используется t -статистика (статистика Стьюдента) и F -статистика (статистика Фишера):

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}; \quad F = r^2 \frac{n-2}{1-r^2}. \quad (3.24)$$

Если коэффициент корреляции значим и его значению можно доверять, должно выполняться условие

$$|t| \geq t_{\alpha, \nu}^{\text{крит}}, \quad (3.25)$$

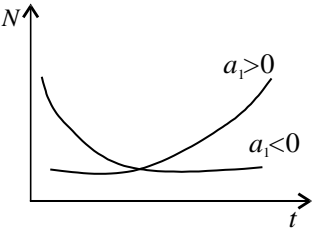
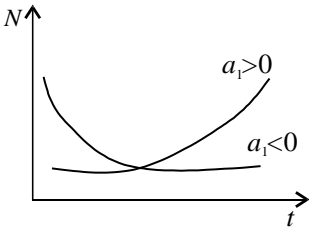
где $t_{\alpha, \nu}^{\text{крит}}$ – критическое значение t -статистики, определяемое по специальным таблицам по двум входам: уровень значимости α и число степеней свободы ν , равное $(n - 2)$. При $\alpha = 0,05$ и $n = 10$ (см. таблицу 3.16)

$$t_{\alpha, \nu}^{\text{крит}} = 1,86 \text{ [11].}$$

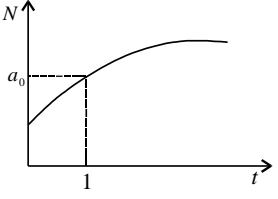
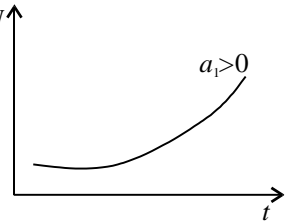
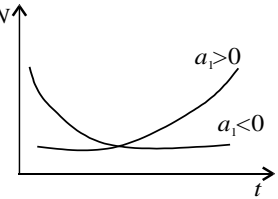
Для условий примера $t = 18,91$ условие значимости выполняется. Следовательно, значению коэффициента корреляции можно доверять, и сильная степень линейности функции роста прогнозируемого показателя подтверждается.

После завершения процедуры вычислений необходимо проверить существование также и других регрессионных зависимостей на возможность использования для описания тенденций изменения прогнозируемого показателя. Для условий примера это могут быть экспоненциальная, логарифмическая, степенная и другие нелинейные зависимости, которые предварительно приводятся к линейному виду для применения МНК. Формулы приведения некоторых нелинейных моделей к линейному виду приведены в таблице 3.23.

Таблица 3.23 – Преобразование некоторых нелинейных уравнений к линейному виду для использования в однофакторном регрессионном анализе и прогнозировании

Прогнозная модель и ее графическое представление	Формулы приведения и расчетные выражения
<p>Экспоненциальная</p> $\hat{N} = e^{(a_0 + a_1 t)} + \varepsilon$ 	<p>Формулы приведения:</p> $\ln \hat{N} = \ln e^{a_0 + a_1 t}; \ln \hat{N} = (a_0 + a_1 t) \ln e;$ $\ln \hat{N} = a_0 + a_1 t; \hat{Y} = \ln \hat{N}; \hat{Y} = a_0 + a_1 t.$ <p>Система нормальных уравнений:</p> $\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum t_i = \sum \ln N_i; \\ a_0 \sum t_i + a_1 \sum t_i^2 = \sum t_i \ln N_i. \end{cases}$ <p>Коэффициенты модели:</p> $a_0 = \frac{\sum \ln N_i \sum t_i^2 - \sum t_i \sum t_i \ln N_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2};$ $a_1 = \frac{n \sum t_i \ln N_i - \sum t_i \sum \ln N_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}.$
<p>Степенная</p> $\hat{N} = a_0 t^{a_1} + \varepsilon$ 	<p>Формулы приведения:</p> $\ln \hat{N} = \ln a_0 t^{a_1}; \ln \hat{N} = \ln a_0 + a_1 \ln t$ $\hat{Y} = \ln \hat{N}; A_0 = \ln a_0; T = \ln t; \hat{Y} = A_0 + a_1 T.$ <p>Система нормальных уравнений:</p> $\begin{cases} n \ln a_0 + a_1 \sum \ln t_i = \sum \ln N_i; \\ \ln a_0 \sum \ln t_i + a_1 \sum (\ln t_i)^2 = \sum \ln t_i \ln N_i. \end{cases}$ <p>Коэффициенты модели:</p> $\ln a_0 = \frac{\sum \ln N_i \sum (\ln t_i)^2 - \sum \ln t_i \sum \ln t_i \ln N_i}{n \sum (\ln t_i)^2 - (\sum \ln t_i)^2};$ $a_1 = \frac{n \sum \ln t_i \ln N_i - \sum \ln t_i \sum \ln N_i}{n \sum (\ln t_i)^2 - (\sum \ln t_i)^2}; a_0 = e^{\ln a_0}.$ <p>Переход от натурального к десятичному логарифму:</p> $\ln a_0 = 2,3026 \lg a_0; \lg a_0 = \frac{\ln a_0}{2,3026}; a_0 = 10^{\frac{\ln a_0}{2,3026}}$

Продолжение таблицы 3.23

Прогнозная модель и ее графическое представление	Формулы приведения и расчетные выражения
<p>Логарифмическая</p> $\hat{N} = a_0 + a_1 \ln t + \varepsilon$ 	<p>Формулы приведения: $T = \ln t; \hat{N} = a_0 + a_1 T.$</p> <p>Система нормальных уравнений:</p> $\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum \ln t_i = \sum N_i; \\ a_0 \sum \ln t_i + a_1 \sum (\ln t_i)^2 = \sum N_i \ln t_i. \end{cases}$ <p>Коэффициенты модели:</p> $a_0 = \frac{\sum N_i \sum (\ln t_i)^2 - \sum \ln t_i \sum N_i \ln t_i}{n \sum (\ln t_i)^2 - (\sum \ln t_i)^2};$ $a_1 = \frac{n \sum N_i \ln t_i - \sum \ln t_i \sum N_i}{n \sum (\ln t_i)^2 - (\sum \ln t_i)^2}.$
<p>Квадратно-коренная</p> $\hat{N} = (a_0 + a_1 t)^2 + \varepsilon$ 	<p>Формулы приведения: $\sqrt{\hat{N}} = a_0 + a_1 t; \hat{Y} = \sqrt{\hat{N}}; \hat{Y} = a_0 + a_1 t.$</p> <p>Система нормальных уравнений:</p> $\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum t_i = \sum \sqrt{N_i}; \\ a_0 \sum t_i + a_1 \sum t_i^2 = \sum t_i \sqrt{N_i}. \end{cases}$ <p>Коэффициенты модели:</p> $a_0 = \frac{\sum \sqrt{N_i} \sum t_i^2 - \sum t_i \sum t_i \sqrt{N_i}}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2};$ $a_1 = \frac{n \sum t_i \sqrt{N_i} - \sum t_i \sum \sqrt{N_i}}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}.$
<p>Показательная</p> $\hat{N} = a_0 a_1^t + \varepsilon$ 	<p>Формулы приведения: $\ln \hat{N} = \ln a_0 a_1^t; \ln \hat{N} = \ln a_0 + t \ln a_1; \hat{Y} = \ln \hat{N};$ $A_0 = \ln a_0; A_1 = \ln a_1; \hat{Y} = A_0 + A_1 t.$</p> <p>Система нормальных уравнений:</p> $\begin{cases} n \ln a_0 + \ln a_1 \sum t_i = \sum \ln N_i; \\ \ln a_0 \sum t_i + \ln a_1 \sum t_i^2 = \sum t_i \ln N_i. \end{cases}$

Окончание таблицы 3.23

Прогнозная модель и ее графическое представление	Формулы приведения и расчетные выражения
	<p>Коэффициенты модели</p> $\ln a_0 = \frac{\sum \ln N_i \sum t_i^2 - \sum t_i \sum t_i \ln N_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}; a_0 = e^{\ln a_0};$ $\ln a_1 = \frac{n \sum t_i \ln N_i - \sum t_i \sum \ln N_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}; a_1 = e^{\ln a_1}.$ <p>Переход от натурального к десятичному логарифму</p> $\ln a_0 = 2,3026 \lg a_0; \lg a_0 = \frac{\ln a_0}{2,3026}; a_0 = 10^{\frac{\ln a_0}{2,3026}};$ $\ln a_1 = 2,3026 \lg a_1; \lg a_1 = \frac{\ln a_1}{2,3026}; a_1 = 10^{\frac{\ln a_1}{2,3026}}$

Выполним построение прогнозной модели степенного вида $\hat{N} = a_0 t^{a_1} + \varepsilon$ в соответствии с используемой методикой для исходных данных, приведенных в таблице 3.16. Для вычисления коэффициентов a_0, a_1 по формулам таблицы 3.23 для степенной модели составим корреляционную таблицу 3.24 и определим количественные параметры этой модели.

Т а б л и ц а 3.24 – Корреляционная таблица для расчета коэффициентов a_0, a_1

Условный год T_i	$\ln T_i$	Показатель $\ln N_i$	$(\ln T_i)^2$	$\ln T_i \ln N_i$	$(\ln N_i)^2$	\hat{N}_i
1	0	3,5835	0	0	12,8416	34,10
2	0,6931	3,6376	0,4805	2,5214	13,2320	39,28
3	1,0986	3,7377	1,2069	4,1063	13,9702	42,67
4	1,3863	3,8067	1,9218	5,2772	14,4907	45,24
5	1,6094	3,8286	2,5903	6,1620	14,6585	47,35
6	1,7918	3,8502	3,2104	6,8985	14,8236	49,14
7	1,9459	3,9120	3,7866	7,6124	15,3039	50,71
8	2,0794	3,9512	4,3241	8,2164	15,6123	52,11
9	2,1972	3,9890	4,8278	8,7647	15,9120	53,38
10	2,3026	4,0775	5,3019	9,3889	16,6263	54,54
$\sum T_i = 55$	$\sum \ln T_i = 15,1043$	$\sum \ln N_i = 38,374$	$\sum (\ln T_i)^2 = 27,6503$	$\sum \ln T_i \ln N_i = 58,9478$	$\sum (\ln N_i)^2 = 147,4711$	

Воспользовавшись суммарными значениями параметров расчета из таблицы 3.24, получаем

$$\ln a_0 = \frac{38,374 \cdot 27,6503 - 15,1043 \cdot 58,9478}{10 \cdot 27,6503 - 15,1043^2} = 3,529; a_0 = e^{3,529} = 34,08;$$

$$a_1 = \frac{10 \cdot 58,9478 - 15,1043 \cdot 38,374}{10 \cdot 27,6503 - 15,1043^2} = 0,204 .$$

Степенная модель прогнозирования трендовой составляющей изменения объемов среднесуточной переработки транспортной системы имеет вид

$$\hat{N} = 34,08 t^{0,204} + \varepsilon .$$

Прогноз объемов среднесуточной переработки транспортной системы на 20-й год перспективы

$$\hat{N} = 34,08 (10 + 10)^{0,204} = 62,79 \text{ тыс. т.}$$

График изменения прогнозных значений объемов работы транспортной системы на прогнозный период, рассчитанных с помощью степенной модели, представлен на рисунке 3.9.

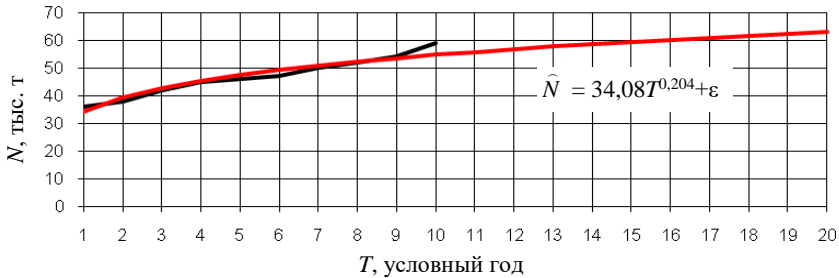


Рисунок 3.9 – Динамика изменения прогнозируемого показателя N по годам, полученная с помощью степенной прогнозной модели

Степень связи показателя N и фактора t в соответствии со степенной зависимостью (насколько изменяются объемы переработки транспортной системы по времени в соответствии с данной нелинейной зависимостью) определяется с помощью коэффициента корреляции, который вычисляется по формуле

$$r = \frac{n \sum \ln T_i \ln N_i - \sum \ln T_i \sum \ln N_i}{\sqrt{\left[\sum (\ln T_i)^2 - (\sum \ln T_i)^2 \right] \left[\sum (\ln N_i)^2 - (\sum \ln N_i)^2 \right]}} . \quad (3.26)$$

После подстановки в формулу (3.26) значений переменных из таблицы 3.24

$$r = \frac{10 \cdot 58,9478 - 15,1043 \cdot 38,374}{\sqrt{\left[10 \cdot 27,6503 - 15,1043^2 \right] \left[10 \cdot 147,4711 - 38,374^2 \right]}} = 0,968 .$$

Расчет t -статистики (статистики Стьюдента) и проверка условия значимости коэффициента корреляции показывают, что

$$t = 0,968 \sqrt{\frac{10-2}{1-0,968^2}} \cong 10,91 \text{ и } 10,91 > 1,86 .$$

Таким образом, полученное значение коэффициента корреляции значимо отличается от нуля, что показывает возможность прогнозировать изменение показателя работы транспортной системы по времени в соответствии со степенной зависимостью. В то же время рассчитанное значение коэффициента корреляции ($r = 0,968$) меньше значения этого коэффициента, полученного для линейной зависимости ($r = 0,989$), следовательно, прогнозная модель линейного вида несколько лучше объясняет поведение параметров исследуемого процесса.

Расхождение результатов двух прогнозов на 20-й период

$$\Delta N = 80,67 - 62,79 = 17,88 \text{ тыс. т/сутки,}$$

что является весомой величиной. В этом случае для целей прогнозирования следует применить линейную зависимость изменения объемов переработки транспортной системы.

Для расчета параметров других прогнозных моделей нелинейного вида вычисления, аналогичные приведенным выше, целесообразно выполнять с помощью компьютерных программ (например, *StatGraphics*). *Оптимальной будет считаться та регрессионная зависимость, для которой коэффициент корреляции наиболее близок к экстремумам и значим, а результаты прогнозирования – приемлемые и адекватно отражающие реальные процессы.*

Так, согласно выполненным расчетам с помощью прикладной компьютерной программы *StatGraphics Centurion XV*, лучшими по статистическим критериям являются модели, параметры которых приведены в таблице 3.25.

Таблица 3.25 – Сравнительные параметры альтернативных прогнозных моделей и их ранжирование

Регрессионная модель	Коэффициент корреляции r	Статистические критерии		
		Стьюдента t	Фишера F	Дарбина-Уотсона DW
Экспоненциальная с \sqrt{T}	0,9895	19,39	375,80	1,58
Линейная	0,9893	19,21	369,18	1,51
Квадратно-коренная по N	0,9892	19,11	365,27	1,39
Экспоненциальная	0,9875	17,69	312,90	1,19
Двойная квадратно-коренная	0,9859	16,65	277,19	1,37
Квадратичная по N	0,9846	15,91	253,23	1,39
Квадратно-коренная по T	0,9806	14,16	200,39	1,19
...
Степенная	0,9677	10,91	119,03	1,07

В соответствии с таблицей 3.25 наряду с линейной моделью для прогнозирования объемов работы транспортной системы может использоваться экспоненциальная модель с \sqrt{T} , для которой получены несколько лучшие критерии по сравнению с линейной. Уравнение этой модели имеет вид

$$\hat{N} = e^{(3,35274+0,2157\sqrt{T})} + \varepsilon.$$

Пример 3.9. Для условий примера 3.8 рассчитать прогноз объемов работы транспортной системы на 20-й год с учетом «веса» исходной информации, оценить значимость и силу связи факторов, включаемых в прогнозную модель, при аппроксимации трендовой составляющей регрессионными прогнозными моделями $\hat{N}_\alpha = f(T) + \varepsilon$ линейного и степенного вида.

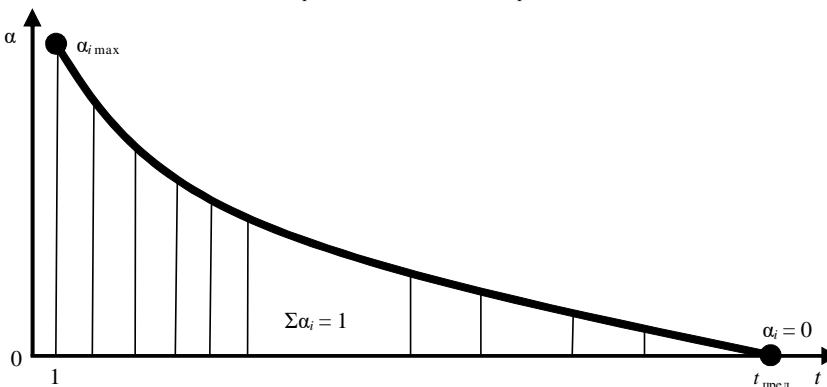
Решение. Использование системы «весов» информации позволяет существенно повысить точность прогнозирования и определенность прогноза. При этом уменьшается влияние длительности ретроспективного периода на параметры прогнозной модели. **«Вес» информации – это характеристика ее ценности, надежности и достоверности.** Естественно, по мере удаления вглубь периода ретроспекции ценность информации уменьшается. Возникает **эффект дисконтирования информации – снижение ее ценности с течением времени.** Если предположить, что «вес» информации или ее ценность убывает по экспоненциальному закону (рисунок 3.10) по мере удаления вглубь ретроспективного периода от момента времени, соответствующему предпрогнозному году (году прогнозного диагноза) до начального периода (начало временного ряда), получим аналитические выражения для расчета «весовых» коэффициентов [9]:

$$\alpha_i = c - d \ln t_i, \text{ где } d = \frac{1}{t_{\text{пред}} - \ln(2,718 t_{\text{пред}})}; \quad c = d \ln t_{\text{пред}}, \quad (3.27)$$

где t_i – период времени, соответствующий определяемому значению «веса»; $t_{\text{пред}}$ – предельный период времени, по истечении которого «вес» информации становится равным нулю.

Если использовать десятичные логарифмы, то

$$\alpha_i = c - 2,31d \lg t_i, \text{ где } d = \frac{1}{t_{\text{пред}} - 2,31 \lg(2,718 t_{\text{пред}})}; \quad c = 2,31d \lg t_{\text{пред}}. \quad (3.28)$$



Для условий транспортных систем $t_{\text{пред}}$ находится в диапазоне 20–35 лет [9]. Максимальное значение соответствует наиболее капиталоемким мероприятиям по развитию транспортных систем (строительство новой железнодорожной линии, укладка дополнительных главных путей). Меньшее значение характерно для транспортных систем, где наблюдаются явления насыщения. Для сортировочных станций, локомотивных, вагонных предприятий, грузовых комплексов можно принимать $t_{\text{пред}} = 25$ лет при $c = 0,155$ и $d = 0,048$, а при $t_{\text{пред}} = 30$ лет $c = 0,133$ и $d = 0,039$. С учетом вышесказанного, рассчитаем «вес» информации для наблюдений, отстоящих от предпрогнозного года на 25–30 лет при $t_{\text{пред}} = 25$ и 30 лет. Результаты расчетов представлены в таблице 3.26. Анализ таблицы 3.26 показывает, что в интервале от первого до десятого года относительное уменьшение ценности информации происходит в 3–4 раза.

Т а б л и ц а 3.26 – Значения «весовых» коэффициентов при $t_{\text{пред}} = 25$ и 30 лет

Номер года t_i по отношению к предпрогнозному периоду	«Вес» информации α_i при длине n временного ряда							
	$n = 9$		$n = 10$		$n = 15$		$n = 20$	
	$t_{\text{пред}} = 25$	$t_{\text{пред}} = 30$	$t_{\text{пред}} = 25$	$t_{\text{пред}} = 30$	$t_{\text{пред}} = 25$	$t_{\text{пред}} = 30$	$t_{\text{пред}} = 25$	$t_{\text{пред}} = 30$
1	0,155	0,133	0,155	0,133	0,155	0,133	0,155	0,133
2	0,122	0,106	0,122	0,106	0,122	0,106	0,122	0,106
3	0,102	0,090	0,102	0,090	0,102	0,090	0,102	0,090
4	0,088	0,079	0,088	0,079	0,088	0,079	0,088	0,079
5	0,077	0,070	0,077	0,070	0,077	0,070	0,077	0,070
6	0,069	0,063	0,069	0,063	0,069	0,063	0,069	0,063
7	0,061	0,057	0,061	0,057	0,061	0,057	0,061	0,057
8	0,055	0,052	0,055	0,052	0,055	0,052	0,055	0,052
9	0,049	0,047	0,049	0,047	0,049	0,047	0,049	0,047
10	–	–	0,044	0,043	0,044	0,043	0,044	0,043
11	–	–	–	–	0,039	0,039	0,039	0,039
12	–	–	–	–	0,035	0,036	0,035	0,036
13	–	–	–	–	0,031	0,033	0,031	0,033
14	–	–	–	–	0,028	0,030	0,028	0,030
15	–	–	–	–	0,025	0,027	0,025	0,027
16	–	–	–	–	–	–	0,021	0,025
17	–	–	–	–	–	–	0,019	0,022
18	–	–	–	–	–	–	0,016	0,020
19	–	–	–	–	–	–	0,013	0,018
20	–	–	–	–	–	–	0,011	0,016
21	–	–	–	–	–	–	0,008	0,014
22	–	–	–	–	–	–	0,006	0,012
23	–	–	–	–	–	–	0,004	0,010
24	–	–	–	–	–	–	0,002	0,009
25	–	–	–	–	–	–	0,000	0,007

Используя «весовые» коэффициенты (см. таблицу 3.26) для наблюдений из таблицы 3.16, выполним построение прогнозной модели линейного вида $\hat{N}_\alpha = a_0 + a_1 T + \varepsilon$ с учетом «веса» информации.

Выражения (3.27) и (3.28) с учетом «веса» информации преобразуются к виду:

$$a_0 = \frac{\sum \alpha_i N_i \sum \alpha_i^2 T_i^2 - \sum \alpha_i T_i \sum \alpha_i^2 T_i N_i}{n \sum \alpha_i^2 T_i^2 - (\sum \alpha_i T_i)^2}; a_1 = \frac{n \sum \alpha_i^2 T_i N_i - \sum \alpha_i T_i \sum \alpha_i N_i}{n \sum \alpha_i^2 T_i^2 - (\sum \alpha_i T_i)^2}. \quad (3.29)$$

Для удобства вычислений a_0, a_1 по формулам (3.29) составляется корреляционная таблица (таблица 3.27).

Т а б л и ц а 3.27 – **Корреляционная таблица вычислений коэффициентов a_0, a_1 линейной модели с учетом «веса» информации**

Коэффициент «веса» α_i	Условный год $\alpha_i T_i$	Показатель $\alpha_i N_i$	$\alpha_i^2 T_i^2$	$\alpha_i^2 T_i N_i$	$\alpha_i^2 N_i^2$	\hat{N}_i
0,044	0,044	1,584	0,0019	0,0697	2,50910	6,300
0,049	0,098	1,862	0,0096	0,1825	3,46700	11,17
0,055	0,165	2,310	0,0272	0,3812	5,33610	16,05
0,061	0,244	2,745	0,0595	0,6698	7,53500	20,92
0,069	0,345	3,174	0,1190	1,0950	10,0743	25,79
0,077	0,462	3,619	0,2134	1,6720	13,0972	30,67
0,088	0,616	4,400	0,3795	2,7104	19,3600	35,54
0,102	0,816	5,304	0,6659	4,3281	28,1324	40,42
0,122	1,098	6,588	1,2056	7,2336	43,4017	45,29
0,155	1,550	9,145	2,4025	14,1748	83,6310	50,16
	$\sum \alpha_i T_i =$ = 5,438	$\sum \alpha_i N_i =$ = 40,731	$\sum \alpha_i^2 T_i^2 =$ = 5,0841	$\sum \alpha_i^2 T_i N_i =$ = 32,5171	$\sum \alpha_i^2 N_i^2 =$ = 216,5438	

Используя суммарные значения составляющих формул (3.29) из корреляционной таблицы 3.27, получаем

$$a_0 = \frac{40,731 \cdot 5,0841 - 5,438 \cdot 32,5171}{10 \cdot 5,0841 - 5,438^2} = 1,422;$$

$$a_1 = \frac{10 \cdot 32,5171 - 5,438 \cdot 40,731}{10 \cdot 5,0841 - 5,438^2} = 4,874.$$

Уравнение прогнозной модели линейного вида, полученное с учетом «веса» исходной информации (результатов наблюдений),

$$\hat{N} = 1,422 + 4,874 t + \varepsilon.$$

Прогноз объемов среднесуточной переработки транспортной системы на 20-й год перспективы:

$$\widehat{N} = 1,422 + 4,874(10 + 10) = 98,90 \text{ тыс. т.}$$

Расхождение с обычным прогнозом составляет $\Delta N = 98,90 - 80,67 = 18,23$ тыс. т в большую сторону. Это может говорить о том, что обычный прогноз является недооценивающим, что усугубляет возможные ошибки принимаемых решений по развитию исследуемой транспортной системы.

Коэффициент корреляции прогнозной модели, построенной с учетом «веса» информации,

$$r_\alpha = \frac{n \sum \alpha_i^2 T_i N_i - \sum \alpha_i T_i \sum \alpha_i N_i}{\sqrt{\left[\sum \alpha_i^2 T_i^2 - (\sum \alpha_i T_i)^2 \right] \left[\sum \alpha_i^2 N_i^2 - (\sum \alpha_i N_i)^2 \right]}}; \quad -1 \leq r \leq 1 \quad (3.30)$$

или

$$r_\alpha = \frac{10 \cdot 32,5171 - 5,438 \cdot 40,731}{\sqrt{\left[10 \cdot 5,0841 - 5,438^2 \right] \left[10 \cdot 216,5438 - 40,731^2 \right]}} = 0,999.$$

Сравнивая полученное значение коэффициента $r_\alpha = 0,999$ и ранее рассчитанное для обычной линейной модели $r = 0,989$, видим, что прогнозная модель, учитывающая «вес» информации, лучше объясняет имеющиеся исходные данные и, следовательно, имеет более точные прогнозные оценки. *Таким образом, для целей прогнозирования необходимо использовать прогнозную модель, использующую систему «весов» исходной информации.*

Аналогичные вычисления могут быть выполнены для любой прогнозной модели нелинейного вида (см. таблицу 3.23). Так, для степенной трендовой модели $\widehat{N} = a_0 t^{a_1} + \varepsilon$, математическое преобразование которой представлено в таблице 3.23, получаем следующие расчетные формулы для нахождения ее параметров:

$$F_\alpha = \sum_{i=1}^n \left(\alpha_i N_i - \widehat{N}_i \right)^2 \rightarrow \min$$

или

$$F_\alpha = \sum_{i=1}^n \left(\alpha_i \ln N_i - \ln a_0 - a_1 \alpha_i \ln t_i \right)^2 \rightarrow \min. \quad (3.31)$$

При использовании «весов» система нормальных уравнений преобразуется к виду

$$\begin{cases} n \ln a_0 + a_1 \sum \alpha_i \ln t_i = \sum \alpha_i \ln N_i; \\ \ln a_0 \sum \alpha_i \ln t_i + a_1 \sum (\alpha_i \ln t_i)^2 = \sum \alpha_i^2 \ln t_i \ln N_i. \end{cases} \quad (3.32)$$

Расчетные формулы для нахождения неизвестных коэффициентов степенной прогнозной модели с учетом «веса» исходной информации:

$$\ln a_0 = \frac{\sum \alpha_i \ln N_i \sum (\alpha_i \ln t_i)^2 - \sum \alpha_i \ln t_i \sum \alpha_i^2 \ln t_i \ln N_i}{n \sum (\alpha_i \ln t_i)^2 - (\sum \alpha_i \ln t_i)^2}; \quad a_0 = e^{\ln a_0}; \quad (3.33)$$

$$a_1 = \frac{n \sum \alpha_i^2 \ln t_i \ln N_i - \sum \alpha_i \ln t_i \sum \alpha_i \ln N_i}{n \sum (\alpha_i \ln t_i)^2 - (\sum \alpha_i \ln t_i)^2}. \quad (3.34)$$

Для расчета коэффициентов модели a_0, a_1 составим корреляционную таблицу 3.28.

Таблица 3.28 – Корреляционная таблица вычислений коэффициентов a_0, a_1 степенной модели с учетом «веса» информации

Коэффициент «веса» α_i	Условный год $\alpha_i \ln t_i$	Показатель $\alpha_i \ln N_i$	$(\alpha_i \ln t_i)^2$	$\alpha_i^2 \ln t_i \ln N_i$	$(\alpha_i \ln N_i)^2$	\hat{N}_i
0,044	0	0,16	0	0	0,024861	1,14
0,049	0,033964	0,18	0,001154	0,006054	0,031777	2,89
0,055	0,060424	0,21	0,003651	0,012421	0,04226	4,99
0,061	0,084564	0,23	0,007151	0,019636	0,05392	7,36
0,069	0,111051	0,26	0,012332	0,029337	0,069789	9,95
0,077	0,137965	0,30	0,019034	0,040901	0,087889	12,72
0,088	0,17124	0,34	0,029323	0,058951	0,118514	15,66
0,102	0,212103	0,40	0,044988	0,085483	0,162431	18,75
0,122	0,268061	0,49	0,071857	0,130454	0,236834	21,98
0,155	0,356901	0,63	0,127378	0,225568	0,399447	25,33
	$\sum \alpha_i \ln t_i =$ $= 1,436273$	$\sum \alpha_i \ln N_i =$ $= 3,20$	$\sum (\alpha_i \ln t_i)^2 =$ $= 0,316868$	$\sum \alpha_i^2 \ln t_i \ln N_i =$ $= 0,608805$	$\sum (\alpha_i \ln N_i)^2 =$ $= 1,227715$	

Используя суммарные значения составляющих формул (3.33) и (3.34) из корреляционной таблицы 3.28 (нижняя строка таблицы), вычисляем a_0, a_1 :

$$\ln a_0 = \frac{3,20 \cdot 0,316868 - 1,436273 \cdot 0,608805}{10 \cdot 0,316868 - 1,436273^2} = 0,12621; a_0 = e^{0,126} = 1,135;$$

$$a_1 = \frac{10 \cdot 0,608805 - 1,436273 \cdot 3,20}{10 \cdot 0,316868 - 1,436273^2} = 1,349.$$

Уравнение прогнозной модели степенного вида, полученное с учетом использования системы «весов» исходной информации (результатов наблюдений),

$$\hat{N}_\alpha = 1,135 t^{1,349} + \varepsilon.$$

В этом случае прогноз объемов среднесуточной переработки транспортной системы на 20-й год перспективы $\hat{N}_\alpha = 1,135(10 + 10)^{1,349} = 64,58$ тыс. т.

Выражение (3.26) для расчета коэффициента корреляции между показателем N и фактором t в соответствии со степенной зависимостью преобразуется к виду

$$r_\alpha = \frac{n \sum \alpha_i^2 \ln T_i \ln N_i - \sum \alpha_i \ln T_i \sum \alpha_i \ln N_i}{\sqrt{\left[\sum (\alpha_i \ln T_i)^2 - (\sum \alpha_i \ln T_i)^2 \right] \left[\sum (\alpha_i \ln N_i)^2 - (\sum \alpha_i \ln N_i)^2 \right]}}. \quad (3.35)$$

Подставив в формулу (3.35) значения переменных из таблицы 3.28 (нижняя строка таблицы), получим

$$r_{\alpha} = \frac{10 \cdot 0,608805 - 1,436273 \cdot 3,20}{\sqrt{10 \cdot 0,316868 - 1,436273^2} \sqrt{10 \cdot 1,227715 - 3,20^2}} = 0,994.$$

Статистика Стьюдента $t_{\alpha} = 0,994 \sqrt{\frac{10 - 2}{1 - 0,994^2}} \cong 25,70$ и $25,70 > 1,86$.

Условие значимости коэффициента корреляции выполняется. Таким образом, полученное значение коэффициента корреляции значимо отличается от нуля, что дает возможность применять прогнозную модель степенного вида с учетом «веса» исходной информации для предсказания изменений показателя работы транспортной системы по времени. Как и в случае с обычными прогнозными моделями, полученное значение коэффициента корреляции $r_{\alpha(\text{стен})} = 0,994$ меньше значения этого коэффициента, полученного для линейной зависимости ($r_{\alpha(\text{лин})} = 0,999$), следовательно, и в этом случае прогнозная модель линейного вида лучше объясняет поведение параметров исследуемого процесса. Расогласованность результатов двух прогнозов, рассчитанных с использованием системы «весов» ретроспективных значений на 20-й период, составила $\Delta N_{\alpha} = 98,90 - 64,58 = 34,32$ тыс. т/сутки и увеличилась почти в два раза по сравнению с расхождением результатов обычных прогнозов (рисунок 3.11). Данный вывод может свидетельствовать о том, что степенная модель является существенно недооценивающей моделью, что и выявилось при применении «взвешивания» прогнозной информации. Это подтверждает вывод, что для целей прогнозирования целесообразно применить линейную зависимость изменения объемов переработки транспортной системы с учетом «веса» информации. При применении нелинейных регрессионных моделей степенного вида расхождение между обычным прогнозом (см. пример 3.8) и «весовым» на 20-й период не так значительно, как в случае с линейной моделью, и составляет $\Delta N = 64,58 - 62,79 = 1,79$ тыс. т/сутки. Следовательно, нелинейные модели менее чувствительны к искажениям различного рода, неопределенности исходной информации.

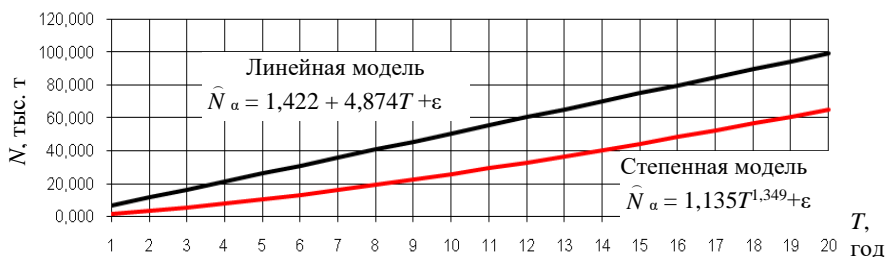


Рисунок 3.11 – Прогноз объемов работы транспортной системы с учетом «веса» ретроспективной информации

Пример 3.10. Рассчитать прогноз объемов работы транспортного предприятия с учетом их сезонных изменений с помощью динамических прогнозных моделей АРПСС (ARIMA). Исходные данные приведены в таблице 3.29.

Решение. С помощью прогнозных моделей типа АРПСС можно разрабатывать качественные прогнозы на основе помесячных (поквартальных) данных об изменении показателей транспортных потоков, подверженных сезонным колебаниям. Составим прогноз помесячных объемов работы транспортно-экспедиционного и логистического предприятия (ТЭП), ретроспективные значения которых представлены в таблице 3.29.

Таблица 3.29 – Объемы работы транспортно-экспедиционного предприятия по переработке грузов

В тысячах тонн

Период года	Год наблюдений								
	1-й		2-й		3-й		4-й		
	№ п/п	факт.	№ п/п	факт.	№ п/п	факт.	№ п/п	план.	факт.
Январь	1	130,1	13	155,3	25	144,3	37	100,0	120,6
Февраль	2	128,4	14	280,6	26	159,4	38	200,0	217,1
Март	3	235,6	15	315,3	27	221,4	39	200,0	235,0
Апрель	4	261,2	16	347,5	28	259,4	40	290,0	262,5
Май	5	321,5	17	401,6	29	284,2	41	293,0	300,4
Июнь	6	283,8	18	346	30	313,4	42	302,0	189,8
Июль	7	389,3	19	399,6	31	345,4	43	310,0	–
Август	8	385,9	20	421,7	32	399,3	44	280,0	–
Сентябрь	9	377,6	21	369,9	33	324,4	45	280,0	–
Октябрь	10	418,6	22	432,2	34	215,9	46	200,0	–
Ноябрь	11	355,8	23	332,1	35	224,1	47	200,0	–
Декабрь	12	229,8	24	195,1	36	145,1	48	170,0	–

Модели АРПСС (ARIMA) разрабатываются с помощью динамических методов прогнозирования транспортных потоков. Модели АРПСС (Автоматическое регрессионное проинтегрированное скользящее среднее) применимы для любых типов данных (см. пример 3.7, рисунок 3.6) и позволяют прогнозировать сложные процессы. Для разработки моделей АРПСС используют лишь информацию, содержащуюся в самих временных рядах прогнозируемых показателей результативности деятельности предприятий, то есть анализируются эндогенные факторы, при этом достаточно иметь минимальный набор анализируемых факторов, что особенно важно для практических целей. Преимущества и слабые стороны моделей АРПСС представлены в таблице 3.30.

Модели АРПСС включают параметры *авторегрессионного* процесса, процесса *скользящего среднего*, вычисляемые как для обычных, так и для разностных рядов. Выбор параметров моделей АРПСС производится на основе автокорреляционного анализа временных рядов показателей (см. пример 3.7).

Т а б л и ц а 3.30 – **Преимущества и недостатки моделей АРПСС**

Преимущества	Недостатки
Высокая точность средне- и краткосрочных прогнозов	Малая дальность прогнозирования
Высокая гибкость и универсальность	Требуется иметь большое количество наблюдений
Проверка модели на адекватность реальным процессам проста и доступна	При получении новых данных модель требуется перестраивать
Не требуется анализировать большое количество внешних факторов	Большие затраты времени на разработку моделей по сравнению с простыми методами

Несезонная АРПСС (p, d, q) и сезонная АРПСС $(p, d, q)(p_s, d_s, q_s)_{12}$ модели имеют следующие параметры: p – порядок авторегрессии; d – порядок разности; q – порядок скользящего среднего; p_s, d_s, q_s – аналогичные сезонные параметры; «12» – период (длина) сезонности (например, 12 месяцев или внутригодовая периодичность). Разности вычисляются для преобразования нестационарных временных рядов к стационарному виду. Если преобразованный ряд становится стационарным после вычисления разности d -го порядка, то процесс называется интегрируемым d -го порядка вида АРПСС. Вычисление разностей первого порядка производится как $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$, второго – $\Delta^2 Y_t = \Delta Y_t - \Delta Y_{t-1}$, а d -го – $\Delta^d Y_t = \Delta^{d-1} Y_t - \Delta^{d-1} Y_{t-1}$. Аналогично вычисляются сезонные разности. Процесс авторегрессии АРПСС $(p, 0, 0)$ или АРСС $(p, 0)$, АР (p) описывается уравнением вида

$$Y_t = \varphi_0 + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t,$$

где Y_t – зависимая переменная в момент времени t ;
 p – порядок авторегрессии;
 $\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_p$ – оцениваемые коэффициенты модели по нелинейному МНК;
 $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$ – значения зависимой переменной Y в моменты времени $t-1, t-2, \dots, t-p$ (лаговые значения переменной Y);
 ε_t – ошибка модели, описывающая влияние переменных, не учтенных в модели, $\varepsilon_t \rightarrow 0$.

Уравнение процесса скользящего среднего АРПСС $(0, 0, q)$ или АРСС $(0, q)$, СС (q) имеет следующий вид:

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \omega_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \varepsilon_{t-q},$$

где μ – постоянное среднее процесса;
 q – порядок скользящего среднего;
 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_q$ – оцениваемые коэффициенты по нелинейному МНК;
 ε_t – ошибка в предыдущие периоды времени, которые в момент t включены в переменную Y_t , $\varepsilon_t \rightarrow 0$, а $\varepsilon_{t-1} = y_{t-1} - \hat{y}_{t-1}$;
 $\varepsilon_{t-2} = y_{t-2} - \hat{y}_{t-2}$; $\varepsilon_{t-q} = y_{t-q} - \hat{y}_{t-q}$.

Смешанный процесс авторегрессии и скользящего среднего АРПСС ($p, 0, q$) или АРСС (p, q) описывается уравнением вида

$$Y_t = \varphi_0 + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \omega_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \varepsilon_{t-q}.$$

Параметры процессов в АРПСС определяются по структуре автокорреляционной (АКФ) и частной автокорреляционной (ЧАКФ) функций (см. пример 3.7) и зависят от количества значимых коэффициентов этих функций. Принципы определения порядка уравнений авторегрессионного процесса (p) и процесса скользящего среднего (q) приведены в таблице 3.31.

Таблица 3.31 – Определение порядка авторегрессии и скользящего среднего

Модель	Корреляционные функции	
	АКФ	ЧАКФ
АР (p)	Затухает	Обрывается на лаге p
СС (q)	Обрывается на лаге q	Затухает
АРСС (p, q)	Затухает	Затухает

Процесс разработки прогнозных моделей АРПСС имеет высокую степень автоматизации (компьютерные программы *StatGraphics Centurion XV*, *Сматистика* и др.). Рассмотрим подробно порядок построения прогнозных моделей АРПСС на примере прогнозирования изменения показателя грузопереработки ТЭП (см. таблицу 3.29). График изменения динамики объемов переработки грузов приведен на рисунке 3.12. Анализ рисунка 3.12 показал, что присутствует значительная сезонность работы, а также другие скрытые периодичности, подверженные сложно прогнозируемым воздействиям внешней среды. Изменения объемов грузопереработки в 3-летний период наблюдений имеют закономерный периодический характер: в начале года объемы грузопереработки увеличиваются, а к концу – имеют наименьшие значения, что говорит о влиянии сезонности на данный показатель.

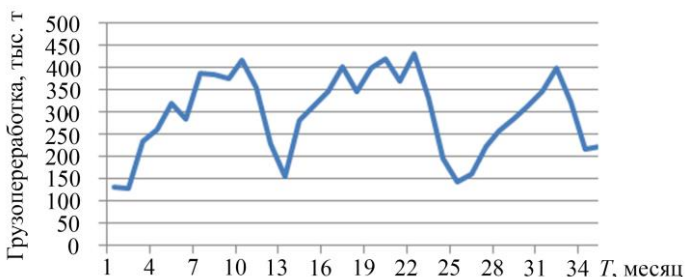


Рисунок 3.12 – Динамика изменения объемов грузопереработки ТЭП в 3-летний период наблюдений

На основе анализа динамики изменения объемов переработки грузов ТЭП можно сделать вывод, что для построения достаточно точных прогнозных

моделей, потребность в которых высокая, и прогнозирования объемов работы целесообразно использовать динамические методы, в частности, методы, составляющие основу теории Бокса-Дженкинса, названную в честь ученых-статистиков Бокса Г. Е. П. и Дженкинса Г. М. Эти ученые внесли наибольший вклад в методологию применения моделей АРПСС [11].

График АКФ грузопереработки после вычисления сезонной разности первого порядка для устранения сезонной нестационарности (рисунок 3.13) показывает, что исследуемый процесс имеет также сильную трендовую составляющую, так как значения коэффициентов АКФ, полученные по преобразованному временному ряду с помощью вычисления разностей значений показателя, плавно убывают и несколько первых коэффициентов являются высокозначимыми. Очевидно, что трендовая составляющая должна быть учтена в прогнозной модели и она хорошо прогнозируется с помощью авторегрессионных компонент.

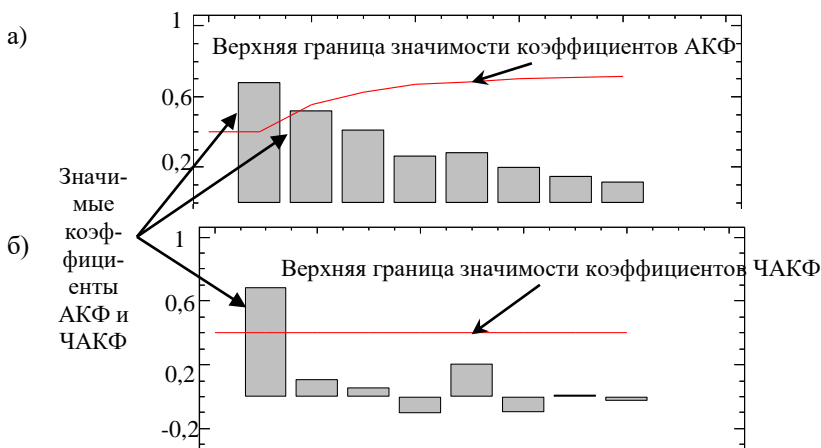


Рисунок 3.13 – Автокорреляционная (а) и частная автокорреляционная (б) функции ряда разностей значений грузопереработки

На графике (см. рисунок 3.13) высокозначимые значения коэффициентов АКФ и частной АКФ (ЧАКФ) расположены выше верхней границы значимости.

Как отмечалось ранее, автокорреляционная и частная автокорреляционная функции процесса грузопереработки позволяют установить параметры модели АРПСС, количество которых и значения уточняются в дальнейшем (см. таблицу 3.31). Так, для прогнозирования грузопереработки ТЭП модель АРПСС должна иметь только один параметр авторегрессии $p = 1$ (значимый первый коэффициент ЧАКФ (см. рисунок 3.13)), вычисляемый применительно к сезонной разности значений ряда. Сезонность процесса учитывается введением в модель переменной $ГП_{t-12}$, отстоящей от прогнозируемого значения на 12 периодов времени.

Таким образом, учитывая сезонность грузопереработки, наличие трендовой составляющей, динамическая модель должна иметь вид АРПСС (1,0,0)(0,1,0)₁₂ без константы. Период сезонности составляет 12 месяцев. Математическое выражение уравнения модели АРПСС (1,0,0)(0,1,0)₁₂

$$\Delta_{12}ГП_t = \varepsilon_t + \phi_1 \Delta_{12}ГП_{t-1},$$

где $\Delta_{12}ГП_t$ и $\Delta_{12}ГП_{t-1}$ – сезонные разности первого порядка, вычисляемые как

$$\Delta_{12}ГП_t = ГП_t - ГП_{t-12}, \quad \Delta_{12}ГП_{t-1} = ГП_{t-1} - ГП_{t-13}.$$

Тогда уравнение модели

$$ГП_t = \varepsilon_t + ГП_{t-12} + \phi_1 (ГП_{t-1} - ГП_{t-13}),$$

где $ГП_t, ГП_{t-1}, ГП_{t-12}, ГП_{t-13}$ – значения объемов грузопереработки в периоды времени $t, t - 1, t - 12, t - 13$. Например, если вычисляется значение грузопереработки ТЭП в период $t = 43$ месяца (период времени относительно начала наблюдений) $ГП_{43}$, то $ГП_{42} = 189,8$ тыс. т; $ГП_{31} = 345,4$ тыс. т; $ГП_{30} = 313,4$ тыс. т (см. таблицу 3.29);

ϕ_1 – коэффициент авторегрессионной составляющей уравнения модели АРПСС, вычисляемый с помощью нелинейного МНК;

ε_t – переменная, выражающая необъясненную часть исследуемого процесса (ошибка модели), $\varepsilon_t \rightarrow 0$.

Для сравнения, некоторые другие модели АРПСС и их уравнения, которые могут быть получены в процессе автокорреляционного анализа, приведены в таблице 3.32.

Т а б л и ц а 3.32 – Различные модели АРПСС и их математическое выражение

Модель	Формулы преобразования и уравнение модели
АРПСС (1,0,1)(0,1,0) ₁₂ : ϕ_1, ω_1 – несезонные параметры авторегрессии и скользящего среднего	Исходное уравнение: $\Delta_{12}ГП_t = \varepsilon_t + \phi_1 \Delta_{12}ГП_{t-1} - \omega_1 \varepsilon_{t-1}$, где $\varepsilon_{t-1} = ГП_{t-1} - \widehat{ГП}_{t-1}$ Разности: $\Delta_{12}ГП_t = ГП_t - ГП_{t-12}$; $\Delta_{12}ГП_{t-1} = ГП_{t-1} - ГП_{t-13}$. Полное уравнение модели: $ГП_t = \varepsilon_t + ГП_{t-12} + \phi_1 (ГП_{t-1} - ГП_{t-13}) - \omega_1 \varepsilon_{t-1}$
АРПСС (0,1,1)(0,1,1) ₁₂ : ω_1, Ω_1 – несезонный и сезонный параметры скользящего среднего	Исходное уравнение: $\Delta \Delta_{12}ГП_t = \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \Omega_1 \varepsilon_{t-12}$, где $\varepsilon_{t-1} = ГП_{t-1} - \widehat{ГП}_{t-1}$ $\varepsilon_{t-1} = ГП_{t-1} - \widehat{ГП}_{t-1}$. Разности: $\Delta \Delta_{12}ГП_t = \Delta(\Delta_{12}ГП_t) = \Delta(ГП_t - ГП_{t-12}) = (ГП_t - ГП_{t-12}) - (ГП_{t-1} - ГП_{t-13}) = ГП_t - ГП_{t-1} - ГП_{t-12} + ГП_{t-13}$. Полное уравнение модели: $ГП_t = ГП_{t-1} + ГП_{t-12} - ГП_{t-13} + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \Omega_1 \varepsilon_{t-12}$.

Продолжение таблицы 3.32

Модель	Формулы преобразования и уравнение модели
<p>АРСС (0,1,0)(0,1,3)₁₂: $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ – сезонные пара- метры скользя- щего среднего</p>	<p>Исходное уравнение: $\Delta\Delta_{12}ГП_t = \varepsilon_t - \Omega_1\varepsilon_{t-12} - \Omega_2\varepsilon_{t-24} - \Omega_3\varepsilon_{t-36}$, где $\varepsilon_{t-12} = ГП_{t-12} - \widehat{ГП}_{t-12}$; $\varepsilon_{t-24} = ГП_{t-24} - \widehat{ГП}_{t-24}$; $\varepsilon_{t-36} = ГП_{t-36} - \widehat{ГП}_{t-36}$.</p> <p>Разности: $\Delta\Delta_{12}ГП_t = \Delta(\Delta_{12}ГП_t) = \Delta(ГП_t - ГП_{t-12}) = (ГП_t - ГП_{t-12}) - (ГП_{t-1} - ГП_{t-13}) = ГП_t - ГП_{t-1} - ГП_{t-12} + ГП_{t-13}$.</p> <p>Полное уравнение модели: $ГП_t = ГП_{t-1} + ГП_{t-12} - ГП_{t-13} + \varepsilon_t - \Omega_1\varepsilon_{t-12} - \Omega_2\varepsilon_{t-24} - \Omega_3\varepsilon_{t-36}$.</p>
<p>АРСС (0,1,0)(0,1,0)₁₂ без параметров</p>	<p>Исходное уравнение: $\Delta\Delta_{12}ГП_t = \varepsilon_t$, где $\varepsilon_t \rightarrow 0$.</p> <p>Разности: $\Delta\Delta_{12}ГП_t = \Delta(\Delta_{12}ГП_t) = \Delta(ГП_t - ГП_{t-12}) = (ГП_t - ГП_{t-12}) - (ГП_{t-1} - ГП_{t-13}) = ГП_t - ГП_{t-1} - ГП_{t-12} + ГП_{t-13}$.</p> <p>Полное уравнение модели: $ГП_t = ГП_{t-1} + ГП_{t-12} - ГП_{t-13} + \varepsilon_t$.</p>
<p>АРСС (0,1,1)(0,1,0)₁₂ с параметрами: ω_1 – параметр несезонного скользящего среднего</p>	<p>Исходное уравнение: $\Delta\Delta_{12}ГП_t = \varepsilon_t - \omega_1\varepsilon_{t-1}$, где $\varepsilon_{t-1} = ГП_{t-1} - \widehat{ГП}_{t-1}$.</p> <p>Разности: $\Delta\Delta_{12}ГП_t = \Delta(\Delta_{12}ГП_t) = \Delta(ГП_t - ГП_{t-12}) = (ГП_t - ГП_{t-12}) - (ГП_{t-1} - ГП_{t-13}) = ГП_t - ГП_{t-1} - ГП_{t-12} + ГП_{t-13}$.</p> <p>Полное уравнение модели: $ГП_t = ГП_{t-1} + ГП_{t-12} - ГП_{t-13} + \varepsilon_t - \omega_1\varepsilon_{t-1}$.</p>
<p>АРСС (1,1,1)(0,0,0)₁₂: φ_1, ω_1 – несезонные параметры авторегрессии и скользящего среднего</p>	<p>Исходное уравнение: $\Delta ГП_t = \varepsilon_t + \varphi_1\Delta ГП_{t-1} - \omega_1\varepsilon_{t-1}$, где $\varepsilon_{t-1} = ГП_{t-1} - \widehat{ГП}_{t-1}$.</p> <p>Разности: $\Delta ГП_t = ГП_t - ГП_{t-1}$; $\Delta ГП_{t-1} = ГП_{t-1} - ГП_{t-2}$.</p> <p>Полное уравнение модели: $ГП_t = \varepsilon_t + ГП_{t-1} + \varphi_1(ГП_{t-1} - ГП_{t-2}) - \omega_1\varepsilon_{t-1}$</p>
<p>АРСС (1,0,0)(2,1,2)₁₂: $\varphi_0 - \text{const}$; $\varphi_1, \Phi_1, \Phi_2$ – несезонный и сезонные параметры авторегрессии; Ω_1, Ω_2 – параметры сезонного скользящего среднего</p>	<p>Исходное уравнение: $\Delta_{12}ГП_t = \varphi_0 + \varphi_1\Delta_{12}ГП_{t-1} + \Phi_1\Delta_{12}ГП_{t-12} + \Phi_2\Delta_{12}ГП_{t-24} - \Omega_1\varepsilon_{t-12} - \Omega_2\varepsilon_{t-24} + \varepsilon_t$, где $\varepsilon_{t-12} = ГП_{t-12} - \widehat{ГП}_{t-12}$; $\varepsilon_{t-24} = ГП_{t-24} - \widehat{ГП}_{t-24}$.</p> <p>Разности: $\Delta_{12}ГП_t = ГП_t - ГП_{t-12}$; $\Delta_{12}ГП_{t-1} = ГП_{t-1} - ГП_{t-13}$; $\Delta_{12}ГП_{t-12} = ГП_{t-12} - ГП_{t-24}$; $\Delta_{12}ГП_{t-24} = ГП_{t-24} - ГП_{t-36}$.</p> <p>Полное уравнение модели: $ГП_t = \varphi_0 + ГП_{t-12} + \varphi_1(ГП_{t-1} - ГП_{t-13}) + \Phi_1(ГП_{t-12} - ГП_{t-24}) + \Phi_2(ГП_{t-24} - ГП_{t-36}) - \Omega_1\varepsilon_{t-12} + \Omega_2\varepsilon_{t-24} + \varepsilon_t$.</p>

Окончание таблицы 3.32

Модель	Формулы преобразования и уравнение модели
АРПСС $(0,1,0)(1,1,1)_{12}$: Φ_1 – сезонный параметр авторегрессии; Ω_1 – параметр сезонного скользящего среднего	Исходное уравнение: $\Delta\Delta_{12}ГП_t = \varepsilon_t + \Phi_1\Delta\Delta_{12}ГП_{t-12} - \Omega_1\varepsilon_{t-12}, \varepsilon_{t-12} = ГП_{t-12} - \widehat{ГП}_{t-12}$ Разности: $\Delta\Delta_{12}ГП_t = ГП_t - ГП_{t-1} - ГП_{t-12} + ГП_{t-13}$; $\Delta\Delta_{12}ГП_{t-12} = ГП_{t-12} - ГП_{t-13} - ГП_{t-24} + ГП_{t-25}$. Полное уравнение модели: $ГП_t = \varepsilon_t + ГП_{t-1} + ГП_{t-12} - ГП_{t-13} +$ $+ \Phi_1(ГП_{t-12} - ГП_{t-13} - ГП_{t-24} + ГП_{t-25}) - \Omega_1\varepsilon_{t-12}$.

Вычисление коэффициента ϕ_1 уравнения модели АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$ в виду трудоемкости расчетов целесообразно производить с использованием специальных компьютерных программ, например, *StatGraphics Centurion XV*. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

1 Последовательно (в один столбец) ввести в таблицу данных программы *StatGraphics Centurion XV* первых 36 значений месячных объемов переработки грузов из таблицы 3.29 (рисунок 3.14), что будет соответствовать трехлетнему периоду наблюдений.

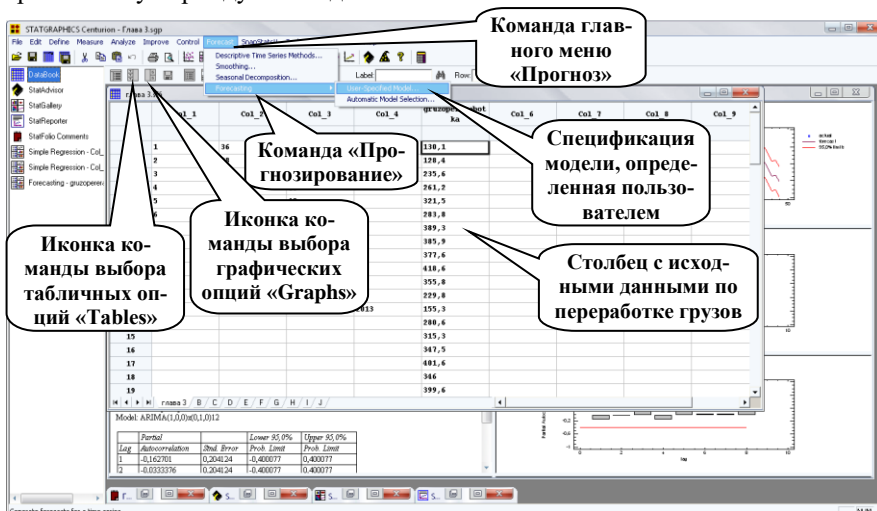


Рисунок 3.14 – Таблица данных программы *StatGraphics Centurion XV*

2 Выбрать и активировать в главном меню программы команду «Forecast», затем в появившемся субменю – команды «Forecasting» и «User-Specified Model...». В диалоговом окне функции «Forecasting» кнопкой «Data» указывается колонка таблицы данных, например, «gruzopererabotka», период сезонности и количество периодов, на которые рассчитывается прогноз, а также другие параметры (рисунок 3.15). Если требуется получить прогноз на один год перспективы, необходимо записать в соответствующее поле цифру «12».

3 В главном меню активировать кнопку табличных опций «Tables» и в открывшемся окне выбрать пять первых табличных функций («Общий анализ», «Таблица с результатами прогноза», «Сравнение моделей», «Автокорреляционная функция остатков прогнозной модели», «Частная автокорреляционная функция остатков прогнозной модели»). Аналогичные действия выполнить для настройки графических опций с помощью кнопки «Graphs», выбрав в окне настроек функции «График временного ряда», «АКФ», «ЧАКФ» остатков прогнозной модели (рисунок 3.16).

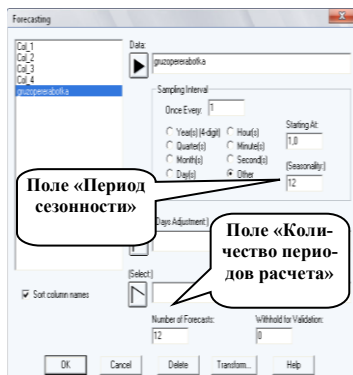


Рисунок 3.15 – Диалоговое окно указания параметров исходных данных для разработки прогнозных моделей

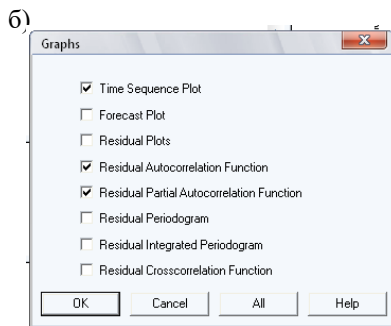
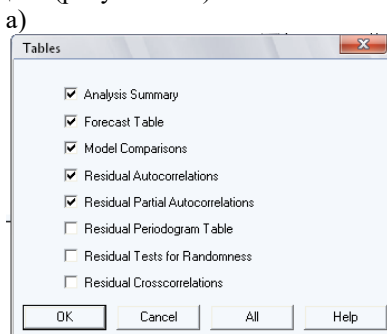


Рисунок 3.16 – Окна настройки табличных (а) и графических (б) опций

4 Правой кнопкой манипулятора «мышь» вызвать всплывающее меню и выбрать команду «Опции анализа» (рисунок 3.17). В появившемся диалоговом окне типов и спецификаций моделей прогнозирования выбрать модель АРПСС (ARIMA) и задать выбранные ранее ее параметры.

Так, для модели $ARIMA(AR, D, MA)(SAR, DS, SMA)_{12}$ (в программном обозначении) вида АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$ необходимо задать: сезонную разность первого порядка $DS = 1$ (цифра «1» в поле «Порядок сезонности»); один параметр несезонной авторегрессии $AR = 1$ (цифра «1» в поле «AR»). Данный параметр и представляет собой неизвестный коэффициент ϕ_1 авторегрессионной составляющей уравнения модели АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$. Далее снять флажок указателя «Constant», что означает невключение в параметры модели константы уравнения ϕ_0 . В остальные поля параметров спецификации модели АРПСС ввести цифру «0» («Порядок обычной раз-

ности» ($D = 0$); поле параметров несезонного скользящего среднего «МА» ($MA = 0$); поля сезонной авторегрессии «SAR» ($SAR = 0$) и скользящего среднего «SMA» ($SMA = 0$)).

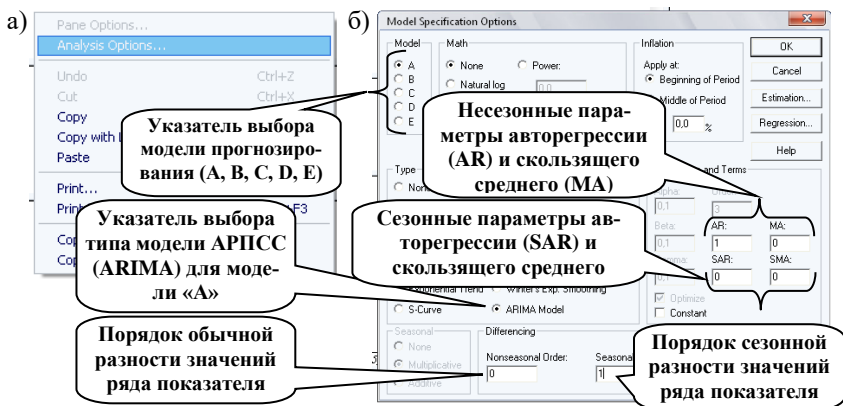


Рисунок 3.17 – Всплывающее меню команд (а) и окно типов и спецификаций моделей прогнозирования (б)

Одновременно можно задавать параметры спецификации до пяти различных моделей (A, B, C, D, E) и затем сравнивать их между собой по критериям качества (см. рисунок 3.17). Например, для указателя B можно задать тип альтернативной модели АРПСС $(1,1,0)(0,1,0)_{12}$ и т. д. На экран пользователя будет выводиться информация о той модели, указатель которой активен в данный момент в окне типов и спецификации прогнозных моделей. Сравнительные характеристики моделей A, B, C, D, E приводятся в окне опции «Сравнение моделей» («Model Comparison»). Сравнение выполняется по критериям минимизации ошибок прогнозных моделей: RMSE (среднеквадратическая ошибка), MAE (средняя абсолютная ошибка), MAPE (средняя абсолютная процентная (относительная) ошибка), MPE (средняя процентная (относительная) ошибка) и ME (средняя ошибка). Основным критерием является среднеквадратическая ошибка RMSE, которая должна стремиться к минимуму. Чем меньше величина RMSE, тем лучше модель объясняет поведение исходных данных и выше ее качество. Дополнительно остатки моделей тестируются на наличие автокорреляции, расхождения дисперсий частей выборки относительно средней ошибки и др. (AUTO, VAR, MEAN, RUNS, RUNM). Желательно, чтобы по всем тестам имелась незначимая оценка теста остатков, обозначаемая служебным словом «OK».

Так, после выполнения расчетов параметров заданной модели АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$ программа выполняет построение графиков прогнозной модели, АКФ и ЧАКФ остатков прогнозной модели, в таблицах приводятся прогнозные значения грузопереработки на 12 периодов (месяцев) (окно оп-

ции «Таблица с результатами прогноза»), значения коэффициентов АКФ и ЧАКФ остатков прогнозной модели с выделением красным цветом значимых по величине, и значения заданных параметров прогнозной модели (окно опции «Общий анализ»). В данном случае в этом окне находится оценка неизвестного коэффициента φ_1 авторегрессионной составляющей уравнения модели АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$, который обозначается в программе как AR(1). Необходимо обязательно оценить значимость этой оценки, информация о которой также приводится в окне «Общий анализ» (рисунок 3.18). В результате расчетов получено, что уровень значимости коэффициента φ_1 $p\text{-value} = 0,000087$ ($p\text{-value} < 0,05$), следовательно, значение $\varphi_1 = 0,707255$ значимо отличается от нуля, и он может быть включен в уравнение модели.

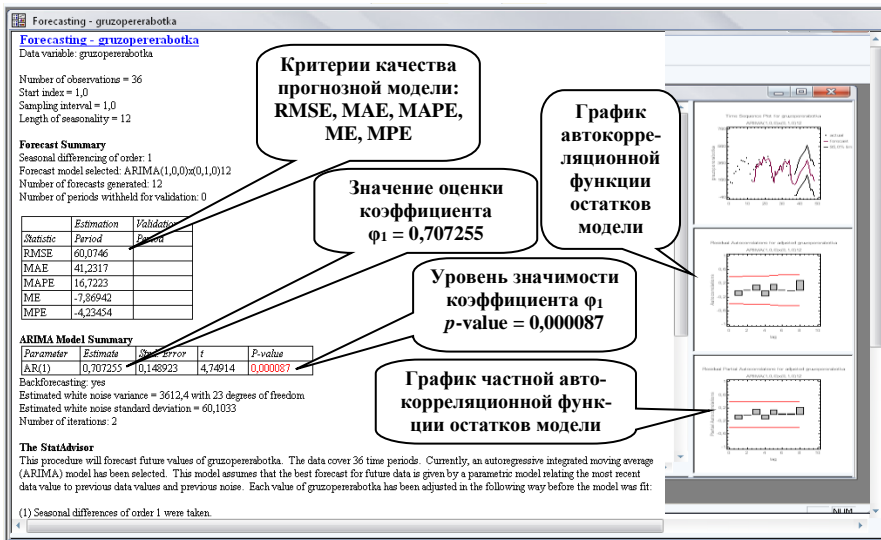


Рисунок 3.18 – Окно «Общий анализ» с результатами расчета оценки коэффициента φ_1

С помощью данной модели АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$ прогнозируется сезонное изменение процесса грузопереработки. Так, для периода $t = 37$ месяцев (месяц январь 4-го года наблюдений) при $\varepsilon_{37} \rightarrow 0$

$$\begin{aligned} \Gamma\Pi_{37} &= \varepsilon_{37} + \Gamma\Pi_{25} + \varphi_1(\Gamma\Pi_{36} - \Gamma\Pi_{24}) = \\ &= 144,3 + 0,707255(145,1 - 195,1) = 108,94 \text{ тыс. т.} \end{aligned}$$

Аналогичным образом последовательно вычисляются значения ГП, для остальных периодов 4-го года (см. таблицу 3.29). Графическая интерпретация результатов прогнозирования объемов переработки грузов ТЭП, полученных с помощью модели АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$, представлена на рисунке 3.19.

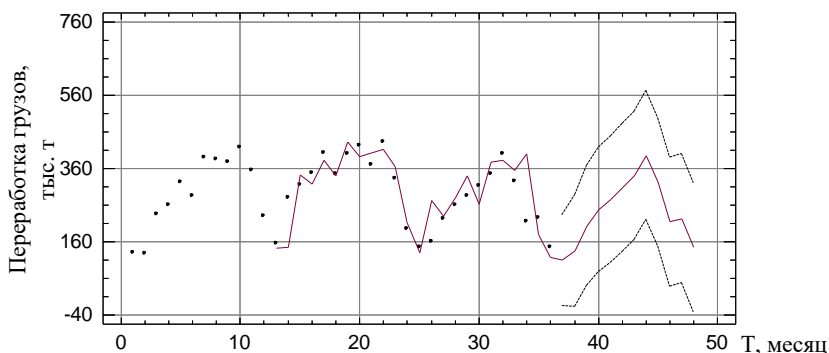


Рисунок 3.19 – Прогноз объемов переработки грузов ТЭП на 12 месяцев, рассчитанный с помощью модели АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$, и границы прогноза

Результаты прогнозных расчетов и границы прогноза приведены в таблице 3.33.

Т а б л и ц а 3.33 – Прогнозные значения объемов грузопереработки на 12 периодов

Месяц года	Прогноз объемов переработки, тыс. т	Ошибка прогноза, тыс. т (%)	Границы прогноза, тыс. т	
			нижняя	верхняя
Январь	108,937	11,663 (9,7 %)	-15,3961	233,271
Февраль	134,389	-69,577 (-32,0 %)	-17,8978	286,677
Март	203,711	31,289 (13,3 %)	39,2138	368,209
Апрель	246,889	15,611 (5,9 %)	76,6127	417,166
Май	275,352	25,048 (8,3 %)	102,257	448,447
Июнь	307,142	57,146 (30,1 %)	132,654	481,63
Июль	340,974	–	165,794	516,155
Август	396,170	–	220,644	571,696
Сентябрь	322,186	–	146,488	497,885
Октябрь	214,334	–	38,5495	390,119
Ноябрь	222,993	–	47,1648	398,82
Декабрь	144,317	–	-31,5326	320,166

Из рисунка 3.19 и таблицы 3.33 видно, что максимальная грузопереработка предполагается в июне–августе, минимальная – в январе–феврале и декабре, а выявленная внутригодовая неравномерность (сезонность) объемов работы ТЭП с большой вероятностью будет повторяться ежегодно.

Проверка точности прогнозной модели АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$ на контрольной последовательности с использованием фактических значений объемов переработки грузов в период с января по июнь 4-го года наблюдений (см. таблицу 3.29) показала, что полученный прогноз имеет приемлемое качество. Так, ошибка прогноза в 37-м периоде составила $\Delta \text{ГП}_{37} = \text{ГП}_{37} - \hat{\text{ГП}}_{37} = 120,6 - 108,937 = 11,663$ тыс. т или 9,7 % (< 10 %), что является удовлетворительной величиной. Из шести периодов наихудшая

точность прогнозирования получена лишь в 38-м (февраль) и 42-м (июнь) периодах и требуется дополнительное изучение причин такого отклонения, т. к. присутствуют скрытые периодичности, подверженные сложно прогнозируемым изменениям внешней среды. Для этих периодов ошибка прогноза рассчитана, соответственно, для верхней и нижней границ прогноза (см. таблицы 3.29 и 3.33). По мере появления новых данных параметры модели могут уточняться для повышения точности прогнозов. Значительно повысить точность прогнозирования можно путем применения сложных, совмещенных моделей, например, тренд-сезонных вида $Y_t = \text{Tr}Cz_t + \varepsilon_t$, представляющих собой сезонные модели с наложенными трендовыми составляющими, а в перспективе и циклическими флуктуациями. Такие модели обладают изменяемой вариабельностью прогнозных значений в зависимости от фазы цикла и сезонности. В этом случае ошибка прогнозов не будет превышать 5 %.

Адекватность прогнозных моделей реальным процессам проверяется на основе анализа остатков моделей ($e_t = y_t - \hat{y}_t$), которые должны быть:

- 1) случайными и небольшими по величине, разными по знакам;
- 2) нормально распределены, т.е. подчиняться распределению Гаусса, с нулевым средним значением $\bar{e}_t \approx 0$ (белый шум);
- 3) остатки, вычисленные в различные периоды времени, не должны коррелировать между собой, что выявляется с помощью автокорреляционного анализа.

Выполнение приведенных требований указывает на то, что полезная информация извлечена из исходных данных достаточно полно и спецификация модели выбрана правильно, модель имеет оптимальную сложность.

Для оценки адекватности прогнозной модели АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$ исходным данным необходимо, прежде всего, проанализировать АКФ и ЧАКФ остатков этой модели (рисунок 3.20).

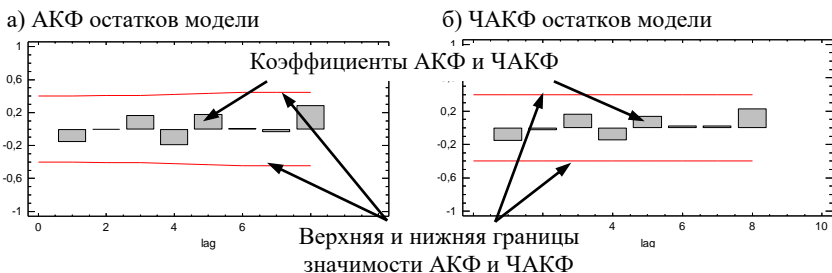


Рисунок 3.20 – Автокорреляционная (а) и частная автокорреляционная (б) функции остатков прогнозной модели АРПСС $(1,0,0)(0,1,0)_{12}$

Анализ рисунка 3.20 и численных значений таблиц АКФ и ЧАКФ, полученных с помощью программы *StatGraphics*, показывает, что оценки коэффициентов АКФ и ЧАКФ небольшие по величине, имеют разные знаки, не

один из коэффициентов не является значимым (величина оценок коэффициентов АКФ, ЧАКФ не превышает границ значимости), следовательно, остатки не коррелируют между собой ни в одном из периодов временной сдвигки (лаге). В целом АКФ и ЧАКФ ведут себя как функции случайных процессов, что означает, что вся полезная информация извлечена из исходных данных. Можно сделать вывод, что модель АРПСС (1,0,0)(0,1,0)₁₂ адекватно отражает реальный процесс грузопереработки ТЭП и является моделью оптимальной сложности, поэтому может быть использована для целей прогнозирования.

Пример 3.11. Используя данные примера 3.2, установим расчетные размеры грузового движения на подходах к железнодорожному узлу Н.

Решение. Для вагоно- и поездопотоков на участках характерны существенные колебания. Поэтому устройства станций и узлов рассчитывают на размеры движения, в которых учтены внутригодовые, внутримесячные и внутрисуточные колебания. Эти колебания описываются нормальным законом распределения

$$P(N_{ij}) = \frac{1}{\sigma_{kt} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N_{ij} - \bar{N}_{ij})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.36)$$

где N_{ij} – текущие размеры движения на участке ij ;

σ_{kt} – среднее квадратичное отклонение, учитывающее внутригодовую, внутримесячную и внутрисуточную неравномерность.

Кроме того, следует учитывать и отклонения размеров движения от расчетных величин, вызываемые ошибками прогнозирования. Поэтому

$$P(N_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{(\sigma_{kt}^2 + \sigma_{nt}^2)2\pi}} e^{-\frac{(N_{ij} - \bar{N}_{ij})^2}{2(\sigma_{kt}^2 + \sigma_{nt}^2)}}, \quad (3.37)$$

где σ_{nt} – среднее квадратичное отклонение ошибки, зависящее от прогнозного горизонта.

С достаточной для практических целей точностью

$$\sigma_{kt} = \frac{1}{3} N_{ij} (k_{\Gamma} k_{\text{M}} - 1), \quad (3.38)$$

где k_{Γ} – коэффициент внутригодовой неравномерности, равный 1,05–1,20;

k_{M} – коэффициент внутримесячной неравномерности. Для однопутных линий $k_{\text{M}} = 1,2 \dots 1,25$, а для двухпутных

$$k_{\text{M}} = 1 + 1,5(0,07 + 1/\bar{N}_{ij}). \quad (3.39)$$

Учитывая, что все подходы к узлу Н двухпутные, и используя данные таблицы 3.8, для направления А–Н (10-й год) получим

$$k_M^{AH} = 1 + 1,5(0,07 + 1/31,2) = 1,153.$$

Аналогично рассчитаны k_M для остальных направлений (таблица 3.34).

Таблица 3.34 – Коэффициенты внутримесячной неравномерности

Период	Направления					
	А–Н	Б–Н	В–Н	Н–А	Н–Б	Н–В
10-й год	1,153	1,163	1,168	1,156	1,178	1,149
Перспектива	1,150	1,160	1,161	1,159	1,174	1,144

Приняв коэффициент внутригодовой неравномерности равным 1,10, получим среднее квадратичное отклонение для направления А–Н:

$$\sigma_{kt}^{AH} = \frac{1}{3} \cdot 31,2(1,10 \cdot 1,153 - 1) = 2,79 \text{ поезда.}$$

Для остальных направлений результаты расчета значений σ_{kt} приведены в таблице 3.35.

Таблица 3.35 – Значения среднего квадратичного отклонения ошибки прогноза

Период	Направления					
	А–Н	Б–Н	В–Н	Н–А	Н–Б	Н–В
10-й год	2,79	2,41	2,25	2,69	2,03	3,02
Перспектива	2,93	2,50	2,48	2,57	2,12	3,28

Среднее квадратичное отклонение ошибки прогноза (для прогнозных моделей оптимальной сложности)

$$\sigma_{nt} = \frac{\beta_t N_{ijt}}{3}, \quad (3.40)$$

где β_t – относительная ошибка прогноза в году t . Для периода прогнозирования 0, 5, 10, 15, 20 лет соответственно равно 0; 0,04–0,12; 0,09–0,28; 0,15–0,45; 0,21–0,66;

N_{ijt} – размеры движения на направлении ij в году t .

Значения σ_{nt} для направлений сведены в таблицу 3.36.

Таблица 3.36 – Результаты расчета среднего квадратичного отклонения ошибки прогноза, зависящего от прогнозного горизонта

Период	Направления					
	А–Н	Б–Н	В–Н	Н–А	Н–Б	Н–В
10-й год	0,94	0,78	0,71	0,89	0,62	1,03
Перспектива	2,32	1,81	1,88	1,96	1,53	2,67

Расчетные размеры грузового движения на подходах к узлу Н при заданной расчетной надежности

$$N_{ij}^P = \bar{N}_{ij} + t_{\beta} \sqrt{\sigma_{kt}^2 + \sigma_{nt}^2}, \quad (3.41)$$

где t_β – расчетный параметр, значения которого зависят от уровня надежности P . Для практических целей достаточно $P = 0,95 \dots 0,97$. Используя формулу (3.37) и таблицу Лапласа, при $P = 0,95$ получим $t_\beta = 1,65$ (при $P = 0,97$ получим $t_\beta = 1,5$).

Для рассматриваемого примера на 10-й год

$$N_{A-H}^P = 31,2 + 1,65 \sqrt{2,79^2 + 0,94^2} = 36,3 = 37 \text{ поездов.}$$

Для остальных направлений расчетные размеры движения рассчитаны аналогично (таблица 3.37).

Таблица 3.37 – Результаты расчета размеров движения

Период	Направления					
	А–Н	Б–Н	В–Н	Н–А	Н–Б	Н–В
10-й год	37	30	28	35	25	40
Перспектива	40	33	32	34	27	45

Пример 3.12. Основная в узле Н станция 1 (см. рисунок 3.1). Определим расчетные размеры движения на 10-й и 20-й годы в транзитном парке, обслуживающем направления В–Н и Б–Н, если они составляют 70 % среднесуточных размеров движения на подходе В–Н и 30 % на подходе Б–Н.

Решение. По таблице 3.8 устанавливаем среднесуточные размеры движения транзитных поездов:

$$N_{B-H(10)}^{TP} = 23,07 \cdot 0,7 = 17; N_{B-H(10)}^{TP} = 25,9 \cdot 0,3 = 8;$$

$$N_{B-H(20)}^{TP} = 26,9 \cdot 0,7 = 19; N_{B-H(20)}^{TP} = 27,2 \cdot 0,3 = 8.$$

Расчетные размеры движения транзитных поездов, прибывающих в парк:

$$\bar{N}_t^P = \sum_{s=1}^k N_{ijt} + t_p \sigma_t, \quad (3.42)$$

где s – количество подходов к парку;

N_{ijt} – расчетное количество поездов, прибывающих в парк в году t ;

σ_t – расчетное значение среднего квадратичного отклонения в году t ,

$$\sigma_t = \sqrt{\sum_{s=1}^k \sigma_{st}^2 + 2 \sum_{s < l}^k r_{sl} \sigma_{st} \sigma_{lt}}, \quad (3.43)$$

σ_{st} – среднее квадратичное отклонение потока поездов на подходе s ;

r_{sl} – коэффициент взаимной корреляции потоков двух линий s и l , равный $-0,12 \dots +0,38$.

Если к парку примыкают две линии, то

$$\sigma_i^{(2)} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2r_{12}\sigma_1\sigma_2}. \quad (3.44)$$

Рассчитаем σ_{kt} (по формуле (3.38), а σ_{nt} – по формуле (3.40). Тогда

$$\sigma_{st} = \sqrt{\sigma_{kt}^2 + \sigma_{nt}^2}.$$

Подставляя исходные данные, получим:

$$\sigma_{B-H(10)} = \sqrt{(17(1,193 \cdot 1,10 - 1)/3)^2 + ((0,09 \cdot 17)/3)^2} = \sqrt{3,1312 + 0,2601} = 1,84;$$

$$\sigma_{B-H(20)} = 2,33; \quad \sigma_{B-H(10)} = 1,15; \quad \sigma_{B-H(20)} = 1,15.$$

$$\text{По формуле (3.29) } \sigma_{(10)}^{(2)} = \sqrt{1,84^2 + 1,15^2 + 2 \cdot 0,15 \cdot 1,84 \cdot 1,15} = 2,31;$$

$$\sigma_{(20)}^{(2)} = \sqrt{2,33^2 + 1,15^2 + 2 \cdot 0,15 \cdot 2,33 \cdot 1,15} = 2,80.$$

Тогда расчетные размеры работы транзитного парка станции 1 (см. рисунок 3.1), формулу (3.42):

$$N_{(10)}^P = 17 + 8 + 1,65 \cdot 2,31 = 29; \quad N_{(20)}^P = 19 + 8 + 1,65 \cdot 2,80 = 32 \text{ поезда.}$$

Пример 3.13. Среднесуточный транспортный поток грузов, перерабатываемый транспортной системой, формируется из 10 элементарных потоков (таблица 3.38). Рассчитать величину суммарного транспортного потока с учетом взаимной корреляции элементарных (частных) потоков грузов (таблица 3.39). Оценка данной величины необходима для оптимизации управления транспортной системой и уровня ее технического оснащения.

Решение. Характеристика транспортных потоков задана в таблице 3.38, а в таблице 3.39 приведены коэффициенты взаимной корреляции этих потоков.

Таблица 3.38 – Параметры элементарных (частных) потоков по родам грузов

Род груза	Поток m_j , тр. ед./сут	Расчетные параметры прогнозных функций для среднеквадратического отклонения	
		a_j	b_j
1	150	1,332	0,660
2	210	1,284	0,720
3	175	1,300	0,634
4	145	1,285	0,553
5	205	1,188	0,705
6	125	1,260	0,665
7	210	1,205	0,765
8	180	1,305	0,585
9	240	1,280	0,613
10	290	1,255	0,681

В соответствии с теорией колебаний транспортных потоков [9] амплитуду их колебаний можно оценить с помощью среднеквадратического отклонения значений транспортных потоков относительно средней величины σ_j , тр. ед.,

На основе исследований в [9] установлено, что

$$\sigma_j = a_j \bar{m}_j^{b_j} \quad (3.45)$$

где \bar{m}_j – среднее значение транспортного потока j -го рода груза (см. таблицу 3.38);

a_j, b_j – эмпирические параметры прогнозной модели (см. таблицу 3.38).

Таблица 3.39 – Коэффициенты взаимной корреляции частных потоков

Γ_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	–									
2	–0,84	–								
3	0,72	–0,18	–							
4	0,41	0,35	0,22	–						
5	0,21	–0,45	–0,80	0,37	–					
6	–0,05	0,29	0,05	0,52	0,60	–				
7	0,81	–0,11	0,78	0,29	–0,37	–0,44	–			
8	–0,74	0,84	–0,08	–0,38	0,11	–0,24	–0,81	–		
9	–0,54	–0,29	–0,44	–0,08	0,84	–0,36	–0,66	–0,78	–	
10	–0,60	0,35	–0,55	0,07	0,79	0,59	–0,59	–0,71	–0,25	–

Для условий примера результаты расчета характеристик частных потоков приведены в таблице 3.40.

Таблица 3.40 – Параметры колебаний элементарных (частных) потоков

Род груза	σ_j , тр. ед.	σ_j^2 , тр. ед. ²	Род груза	σ_j , тр. ед.	σ_j^2 , тр. ед. ²
1	36,368	1322,662	6	31,248	976,408
2	60,334	3640,205	7	72,025	5187,637
3	34,358	1180,481	8	27,224	741,122
4	20,14	405,7	9	36,837	1356,935
5	50,653	2565,7	10	59,640	3556,915

Далее рассчитывается среднеквадратическое отклонение общего (интегрального) потока, тр. ед., состоящего из 10 элементарных, без учета взаимной корреляции частных потоков между собой:

$$\sigma_{\text{общ}} = \sqrt{\sum_{j=1}^{10} \sigma_j^2}, \quad (3.46)$$

В соответствии с данными таблицы 3.40, имеем

$$\sigma_{\text{общ}} = \sqrt{1322,662 + 3640,205 + 1180,481 + 405,7 + 2565,7 + 976,408 + 5187,637 + 741,122 + 1356,935 + 3556,915} \approx 145 \text{ тр. ед.}$$

Однако учет взаимной корреляции отдельных транспортных потоков позволяет уточнить максимальный размах колебаний интегрального потока, и, следовательно, более правильно распределять ресурсы и планировать их переработку.

Коэффициенты взаимной корреляции принимаются по таблице 3.39. Например, коэффициент взаимной корреляции между 3-м и 5-м родами грузов равен $r = -0,80$. Это означает, что значения 3-го и 5-го потоков изменяются взаимосвязано друг с другом, однако в противоположных фазах.

Среднеквадратическое отклонение общего (интегрального) потока, тр. ед., состоящего из 10 элементарных, с учетом взаимной корреляции частных потоков между собой

$$\sigma_{\text{инт}} = \sqrt{\sum_{j=1}^{10} \sigma_j^2 + 2 \sum_{j=1}^9 \sum_{s=j+1}^{10} r_{js} \sigma_j \sigma_s}, \quad (3.47)$$

где r_{js} – коэффициент взаимной корреляции между j -м и s -м родами груза.

Рассчитывают $\sigma_{\text{инт}}$ в следующем порядке.

Вначале определяется значение суммы $\sum_{s=j+1}^{10} r_{js} \sigma_j \sigma_s$. Расчет ведется по

итерациям. Номер итерации соответствует номеру столбца в таблице 3.39. Например, при $j = 1$

$$\begin{aligned} \sum_{s=2}^{10} r_{1s} \sigma_1 \sigma_s &= r_{1-2} \sigma_1 \sigma_2 + r_{1-3} \sigma_1 \sigma_3 + r_{1-4} \sigma_1 \sigma_4 + r_{1-5} \sigma_1 \sigma_5 + \\ &+ r_{1-6} \sigma_1 \sigma_6 + r_{1-7} \sigma_1 \sigma_7 + r_{1-8} \sigma_1 \sigma_8 + r_{1-9} \sigma_1 \sigma_9 + r_{1-10} \sigma_1 \sigma_{10} = \\ &= \sigma_1 \left(r_{1-2} \sigma_2 + r_{1-3} \sigma_3 + r_{1-4} \sigma_4 + r_{1-5} \sigma_5 + r_{1-6} \sigma_6 + r_{1-7} \sigma_7 + r_{1-8} \sigma_8 + r_{1-9} \sigma_9 + r_{1-10} \sigma_{10} \right) \end{aligned}$$

или

$$\sum_{s=2}^{10} r_{1s} \sigma_1 \sigma_s = 36,368 \left(\begin{array}{l} -0,84 \cdot 60,334 + 0,72 \cdot 34,358 + \\ + 0,41 \cdot 20,14 + 0,21 \cdot 50,653 + \\ + (-0,05) \cdot 31,248 + 0,81 \cdot 72,025 + \\ (-0,74) \cdot 27,224 + (-0,54) \cdot 36,837 + \\ + (-0,60) \cdot 59,64 \end{array} \right) \cong -948,85 \text{ тр. ед.}^2$$

При $j = 2$

$$\begin{aligned} \sum_{s=3}^{10} r_{2s} \sigma_2 \sigma_s &= r_{2-3} \sigma_2 \sigma_3 + r_{2-4} \sigma_2 \sigma_4 + r_{2-5} \sigma_2 \sigma_5 + r_{2-6} \sigma_2 \sigma_6 + \\ &+ r_{2-7} \sigma_2 \sigma_7 + r_{2-8} \sigma_2 \sigma_8 + r_{2-9} \sigma_2 \sigma_9 + r_{2-10} \sigma_2 \sigma_{10} = \\ &= \sigma_2 \left(r_{2-3} \sigma_3 + r_{2-4} \sigma_4 + r_{2-5} \sigma_5 + r_{2-6} \sigma_6 + r_{2-7} \sigma_7 + r_{2-8} \sigma_8 + r_{2-9} \sigma_9 + r_{2-10} \sigma_{10} \right) \end{aligned}$$

или

$$\sum_{s=3}^{10} r_{2,s} \sigma_2 \sigma_s = 60,334 \begin{pmatrix} -0,18 \cdot 34,358 + 0,35 \cdot 20,14 + \\ + (-0,45) \cdot 50,653 + 0,29 \cdot 31,248 + \\ + (-0,11) \cdot 72,025 + 0,84 \cdot 27,224 + \\ + (-0,29) \cdot 36,837 + 0,35 \cdot 59,64 \end{pmatrix} \cong 740,31 \text{ тр. ед.}^2$$

При $j = 3$

$$\sum_{s=4}^{10} r_{3,s} \sigma_3 \sigma_s = \sigma_3 \left(r_{3-4} \sigma_4 + r_{3-5} \sigma_5 + r_{3-6} \sigma_6 + r_{3-7} \sigma_7 + r_{3-8} \sigma_8 + r_{3-9} \sigma_9 + r_{3-10} \sigma_{10} \right)$$

или

$$\sum_{s=4}^{10} r_{3,s} \sigma_3 \sigma_s = 34,358 \begin{pmatrix} 0,22 \cdot 20,14 + (-0,80) \cdot 50,653 + \\ + 0,05 \cdot 31,248 + 0,78 \cdot 72,025 + \\ + (-0,08) \cdot 27,224 + (-0,44) \cdot 36,837 + \\ + (-0,55) \cdot 59,64 \end{pmatrix} \cong -1014,82 \text{ тр. ед.}^2$$

При $j = 4$

$$\sum_{s=5}^{10} r_{4,s} \sigma_4 \sigma_s = \sigma_4 \left(r_{4-5} \sigma_5 + r_{4-6} \sigma_6 + r_{4-7} \sigma_7 + r_{4-8} \sigma_8 + r_{4-9} \sigma_9 + r_{4-10} \sigma_{10} \right)$$

или

$$\sum_{s=5}^{10} r_{4,s} \sigma_4 \sigma_s = 20,14 \begin{pmatrix} 0,37 \cdot 50,653 + 0,52 \cdot 31,248 + \\ + 0,29 \cdot 72,025 + (-0,38) \cdot 27,224 + \\ + (-0,08) \cdot 36,837 + 0,07 \cdot 59,64 \end{pmatrix} \cong 941,93 \text{ тр. ед.}^2$$

При $j = 5$

$$\sum_{s=6}^{10} r_{5,s} \sigma_5 \sigma_s = \sigma_5 \left(r_{5-6} \sigma_6 + r_{5-7} \sigma_7 + r_{5-8} \sigma_8 + r_{5-9} \sigma_9 + r_{5-10} \sigma_{10} \right)$$

или

$$\sum_{s=6}^{10} r_{5,s} \sigma_5 \sigma_s = 50,653 \begin{pmatrix} 0,60 \cdot 31,248 + (-0,37) \cdot 72,025 + \\ + 0,11 \cdot 27,224 + 0,84 \cdot 36,837 + \\ + 0,79 \cdot 59,64 \end{pmatrix} \cong 3705,35 \text{ тр. ед.}^2$$

При $j = 6$

$$\sum_{s=7}^{10} r_{6,s} \sigma_6 \sigma_s = \sigma_6 \left(r_{6-7} \sigma_7 + r_{6-8} \sigma_8 + r_{6-9} \sigma_9 + r_{6-10} \sigma_{10} \right)$$

или

$$\sum_{s=7}^{10} r_{6,s} \sigma_6 \sigma_s = 31,248 \begin{pmatrix} -0,44 \cdot 72,025 + (-0,24) \cdot 27,224 + \\ + (-0,36) \cdot 36,837 + 0,59 \cdot 59,64 \end{pmatrix} \cong -509,29 \text{ тр. ед.}^2$$

При $j = 7$

$$\sum_{s=8}^{10} r_{7s} \sigma_7 \sigma_s = \sigma_7 (r_{7-8} \sigma_8 + r_{7-9} \sigma_9 + r_{7-10} \sigma_{10})$$

или

$$\sum_{s=8}^{10} r_{7s} \sigma_7 \sigma_s = 72,025 \left(\begin{array}{l} -0,81 \cdot 27,224 + (-0,66) \cdot 36,837 + \\ + (-0,59) \cdot 59,64 \end{array} \right) \cong -5873,71 \text{ тр. ед.}^2$$

При $j = 8$

$$\sum_{s=9}^{10} r_{8s} \sigma_8 \sigma_s = \sigma_8 (r_{8-9} \sigma_9 + r_{8-10} \sigma_{10})$$

или

$$\sum_{s=9}^{10} r_{8s} \sigma_8 \sigma_s = 27,224 (0,78 \cdot 36,837 + (-0,71) \cdot 59,64) \cong -1934,97 \text{ тр. ед.}^2$$

При $j = 9$

$$\sum_{s=10}^{10} r_{9s} \sigma_9 \sigma_s = r_{9-10} \sigma_9 \sigma_{10}$$

или

$$\sum_{s=10}^{10} r_{9s} \sigma_9 \sigma_s = -0,25 \cdot 36,837 \cdot 59,64 \cong -549,23 \text{ тр. ед.}^2$$

Далее определяется величина слагаемого формулы (3.47) $\sum_{j=1}^9 \sum_{s=j+1}^{10} r_{js} \sigma_j \sigma_s$.

Для примера

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^9 \sum_{s=j+1}^{10} r_{js} \sigma_j \sigma_s = & -948,85 + 740,31 - 1014,82 + 941,93 + 3705,35 - \\ & - 509,29 - 5873,71 - 1934,97 - 549,23 \cong -5443,27 \text{ тр. ед.}^2 \end{aligned}$$

Среднеквадратическое отклонение общего (интегрального) потока с учетом взаимной корреляции частных потоков

$$\sigma_{\text{инт}} = \sqrt{20993,8 + 2(-5443,27)} = 100,24 \approx 100 \text{ тр. ед.}$$

При сравнении двух значений $\sigma_{\text{общ}}$ и $\sigma_{\text{инт}}$ возможны следующие случаи:

1 $\sigma_{\text{общ}} > \sigma_{\text{инт}}$. Это означает, что преобладает отрицательная корреляция между частными потоками грузов. Предпочтительная ситуация для работы транспортной системы. Колебания частных транспортных потоков взаимно компенсируются, что приводит к стабилизации транспортной нагрузки на систему (эффект компенсации на рисунке 3.21, а).

2 $\sigma_{\text{общ}} < \sigma_{\text{инт}}$. Преобладает положительная корреляция между частными потоками грузов. Такая ситуация наиболее неблагоприятная для работы транспортной системы. Колебания транспортных потоков достигают максимальной величины (эффект резонанса), как показано на рисунке 3.21, б.

3 $\sigma_{\text{общ}} \approx \sigma_{\text{инт}}$. В этом случае взаимная корреляция между частными потоками практически отсутствует либо отрицательная взаимосвязь компенсируется положительной.

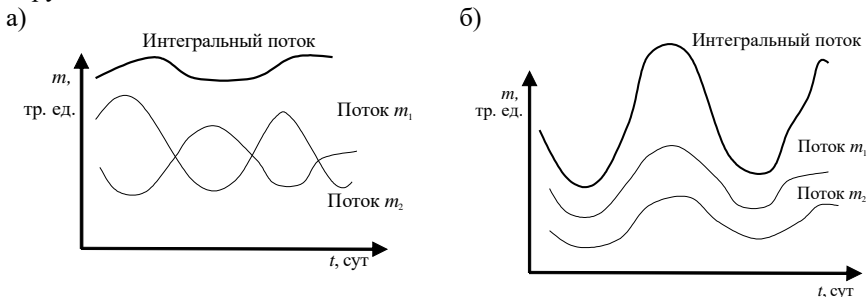


Рисунок 3.21 – Эффект компенсации (а) и резонанса (б) колебаний транспортных потоков

Для условий примера $\sigma_{\text{общ}} = 145$ тр. ед., $\sigma_{\text{инт}} = 100$ тр. ед. Следовательно, уменьшение потоков одних грузов частично компенсируются увеличением потоков других (преобладает отрицательная взаимосвязь между частными потоками), что способствует стабилизации интегрального потока. Графическая интерпретация этого процесса показана на рисунке 3.21.

В заключении необходимо рассчитать максимальные и минимальные значения интегрального потока грузов по формулам (с использованием правила «трех сигм»):

$$m_{\text{макс}} = \sum_{j=1}^{10} \bar{m}_j + 3\sigma_{\text{инт}}, \quad m_{\text{мин}} = \sum_{j=1}^{10} \bar{m}_j - 3\sigma_{\text{инт}}. \quad (3.48)$$

Эти значения будут характеризовать неопределенность изменения интегрального потока (его верхнюю и нижнюю границы и размах колебаний). Для условий примера

$$m_{\text{макс}} = 1930 + 3 \cdot 100 = 2230 \text{ тр. ед.}; \quad m_{\text{мин}} = 1930 - 3 \cdot 100 = 1630 \text{ тр. ед.}$$

Наибольшую значимость имеет максимальная величина суммарного транспортного потока, т.к. она характеризует уровень потребной пропускной (перерабатывающей) способности, которой должна соответствовать мощность транспортной системы.

На заключительном этапе прогнозирования, этапе прогнозной верификации, выполняется оценка достоверности и точности полученных про-

гнозных результатов или обоснованности прогнозов. На данном этапе необходимо оценить, какие внешние факторы будут способствовать развитию объекта прогнозирования в соответствии с полученной прогнозной траекторией (воздействие внешней среды или прогнозного фона). К ним относятся промышленный потенциал, численность населения и уровень социально-экономического развития региона, геополитическое положение региона, конкуренция с различными видами транспорта, неравномерность производства и потребления продукции, спроса на транспортные услуги и другие. Для этого необходимо изучить планы развития промышленного потенциала региона тяготения, который обслуживает железнодорожная станция или узел, формирования свободных экономических зон, открытия новых месторождений и увеличения добычи полезных ископаемых, создания новых инновационных промышленных предприятий, агропромышленных комплексов, проанализировать тенденции изменения численности населения, уровня его автомобилизации, роста доходов и подвижности населения. Также следует учитывать развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта и потребность в ее модернизации на основе реализации инновационных проектов, обеспечивающих способность транспорта оказывать услуги по перевозке грузов и пассажиров с новым качеством, в т.ч. высоко востребованной клиентурой, что может быть установлено на основе маркетинговых исследований рынка транспортных услуг.

Большое значение имеют также конъюнктурные факторы, которые могут способствовать как резкому росту объемов перевозок (скачки), так и снижению (спады), а также приводят к значительным колебаниям транспортных потоков. Такие внешние условия-факторы прогнозного фона функционирования железнодорожного транспорта включают интеграцию в глобальную мировую экономику и ускорение протекания экономических реалий (например, экономическая инициатива «Один пояс, один путь» и др. проекты), цикличность развития экономических процессов, изменчивость тарифов, цен и непостоянство доходов, подвижность трудовых ресурсов, неустойчивость экономических связей, геополитические изменения и политическую конъюнктуру, нестабильность, природно-климатические изменения, катаклизмы и другие.

К факторам, способствующим увеличению и удовлетворению спроса субъектов экономики на перевозки, относятся:

1) ускорение внедрения информационных технологий во все сферы перевозочного процесса и переход от информационно-справочного режима к режиму управления (интеллектуальные транспортные системы);

2) оптимизация структуры оперативного управления всеми видами транспорта;

3) обновление парка подвижного состава;

4) внедрение инновационных технических решений по инфраструктуре транспорта (транспортные пути, средства управления, электрификация,

электроснабжение и др.), переход к транспортно-кибернетической инфраструктуре;

5) оптимизация ремонтных циклов основных фондов с переходом от преимущественно планово-предупредительной системы ведения работ к работам на основе оценки устройств по фактическому состоянию, в т.ч. с использованием современных мобильных средств контроля;

6) для повышения объемов и качества перевозок на железнодорожном транспорте увеличение скоростей движения пассажирских и грузовых поездов;

7) повышение эффективности работы Международных транспортных коридоров Восток-Запад и Север-Юг, привлечение контейнерных и контейнерных перевозок, развитие мультимодальных перевозок;

8) повышение безопасности движения за счет:

– создания комплексных систем безопасности;

– удаленного мониторинга и диагностирования состояния инфраструктуры и подвижного состава;

– механизации и автоматизации транспортных процессов и другие.

Одними из основополагающих факторов, способствующих снижению объемов перевозок, являются:

1) установка региональных приоритетов экономического и социального развития, модернизация и техническое перевооружение производства, переход к качественно новому уровню технологий на основе достижений науки и техники;

2) развитие научно-технического прогресса в смежных отраслях экономики, способствующего внедрению ресурсосберегающих и безотходных технологий глубокой переработки сырья, снижение энерго- и материалоемкости производимой продукции;

3) межотраслевая конкуренция, способствующая оттоку инвестиций в находящиеся в кризисном состоянии отрасли;

4) внутриотраслевая конкуренция (железнодорожный, автомобильный транспорт, водный, воздушный транспорт и др.), которая в меньшей степени касается изменений объемов перевозок массовых грузов и в большей степени остальных, в том числе и на дальние расстояния.

Если обоснованность прогнозных результатов подтверждается на этапе ее верификации, выполняется разработка рекомендаций по управлению развитием исследуемого процесса с учетом вариантов воздействия внешней среды и внутренней эволюции объекта прогнозирования.

4 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ СТАНЦИЙ

4.1 Путьевое развитие сортировочных станций

Пример 4.1. Рассчитаем требуемое количество путей в транзитных парках сортировочной станции Н. В четном направлении поезда поступают с подходов О и С, в нечетном – М и Б. Расчетные размеры движения поездов различных категорий на примыкающих подходах приведены в таблице 4.1.

Т а б л и ц а 4.1 – Расчетные размеры движения поездов различных категорий на примыкающих подходах

Наименование подходов	Количество поездов в среднем за сутки					Коэффициент съема грузовых поездов		
	транзитных без переработки	транзитных с переработкой	сборных	пассажирских	региональных	пассажирскими	региональными	сборными
О	22	10	2	22	20	1,30	1,15	1,30
С	6	6	1	12	22	1,35	1,10	1,40
М	8	3	1	10	24	1,40	1,20	1,35
Б	20	13	2	18	24	1,33	1,15	1,35

Максимальная пропускная способность подходов с учетом отказов технических устройств и колебаний времени хода $N_{\max} = 144$ пары поездов. Минимальный интервал движения поездов $I_{\min} = 10$ мин. Продолжительность операций приема $t_{\text{пр}} = 6$ мин; отправления $t_{\text{от}} = 4$ мин и обработки поезда $t_{\text{оп}}^{\text{ТР}} = 59$ мин

Решение. Количество путей в транзитных парках рассчитываем отдельно для каждого направления движения согласно [45]

$$m_{\text{ТР}} = \frac{t_{\text{пр}} + t_{\text{оп}}^{\text{ТР}} + t_{\text{от}} + \Delta t}{\bar{I}_{\text{р}}} + m_{\text{д}}, \quad (4.1)$$

где Δt – дополнительный простой поезда в ожидании отправления,

$$\Delta t = \frac{\rho_{\text{ВЫХ}}^2 \left(\rho_{\text{ВХ}}^2 + \gamma_{\text{ВЫХ}}^2 \right) \cdot 60}{2\lambda_{\text{ТР}} \left(\rho_{\text{ВЫХ}} \right)}, \quad (4.2)$$

$\rho_{\text{ВЫХ}}$ – загрузка выходного из транзитного парка участка;

$\gamma_{вх}, \gamma_{вых}$ – коэффициенты вариации интервалов между поездами соответственно входящего и выходящего потоков поездов;

$\lambda_{тр}$ – расчетная плотность потока транзитных поездов, следующих на i -й подход;

\bar{I}_p – средневзвешенное значение расчетного интервала прибытия поездов в транзитный парк с примыкающих подходов, мин;

m_d – требуемое количество дополнительных путей,

$$m_d = k - 1 + m_x,$$

k – количество примыкающих к парку подходов;

m_x – количество ходовых путей.

Загрузка выходного участка i -го подхода для условий примера

$$\rho_{вых} = \frac{N_{тр}^{ВЫХ}}{\frac{N_{пых}}{\alpha_{рез}} - N_{тр.с}^{ВЫХ} - N_{сб}^{ВЫХ} \epsilon_{сб} - N_{пас}^{ВЫХ} \epsilon_{пас} - N_{рег}^{ВЫХ} \epsilon_{рег}}, \quad (4.3)$$

где $N_{тр}^{ВЫХ}, N_{тр.с}^{ВЫХ}, N_{сб}^{ВЫХ}, N_{пас}^{ВЫХ}, N_{рег}^{ВЫХ}$ – расчетное количество транзитных без переработки, транзитных с переработкой, сборных, пассажирских и региональных поездов на выходном участке из транзитного парка i -го подхода;

$\alpha_{рез}$ – коэффициент резерва пропускной способности для двухпутных линий – 1,15, для однопутных – 1,20;

$\epsilon_{сб}, \epsilon_{пас}, \epsilon_{рег}$ – коэффициенты съема грузовых поездов, соответственно, сборными, пассажирскими, региональными. Принимаются из таблицы 4.1.

В четном направлении отправление поездов производится на подходы М и Б, в нечетном – на О и С.

Тогда для подходов М и Б получим

$$\rho_{вых}^M = \frac{8}{\frac{144}{1,15} - 3 - 1 \cdot 1,35 - 10 \cdot 1,40 - 24 \cdot 1,20} = 0,1;$$

$$\rho_{вых}^Б = \frac{20}{\frac{144}{1,15} - 13 - 2 \cdot 1,35 - 18 \cdot 1,33 - 24 \cdot 1,15} = 0,34.$$

Расчетная плотность потока транзитных поездов

$$\lambda_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{тр}}^{\text{ВЫХ}}}{24} \quad (4.4)$$

на подходы М и Б соответственно составляет:

$$\lambda_{\text{тр}}^{\text{М}} = \frac{8}{24} = 0,33 \text{ поезда/ч}; \quad \lambda_{\text{тр}}^{\text{Б}} = \frac{20}{24} = 0,83 \text{ поезда/ч.}$$

Коэффициенты вариации зависят от загрузки входных и выходных каналов:

$$\gamma_{\text{ВХ}} = \frac{1}{\sqrt{k_{\text{ВХ}}}}, \quad \gamma_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{\sqrt{k_{\text{ВЫХ}}}}, \quad (4.5)$$

где $k_{\text{ВХ}}$, $k_{\text{ВЫХ}}$ – параметры распределения Эрланга для входных и выходных интервалов между поездами. В средних условиях $k_{\text{ВХ}}$, $k_{\text{ВЫХ}}$ можно принять равными 2...4 (большее значение для линий с высокой загрузкой).

Коэффициенты вариации для обоих подходов при $k_{\text{ВХ}} = k_{\text{ВЫХ}} = 2$ составят:

$$\gamma_{\text{ВХ}} = \gamma_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,71.$$

Следовательно, дополнительный простой поездов в ожидании нитки графика, следующих на М и Б соответственно составит:

$$\Delta t^{\text{М}} = \frac{0,1^2 \cdot (0,71^2 + 0,71^2) \cdot 60}{2 \cdot 0,33 \cdot (-0,1)} = 1,0 \text{ мин};$$

$$\Delta t^{\text{Б}} = \frac{0,34^2 \cdot (0,71^2 + 0,71^2) \cdot 60}{2 \cdot 0,83 \cdot (-0,34)} = 6,4 \text{ мин.}$$

Средневзвешенная продолжительность ожидания отправления

$$\Delta t = \frac{N_{\text{тр}}^{\text{М}} \Delta t^{\text{М}} + N_{\text{тр}}^{\text{Б}} \Delta t^{\text{Б}}}{N_{\text{тр}}^{\text{М}} + N_{\text{тр}}^{\text{Б}}} = \frac{8 \cdot 1,0 + 20 \cdot 6,4}{8 + 20} = 4,9 \text{ мин.}$$

Средний интервал прибытия транзитных поездов с i -го подхода

$$I_i^{\text{пр}} = \frac{1440/\alpha_{\text{рез}} - 1440/N_{\text{max}} \cdot (N_{\text{тр},c}^{\text{пр}} + N_{\text{пас}}^{\text{пр}} \epsilon_{\text{пас}} + N_{\text{пер}}^{\text{пр}} \epsilon_{\text{пер}} + N_{\text{сб}}^{\text{пр}} \epsilon_{\text{сб}})}{N_{\text{тр}}^{\text{пр}}}, \quad (4.6)$$

где $N_{\text{тр},c}^{\text{пр}}$, $N_{\text{пас}}^{\text{пр}}$, $N_{\text{пер}}^{\text{пр}}$, $N_{\text{сб}}^{\text{пр}}$, $N_{\text{тр}}^{\text{пр}}$ – расчетное количество пассажирских, региональных, сборных, транзитных с переработкой и без переработки на входном участке в транзитный парк с i -го подхода.

Средний интервал прибытия четных транзитных поездов с подхода О

$$\bar{I}_o^{\text{пр}} = \frac{1440/1,15 - 1440 / 144 (0 + 22 \cdot 1,30 + 20 \cdot 1,15 + 2 \cdot 1,30)}{22} = 27,74 \text{ мин,}$$

с подхода С

$$\bar{I}_c^{\text{пр}} = \frac{1440/1,15 - 1440 / 144 (6 + 12 \cdot 1,35 + 22 \cdot 1,10 + 1 \cdot 1,40)}{6} = 129,03 \text{ мин.}$$

Расчетный интервал прибытия транзитных поездов с подходов О и С

$$I_p = \frac{I_{\min} + \bar{I}_i^{\text{пр}}}{2} \quad (4.7)$$

соответственно составит:

$$\bar{I}_{p,o}^{\text{пр}} = \frac{10 + 27,74}{2} = 18,87 \text{ мин; } \bar{I}_{p,c}^{\text{пр}} = \frac{10 + 129,03}{2} = 69,52 \text{ мин.}$$

Средневзвешенное значение расчетного интервала прибытия поездов в транзитный парк (см. (8.2) [9])

$$\bar{I}_p^{\text{пр}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{I_{pi}^{\text{пр}}} + 2 \sum_{i=1}^s r_{i,i+1} \frac{1}{I_{pi}^{\text{пр}} I_{p,i+1}^{\text{пр}}}}, \quad (4.8)$$

где $I = 1, 2, \dots, S$ – количество подходов, примыкающих к парку;

$I_{pi}^{\text{пр}}$ – расчетный интервал прибытия поездов с i -го подхода;

$r_{i,i+1}$ – коэффициент взаимной корреляции между потоками поездов с подходов $i, i+1$. Для магистральных подходов $r = 0,4 \dots 0,7$.

При $r = 0,5$

$$\bar{I}_p^{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{18,87} + \frac{1}{69,52} + 2 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{18,87 \cdot 69,52}} = 14,68 \text{ мин.}$$

Потребное количество путей в рассматриваемом транзитном парке при условии, что $m_x = 0$,

$$m_{\text{тр}}^{\text{н}} = \frac{6 + 59 + 4 + 4,9}{14,68} + 2 - 1 = 6,03 \approx 6 \text{ путей*}.$$

* Если дробная часть больше 0,2, результат округляется в большую сторону.

Аналогично выполняем расчеты потребного количества путей в транзитном парке нечетного направления (прием поездов из М и Б и отправление на О и С).

Загрузка выходных участков:

$$\rho_{\text{вых}}^{\text{O}} = \frac{22}{\frac{144}{1,15} - 10 + 2 \cdot 1,30 + 22 \cdot 1,30 + 20 \cdot 1,15} = 0,36;$$

$$\rho_{\text{вых}}^{\text{C}} = \frac{6}{\frac{144}{1,15} - 6 + 1 \cdot 1,4 + 12 \cdot 1,35 + 22 \cdot 1,1} = 0,08;$$

$$\lambda_{\text{тр}}^{\text{O}} = \frac{22}{24} = 0,92 \text{ поезда/ч}, \quad \lambda_{\text{тр}}^{\text{C}} = \frac{6}{24} = 0,25 \text{ поезда/ч}.$$

Принимаем $k_{\text{вх}} = k_{\text{вых}} = 2$, тогда

$$\gamma_{\text{вх}} = \gamma_{\text{вых}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,71.$$

Значение

$$\Delta t^{\text{O}} = \frac{0,36^2 \left(0,71^2 + 0,71^2 \right) \cdot 60}{2 \cdot 0,92 \left(-0,36 \right)} = 6,7 \text{ мин};$$

$$\Delta t^{\text{C}} = \frac{0,08^2 \left(0,71^2 + 0,71^2 \right) \cdot 60}{2 \cdot 0,25 \left(-0,08 \right)} = 0,8 \text{ мин};$$

$$\Delta \bar{t} = \frac{22 \cdot 6,7 + 6 \cdot 0,8}{22 + 6} = 5,4 \text{ мин}.$$

Средний интервал прибытия поездов

$$\bar{I}_{\text{M}}^{\text{пр}} = \frac{1440/1,15 - 1440 / 144 \left(3 + 10 \cdot 1,40 + 24 \cdot 1,20 + 1 \cdot 1,35 \right)}{8} = 97,58 \text{ мин};$$

$$\bar{I}_{\text{Б}}^{\text{пр}} = \frac{1440/1,15 - 1440 / 144 \left(3 + 18 \cdot 1,33 + 24 \cdot 1,15 + 2 \cdot 1,35 \right)}{20} = 28,99 \text{ мин}.$$

Расчетный интервал прибытия поездов

$$I_{\text{р,М}}^{\text{пр}} = \frac{10 + 97,58}{2} = 53,79 \text{ мин};$$

$$I_{\text{р,Б}}^{\text{пр}} = \frac{10 + 28,99}{2} = 19,50 \text{ мин}.$$

Средневзвешенное значение расчетного интервала прибытия поездов

$$\bar{I}_p^{\text{пп}} = \frac{1}{\frac{1}{53,79} + \frac{1}{19,50} + 2 \cdot 0,5 \frac{1}{53,79 \cdot 19,50}} = 14,12 \text{ мин.}$$

Потребное количество путей в транзитном парке нечетного направления при $m_x = 1$

$$m_{\text{тр}}^{\text{н}} = \frac{6+59+4+5,4}{14,12} + 2 - 1 + 1 = 7,27 \approx 8 \text{ путей.}$$

Пример 4.2. Рассчитаем количество путей в объединенном парке приема сортировочной станции. Горочный технологический интервал $t_r = 18,7$ мин. Продолжительность обработки поезда в парке приема $t_{\text{оп}}^{\text{пп}} = 50$ мин, занятия пути выводом состава на сортировочную горку $t_{\text{выб}} = 12$ мин. В парке следует иметь один ходовой путь для пропуска горочных локомотивов. Остальные исходные данные принять из примера 4.1. Прием поездов осуществляется с подходов О, С, М, Б.

Решение. Количество путей в парке приема определяется согласно [15]:

$$m_{\text{пп}} = \frac{t_{\text{пр}} + t_{\text{оп}}^{\text{пп}} + t_{\text{доп}}^{\text{пп}} + t_{\text{выб}}}{\bar{I}_p^{\text{пп}}} + m_{\text{д}}, \quad (4.9)$$

где $t_{\text{доп}}^{\text{пп}}$ – дополнительная продолжительность занятия пути поездом в ожидании расформирования, мин;

$\bar{I}_p^{\text{пп}}$ – средневзвешенное значение расчетного интервала прибытия поездов в парк приема со всех подходов.

Расчетный интервал прибытия поездов определяется по формуле (4.6), предварительно рассчитав средний интервал

$$\bar{I}_{\text{пр}} = \frac{1440/\alpha_{\text{рез}} - 1440 / N_{\text{макс}} \left(\sqrt{N_{\text{тр}}^{\text{пр}}} + N_{\text{пас}}^{\text{пр}} \varepsilon_{\text{пас}} + N_{\text{пер}}^{\text{пр}} \varepsilon_{\text{пер}} \right)}{N_{\text{тр.с}}^{\text{пр}} + N_{\text{сб}}^{\text{пр}}}. \quad (4.10)$$

Для каждого подхода:

$$\bar{I}_{\text{пр}}^{\text{Б}} = \frac{1440/1,15 - 1440 / 144 \left(\sqrt{0} + 18 \cdot 1,33 + 24 \cdot 1,15 \right)}{13 + 2} = 35,78 \text{ мин;}$$

$$\bar{I}_{\text{пр}}^{\text{М}} = \frac{1440/1,15 - 1440 / 144 \left(\sqrt{10} + 10 \cdot 1,40 + 24 \cdot 1,20 \right)}{3 + 1} = 186,04 \text{ мин;}$$

$$\bar{I}_{\text{пр}}^{\text{О}} = \frac{1440/1,15 - 1440 / 144 \left(\sqrt{22} + 22 \cdot 1,30 + 20 \cdot 1,15 \right)}{10 + 2} = 43,01 \text{ мин;}$$

$$\bar{I}_{\text{пр}}^{\text{C}} = \frac{1440/1,15 - 1440 / 144 \cdot 6 + 12 \cdot 1,35 + 22 \cdot 1,10}{6+1} = 112,60 \text{ мин.}$$

Расчетный интервал для каждого подхода:

$$I_{\text{р,пр}}^{\text{Б}} = \frac{10 + 35,78}{2} = 22,89 \text{ мин}; \quad I_{\text{р,пр}}^{\text{М}} = \frac{10 + 186,04}{2} = 98,02 \text{ мин};$$

$$I_{\text{р,пр}}^{\text{О}} = \frac{10 + 43,01}{2} = 26,51 \text{ мин}; \quad I_{\text{р,пр}}^{\text{C}} = \frac{10 + 112,60}{2} = 61,30 \text{ мин.}$$

Средневзвешенное значение расчетного интервала прибытия поездов в парк приема по формуле (4.8)

$$\bar{I}_{\text{р}}^{\text{пп}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{26,51} + \frac{1}{61,30} + \frac{1}{98,02} + \frac{1}{22,89} + 2 \cdot 0,5 \times \left(\frac{1}{22,89 \cdot 98,02} + \frac{1}{22,89 \cdot 26,51} + \frac{1}{22,89 \cdot 61,30} + \frac{1}{98,02 \cdot 26,51} + \frac{1}{98,02 \cdot 61,30} + \frac{1}{26,51 \cdot 61,30} \right) \right)} = 8,94 \text{ мин.}$$

Дополнительная продолжительность занятия пути поездом в ожидании расформирования

$$t_{\text{доп}}^{\text{пп}} = 52 - 196 \rho_{\text{гор}} (1 - \rho_{\text{гор}}), \quad (4.11)$$

где $\rho_{\text{гор}}$ – уровень загрузки горки,

$$\rho_{\text{гор}} = \frac{\sum_{i=1}^s (N_{\text{тр.с}}^{\text{пп}} + N_{\text{сб}}^{\text{пп}})}{1440} t_{\text{г}}; \quad (4.12)$$

$$\rho_{\text{гор}} = \frac{10 + 2 + 6 + 1 + 3 + 1 + 13 + 2}{1440} \cdot 18,7 = 0,49;$$

$$t_{\text{доп}}^{\text{пп}} = 52 - 196 \cdot 0,49(1 - 0,49) = 3 \text{ мин.}$$

Подставляя в формулу (4.9) значения $\bar{I}_{\text{р}}^{\text{пп}}$, $t_{\text{доп}}^{\text{пп}}$ и другие временные параметры, получим

$$m_{\text{пп}} = \frac{6 + 50 + 3 + 12}{8,94} + 4 - 1 + 1 = 11,94 \approx 12 \text{ путей.}$$

Пример 4.3. Используя исходные данные примера 4.1, рассчитаем потребное количество путей в объединенном парке отправления сортировочной станции. Продолжительность занятия пути выполнением операций: выставки состава с путей сортировочного парка $t_{\text{вв}} = 11$ мин (с учетом закрепления состава, уборки маневрового локомотива), обработки поезда по отправлению $t_{\text{оп}}^{\text{от}} = 60$ мин и отправлением поезда из парка $t_{\text{от}} = 4$ мин. В парке отправления необходимо предусмотреть один ходовой путь для пропуска маневровых локомотивов в сортировочный парк. Минимальный интервал отправления поездов на примыкающие подходы $I_{\text{мп}}^{\text{о}} = 10$ мин.

Решение. Количество путей для отправления поездов своего формирования определяем для каждого направления отдельно

$$m_{\text{от}} = \frac{t_{\text{вв}} + t_{\text{оп}}^{\text{от}} + t_{\text{ож},i}^{\text{от}} + t_{\text{от}}}{\bar{I}_{\text{р}}^{\text{от}}} + m_{\text{х}}, \quad (4.13)$$

где $t_{\text{ож},i}^{\text{от}}$ – средняя продолжительность занятия пути поездом, мин, в ожидании отправления;

$\bar{I}_{\text{р}}^{\text{от}}$ – средневзвешенный расчетный интервал отправления поездов своего формирования, мин.

Величина $t_{\text{ож}}^{\text{от}}$ для i -го подхода

$$t_{\text{ож},i}^{\text{от}} = \frac{\rho_{\text{вых},i}^2 (\gamma_{\text{вх}}^2 + \gamma_{\text{вых},i}^2) \cdot 60}{2 \left(\rho_{\text{вых},i} - \frac{N_{\text{сф},i}^{\text{от}}}{24} \right)}, \quad (4.14)$$

где $\rho_{\text{вых},i}$ – загрузка выходного участка из парка отправления на i -й подход;

$\gamma_{\text{вх}}$ – коэффициент вариации интервалов между моментами поступления составов на пути отправления;

$\gamma_{\text{вых},i}$ – коэффициент вариации интервалов отправления поездов из парка на i -й подход;

$N_{\text{сф},i}^{\text{от}}$ – расчетное количество поездов своего формирования, включая сборные, отправляемых на i -й подход.

Загрузку выходного участка из парка отправления на i -й подход определяем из выражения

$$\rho_{\text{вых}} = \frac{N_{\text{сф},i}^{\text{от}}}{\alpha_{\text{рез}} \left(N_{\text{мах},i}^{\text{от}} - N_{\text{тр},i}^{\text{от}} - N_{\text{пас},i}^{\text{от}} \epsilon_{\text{пас}} - N_{\text{рег},i}^{\text{от}} \epsilon_{\text{рег}} - N_{\text{сб},i}^{\text{от}} \epsilon_{\text{сб}} \right)}, \quad (4.15)$$

где $N_{\text{тр},i}^{\text{от}}$, $N_{\text{пас},i}^{\text{от}}$, $N_{\text{рег},i}^{\text{от}}$, $N_{\text{сб},i}^{\text{от}}$ – расчетное суточное количество соответственно транзитных, пассажирских, региональных и сборных поездов, следующих на i -м подходе.

Для рассматриваемой категории поездов, отправляемых в четном направлении (подходы М и Б),

$$\rho_{\text{вых}}^{\text{М}} = \frac{4}{\frac{144}{1,15} - 8 - 10 \cdot 1,40 - 24 \cdot 1,20 - 1 \cdot 1,35} = 0,05;$$

$$\rho_{\text{вых}}^{\text{Б}} = \frac{15}{\frac{144}{1,15} - 20 - 18 \cdot 1,33 - 24 \cdot 1,15 - 2 \cdot 1,35} = 0,29.$$

Коэффициенты $\gamma_{\text{вх}}$ и $\gamma_{\text{вых}}$ по формуле (4.5) при $k_{\text{вх}} = k_{\text{вых}} = 2$

$$\gamma_{\text{вх}} = \gamma_{\text{вых}} = 0,71.$$

Продолжительность ожидания поездов отправления на участки М и Б соответственно

$$t_{\text{ож.М}}^{\text{от}} = \frac{0,05^2 \left(0,71^2 + 0,71^2 \right) \cdot 60}{2 \left(-0,05 \right) \cdot \frac{4}{24}} = 0,5 \text{ мин};$$

$$t_{\text{ож.Б}}^{\text{от}} = \frac{0,29^2 \left(0,71^2 + 0,71^2 \right) \cdot 60}{2 \left(-0,29 \right) \cdot \frac{15}{24}} = 6,6 \text{ мин}.$$

Средняя продолжительность занятия пути ожиданием отправления в четном направлении:

$$\bar{t}_{\text{ож}}^{\text{от}} = \frac{N_{\text{сф}}^{\text{М}} t_{\text{ож.М}}^{\text{от}} + N_{\text{сф}}^{\text{Б}} t_{\text{ож.Б}}^{\text{от}}}{N_{\text{сф}}^{\text{М}} + N_{\text{сф}}^{\text{Б}}} = \frac{4 \cdot 0,5 + 15 \cdot 6,6}{4 + 15} = 5,3 \text{ мин} \quad (4.16)$$

Средневзвешенное значение расчетного интервала отправления поездов

$$\bar{I}_{\text{р}}^{\text{от}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{I_{\text{р},i}^{\text{от}}}}, \quad (4.17)$$

где $I_{\text{р},i}^{\text{от}}$ – расчетный интервал отправления поездов своего формирования на i -й подход,

$$I_{\text{р},i}^{\text{от}} = \frac{I_{\text{мин},i}^{\text{от}} + \bar{I}_i^{\text{от}}}{2}, \quad (4.18)$$

$I_{\min,i}^{\text{от}}$ – минимальный интервал отправления поездов на i -й подход;

$\bar{I}_i^{\text{от}}$ – средний интервал отправления поездов на i -й подход,

$$\bar{I}_i^{\text{от}} = \frac{1440/\alpha_{\text{рез}} - (N_{\text{гр},i}^{\text{от}} + N_{\text{пас},i}^{\text{от}}\epsilon_{\text{пас}} + N_{\text{рег},i}^{\text{от}}\epsilon_{\text{рег}}) \cdot 1440 / N_{\max,i}}{N_{\text{эф},i}}. \quad (4.19)$$

Средний интервал отправления поездов на подходы М и Б соответственно составит:

$$\bar{I}_M^{\text{от}} = \frac{1440/1,15 - (10 + 10 \cdot 1,40 + 24 \cdot 1,20) \cdot 1440 / 144}{4} = 186,04 \text{ мин};$$

$$\bar{I}_B^{\text{от}} = \frac{1440/1,15 - (10 + 18 \cdot 1,33 + 24 \cdot 1,15) \cdot 1440 / 144}{15} = 35,78 \text{ мин}.$$

Расчетный интервал отправления поездов:

$$I_{\text{р},M}^{\text{от}} = \frac{10 + 186,04}{2} = 98,02 \text{ мин}; \quad I_{\text{р},B}^{\text{от}} = \frac{10 + 35,78}{2} = 22,90 \text{ мин}.$$

Средневзвешенное значение расчетного интервала отправления поездов в четном направлении:

$$\bar{I}_{\text{р},\text{ч}}^{\text{от}} = \frac{1}{\frac{1}{98,02} + \frac{1}{22,90}} = 18,56 \text{ мин}.$$

Количество путей для отправления поездов своего формирования данного направления:

$$m_{\text{от}}^{\text{ч}} = \frac{11 + 60 + 5,3 + 4}{18,56} + 1 = 5,33 \approx 6 \text{ путей}.$$

Аналогично выполняем расчеты потребного количества путей для отправления поездов в нечетном направлении (подходы О и С).

Загрузка выходных участков

$$\rho_{\text{вых}}^{\text{О}} = \frac{12}{\frac{144}{1,15} - 22 - 22 \cdot 1,30 - 20 \cdot 1,15 - 1,30 \cdot 2} = 0,24;$$

$$\rho_{\text{вых}}^{\text{С}} = \frac{7}{\frac{144}{1,15} - 6 - 12 \cdot 1,35 - 22 \cdot 1,10 - 1,30 \cdot 1} = 0,09.$$

Принимаем $k_{\text{вх}} = k_{\text{вых}} = 2$ для обоих подходов, тогда $\gamma_{\text{вх}} = \gamma_{\text{вых}} = 0,71$.

Продолжительность ожидания поездом отправления соответственно на подходы О и С:

$$t_{\text{ож.О}}^{\text{от}} = \frac{0,24^2 (0,71^2 + 0,71^2) \cdot 60}{2 (1 - 0,24) \cdot \frac{12}{24}} = 4,6 \text{ мин};$$

$$t_{\text{ож.С}}^{\text{от}} = \frac{0,09^2 (0,71^2 + 0,71^2) \cdot 60}{2 (1 - 0,09) \cdot \frac{7}{24}} = 0,9 \text{ мин}$$

Среднее значение

$$\bar{t}_{\text{ож}}^{\text{от}} = \frac{12 \cdot 4,6 + 7 \cdot 0,9}{12 + 7} = 3,2 \text{ мин}$$

Средний интервал отправления поездов своего формирования на подход О

$$\bar{I}_{\text{О}}^{\text{от}} = \frac{1440/1,15 - 2 + 22 \cdot 1,30 + 20 \cdot 1,15}{12} \cdot 1440 / 144 = 43,01 \text{ мин};$$

на подход С

$$\bar{I}_{\text{С}}^{\text{от}} = \frac{1440/1,15 - 6 + 12 \cdot 1,35 + 22 \cdot 1,10}{7} \cdot 1440 / 144 = 112,60 \text{ мин.}$$

Расчетный интервал отправления:

$$I_{\text{р,О}}^{\text{от}} = \frac{10 + 43,01}{2} = 26,50 \text{ мин}; \quad I_{\text{р,С}}^{\text{от}} = \frac{10 + 112,6}{2} = 61,3 \text{ мин.}$$

Средневзвешенный интервал отправления поездов в нечетном направлении

$$\bar{I}_{\text{р,н}}^{\text{от}} = \frac{1}{\frac{1}{26,5} + \frac{1}{61,3}} = 18,50 \text{ мин.}$$

Количество путей отправления без учета ходового пути

$$m_{\text{от}}^{\text{н}} = \frac{11 + 60 + 3,2 + 4}{18,50} = 4,23 \approx 5 \text{ путей.}$$

Пример 4.4. Определим потребное количество путей в парке формирования односторонней сортировочной станции, если на стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) расчетное количество формируемых составов поездов составляет $N_{\phi}^{\circ} = 38$ в сутки.

Решение. Количество сортировочных путей в парках сортировочных станций устанавливается в зависимости от количества назначений по плану формирования поездов (в том числе из порожних вагонов), суточного количества вагонов каждого назначения и технологии станции по формированию поездов. Однако на стадии ТЭО, когда количество назначений плана формирования и суточное количество вагонов каждого назначения неизвестно, то потребное количество сортировочных путей устанавливается по таблице 4.2 [7].

Т а б л и ц а 4.2 – Путовое развитие сортировочных парков

Расчетное количество формируемых поездов в сутки	Количество сортировочных путей на сортировочных станциях			
	всего	в том числе		
		для назначений плана формирования	для местных нужд	дополнительных
24	14	10	4	0
36	19	15	4	0
48	24	20	4	0
60	28	24	4	0
72	32	27	4	1
84	36	30	5	1
96	40	34	5	1
108	44	37	6	1

Учитывая вышесказанное, количество путей в сортировочном парке

$$m_c = m_n + m_{mc} + m_k, \quad (4.20)$$

где m_n – количество путей для накопления составов по назначениям плана формирования;

m_{mc} – то же дополнительно для местных нужд и специальных вагонов;

m_k – то же дополнительно для погашения колебаний размеров движения.

При $N_{\phi}^{\circ} = 38$ поездов в сутки интерполированием данных таблицы 4.2 и округляя до целого числа, получаем, что на станции необходимо запроектировать сортировочный парк на

$$m_c = 17 + 4 + 0 = 21 \text{ путь.}$$

Пример 4.5. Для рассмотрения варианта проектирования сортировочной станции с сортировочно-отправочным парком определим требуемое количество сортировочно-отправочных путей при следующих исходных данных: расчетное количество формируемых и отправляемых поездов в сутки на примыкающие подходы – 38, дополнительная продолжительность занятия пути выполнением технологических операций при отправлении поезда $t_{оп}^{от} = 60$ мин. Другие данные, необходимые для расчета, принять из примера 4.3.

Решение. В этом случае в соответствии с [4, подразд. 7.27]

$$m_{co} = m_n + m_{mc} + m_k + 0,8m_{от}^{co}, \quad (4.21)$$

где $m_{от}^{co}$ – требуемое количество дополнительных путей, связанное с отправлением поездов на примыкающие подходы непосредственно из сортировочно-отправочного парка,

$$m_{оп}^{от} = \frac{t_{оп}^{от} + t_{ож}^{от} + t_{от}}{\bar{I}_p^{от}}. \quad (4.22)$$

Средняя продолжительность занятия пути ожиданием отправления (на все подходы), используя формулы (4.16):

$$t_{ож}^{-от} = \frac{N_{сф}^M t_{ож,м}^{от} + N_{сф}^6 t_{ож,б}^6 + N_{сф}^o t_{ож,о}^{от} + N_{сф}^c t_{ож,с}^{ст}}{N_{сф}^M + N_{сф}^6 + N_{сф}^o + N_{сф}^c},$$

$$t_{ож}^{-от} = \frac{4 \cdot 0,5 + 15 \cdot 6,6 + 12 \cdot 4,6 + 7 \cdot 0,9}{4 + 15 + 12 + 7} = 4,3 \text{ мин.}$$

Среднее значение расчетного интервала отправления поездов (см. формулу (4.17))

$$\bar{I}_p^{от} = \frac{1}{\frac{1}{97,21} + \frac{1}{22,46} + \frac{1}{25,93} + \frac{1}{60,8}} = \frac{1}{0,11} = 9,1 \text{ мин.}$$

Тогда

$$m_{от}^{co} = \frac{60 + 4,3 + 4}{9,1} = \frac{68,3}{9,1} = 7,51 \approx 8 \text{ путей.}$$

Общее количество путей в сортировочно-отправочном парке, при $m_k = 1$

$$m_{co} = 17 + 4 + 1 + 0,8 \cdot 8 = 28,4 = 29 \text{ путей.}$$

Пример 4.6. Рассчитаем оптимальное количество вытяжных путей для окончания формирования поездов на проектируемой сортировочной станции при условии, что она будет формировать в среднем за сутки 38 поездов, в том числе: 30 – одногруппных, 2 – участковых, 2 – двухгруппных и 4 – многогруппных. Полезная длина путей парка отправления 1050 м, длина вытяжного пути 480 м, выходной горловины сортировочного парка 390 м, входной – парка отправления 370 м, выходной – парка отправления 350 м. Коэффициент вариации интервалов окончания накопления $\gamma_n = 0,8$, а окончания формирования $\gamma_{\text{оф}} = 0,3$. Продолжительность перерывов в использовании вытяжного пути $\sum T_{\text{пост}} = 1$ ч. Среднее количество вагонов в формируемом составе $\bar{m} = 60$, стоимость 1 вагоно-часа $e_{\text{в-ч}} = 0,20$ у.е. Капитальные вложения на строительство вытяжного пути $K_{\text{в}} = 24430$ у.е., годовые расходы на его содержание $E_{\text{пр}}^{\text{в}} = 3553$ у.е. На каждом вытяжном пути работает один маневровый локомотив. Приведенная стоимость 1 ч его работы $e_{\text{л-ч}} = 15,7$ у.е.

Решение. Оптимальное количество вытяжных путей в выходной горловине сортировочного парка определяем, сопоставляя затраты на их строительство и содержание, приобретение и содержание маневровых локомотивов с экономией от сокращения простоя составов в ожидании окончания формирования [14]:

$$m_{\text{в}} = \frac{\sum_{j=1}^n N_j t_j}{24 - \sum T_{\text{пост}}} + \frac{\sum_{j=1}^n N_j t_j}{24 - \sum T_{\text{пост}}} \sqrt{\frac{12 (\gamma_n^2 + \gamma_{\text{оф}}^2) e_{\text{в-ч}} \bar{m} (\alpha + \beta \gamma')}{E_{\text{пр}}^{\text{в}}}}, \quad (4.23)$$

где N_j – количество формируемых поездов категории j ;

t_j – продолжительность формирования поезда категории j ;

β – коэффициент, учитывающий влияние ошибки прогнозирования и суточных колебаний размеров движения на простой составов в ожидании окончания формирования. Для средних условий на 10-й год эксплуатации $\beta = 0,10 \dots 0,18$, на 20-й – $\beta = 0,184 \dots 0,30$;

γ' – коэффициент, учитывающий неопределенность состояния парка отправления и позволяющий оценить реальный эффект от сокращения простоя вагонов в сортировочном парке, $\gamma' = 0,8 \dots 0,9$;

$E_{\text{пр}}^{\text{в}}$ – суточные приведенные расходы на строительство вытяжного пути, приобретение маневрового локомотива и их содержание,

$$E_{\text{пр}}^{\text{в}} = \frac{E_n K_{\text{в}} + E_{\text{сод}}^{\text{в}}}{365} + 24 e_{\text{л-ч}},$$

$E_n = 0,12$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$$E_{\text{пр}}^{\text{в}} = \frac{0,12 \cdot 24430 + 3553}{365} + 24 \cdot 15,7 = 394,57 \text{ у.е.}$$

Продолжительность формирования поезда категории j на вытяжном пути

$$t_j = t_{\text{оф}j} + t_{\text{выст}} + t_{\text{возв}}, \quad (4.24)$$

где $t_{\text{оф}j}$ – продолжительность окончания формирования поезда категории j . В средних условиях для одnogруппных поездов 0,13–0,20, участковых 0,30–0,40, двухгруппных 0,28–0,38, многогруппных 0,55–0,80 ч;

$t_{\text{выст}}$ – продолжительность вывода состава в парк отправления [39],

$$t_{\text{выст}} = \alpha_{\text{рт}} + \beta_{\text{рт}} m \frac{v_{\text{выст}}}{2} + 0,06 \frac{l_{\text{выст}}}{v_{\text{выст}}}, \quad (4.25)$$

$\alpha_{\text{рт}}$ – коэффициент, учитывающий время изменения скорости движения маневрового локомотива, приходящееся на 1 км/ч при разгоне и торможении, $\alpha_{\text{рт}} = 0,0407$ мин/(км/ч) [39];

$\beta_{\text{рт}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время изменения скорости движения маневрового состава на 1 км/ч, приходящееся на один вагон при разгоне и торможении, $\beta_{\text{рт}} = 0,0017$ мин/(км/ч) [39];

$v_{\text{выст}}$ – средняя скорость движения при выводе состава в парк отправления, км/ч;

$l_{\text{выст}}$ – длина полурейса выставки состава, м;

$t_{\text{возв}}$ – продолжительность возвращения маневрового локомотива на вытяжной путь. Рассчитывается по вышеприведенной формуле (4.25), при этом учитывается скорость возвращения локомотива $v_{\text{возв}}$ и длина его полурейса $l_{\text{возв}}$.

Длина полурейса вывода состава в парк отправления

$$l_{\text{выст}} = 390 + 480 + 370 + 1050 = 2290 \text{ м.}$$

При $v_{\text{выст}} = 15$ км/ч

$$t_{\text{выст}} = 0,0407 + 0,0017 \cdot 60 \frac{15}{2} + 0,06 \frac{2290}{15} = 10,23 \text{ мин} \approx 0,17 \text{ ч.}$$

Длина полурейса возвращения локомотива на вытяжной путь

$$l_{\text{возв}} = 2 \cdot 350 + 1050 + 370 + 480 + 390 = 2990 \text{ м.}$$

При $v_{\text{возвр}} = 25 \text{ км/ч}$

$$t_{\text{возвр}} = 0,0407 + 0,0017 \cdot 0 \frac{25}{2} + 0,06 \frac{2990}{25} = 7,68 \text{ мин} \approx 0,13 \text{ ч.}$$

Тогда, при $t_{\text{оф}}^{\text{одн}} = 0,15 \text{ ч}$, $t_{\text{оф}}^{\text{уч}} = 0,35 \text{ ч}$, $t_{\text{оф}}^{\text{дв}} = 0,32 \text{ ч}$ и $t_{\text{оф}}^{\text{мн}} = 0,70 \text{ ч}$ (см. (4.24)):

$$t_{\text{одн}} = 0,15 + 0,17 + 0,13 = 0,45 \text{ ч};$$

$$t_{\text{уч}} = 0,35 + 0,17 + 0,13 = 0,65 \text{ ч};$$

$$t_{\text{дв}} = 0,32 + 0,17 + 0,13 = 0,62 \text{ ч};$$

$$t_{\text{мн}} = 0,70 + 0,17 + 0,13 = 1,0 \text{ ч.}$$

Суммарная продолжительность формирования всех категорий поездов

$$\sum_{j=1}^n N_j t_j = 30 \cdot 0,45 + 2 \cdot 0,65 + 2 \cdot 0,62 + 4 \cdot 1,0 = 20,04 \text{ ч.}$$

Оптимальное количество вытяжных путей (см. формулу (4.23)) на десятый год эксплуатации

$$m_{\text{в}} = \frac{20,04}{24-1} + \frac{20,04}{24-1} \sqrt{\frac{12(0,8^2 + 0,3^2) \cdot 0,20 \cdot 60(0,14) \cdot 0,9}{394,57}} =$$

$$= 1,33 \approx 2 \text{ вытяжных пути.}$$

4.2 Пути на пассажирской станции и станции технического обслуживания пассажирского подвижного состава

Пример 4.7. Рассчитаем количество сквозных прямо-отправочных (перронных) путей в перронном парке пассажирской станции (пути взаимозаменяемы) на 10-й год эксплуатации. Исходные данные приведены в таблице 4.3.

Т а б л и ц а 4.3 – Исходные данные для решения примера

Подход	Количество поездов*			Продолжительность занятия пути поездом, мин			Минимальный интервал движения, мин	Затраты времени на текущее содержание устройств, мин	Надежность работы подходов
	международных	межрегиональных	региональных	международных	межрегиональных	региональных			
А–Н	6	8	32	20	30	20	8	60	0,95
Б–Н	6	10	24	20	30	20	10	60	0,95
СТО ППС	2	18	15	40	40	30	18	60	0,95

* Среднесуточные размеры движения в месяц максимальных перевозок.

Решение. Количество путей в перронном парке [32]

$$m_{\Pi} = T_{\text{зан}} \left(1 + q_{\text{от}} \frac{1 + P_3}{I_{\text{рп}}} \right) + m_{\text{д}}, \quad (4.26)$$

где $T_{\text{зан}}$ – расчетная продолжительность занятия пути одним поездом;
 $q_{\text{от}}$ – коэффициент, учитывающий отказы технических устройств, $q_{\text{от}} = 0,01 \dots 0,02$;

P_3 – вероятность задержки поезда на перронных путях из-за занятости горловин, ожидания отправления и других причин;

$I_{\text{рп}}$ – расчетный интервал прибытия пассажирских поездов на станцию (с учетом выводимых с СТО ППС);

$m_{\text{д}}$ – количество дополнительных путей для пропуска грузовых и других поездов, регламентированных нормами проектирования.

В средних условиях $P_3 = 0,08 \dots 0,14$ для двухпутных и $0,04 \dots 0,08$ для однопутных линий. Расчетная продолжительность занятия пути

$$T_{\text{зан}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{N}_{ij} t_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{N}_{ij}},$$

где \bar{N}_{ij} – средние размеры движения поездов категории j в месяц максимальных перевозок на подходе i ;

t_{ij} – продолжительность занятия пути поездом категории j , прибывающим с подхода i .

$$T_{\text{зан}} = \frac{6 \cdot 20 + 8 \cdot 30 + 32 \cdot 20 + 6 \cdot 20 + 10 \cdot 30 + 24 \cdot 20 + 2 \cdot 40 + 18 \cdot 40 + 15 \cdot 30}{6 + 8 + 32 + 6 + 10 + 24 + 2 + 18 + 15} = 26 \text{ мин.}$$

Исследования, выполненные ранее в БелГУТе, показали, что интервалы между пассажирскими поездами описываются распределением Пирсона типа III (рисунок 4.1):

$$f(x) = \frac{b^a}{\Gamma(a)} (x - I_{\min})^{a-1} e^{-b(x - I_{\min})},$$

где a, b – параметры распределения Пирсона типа III, $a = 1,8 \dots 2,0$; $b = \frac{a}{\bar{I} - I_{\min}}$;

$\Gamma(a)$ – гамма-функция;

\bar{I} – средний интервал движения;

I, I_{\min} – соответственно текущий и минимальный интервалы движения на линии.

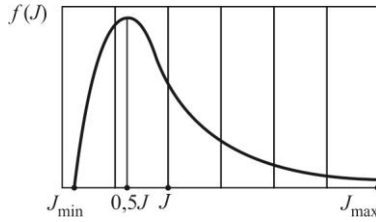


Рисунок 4.1 – Распределение интервалов движения между пассажирскими поездами:
 $f(J)$ – функция плотности распределения;
 I_{\max} – максимальный интервал движения на линии

Для практических целей расчетный интервал движения на линии i достаточно определить по формуле

$$I_i = \frac{0,5\bar{I}_i + I_{i\min}}{2}.$$

Средний интервал движения пассажирских поездов на линии i

$$\bar{I}_i = \frac{440 - \sum t_{\text{техн}} \bar{P}}{\sum_{j=1}^n N_{ij}^P},$$

где $\sum t_{\text{техн}}$ – затраты времени на текущее содержание устройств;

P – надежность работы технических устройств; для средних условий $P = 0,90 \dots 0,95$;

$\sum_{j=1}^n N_{ij}^P$ – суммарные расчетные размеры движения поездов на линии i :

$$\sum_{j=1}^n N_{ij}^P = \sum_{j=1}^n \bar{N}_{ij} + t_{\beta} \sigma_{\text{пт}i}, \quad (4.27)$$

$\sigma_{\text{пт}i}$ – среднее квадратическое отклонение ошибки прогноза. Для прогнозных моделей оптимальной сложности ошибку прогноза определяем по формуле

$$\sigma_{\text{пт}i} = \frac{\beta_t \sum_{j=1}^n N_{ij}}{3},$$

β_t – относительная ошибка прогноза в году t . Меньшему периоду упреждения прогноза t_y соответствует меньшая величина β_t .
 При $t_y = 5; 10; 15; 20$ лет β_t соответственно составляет 0,03–0,10; 0,08–0,16; 0,15–0,30; 0,23–0,40.

Для облегчения расчетов значения $\sigma_{\text{пт}i}$ приведены на рисунке 4.2.

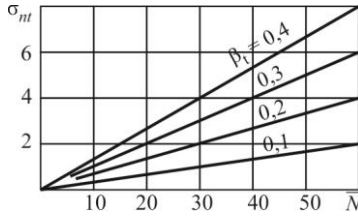


Рисунок 4.2 – Зависимость среднего квадратического отклонения ($\sigma_{шт}$) от средних размеров движения (\bar{N}) на линии и относительной ошибки прогноза

Для направлений А–Н, Б–Н и СТО ППС ошибка в прогнозе потока поездов

$$\sigma_{шт}^{А-Н} = \frac{0,08 \cdot 46}{3} = 1,2; \quad \sigma_{шт}^{Б-Н} = \frac{0,08 \cdot 40}{3} = 1,1;$$

$$\sigma_{шт}^{СТО} = \frac{0,08 \cdot 35}{3} = 0,9.$$

Расчетные значения потока поездов на направлениях А–Н, Б–Н и с СТО ППС (см. формулу (4.27)):

$$\sum_{j=1}^n N_{ij}^{П}^{А-Н} = 46 + 1,65 \cdot 1,2 = 48; \quad \sum_{j=1}^n N_{ij}^{П}^{Б-Н} = 40 + 1,65 \cdot 1,1 = 42;$$

$$\sum_{j=1}^n N_{ij}^{П}^{СТО} = 35 + 1,65 \cdot 0,9 = 37.$$

Средние значения интервалов движения на подходах, мин:

$$\bar{I}_{АН} = \frac{440 - 60}{48} \cdot 0,95 = 27,3;$$

$$\bar{I}_{БН} = \frac{440 - 60}{42} \cdot 0,95 = 31,2;$$

$$\bar{I}_{СТО} = \frac{440 - 60}{37} \cdot 0,95 = 35,4.$$

Расчетные значения интервалов движения на подходах, мин:

$$I_{АН} = \frac{0,5 \cdot 27,3 + 8}{2} = 10,8; \quad I_{БН} = \frac{0,5 \cdot 31,2 + 10}{2} = 12,8;$$

$$I_{СТО} = \frac{0,5 \cdot 35,4 + 18}{2} = 17,9.$$

Расчетный интервал прибытия поездов на станцию со всех направлений

$$I_{\text{пп}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{I_i} + 2 \sum_{i=1}^m r_{i,i+1} \frac{1}{I_i I_{i+1}}},$$

где $r_{i,i+1}$ – коэффициент взаимной корреляции между потоками поездов с линий i и $i + 1$. Для магистральных подходов $r = 0,4 \dots 0,7$; для соединительной линии между пассажирской и станцией технического обслуживания $r = 0,2 \dots 0,4$.

$$I_{\text{пп}} = \frac{1}{\frac{1}{10,8} + \frac{1}{12,8} + \frac{1}{17,9} + 2 \left(\frac{0,5 \cdot 1}{10,8 \cdot 12,8} + \frac{0,3 \cdot 1}{10,8 \cdot 17,9} + \frac{0,3 \cdot 1}{12,8 \cdot 17,9} \right)} = 4,1 \text{ мин.}$$

Путевое развитие пассажирской станции (см. (4.26))

$$m_{\text{п}} = 26,0 \left(+ 0,01 \frac{1 + 0,08}{4,1} + 2 \right) = 8,9 \approx 9 \text{ путей.}$$

Пример 4.8. Для условий примера 4.7 рассчитаем потребное количество сквозных перронных путей, если короткооставные (региональные) поезда будут обслуживаться на секционированных путях. Коэффициент, учитывающий совмещение операций по обслуживанию региональных поездов, примем равным $\varphi_c = 0,2$; $\varphi_c = 0,3$ и $\varphi_c = 0,4$.

Решение. Для определения расчетной продолжительности занятия пути воспользуемся выражением

$$T_{\text{зан}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{N}_{ij, \text{пас}} t_{ij, \text{пас}} + \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n N_{ij, \text{пер}} t_{ij, \text{пер}} \right) \left(\leftarrow \varphi_c \right)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n N_{ij, \text{пас}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n N_{ij, \text{пер}}}, \quad (4.28)$$

где $\bar{N}_{ij, \text{пас}}, \bar{N}_{ij, \text{пер}}$ – средние размеры движения соответственно пассажирских и региональных поездов категории j с подхода i ;

$t_{ij, \text{пас}}, t_{ij, \text{пер}}$ – продолжительность занятия пути поездом категории j , прибывающим с подхода i .

Используя исходные данные примера 4.7, определим $T_{\text{зан}}$ пути:

при $\varphi_c = 0,2$

$$T_{\text{зан}} = \frac{6 \cdot 20 + 8 \cdot 30 + 6 \cdot 20 + 10 \cdot 30 + 2 \cdot 40 + 18 \cdot 40}{50 + 71} \left(\leftarrow 2 \cdot 20 + 24 \cdot 20 + 15 \cdot 30 \right) \left(\leftarrow 0,2 \right) = 23,4 \text{ мин.}$$

при $\varphi_c = 0,3$

$$T_{\text{зан}} = \frac{1580 + 1570}{50 + 71} \left(\leftarrow 0,3 \right) = 22,1 \text{ мин.}$$

при $\varphi_c = 0,4$

$$T_{\text{зан}} = \frac{1580 + 1570 \cdot (-0,4)}{50 + 71} = 20,8 \text{ мин.}$$

Тогда по формуле (4.26):

при $\varphi_c = 0,2$

$$m_{\text{п}} = 23,4 \cdot (+0,01) \cdot \frac{-1 + 0,08}{4,1} + 2 = 8,2 \approx 9 \text{ путей;}$$

при $\varphi_c = 0,3$

$$m_{\text{п}} = 22,1 \cdot (+0,01) \cdot \frac{-1 + 0,08}{4,1} + 2 = 7,9 \approx 8 \text{ путей;}$$

при $\varphi_c = 0,4$

$$m_{\text{п}} = 20,8 \cdot (+0,01) \cdot \frac{-1 + 0,08}{4,1} + 2 = 7,6 \approx 8 \text{ путей}$$

Результаты расчетов показывают, что совмещение операций по обслуживанию региональных поездов на 30 % позволяет уменьшить потребность в перронных путях на 1.

Пример 4.9*. Определим количество путей общее и в отдельных парках станции технического обслуживания пассажирского подвижного состава, если количество прибывающих за сутки приписных составов 16, из них 12 международных и 4 (в том числе 1 короткопобежный) межрегиональных; оборачиваемых на станции 8 составов, из них 7 международных и 1 межрегиональный; технологическая продолжительность времени нахождения на пассажирской технической станции состава своего формирования международного 12 ч, межрегионального 11 ч и короткопобежного 6 ч; оборачивающихся на станции международных 10 ч, межрегиональных 7 ч; средняя продолжительность опоздания пассажирского поезда и подачи состава на СТО ППС $t_{\text{оп}} = 0,6$ ч. Экипировочные пути проектировать с открытыми стойлами, так как станция находится в III климатическом районе; пути парка прибытия в период максимального накопления составов в парке отправления используют в качестве отстойных; средняя продолжительность нахождения составов различных категорий под операциями, включающее дополнительные простои в ожидании маневрового локомотива, приема и уборки на обслуживающих устройствах, приведена в таблице 4.4.

Решение. Для определения количества путей в экипировочном парке и цехе наружной обмывки вагонов предварительно рассчитываем среднечасовую плотность потока составов

$$\lambda = \frac{N_{\text{сут}}}{24} = \frac{12 + 3 + 7 + 1 + 1}{24} = 1 \text{ состав/ч.}$$

* Пример разработан проф. И. А. Еловым.

Таблица 4.4 – Средняя продолжительность простоя состава

В минутах

Обслуживаемое сооружение или устройство	Состав			
	приписной		оборачивающийся	
	междунородный	межрегиональный	междунородный	межрегиональный
Цех обмывки	40	40	30	15
Парк прибытия	77	57	47	32
Пути реформирования составов	40	40	20	20
Экипировочный парк	240	180	100	100
Парк отправления	47	47	42	37
Общее время подготовки состава в рейс	444	364	239	204

Средневзвешенная продолжительность нахождения состава на СТО ППС

$$T_p = \frac{12}{24} \cdot 12 + \frac{3}{24} \cdot 11 + \frac{7}{24} \cdot 10 + \frac{1}{24} \cdot 7 + \frac{1}{24} \cdot 6 \approx 10,8 \text{ ч;}$$

то же подготовки состава в рейс (см. таблицу 4.4):

$$t^{\text{п}} = \frac{12}{24} \cdot 444 + \frac{3}{24} \cdot 364 + \frac{7}{24} \cdot 239 + \frac{1}{24} \cdot 204 + \frac{1}{24} \cdot 364 = 361 \text{ мин} \approx 6 \text{ ч;}$$

то же выполнения операций в цехе наружной обмывки:

$$t_{\text{м}} = \frac{12}{24} \cdot 40 + \frac{3}{24} \cdot 40 + \frac{7}{24} \cdot 30 + \frac{1}{24} \cdot 15 + \frac{1}{24} \cdot 40 = 35 \text{ мин} \approx 0,6 \text{ ч;}$$

простой на путях парка прибытия

$$t_{\text{зан}} = \frac{12}{24} \cdot (7 + 40) + \frac{3}{24} \cdot (7 + 40) + \frac{7}{24} \cdot (7 + 20) + \frac{1}{24} \cdot (2 + 20) + \frac{1}{24} \cdot (7 + 40) = 96,4 \text{ мин} \approx 1,6 \text{ ч;}$$

нахождение на экипировочных путях

$$t_{\text{зан}}^{\text{эк}} = \frac{12}{24} \cdot 240 + \frac{3}{24} \cdot 180 + \frac{7}{24} \cdot 100 + \frac{1}{24} \cdot 100 + \frac{1}{24} \cdot 180 = 183,3 \text{ мин} \approx 3,1 \text{ ч;}$$

простой в ожидании операций технологического процесса или подачи на перронные пути

$$t_{\text{ож}} = T_p - t^{\text{п}} - t_{\text{оп}} = 10,8 - 6 - 0,6 = 4,2 \text{ ч.}$$

Интервал подачи (уборки) на экипировочные пути или в цех наружной обмывки с достаточной степенью достоверности определим из графика (рисунк 4.3) $I_{\text{выб}} = 0,83 \text{ ч.}$

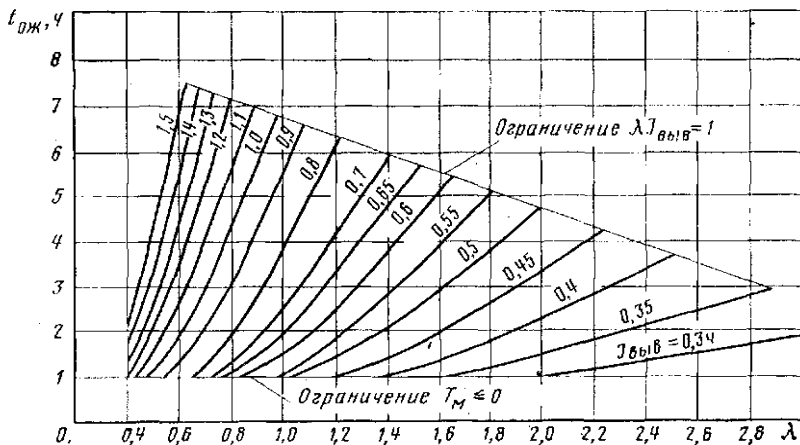


Рисунок 4.3 – Зависимость $t_{ож} = f(\lambda, I_{выб})$

Количество экипировочных путей

$$m_{эк} = \frac{t_{зан}^{эк}}{I_{выб}} = \frac{3,1}{0,83} \approx 4.$$

Количество путей моечного цеха

$$m_M = \frac{t_M}{I_{выб}} = \frac{0,6}{0,83} \approx 1.$$

Максимальный период накопления составов на путях приема [14]

$$T_M = 10,5 - \frac{1}{0,0872 I_{выб} (1,684 - 0,1457 \lambda)} =$$

$$= 10,5 - \frac{1}{0,0872 \cdot 0,83 (1,684 - 0,1457 \cdot 1)} = 8,4 \text{ ч}$$

и количество путей в парке прибытия:

если $T_M > t_{зан}$, то

$$m_{пш} = N_{пш} \left(\lambda \right) \frac{T_M - t_{зан}}{I_{выб}} + m'_x;$$

если $T_M \leq t_{зан}$, то

$$m_{пш} = N_{пш} \left(\lambda \right) + m'_x,$$

где $N_{\max}(T_M \lambda)$ – максимальное количество составов, поступающих на станцию в течение периода T (рисунок 4.4).

Так как в нашем примере $T_M > t_{\text{зан}}$ ($8,4 > 1,6$), количество путей в парке прибытия

$$m_{\text{пп}} = 14,5 - \frac{8,4 - 1,6}{0,83} + 1 \approx 8.$$

Количество путей в парке отправления:

если часть путей парка прибытия используется для отстоя подготовленных в рейс составов, то

$$m_{\text{о}}^{\text{п}} = m'_{\text{об}} - m_{\text{эк}} - m_{\text{м}} - m'_{\text{пп}} + m''_{\text{х}};$$

при жесткой специализации путей парков прибытия и отправления

$$m_{\text{о}}^{\text{п}} = \frac{t_{\text{ож}} + t_{\text{о}}}{I_{\text{выб}}} + m''_{\text{х}},$$

где $m'_{\text{об}}$ – общее количество путей на СТО ППС без ходовых, специальных и других,

$$m'_{\text{об}} = N_{\text{пвх}} \left(\lambda \right) \text{ (см. рисунок 4.4),}$$

T' – действительная продолжительность времени нахождения состава на СТО ППС,

$$T' = T_p - t_{\text{оп}} = 10,8 - 0,6 = 10,2,$$

$m'_{\text{пп}}$ – количество путей в парке прибытия без ходовых;

$m''_{\text{х}}$ – количество ходовых путей в парке отправления;

$t_{\text{о}}$ – продолжительность выполнения технологических операций на путях парка отправления.

Приемо-отправочные пути парков прибытия и отправления взаимозаменяемы, поэтому при $\lambda = 1$ состав/ч и $T_M = 10,2$ ч общее их количество по номограмме (см. рисунок 4.4) $m'_{\text{об}} = 18$. Тогда в парке отправления

$$m_{\text{о}}^{\text{п}} = 18 - 4 - 1 - 7 + 1 = 7 \text{ путей}$$

Общее количество путей в парках СТО ППС

$$m_{\text{о}}^{\text{п}} = m'_{\text{об}} + m'_{\text{х}} + m''_{\text{х}} = 18 + 1 + 1 = 20.$$

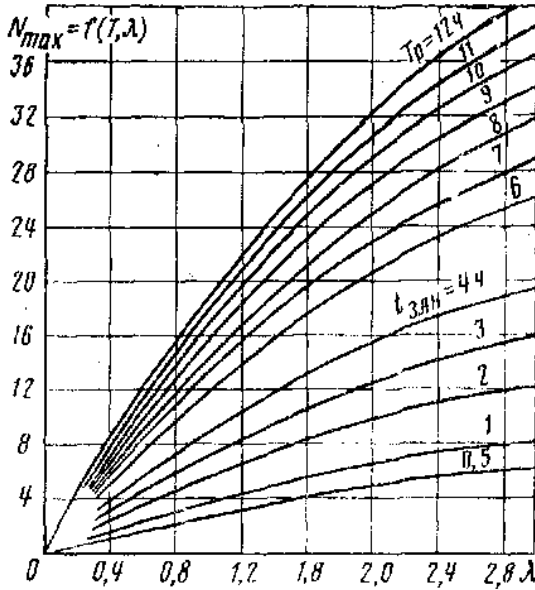


Рисунок 4.4 – Зависимость $N_{\max} = f(T, \lambda)$:

N_{\max} – максимальные размеры движения; λ – среднечасовая плотность потока составов

Пример 4.10. Определим количество специализированных путей станции технического обслуживания пассажирского подвижного состава, руководствуясь рекомендациями [4]. Количество составов пассажирских поездов своего формирования (приписных) и оборачиваемых на станции принять из примера 4.9.

Решение. Прежде всего, в соответствии с [4] устанавливаем, какое техническое оснащение следует предусмотреть на СТО ППС в зависимости от заданного объема и характера выполняемой работы (таблица 4.5).

В соответствии с исходными данными СТО ППС в сутки должна обслуживать 16 формируемых составов и 8 оборачиваемых поездов. В таком случае станцию следует проектировать многопарковой, включающей ремонтно-экипировочное предприятие, стационарные вагонмоечные машины, специализированные пути приема и отправления, а также, в случае необходимости, отстойные пути.

Путевое развитие проектируемых устройств определяется отдельно для обработки формируемых (таблица 4.6) и оборачиваемых (таблица 4.7) пассажирских составов с последующим их суммированием и учетом дополнительных (ходовых, соединительных и др.) путей.

Т а б л и ц а 4.5 – Техническое оснащение СТО ППС

Количество формируемых поездов в сутки n_{ϕ}	Общее количество конечных (формируемых и оборачиваемых) поездов в сутки $n_{\phi o}$	Технические средства
$n_{\phi} \geq 5$	$n_{\phi o} \geq 11$	РЭП, ВММ, ПП, ПО, ОП*, многопарковая схема
	$n_{\phi o} < 11$	РЭД, ВММ, ПОП, однопарковая схема
$n_{\phi} < 5$	$n_{\phi o} \geq 11$	ВММ, ПП, ПО, ЭП, ОП, многопарковая схема
	$5 \leq n_{\phi o} < 11$	ВММ, ПОП, ЭП, однопарковая схема
	$n_{\phi o} < 5$	ПОП, ЭП, однопарковая схема
<p><i>Примечание</i> – РЭП – ремонтно-экипировочное предприятие; ВММ – стационарная вагономоечная машина; ПОП – специализированные приёмо-отправочные пути; ПП – пути приема; ПО – пути отправления; ОП* – отстойные пути (необходимость сооружения определяется проектом); ЭП – экипировочные пути.</p>		

В данном примере для обслуживания формируемых составов (см. таблицу 4.6) на станции необходимо иметь:

- путей приема – 4;
- путей отправления – 5;
- путей ремонтно-экипировочного предприятия – 3;
- путей вагономоечного цеха – 1.

Для обслуживания оборачиваемых составов (см. таблицу 4.7):

- путей приема и отправления – 2;
- экипировочных путей – 2;
- путей вагономоечного цеха – 1.

Кроме этого, необходимо предусмотреть по одному ходовому пути в парках приема и отправления.

Тогда общее количество проектируемых на СТО ППС специализированных путей $m_o = 4 + 5 + 3 + 1 + 2 + 2 + 1 + 1 + 1 = 20$ путей.

Данный результат в сумме согласуется с аналитическим методом расчета.

Т а б л и ц а 4.6 – Потребное количество приемо-отправочных путей в парках СТО ППС для обработки формируемых пассажирских составов

Расчетное количество конечных формируемых пассажирских поездов в сутки	Технические средства, устройства					
	ПП	ПО	ПОП	РЭП	ЭП	ВММ
	Количество путей					
Однопарковые схемы СТО ППС						
До 5	–	–	1–2	–	1–2	–
5–10	–	–	2–3	1–2	–	1
Одно- и многопарковые схемы СТО ППС						
11–15	2–3	4–5	4–5	2–3	–	1
16–20	3–4	5–6	5–6	3	–	1
21–25	4–5	6–7	7–8	3–4	–	1–2
26–30	5–6	8–9	9–10	4	–	2
31–35	6–7	10–11	11–12	4–5	–	2
36–40	7–8	11–12	13–14	6	–	2

Т а б л и ц а 4.7 – Потребное количество приемо-отправочных путей в парках СТО ППС для обработки оборачиваемых пассажирских составов

Расчетное количество конечных оборачиваемых пассажирских поездов в сутки	Технические средства, устройства					
	ПП	ПО	ПОП	РЭП	ЭП	ВММ
	Количество путей					
Однопарковые схемы СТО ППС						
До 5	–	–	1–2	–	1–2	–
5–10	–	–	2	–	2	1
Одно- и многопарковые схемы СТО ППС						
11–15	2–3	3–4	3–4	–	2–3	1
16–20	3	4–5	4–5	2	–	1
21–25	3–4	5–6	6–7	2–3	–	1–2
26–30	4	6–7	7–8	3	–	2
31–35	4–5	7–8	8–9	3–4	–	2
36–40	5	8–10	10–11	4	–	2

Примечания

1 При наличии объединённого приемо-отправочного парка ПОП или взаимозаменяемых парков приёмного ПП и отправочного ПО, вместо количества путей в ПП и ПО принимается количество путей в ПОП.

2 При обработке пассажирских составов своего формирования и оборачиваемых количество путей определяется как сумма соответствующих строк в таблицах 4.6. и 4.7.

3 При наличии специализированных путей отстоя (ОП) (см. таблицу 4.5) пассажирских составов количество путей в отправочном парке уменьшается.

4 Количество вагонмоечных машин (или количество путей в вагонмоечном цехе) указано для случая их размещения после приёмного или объединённого приемо-отправочного парка.

4.3 Путьевое развитие участковых и грузовых станций

Пример 4.11. Рассчитаем требуемое количество путей для транзитных поездов на участковой станции с последовательным расположением парков на двухпутной линии. Максимальная пропускная способность линии с учетом отказов технических устройств и колебаний времени хода – 162 пары поездов. Минимальный интервал движения $I_{\min} = 8$ мин. Коэффициент съема грузовых поездов пассажирскими для четного направления $\varepsilon_{\text{пас}}^{\text{ч}} = 1,54$; для нечетного $\varepsilon_{\text{пас}}^{\text{н}} = 1,33$; соответственно сборными $\varepsilon_{\text{сб}}^{\text{ч}} = 1,6$; $\varepsilon_{\text{сб}}^{\text{н}} = 1,5$. Продолжительность операций с транзитным поездом $t_{\text{оп}} = 40$ мин. Год эксплуатации – 10-й. Расчетные размеры движения поездов с учетом неравномерности и ошибок прогноза приведены в таблице 4.8.

Т а б л и ц а 4.8 – Размеры движения поездов

Категория поездов	Направление движения	
	нечетное	четное
Транзит без переработки	49	41
Транзит с переработкой	6	7
Сборные	2	3
Пассажирские	24	36

Р е ш е н и е. Потребное количество путей $m_{\text{тр}}$ для приема транзитных поездов рассчитываем отдельно по направлениям движения:

$$m_{\text{тр}} = \frac{t_{\text{оп}} + \Delta t}{I_{\text{р}}},$$

где $t_{\text{оп}}$ – продолжительность занятия пути выполнением операций с транзитным поездом (прием в парк, обработка, отправление), мин;

Δt – дополнительный простой поезда в ожидании отправления по графику. Определяется по формуле (4.2), мин;

$I_{\text{р}}$ – расчетный интервал прибытия транзитных поездов, мин.

Загрузка выходного участка транзитными поездами, согласно формуле (4.3) для условий примера, примет вид

$$\rho_{\text{вых}} = \frac{N_{\text{тр}}^{\text{р}}}{\frac{N_{\text{max}}}{\alpha_{\text{рез}}} - N_{\text{тр.с}}^{\text{р}} - N_{\text{сб}}^{\text{р}} \varepsilon_{\text{сб}} - N_{\text{пас}} \varepsilon_{\text{пас}}},$$

где $N_{\text{тр}}^{\text{р}}$, $N_{\text{тр.с}}^{\text{р}}$, $N_{\text{сб}}^{\text{р}}$, $N_{\text{пас}}$ – расчетное количество транзитных с переработкой, сборных и пассажирских поездов на линии в четном или нечетном направлении;

N_{max} – максимальная пропускная способность направления.

Для нечетного направления

$$\rho_{\text{вых}} = \frac{49}{\frac{162}{1,15} - 6 - 2 \cdot 1,5 - 24 \cdot 1,33} = 0,49;$$

четного

$$\rho_{\text{вых}} = \frac{41}{\frac{162}{1,15} - 7 - 3 \cdot 1,6 - 36 \cdot 1,54} = 0,56.$$

Расчетная плотность потока транзитных поездов по формуле 4.4 составит:

для нечетного направления

$$\lambda_{\text{тр}}^{\text{н}} = \frac{49}{24} = 2,04 \text{ поезда/ч};$$

четного

$$\lambda_{\text{тр}}^{\text{ч}} = \frac{41}{24} = 1,71 \text{ поезда/ч}.$$

Коэффициент вариации интервалов принимаем для нечетного направления при $k_{\text{вх}} = k_{\text{вых}} = 2$, для четного $k_{\text{вх}} = k_{\text{вых}} = 3$. Тогда

$$\gamma_{\text{вх}}^{\text{н}} = \gamma_{\text{вых}}^{\text{н}} \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,71; \quad \gamma_{\text{вх}}^{\text{ч}} = \gamma_{\text{вых}}^{\text{ч}} \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58.$$

Дополнительный простой в ожидании нитки графика в транзитном парке

$$\Delta t^{\text{н}} = \frac{0,49^2 \left(0,71^2 + 0,71^2 \right) \cdot 60}{2 \cdot 2,04 \left(-0,49 \right)} = 7,7 \text{ мин};$$

$$\Delta t^{\text{ч}} = \frac{0,56^2 \left(0,58^2 + 0,58^2 \right) \cdot 60}{2 \cdot 1,71 \left(-0,56 \right)} = 8,2 \text{ мин}.$$

Расчетный интервал прибытия

$$I_{\text{р}} = \frac{I_{\text{min}} + \bar{I}}{2},$$

где \bar{I} – средний интервал прибытия транзитных поездов, мин,

$$\bar{I} = \frac{\frac{1440}{\alpha_{\text{рез}}} - \frac{1440}{N_{\text{max}}}}{N_{\text{тр.с}}^{\text{р}} + N_{\text{сб,с}}^{\text{р}} \varepsilon_{\text{сб}} + N_{\text{пас}} \varepsilon_{\text{пас}}}.$$

Нечетное направление

$$\bar{I}^{\text{н}} = \frac{\frac{1440}{1,15} - \frac{1440}{162} \left(6 + 2 \cdot 1,5 + 24 \cdot 1,33 \right)}{49} = 18,13 \text{ мин};$$

четное

$$\bar{I}^{\text{ч}} = \frac{\frac{1440}{1,15} - \frac{1440}{162} \left(3 + 3 \cdot 1,6 + 36 \cdot 1,54 \right)}{41} = 15,96 \text{ мин.}$$

Расчетные интервалы движения:

$$I_{\text{р}}^{\text{н}} = \frac{8 + 18,13}{2} = 13,07 \text{ мин}; \quad I_{\text{р}}^{\text{ч}} = \frac{8 + 15,96}{2} = 11,98 \text{ мин.}$$

Потребное количество путей для транзитных поездов:

нечетное направление

$$m_{\text{тр}}^{\text{н}} = \frac{40 + 7,7}{13,07} = 3,65 \approx 4 \text{ пути};$$

четное

$$m_{\text{тр}}^{\text{ч}} = \frac{40 + 8,2}{11,98} = 4,02 \approx 4 \text{ пути.}$$

Пример 4.12. Проектируемая в железнодорожном узле грузовая станция сквозного типа на двухпутном участке должна обеспечить пропуск в среднем в сутки $N_{\text{пр}} = 50$ пар грузовых и пассажирских поездов, переработку на грузовых фронтах $m_{\text{тф}} = 200$ вагонов, поступающих в передаточных поездах с сортировочной станции узла. Требуется рассчитать количество приемо-отправочных путей, необходимое для пропуска грузовых и пассажирских поездов $\left(n_{\text{пр}}^{\text{г}} \right)$ на 10-й год эксплуатации, если масса груза в вагоне 59 т, а тара вагона 22 т. Коэффициент вариации интервалов поступления передач $\gamma_{\text{пер}} = 0,8$, отправления $\gamma_{\text{вых}} = 0,5$, продолжительности расформирования $\gamma_{\text{рп}} = 0,3$, обслуживания в парке отправления $\gamma_{\text{об}} = 0,3$. Продолжительность занятия пути технологическими операциями по прибытии $t_{\text{то}}^{\text{п}} = 0,8$ ч, по отправлению $t_{\text{то}}^{\text{о}} = 1$ ч. Загрузка маневровых локомотивов $\rho_{\text{л}} = 0,7$, выходного участка $\rho_{\text{вых}} = 0,65$. Движение обслуживает тепловоз ТЭМ2, условия пропуска передач близки к общепринятым. Расстояние от сортировочной станции до грузовой $L_{\text{дв}} = 7$ км.

Решение. Общее количество приемо-отправочных путей на грузовой станции

$$m_{\text{по}}^{\text{г}} = m_{\text{пр}}^{\text{г}} + m_{\text{пер}}^{\text{г}}.$$

Согласно [4] количество приемо-отправочных путей для пропуска транзитных поездов на сквозных грузовых станциях рекомендуется принимать по нормам, установленным для промежуточных станций (таблица 4.9).

Т а б л и ц а 4.9 – Путевое развитие разъездов, обгонных пунктов и промежуточных станций

Раздельный пункт	Количество приемо-отправочных путей (без главных) для линии					
	однопутной, при пропускной способности в парах поездов параллельного графика			двухпутной	трехпутной	четырепутной
	до 12	13–24	более 24			
Разъезд	1	1–2	2	–	–	–
Обгонный пункт	–	–	–	1–2	2–3	3–4
Промежуточная станция	2	2	2–3	2–3	3–4	4–5

Следовательно, руководствуясь таблицей 4.9, количество приемо-отправочных путей для промежуточной станции двухпутной линии необходимо принимать 2–3. Однако, учитывая, что станция расположена в железнодорожном узле и не определено ее положение относительно входных участков, следует принять большую величину – 3 пути.

Количество приемо-отправочных путей для обслуживания передаточного движения находим из выражения

$$m_{\text{пер}}^{\Gamma} = N_{\text{п}} t_{\text{з.п}} + N_{\text{о}} t_{\text{з.о}} \frac{1 + \beta_{\text{п}}}{24 - \sum T_{\text{пост}}},$$

где $N_{\text{п}}$, $N_{\text{о}}$ – расчетное количество передач соответственно по прибытии и отправлении;

$t_{\text{з.п}}$, $t_{\text{з.о}}$ – продолжительность занятия приемо-отправочного пути передачей соответственно при приеме и отправлении;

$\beta_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий отказы в работе устройств, равный 0,01 ч;

$\sum T_{\text{пост}}$ – продолжительность выполнения постоянных операций на пути (текущий ремонт, уборка от снега и др.).

Расчетное количество передач по прибытии или отправлении

$$N_{\text{п}} = \sqrt{t_{\text{гс}}} + \tau_{\beta} \sigma_{\text{гс}} \frac{P_{\text{бр}}}{Q_{\text{п}}}, \quad (4.29)$$

где τ_{β} – число нормированных средних квадратичных отклонений, $\tau_{\beta} = 1,65$;

$\sigma_{\text{гс}}$ – среднее квадратическое отклонение расчетных размеров движения;

$P_{\text{бр}}$ – масса вагона брутто, т;

$Q_{\text{п}}$ – оптимальная масса передачи, т [40],

$$Q_{\Pi} = \sqrt{\frac{O L_{\text{дв}} + I \bar{m}_{\text{Гс}} P_{\text{бр}}}{\Phi + Y L_{\text{дв}} m_{\text{Гс}} P_{\text{бр}} \cdot 10^{-6}}}$$

О, И, Ф, У – эмпирические коэффициенты, принимаемые по [40, таблица 8.35].

Для условий примера $O = 0,0653$; $I = 6,6447$; $\Phi = 0,0363$; $Y = 0,03036$ [40]

$$Q_{\Pi} = \sqrt{\frac{0,0653 \cdot 7 + 6,6447 \cdot 200 \cdot (9 + 22)}{0,0363 + 0,03036 \cdot 7 \cdot 200 \cdot (9 + 22) \cdot 10^{-6}}} = 1701 \text{ т.}$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{к}}^2 + \sigma_{\Pi}^2},$$

где $\sigma_{\text{к}}$, σ_{Π} – среднее квадратическое отклонение соответственно посуточных и прогнозных размеров движения от их действительных значений.

При

$$\sigma_{\text{к}} = a \bar{m}_{\text{Гс}}^b, \quad \sigma_{\Pi} = \frac{\beta_t \bar{m}_{\text{Гс},t}}{3},$$

где a , b – эмпирические коэффициенты; для прибытия $a = 1,345$, $b = 0,653$; для отправления $a = 1,214$, $b = 0,610$;

β_t – относительная ошибка прогноза в году t :

t	0	5	10	15	20
β_t	0	0,05	0,11	0,18	0,27

Тогда $\sigma_{\text{к}}$ по прибытию

$$\sigma_{\text{к}}^{\Pi} = 1,345 \cdot 200^{0,653} = 42,8 \text{ вагона;}$$

по отправлении

$$\sigma_{\text{к}}^{\circ} = 1,214 \cdot 200^{0,610} = 30,8 \text{ вагона;}$$

$$\sigma_{\Pi} = \frac{0,11 \cdot 200}{3} = 7,3 \text{ вагона; } \sigma_{\text{Гс}}^{\Pi} = \sqrt{42,8^2 + 7,3^2} = 43,4 \text{ вагона;}$$

$$\sigma_{\text{Гс}}^{\circ} = \sqrt{30,8^2 + 7,3^2} = 31,7 \text{ вагона.}$$

Расчетное количество передач [см. формулу (4.29)]:

$$N_{\Pi} = \frac{(200 + 1,65 \cdot 43,4) \cdot (9 + 22)}{1701} = 13;$$

$$N_{\circ} = \frac{(200 + 1,65 \cdot 31,7) \cdot (9 + 22)}{1701} = 12.$$

Продолжительность занятия прямо-отправочного пути прибывающей передачей

$$t_{3.п} = t_{то}^п + t_{ож.п} + t'_{пер},$$

где $t_{ож.п}$ – продолжительность ожидания расформирования передачи,

$$t_{ож.п} = \frac{12\rho_{л}^2 (\rho_{пер}^2 + \gamma_{рп}^2)}{N_{п} (-\rho_{л})};$$

$$t_{ож.п} = \frac{12 \cdot 0,7^2 (0,8^2 + 0,3^2)}{13 (-0,7)} = 1,1 \text{ ч};$$

$t'_{пер}$ – продолжительность занятия пути при перестановке передачи на вытяжной путь, равная 0,07 ч;

$$t_{3.п} = 0,8 + 1,1 + 0,07 = 1,97 \text{ ч.}$$

Продолжительность занятия пути отправлением передачи

$$t_{3.о} = t_{то}^о + t_{ож.пер},$$

где $t_{ож.пер}$ – средняя продолжительность ожидания отправления,

$$t_{ож.пер} = \frac{12\rho_{вых}^2 (\rho_{вых}^2 + \gamma_{об}^2)}{N_{о} (-\rho_{вых})};$$

$$t_{ож.пер} = \frac{12 \cdot 0,65^2 (0,5^2 + 0,3^2)}{12 (-0,65)} = 0,41 \text{ ч.}$$

Тогда $t_{3.о} = 1,0 + 0,41 = 1,41 \text{ ч.}$

Количество приемо-отправочных путей для обслуживания передач при $\sum T_{пост} = 2 \text{ ч}$

$$m_{пер}^r = \lceil 3 \cdot 1,97 + 12 \cdot 1,41 \rceil \frac{1,01}{24 - 2} = 2 \text{ пути.}$$

Тогда общее количество приемо-отправочных путей с учетом ходового для локомотивов

$$m_{по}^r = 3 + 2 + 1 = 6 \text{ путей}$$

Пример 4.13. Определить количество путей в сортировочном парке грузовой станции, предназначенных для накопления и формирования передач на сортировочную станцию железнодорожного узла, подборки вагонов по грузовым пунктам станции на горке малой мощности, а также специальных путей (для ремонта вагонов, бездокументных, отстоя специального подвижного состава). К расчету принять суточный объем переработки грузовых фронтов $m_{сут} = 200$ вагонов, общее количество грузовых фронтов, обслуживаемых станцией 15. Специальных путей для обеспечения других видов работ проектом предусмотреть $m_{спец}^r = 3$.

Решение. В соответствии с [4] количество сортировочных путей для накопления и формирования поездов (передач) на грузовых станциях рекомендуется принимать по нормам для сортировочных станций [4, подразд. 9.6]. Так как грузовая станция должна формировать передачи только на сортировочную станцию (одно назначение), а размер вагонопотока составляет 200 вагонов в сутки, то целесообразно выделить для этих целей два сортировочных пути (m_n^r).

Для подборки групп вагонов по грузовым фронтам количество путей рекомендуется принять по таблице 4.10 [4].

Т а б л и ц а 4.10 – Количество сортировочных путей для подборки вагонов по грузовым фронтам

Среднесуточный вагонопоток	Количество сортировочных путей для подборки вагонов по грузовым фронтам на горке малой мощности при общем числе назначений вагонов на станции					
	8	12	16	20	24	28
100	3	3	3	3	3–4	3–4
150	4	4	4	4	4	4–5
200	4	4	4–5	5	5	5–6
250	4–5	4–5	5	5	5	5–6
300	5	5–6	6	6	6	6–7
350	5	5–6	6–7	7	7–8	8
400	6	6–7	7	7	7–8	8–9

Так как грузовая станция подборку вагонов осуществляет по 15 грузовым фронтам, то количество этой группы сортировочных путей ($m_{гф}^r$), при $m_{гф} = 200$ вагонов, составит 4. Общее количество путей в сортировочном парке грузовой станции

$$m_{с.п.}^r = m_n^r + m_{гф}^r + m_{спец}^r = 2 + 4 + 3 = 9 \text{ путей.}$$

Пример 4.14. Рассчитаем количество путей для отстоя вагонов в ожидании подачи если количество передач $\sum_{i=1}^m X_i = 15$, загрузка маневрового

локомотива $\rho_l = 0,7$, коэффициент вариации интервалов вывода передач с отсевных путей $\gamma_{под} = 0,3$, а коэффициент вариации интервалов вывода с сортировочных путей $\gamma_{выст} = 0,7$. Продолжительность выполнения технологических операций $t_{тех}^{под} = 0,3$ ч, работы локомотива в сутки $T_p = 23$ ч.

Решение. Количество выставочных путей

$$m_{от.тс} = \frac{t_{тех}^{под} + t_{ож.п} \sum_{i=1}^n X_i}{T_p (1 - t_{\beta} \gamma_{под})},$$

где $t_{\text{ож.п}}$ – продолжительность ожидания подачи вагонов на грузовые пункты,

$$t_{\text{ож.п}} = \frac{12\rho_{\text{л}}^2 \left(\gamma_{\text{выст}}^2 + \gamma_{\text{под}}^2 \right)}{\sum_{i=1}^m X_i \left(-\rho_{\text{л}}^2 \right)} = \frac{12 \cdot 0,7^2 \left(0,7^2 + 0,3^2 \right)}{15 \left(-0,7 \right)} = 0,76 \text{ ч.}$$

Тогда

$$m_{\text{от.тс}} = \frac{0,3 + 0,76}{23 \left(-1,65 \cdot 0,3 \right)} \cdot 15 = 1,4 \approx 2 \text{ пути.}$$

4.4 Устройства для обслуживания пассажиров

Пример 4.15. Рассчитаем площадь основных помещений вокзала для международных, межрегиональных и региональных потоков. Расчетные годовые пассажиропотоки $A_{\text{год}}$ на 10-й год эксплуатации: в международном сообщении – 170000, в межрегиональном – 450000, в региональном – 975000 пассажиров. Коэффициенты месячной и суточной неравномерности пассажиропотока k_1 и k_2 принять для международного сообщения соответственно 1,95 и 1,1, для межрегионального – 1,35 и 1,2, для регионального – 1,25 и 1,3.

Решение. По годовым пассажиропотокам определяем расчетные размеры суточных потоков

$$A_{\text{сут}} = \frac{A_{\text{год}} k_1 k_2}{365}$$

для каждого вида сообщений:

$$A_{\text{сут}}^{\text{мд}} = \frac{170000 \cdot 1,95 \cdot 1,1}{365} \cong 1000 \text{ пассажиров}$$

$$A_{\text{сут}}^{\text{мрег}} = \frac{450000 \cdot 1,35 \cdot 1,2}{365} \cong 2000 \text{ пассажиров}$$

$$A_{\text{сут}}^{\text{рег}} = \frac{975000 \cdot 1,25 \cdot 1,3}{365} \cong 4400 \text{ пассажиров}$$

Расчетная вместимость вокзала определяется количеством пассажиров, одновременно находящихся в нем в часы наибольшей загрузки:

$$U_{\text{вок}} = \frac{\sum A_{\text{сут}} n k}{100},$$

где n – норма расчетной вместимости вокзала, % от суточного отправления пассажиров принимается по таблице 4.11;

k – коэффициент, учитывающий прибывающих пассажиров, встречающих и провожающих; для международного и межрегионального

пассажиропотоков $k = 1, 1, \dots, 1, 25$, для регионального $k = 1$ [41].

Т а б л и ц а 4.11 – **Норма расчетной вместимости H для помещений вокзалов**

Назначение помещений	Среднесуточный поток C пассажиров отправления	Норма H расчетной вместимости помещения вокзала, %
Для пассажиров международного и межрегионального сообщения	До 500	36–39
	От 501 до 1000	32–36
	» 1001 » 2000	29–32
	» 2001 » 3000	26–29
	» 3001 » 5000	24–26
	» 5001 » 7000	22–26
Для пассажиров регионального сообщения	До 5000	4–5
	От 5001 до 7000	3–4
	Более 10000	2–3
<i>Примечания</i>		
1 Норму расчетной вместимости для помещений вокзалов, предназначенных для пассажиров международного и межрегионального сообщения, принимают более высокой: при неравномерном распределении потоков пассажиров в течение суток, отправления пассажирских поездов преимущественно в ночное время, отсутствии предварительной продажи билетов, удаленности вокзала от населенного пункта.		
2 Для помещений вокзалов для региональных пассажиров более высокие значения нормы расчетной вместимости принимают при значительных интервалах между отправлением региональных поездов (1 ч и более) и отправлении поездов в часы «пик».		

В нашем примере норма расчетной вместимости вокзалов для международных пассажиров – 36 %, межрегиональных – 32 % и региональных сообщений – 4 %.

Тогда

$$U_{\text{вок}} = \frac{1000 \cdot 36 \cdot 1,2}{100} + \frac{2000 \cdot 32 \cdot 1,1}{100} + \frac{4400 \cdot 4 \cdot 1}{100} = 1312 \text{ чел.}$$

Исходя из расчетной вместимости устанавливаем, что проектируемый вокзал относится к категории больших (таблица 4.12).

Т а б л и ц а 4.12 – **Категорирование вокзалов**

Категория вокзала	Расчетная вместимость, чел.	Раздельный пункт
Малый	От 25 до 200	Промежуточные и участковые станции, разъезды, обгонные пункты
Средний	» 200 » 700	
Большой	» 700 » 1500	Узловые станции, крупные населенные пункты
Особо большой	Свыше 1500	
		Крупные города

Способ определения площадей основных помещений зависит от категории вокзала.

Площади основных помещений определяем в зависимости от потребной площади в расчете на одного пассажира, полученной по результатам экспертной оценки или по типовым проектам (таблица 4.13).

Т а б л и ц а 4.13 – Нормируемая площадь основных помещений

Помещения	Площадь, м ²
Вестибюль без касс	$1312 \cdot 1,2 = 1574,4$
Кассы	$5 \cdot 8 = 40$
Зал ожидания	$1312 \cdot 1,7 = 2230,4$
Комната матери и ребенка	$5,5 \cdot 45 = 241$
Комната длительного отдыха	$6,2 \cdot 50 = 320$
Багажное отделение	$1312(1,5 + 0,22) = 2256,6$
Камера хранения ручного багажа	$1312(1,4 + 0,15) = 2033,6$

Аналогично рассчитываем площади остальных служебных и пассажирских помещений.

Пример 4.16. Определим размеры пассажирских платформ для обслуживания регионального движения при обращении на участках электропоездов типа ЭР9П (населенность поезда $U_{п} = 1050$ чел., количество вагонов $m = 10$, дверей в вагоне $n = 2$). Принимаем для расчетов продолжительность высадки из вагона одного пассажира $t_{выс} = 2$ с; площадь платформы, занимаемую одним пассажиром, $F_{пл} = 1$ м²; скорость передвижения пассажиров по платформе $v = 1,2$ м/с.

Р е ш е н и е. Длину платформы для высадки-посадки пассажиров (при обращении электропоездов ЭР9П длиной $L = 201,5$ м) с учетом удлинения составов в перспективе принимаем равной 300 м. Потребная ширина платформы

$$b_{пл} = \frac{U_{п} F_{пл}}{L} k + \Delta b + 1,0.$$

где k – коэффициент, учитывающий скопление пассажиров на платформе,

$$k = \frac{T_{прох}}{T_{выс}},$$

$T_{прох}$ – продолжительность прохода пассажиром расстояния, равного длине состава L , со скоростью v , с,

$$T_{прох} = \frac{L}{v},$$

$T_{выс}$ – общая продолжительность высадки пассажиров из поезда, с,

$$T_{выс} = \frac{U_{п} t_{выс}}{m n a_{п}},$$

$a_{п}$ – количество пассажиров, выходящих одновременно через одну дверь ($a_{п} = 1$).

$$T_{прох} = \frac{201,5}{1,2} = 168 \text{ с}; \quad T_{выс} = \frac{1050 \cdot 2}{10 \cdot 2 \cdot 1} = 105 \text{ с};$$

$$k = \frac{168}{105} = 1,6;$$

Δb – добавочная ширина платформы для каких-либо устройств (опор контактной сети и др.).

$$b_{\text{пл}} = \frac{1050 \cdot 1}{201,5} \cdot 1,6 + 1,0 = 8,33 \text{ м.}$$

Следовательно, размеры платформ для обслуживания пассажиров региональных линий $8,33 \times 300 \text{ м}^2$.

Пример 4.17. Рассчитаем потребное количество остановочных пунктов городского транспорта на привокзальной площади тупикового типа, если прибывает на станцию в течение суток 40000 пассажиров; доля отвлечения пассажиров на такси (а также пассажиров, не пользующихся массовым городским транспортом) $\varphi = 0,3$; время работы городского транспорта $T_p = 1200$ мин/сут; суммарная продолжительность перерывов в работе городского транспорта $T_{\text{п}} = 300$ мин/сут; минимальный интервал между движущимися экипажами городского транспорта $I_{\text{мин}} = 0,75$ мин; средняя вместимость единицы подвижного состава городского транспорта $U_{\text{гор}} = 70$ пассажиров; продолжительность занятия остановочного пункта посадкой, высадкой пассажиров $T_c = 3$ мин; время на подъезд экипажа к остановочному пункту $\tau = 10$ с; средние затраты времени на ускорение при отправлении и на замедление при торможении $r = 15$ с.

Решение. Количество остановочных пунктов на привокзальной площади

$$n_o = \frac{T_c + \tau + r}{I_{\text{pc}}},$$

где I_{pc} – расчетный интервал движения единиц городского транспорта – полусумма интервалов движения минимально возможного $I_{\text{мин}}$ и равномерного I_p в течение рабочего времени,

$$I_{\text{pc}} = \frac{I_{\text{мин}} + I_p}{2}; \quad I_p = \frac{T_c - \sum T_{\text{п}}}{M_A};$$

M_A – потребное количество единиц городского транспорта для вывоза заданного размера пассажиропотока,

$$M_A = \frac{A_{\text{сут}} \cdot (1 - \varphi)}{U_{\text{гор}}},$$

$$M_A = \frac{40000 \cdot (1 - 0,3)}{70} = 400 \text{ машин}; \quad I_p = \frac{1200 - 300}{400} = 2,25 \text{ мин};$$

$$I_{\text{pc}} = \frac{0,75 + 2,25}{2} = 1,5; \quad n_o = \frac{180 + 10 + 15}{90} \approx 3 \text{ остановки.}$$

4.5 Грузовые устройства

Пример 4.18. Определим потребную площадь для переработки, складирования и хранения грузов в грузовом районе. Расчетный годовой объем поступления грузов на 10-й год эксплуатации, род и средняя загрузка подвижного состава, доля прямого варианта (вагон – автомобиль) приведены в таблице 4.14.

Т а б л и ц а 4.14 – **Исходные параметры для решения примера**

Наименование груза	Тип площадки (склада)	Расчетный годовой объем поступления Q_p , т	Род подвижного состава, т	Доля прямого варианта перегрузки	Средняя загрузка подвижного состава, т
Круглый лес, пиломатериалы	Открытая площадка	50000 160000	Полувагоны, платформы	0,3	48
Металл, металлоизделия	То же	110000 40000	То же	0,3	63
Каменный уголь	»	180000	Полувагоны	0,25	69
Минерально-строительные материалы	»	160000	То же	0,50	68,5
Строительные конструкции	»	98000	Полувагоны, платформы	0,3	49
Тарные и упаковочные грузы в повагонных отправлениях	Крытый склад с внутренним вводом путей	60000	Крытые	0,2	41

Р е ш е н и е. Расчет ведется для каждой категории грузов по расчетному грузо- и вагонопотоку, роду подвижного состава и удельного допустимого давления на метр квадратный полезной площади склада. Вместимость склада (для любого вида груза) определяется по формуле

$$E_c = Q_{сут}^p t_{xp} \left(1 - \alpha \right) \quad (4.30)$$

где $Q_{сут}^p$ – расчетный суточный грузопоток,

$$Q_{сут}^p = m_{сут}^p P_{тех}, \quad (4.31)$$

$m_{сут}^p$ – расчетный вагонопоток, прибывающий на станцию, ваг./сут,

$$m_{\text{сут}}^p = m_{\text{сут}} + t_{\beta} \sigma, \quad (4.32)$$

$m_{\text{сут}}$ – среднесуточный вагонопоток, прибывающий на станцию,

$$m_{\text{сут}} = \frac{Q_{\Gamma}}{365 P_{\text{тех}}}, \quad (4.33)$$

Q_{Γ} – годовой объем грузопереработки, т.

σ – среднеквадратическое отклонение величины потока, ваг.,

$$\sigma = a \sqrt{t_{\text{сут}}^b}, \quad (4.34)$$

a и b – эмпирические коэффициенты, принимаются по таблице 4.15;

t_{β} – коэффициент, принимаемый для уровня доверительной вероятности 95 % равным 1,64;

$P_{\text{тех}}$ – техническая норма загрузки вагона, т;

$t_{\text{хр}}$ – срок хранения груза на складе, сут (таблица 4.16);

α – коэффициент переработки груза по прямому варианту.

Потребная площадь склада по методу удельных допускаемых нагрузок $F_{\text{скл}}^{\text{уд}}, \text{м}^3$,

$$F_{\text{скл}}^{\text{уд}} = \frac{E_c k_{\text{пр}}}{P} \quad \text{или} \quad F_{\text{скл}}^{\text{уд}} = \frac{k_{\text{пр}}}{P} Q_{\text{сут}} t_{\text{хр}} \sqrt{\alpha g}, \quad (4.35)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь на складские проходы и проезды (таблица 4.17);

P – средняя удельная допустимая нагрузка на 1 м² полезной площади склада, кН (таблица 4.18);

g – ускорение свободного падения, м/с².

Т а б л и ц а 4.15 – Значение коэффициентов a и b

Груз	a		b
	Прибытие	Отправление	
Каменный уголь (в том числе кокс)	1,224	1,066	0,660
Нефтяные	1,260	1,160	0,658
Руда	1,293	1,188	0,657
Черные металлы	1,249	1,090	0,652
Лесные	1,232	1,076	0,676
Минеральные и строительные материалы	1,393	1,225	0,653
Химические и минеральные удобрения	1,289	1,128	0,642
Хлебные	1,420	1,241	0,662
Прочие	1,320	1,139	0,701

Т а б л и ц а 4.16 – Сро к хранения груза на складе

В сутках

Род груза	Продолжительность хранения	
	до отправления	по прибытии
Тарные и штучные грузы в крытых складах:		
при повагонных отправлениях	1,5	2,0
при мелких отправлениях	2,0	2,5
Тарные и штучные грузы в контейнерах	1,0	2,0
Тяжеловесные грузы	1,0	2,5
Колесные грузы и сельхозтехника	1,0	2,5
Цемент, известь, алебастр, мел, минеральные удобрения	–	2,5
Грузы, перевозимые навалом	2,5	3,0
<i>Примечания</i>		
1 Для порожних контейнеров расчетный срок нахождения на контейнерной площадке – один сутки.		
2 Для грузов, подлежащих долгосрочному хранению, срок хранения устанавливается проектом по согласованию с заказчиком, желающим хранить свои грузы на складах железной дороги.		

Т а б л и ц а 4.17 – Значения коэффициента $K_{пр}$

Род груза	Наименование грузового устройства	Коэффициент, учитывающий дополнительные площади
Тарные и штучные грузы:	Крытый склад и платформа	1,7
	повагонные отправки	
мелкие отправки	То же	2,0
Контейнеры	Контейнерная площадка	1,9
Тяжеловесные грузы	Площадка для тяжеловесных грузов	1,6
	Лесоматериалы	Площадка для лесоматериалов
Уголь и нерудные (минерально-строительные) материалы	Склад угля и нерудных (минерально-строительных) материалов	1,5

Т а б л и ц а 4.18 – Средняя удельная нагрузка на 1 м² полезной площади склада

Род груза	Наименование грузового устройства	ρ , кН/м ²
Тарные и штучные грузы при повагонных отправлениях:	Крытый склад и платформа	8,5
	в общих складах	
в специализированных складах	То же	2,5

Окончание таблицы 4.18

Род груза	Наименование грузового устройства	ρ , кН/м ²
Промышленные товары широкого потребления (трикотаж, обувь, одежда и т. п.)	Крытый склад и платформа	2,5
Мебель	То же	2,5
Бумага	»	1
Тарные и штучные грузы в контейнерах	Площадка для контейнеров крупнотоннажных	10,25
Тяжеловесные грузы	Площадка для тяжеловесов	9
Грузы, перевозимые навалом	Площадка для грузов, перевозимых навалом	11
<i>Примечание</i> – В тех случаях, когда преобладают легковесные грузы или применяется стеллажное хранение грузов, площадь склада следует рассчитывать по расчетным нагрузкам на 1 м ² , устанавливаемым в проекте.		

1 Площадка для лесоматериалов

а) круглый лес:

среднесуточный вагонопоток при $P_{\text{техн}} = 48$ т

$$m_{\text{сут.л}} = \frac{Q_{\text{г}}^{\text{л}}}{365 P_{\text{тех}}} = \frac{50000}{365 \cdot 48} = 2,85 \text{ ваг./сут};$$

среднеквадратическое отклонение величины потока при $a = 1,232$, $b = 0,676$ и $t_{\beta} = 1,64$

$$\sigma_{\text{л}} = a \left(t_{\text{сут.л}} \right)^b = 1,232 \cdot (2,85)^{0,676} = 2,5 \text{ ваг.};$$

расчетный суточный вагонопоток

$$m_{\text{сут.л}}^{\text{р}} = m_{\text{сут.л}} + t_{\beta} \sigma = 2,85 + 1,64 \cdot 2,5 = 6,95 \text{ ваг./сут};$$

расчетный суточный грузопоток

$$Q_{\text{сут.л}}^{\text{р}} = m_{\text{сут.л}}^{\text{р}} P_{\text{тех}} = 6,95 \cdot 48 = 333,6 \text{ т};$$

при $P = 9,0$, $t_{\text{хр}} = 2,5$ сут и $k_{\text{пр}} = 1,6$

$$F_{\text{скл.л}}^{\text{уд}} = \frac{1,6}{9,0} \cdot 333,6 \cdot 2,5 \left(-0,3 \right) 1,0 = 1037,9 \text{ м}^2;$$

б) пиломатериалы:

$$m_{\text{сут.п}} = \frac{160000}{365 \cdot 48} = 9,13 \text{ ваг./сут};$$

при тех же значениях a , b

$$\sigma_{\text{п}} = 1,232 (9,13)^{0,676} = 5,49 \text{ ваг.};$$

при $t_{\beta} = 1,64$

$$m_{\text{сут.п}}^p = 9,13 + 1,64 \cdot 5,49 = 18,13 \text{ ваг./сут};$$

$$Q_{\text{сут.п}}^p = 18,13 \cdot 48 = 870,2 \text{ т};$$

при тех же условиях

$$F_{\text{скл.п}}^{\text{уд}} = \frac{1,6}{9,0} \cdot 870,2 \cdot 2,5 \cdot (-0,3) \cdot 1,0 = 2707,3 \text{ м}^2.$$

Общая потребная площадь

$$F_{\text{скл}}^{\text{уд}} = F_{\text{скл.л}}^{\text{уд}} + F_{\text{скл.п}}^{\text{уд}} = 1037,9 + 2707,3 = 3745,2 \text{ м}^2.$$

2 Площадка для металла и металлоизделий

Так как заданием не определены конкретные виды изделий, расчетный годовой грузопоток в совокупности составит $Q_{\Gamma} = 110000 + 40000 = 150000$ т/год.

Среднесуточный вагонопоток металла и металлоизделий, прибывающий на станцию, при $P_{\text{тех}} = 63$ т

$$m_{\text{сут}} = \frac{Q_{\Gamma}}{365 P_{\text{тех}}} = \frac{150000}{365 \cdot 63} = 6,52 \text{ ваг./сут}.$$

Среднеквадратическое отклонение величины потока при $a = 1,249$, $b = 0,652$ и $t_{\beta} = 1,64$

$$\sigma = a(m_{\text{сут}})^b = 1,249 \cdot 6,52^{0,652} = 4,24 \text{ ваг.}$$

Расчетный вагонопоток при $t_{\beta} = 1,64$

$$m_{\text{сут}}^p = m_{\text{сут}} + t_{\beta} \sigma = 6,52 + 1,64 \cdot 4,24 = 10,76 \text{ ваг./сут}.$$

Расчетный суточный грузопоток

$$Q_{\text{сут}}^p = m_{\text{сут}}^p P_{\text{тех}} = 10,76 \cdot 63 = 677,88 \text{ т/сут}.$$

При $P = 9,0$, $t_{\text{хр}} = 2,5$ и $k_{\text{пр}} = 1,6$

$$F_{\text{скл.м}}^{\text{уд}} = \frac{k_{\text{пр}}}{P} Q_{\text{сут}}^p t_{\text{хр}} \cdot (-\alpha) \cdot 1,0 = \frac{1,6}{9,0} \cdot 677,88 \cdot 2,5 \cdot (-0,3) \cdot 1,0 = 2108,96 \text{ м}^2.$$

3 Площадка для угля

Расчетный годовой грузопоток $Q_{\Gamma} = 180000$ т/год.

Среднесуточный вагонопоток угля, прибывающий на станцию в полувагонах, при значении $P_{\text{техн}} = 69$ т

$$m_{\text{сут}} = \frac{Q_{\Gamma}}{365 P_{\text{тех}}} = \frac{180000}{365 \cdot 69} = 7,15 \text{ ваг./сут.}$$

Среднеквадратическое отклонение величины потока при $a = 1,224$, $b = 0,660$ и $t_{\beta} = 1,64$

$$\sigma = a(m_{\text{сут}})^b = 1,224 \cdot 7,15^{0,660} = 4,48 \text{ ваг.}^2.$$

Расчетный вагонопоток при $t_{\beta} = 1,64$

$$m_{\text{сут}}^p = m_{\text{сут}} + t_{\beta} \sigma = 7,15 + 1,64 \cdot 4,48 = 11,63 \text{ ваг./сут.}$$

Расчетный суточный вагонопоток

$$Q_{\text{сут}}^p = m_{\text{сут}}^p P_{\text{тех}} = 11,63 \cdot 69 = 802,47 \text{ т/сут.}$$

При $P = 11$, $t_{\text{xp}} = 3,0$ и $k_{\text{пр}} = 1,5$

$$F_{\text{скл.у}} = \frac{k_{\text{пр}}}{P} Q_{\text{сут}}^p t_{\text{xp}} \left(1 - \alpha\right)^{1,5} = \frac{1,5}{11} \cdot 802,47 \cdot 3 \left(1 - 0,25\right)^{1,5} = 2465,2 \text{ м}^2.$$

4 Площадка для минерально-строительных материалов (щебня)

Расчетный годовой грузопоток $Q_{\Gamma} = 160000$ т/год.

Среднесуточный вагонопоток, прибывающий на станцию, при $P_{\text{техн}} = 68,5$ т

$$m_{\text{сут}} = \frac{Q_{\Gamma}}{365 P_{\text{тех}}} = \frac{160000}{365 \cdot 68,5} = 6,40 \text{ ваг./сут.}$$

Среднеквадратическое отклонение величины потока при $a = 1,289$, $b = 0,642$ и $t_{\beta} = 1,64$

$$\sigma = a(m_{\text{сут}})^b = 1,289 \cdot 6,40^{0,642} = 4,24 \text{ ваг.}^2.$$

Расчетный вагонопоток при $t_{\beta} = 1,64$

$$m_{\text{сут}}^p = m_{\text{сут}} + t_{\beta} \sigma = 6,40 + 1,64 \cdot 4,24 = 13,35 \text{ ваг./сут.}$$

Расчетный суточный вагонопоток

$$Q_{\text{сут}}^p = m_{\text{сут}}^p P_{\text{тех}} = 13,35 \cdot 68,5 = 914,48 \text{ т/сут.}$$

При $P = 11$, $t_{\text{xp}} = 3,0$ и $k_{\text{пр}} = 1,5$

$$F_{\text{скл.мс}}^{\text{уд}} = \frac{k_{\text{пр}}}{P} Q_{\text{сут}}^{\text{р}} t_{\text{хр}} \left(-\alpha \right) \frac{1,5}{11} \cdot 914,48 \cdot 3,0 \left(-0,5 \right) \cdot 1,0 = 1870,5 \text{ м}^2.$$

5 Площадка для строительных конструкций

Расчетный годовой грузопоток $Q_{\Gamma} = 98000$ т/год.

Среднесуточный вагонопоток данного рода грузов при $P_{\text{тех}} = 49$ т

$$m_{\text{сут}} = \frac{Q_{\Gamma}}{365 P_{\text{тех}}} = \frac{98000}{365 \cdot 49} = 5,48 \text{ ваг./сут.}$$

Среднеквадратическое отклонение величины потока при $a = 1,302$, $b = 0,701$ и $t_{\beta} = 1,64$

$$\sigma = a(m_{\text{сут}})^b = 1,302 \cdot 5,48^{0,701} = 4,29 \text{ ваг}^2.$$

Расчетный вагонопоток при $t_{\beta} = 1,64$

$$m_{\text{сут}}^{\text{р}} = m_{\text{сут}} + t_{\beta} \sigma = 5,48 + 1,64 \cdot 4,29 = 12,52 \text{ ваг./сут.}$$

Расчетный суточный вагонопоток

$$Q_{\text{сут}}^{\text{р}} = m_{\text{сут}}^{\text{р}} P_{\text{тех}} = 12,52 \cdot 49 = 613,48 \text{ т/сут.}$$

При $P = 9,0$, $t_{\text{хр}} = 2,5$ и $k_{\text{пр}} = 1,6$

$$F_{\text{скл.ск}}^{\text{уд}} = \frac{k_{\text{пр}}}{P} Q_{\text{сут}}^{\text{р}} t_{\text{хр}} \left(-\alpha \right) \frac{1,6}{9,0} \cdot 613,48 \cdot 2,5 \left(-0,3 \right) \cdot 1,0 = 1908 \text{ м}^2.$$

6 Тарные и упаковочные грузы в повагонных отправах

Расчетный годовой грузопоток $Q_{\Gamma} = 60000$ т/год.

Среднесуточный вагонопоток этого рода грузов при $P_{\text{тех}} = 41$ т

$$m_{\text{сут}} = \frac{Q_{\Gamma}}{365 P_{\text{тех}}} = \frac{60000}{365 \cdot 41} = 4,0 \text{ ваг./сут.}$$

Среднеквадратическое отклонение величины потока при $a = 1,32$, $b = 0,701$ и $t_{\beta} = 1,64$

$$\alpha = a(m_{\text{сут}})^b = 1,32 \cdot 4,0^{0,701} = 3,49 \text{ ваг}^2.$$

Расчетный вагонопоток при $t_{\beta} = 1,64$

$$m_{\text{сут}}^{\text{р}} = m_{\text{сут}} + t_{\beta} \sigma = 4,0 + 1,64 \cdot 3,49 = 9,72 \text{ ваг./сут.}$$

Расчетный суточный вагонопоток

$$Q_{\text{сут}}^{\text{р}} = m_{\text{сут}}^{\text{р}} P_{\text{тех}} = 9,72 \cdot 41 = 398,52 \text{ т/сут.}$$

При $P = 805$, $t_{\text{xp}} = 2,0$ и $k_{\text{пр}} = 1,7$

$$F_{\text{скл, тт}}^{\text{уд}} = \frac{k_{\text{пр}}}{P} Q_{\text{сут}}^{\text{р}} t_{\text{xp}} \left(-\alpha \right) \approx \frac{1,7}{8,5} \cdot 398,52 \cdot 2,0 \left(-0,2 \right) \approx 1,0 = 1275,3 \text{ м}^2.$$

Пример 4.19. Для грузов, рассмотренных в примере 4.18, определить параметры площадок (складов) для их размещения при следующих условиях:

а) *круглый лес и пиломатериалы*: длина бревна составляет $l_{\text{бр}} = 6$ м, доски – $l_{\text{д}} = 4$ м; площадка оборудована двухконсольным козловым краном пролетом $L_{\text{пр}} = 16$ м;

б) *металл и металлоизделия*: открытая площадка оборудована двухконсольным козловым краном $L_{\text{пр}} = 16$ м;

в) *каменный уголь*: выгрузка осуществляется на повышенном пути; количество подач и уборок в сутки $X_{\text{пу}} = 2$; площадка оборудована двухконсольным козловым краном $L_{\text{пр}} = 25$ м; длина штабеля $l_{\text{шт}} = 50$ м;

г) *минерально-строительные материалы (щебень)*: объемная плотность $\gamma = 1,9$ т/м³; угол естественного откоса $\rho = 45^\circ$; коэффициент заполнения штабеля $\varphi = 0,9$; выгрузка щебня производится на повышенном пути; в течение суток осуществляется одна подача и уборка; площадка оборудована двухконсольным козловым краном пролетом 25 м; длина штабеля $l_{\text{шт}} = 100$ м;

д) *строительные конструкции*: площадка оборудована двухконсольным козловым краном пролетом 16 м;

е) *тарные и упаковочные грузы в повагонных отправлениях*: для выгрузки, складирования и хранения используется однопролетный крытый склад с внутренним расположением путей шириной 24 м.

Решение.

1 *Круглый лес и пиломатериалы* на площадках хранятся в штабелях. При этом ширина штабеля обычно равна для круглого леса длине бревна, а для пиломатериалов – удвоенной длине доски. Длина штабеля при длине бревна 6 м может быть принята $l_{\text{шт}}^{\text{л}} = 50$ м, а длина штабеля пиломатериалов при его ширине 2×4 м $l_{\text{шт}}^{\text{д}} = 4$ м [42]. Тогда площадь, занимаемая одним штабелем, составит:

$$\text{круглого леса } l_{\text{шт}}^{\text{л}} = 6 \cdot 50 = 300 \text{ м}^2;$$

$$\text{пиломатериалов } l_{\text{шт}}^{\text{д}} = 2 \cdot 4 \cdot 4 = 32 \text{ м}^2.$$

Вместимость штабеля в зависимости от его объема $V_{\text{шт}}$, плотности груза γ и коэффициента плотности укладки ψ

$$E_{\text{шт}} = V_{\text{шт}} \gamma \psi.$$

Объем штабеля, м³:

круглого леса $V_{шт}^I = l_{шт}^I l_{бр} H_{шт}^I$;

пиломатериалов $V_{шт}^II = l_{шт}^II 2l_d H_{шт}^II$,

где $H_{шт}^I, H_{шт}^II$ – высота штабеля соответственного круглого леса и пиломатериалов.

Максимальная высота штабеля по допустимой нагрузке на 1 м² полезной площади

$$H_{\max} = \frac{P}{\gamma \psi}.$$

При объемной плотности древесины $\gamma = 0,56$ и величине коэффициента плотности укладки $\psi = 0,6$

$$H_{\max} = \frac{0,9}{0,56 \cdot 0,6} \approx 2,7 \text{ м.}$$

Тогда объем штабеля:

круглого леса $V_{шт}^I = 50 \cdot 6 \cdot 2,7 = 810 \text{ м}^3$;

пиломатериалов $V_{шт}^II = 4 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 2,7 = 86,4 \text{ м}^3$.

Вместимость штабеля соответственно:

$$E_{шт}^I = 810 \cdot 0,56 \cdot 0,6 = 272,2 \text{ т,}$$

$$E_{шт}^II = 86,4 \cdot 0,56 \cdot 0,6 = 29,0 \text{ т.}$$

Необходимое количество штабелей находим из выражения

$$n_{шт} = Q_{сут}^p \left(\leftarrow \alpha \frac{t_{xp}}{E_{шт}} \right).$$

Для укладки круглого леса

$$n_{шт}^I = 333,6 \left(\leftarrow 0,3 \frac{2,5}{272,2} \right) = 2,14 \text{ шт.};$$

пиломатериалов

$$n_{шт}^II = 870,2 \left(\leftarrow 0,3 \frac{2,5}{29,0} \right) = 52,5 \text{ шт.}$$

Площадь склада, требуемая для хранения с учетом проходов (при $k_{пр} = 1,6$ м):

круглого леса

$$F^I = F_{шт}^I n_{шт}^I k_{пр} = 300 \cdot 2,14 \cdot 1,6 = 1027,2 \text{ м}^2;$$

пиломатериалов

$$F^{II} = 32 \cdot 52,5 \cdot 1,6 = 2688,0 \text{ м}^2.$$

Общая потребная площадь склада

$$F_{скл.лп} = F^I + F^{II} = 1027,2 + 2688,0 = 3715,2 \text{ м}^2.$$

При оборудовании козловым краном пролетом $L_{\text{пр}}^{\text{к}} = 16$ м, полезная ширина площадки

$$B_{\text{пл}} = L_{\text{пр}}^{\text{к}} - 2l_{\text{габ}},$$

где $l_{\text{габ}}$ – габаритное расстояние от подкранового рельса до штабеля, м. Согласно рисунку 4.5 $l_{\text{габ}} = 1,325$ м.

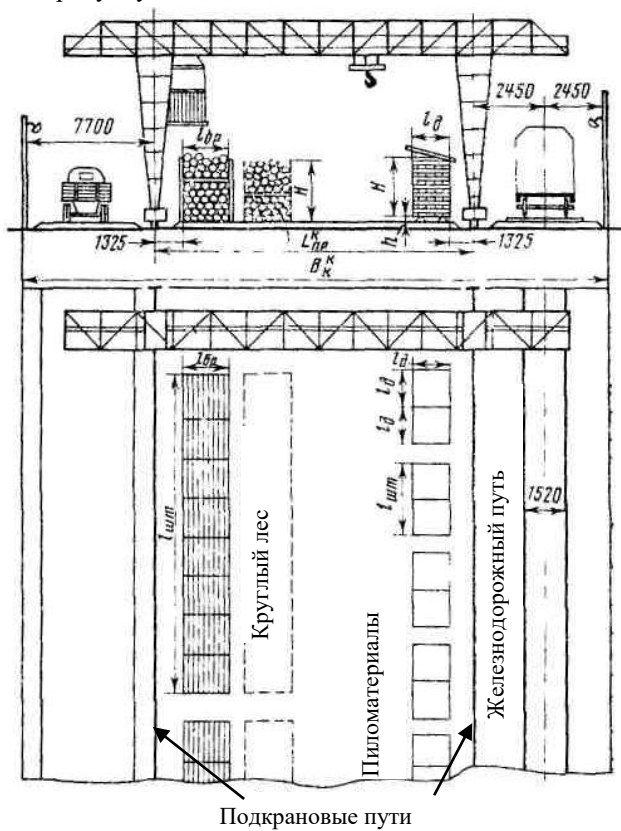


Рисунок 4.5 – Схема механизации переработки лесных грузов козловым краном

Тогда

$$B_{\text{пл}} = 16 - 2 \cdot 1,325 = 13,35 \text{ м},$$

а длина

$$L_{\text{пл,лм}} = \frac{F_{\text{скл}}}{B_{\text{пл}}} = \frac{3715,2}{13,35} = 278,3 \text{ м}.$$

При этом длина подкрановых путей будет равна максимальной длине фронта погрузки-выгрузки и составит при суточном прибытии круглого леса $m_{\text{сут.л}} = 2,85$ ваг./сут и пиломатериалов $m_{\text{сут.п}} = 19,3$ ваг./сут составит $l_{\text{фр}} = 19,3 \cdot 14,41 = 278,3$ м.

2 Так как условием примера не определены вид, параметры, способ укладки *металла и металлоизделий*, то длина площади определяется исходя из полезной ее ширины при оборудовании заданным краном. Полезная ширина площадки, оборудованной козловым краном пролетом 16 м, составляет 13,35 м, тогда

$$L_{\text{пл.м}} = \frac{F_{\text{скл.м}}^{\text{уд}}}{B_{\text{пл}}} = \frac{2108,96}{13,35} = 158 \text{ м.}$$

3 Для выгрузки *каменного угля* прежде всего определяем параметры повышенного пути: длину разгрузочной его части, потребную высоту, ширину и емкость отвалов.

Длина разгрузочной части повышенного пути

$$l_{\text{разгр}} = m_{\text{сут}}^{\text{р}} \frac{l_{\text{в}}}{x_{\text{пу}}} + a,$$

где $l_{\text{в}}$ – длина вагона, м (принимается $l_{\text{в}} = 13,92$ м);

a – величина, учитывающая неточность установки вагонов подачи на разгрузочной части, м; принимается равной длине 1–3 вагона в зависимости от общего количества вагонов в подаче ($a = 13,92$ м),

$$l_{\text{разгр}}^{\text{ку}} = 11,63 \frac{13,92}{2} + 13,92 \approx 95 \text{ м.}$$

Высота повышенного пути

$$h_{\text{пп}} = \sqrt{\frac{m_{\text{фр}} q_{\text{п}}}{\gamma \psi l_{\text{в}} \text{ctg} \rho}} - 0,5,$$

где $m_{\text{фр}}$ – количество полувагонов, разгружаемых на одном месте, принимается 1,5 вагона;

$q_{\text{п}}$ – масса груза в одном полувагоне, т;

γ – плотность груза, т/м³; для угля $\gamma = 0,85$ т/м³;

ψ – коэффициент заполнения отвала (0,8–0,9);

ρ – угол естественного откоса (для угля $\rho = 45^\circ$).

При $m_{\text{фр}} = 1,5$ вагон, $q_{\text{п}} = 69$ т, $\gamma = 0,85$ т/м³; $\psi = 0,85$ и $l_{\text{в}} = 13,92$ м

$$h_{\text{пп}} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 69}{0,85 \cdot 0,85 \cdot 13,92 \cdot 1}} - 0,5 = 2,71 \text{ м.}$$

Высота повышенного пути принимается равной 3 м.

Вместимость разгрузочной части склада с обеих сторон повышенного пути, т,

$$E_{\text{пп}} = 2F_{\text{отв}} l_{\text{разгр}} \gamma \Psi,$$

где $F_{\text{отв}}$ – площадь сечения груза в отвале (рисунок 4.6),

$$F_{\text{отв}} = h_{\text{пп}} \frac{b_{\text{отв}}}{2},$$

$b_{\text{отв}}$ – ширина отвала, м (при $h_{\text{пп}} = 3,0$ м и $\rho = 45^\circ$ $b_{\text{отв}} = 3$ м),

$$F_{\text{отв}} = 3 \frac{3}{2} = 4,5 \text{ м}^2.$$

$$E_{\text{пп}} = 2 \cdot 4,5 \cdot 95 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \approx 618 \text{ т}.$$

Масса груза в одной подаче

$$Q_{\text{под}}^y = \frac{m_{\text{сут}}^p q_H}{x_{\text{пу}}} = 11,63 \frac{69}{2} = 401,2 \text{ т}.$$

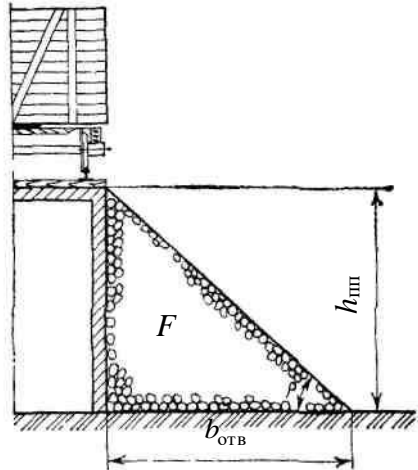


Рисунок 4.6 – Схема для определения вместимости склада у повышенного пути

Таким образом, вместимость разгрузочной части склада превышает массу груза одной подачи. Следовательно, $l_{\text{разгр}}$ необходимо принять по количеству вагонов в одной подаче с учетом неточности установки, равное 95 м.

Параметры площадки, необходимой для складирования и хранения каменного угля (ширина и длина), зависит от средств механизации его выгрузки и способа хранения. При хранении угля в штабелях с подштабельным основанием (рисунок 4.7) объем одного штабеля

$$V_{шт} = \left[\frac{1}{6} b_{шт} h'_{шт} (l_{шт} + l'_{шт}) \right] + l_{шт} b_{шт} h_{шт},$$

где $l'_{шт}$, $h'_{шт}$ – соответственно длина и высота верхней части штабеля, м;
 $l_{шт}$, $b_{шт}$, $h_{шт}$ – геометрические размеры (соответственно длина, ширина, высота) штабеля у основания, м.

При формировании штабеля без подштабельного основания это выражение будет иметь вид

$$V_{шт} = b_{шт} h_{шт} \frac{2l_{шт} + l'_{шт}}{6}.$$

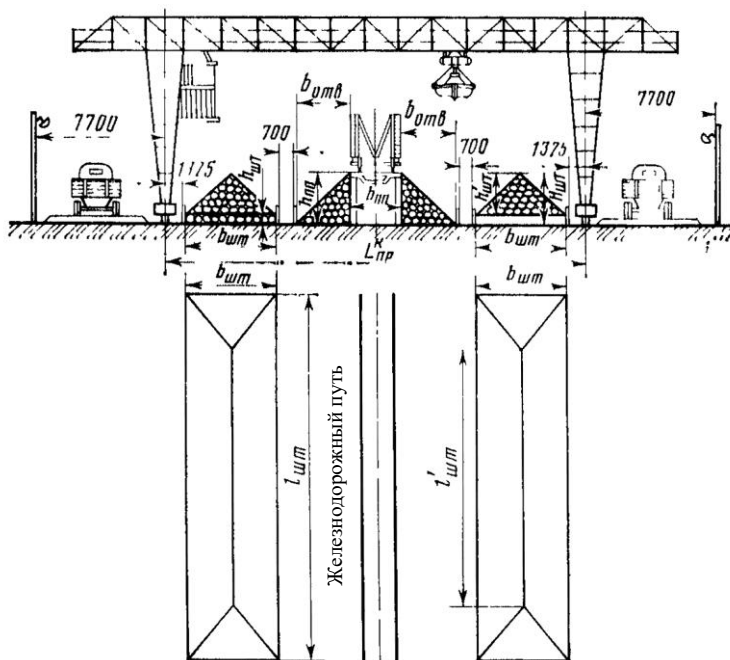


Рисунок 4.7 – Схема механизации переработки угля

Ширина штабеля $b_{шт}$ у основания при ширине повышенного пути $b_{пн} = 2,6$ м, $b_{отв} = 3,0$ м и пролете крана 25 м (см. рисунок 4.7)

$$b_{\text{шт}} = \frac{L_{\text{шп}} - 2 \cdot 1,325 + 2b_{\text{отв}} + b_{\text{шт}} + 2 \cdot 0,7}{2} = \frac{25 - 2,650 + 6,0 + 2,6 + 1,4}{2} \approx 6,2 \text{ м.}$$

Высота штабеля при этом

$$h_{\text{шт}} = \frac{b_{\text{шт}}}{2 \operatorname{tg} \rho} = \frac{6,2}{2 \cdot 1} = 3,1 \text{ м,}$$

$\operatorname{tg} \rho = 45^\circ = 1$, а длина штабеля поверху $l'_{\text{шт}}$:

$$l'_{\text{шт}} = l_{\text{шт}} - \frac{2h_{\text{шт}}}{\operatorname{tg} \rho} = 50 - 2 \cdot 3,1 = 43,8 \text{ м.}$$

Тогда объем штабеля

$$V_{\text{шт}} = \frac{b_{\text{шт}} h_{\text{шт}} (l_{\text{шт}} + l'_{\text{шт}})}{6} = \frac{6,2 \cdot 3,1 (50 + 43,8)}{6} = 460,5 \text{ м}^3,$$

вместимость штабеля

$$E_{\text{шт}} = V_{\text{шт}} \gamma = 460,5 \cdot 0,85 = 391,5 \text{ т.}$$

При такой вместимости (емкости) штабеля фактическая нагрузка на 1 м^2 площади основания

$$P = \frac{E_{\text{шт}}}{F_{\text{шт}}} g = \frac{391,5}{50 \cdot 6,2} \cdot 10 \approx 12,6 \text{ кН/м}^2.$$

Следовательно, в сравнении с допустимой нормой нагрузки (см. таблицу 4.18), равной для грузов, перевозимых навалом, 11 кН/м^2 , расчетная нагрузка завышена на $\Delta P = 1,6 \text{ кН/м}^2$. В таком случае необходимо произвести усиление основания площадки или привести в норму вместимость штабеля. Во втором случае вместимость штабеля следует уменьшить на величину

$$\Delta E_{\text{шт}} = \frac{l_{\text{шт}} b_{\text{шт}} \Delta P}{g} = \frac{50 \cdot 6,2 \cdot 1,6}{10} \approx 49,6 \text{ т,}$$

т. е. сократить его объем на

$$\Delta V_{\text{шт}} = \frac{\Delta E_{\text{шт}}}{\gamma} = \frac{49,6}{0,85} = 58,4 \text{ м}^3.$$

Это соответствует понижению штабеля на величину

$$\Delta h_{\text{шт}} = \frac{b_{\text{шт}} (l_{\text{шт}} + l'_{\text{шт}})}{6 (V_{\text{шт}} - \Delta V_{\text{шт}})} = \frac{6,2 (50 + 43,8)}{6 (460,5 - 58,4)} = 0,37 \text{ м.}$$

Общее количество штабелей для размещения каменного угля в таком случае

$$n_{\text{шт}} = \frac{Q_{\text{сут}}^p \cdot (-\alpha) \cdot \bar{t}_{\text{хр}}}{E_{\text{шт}} - \Delta E_{\text{шт}}} = \frac{802,47 \cdot (-0,25) \cdot 3}{460,6 - 58,4} = 4,5 \text{ штабеля.}$$

Тогда общая площадь склада для хранения каменного угля с учетом $k_{\text{пр}} = 1,5$

$$F_{\text{скл.у}} = l_{\text{шт}} \cdot b_{\text{шт}} \cdot n_{\text{шт}} \cdot k_{\text{пр}} = 50 \cdot 6,2 \cdot 4,5 \cdot 1,5 = 2092,5 \text{ м}^2.$$

Сравнивая потребную площадь склада для каменного угля, при тех же объемах $Q_{\text{сут}}^p$, полученную в примере 4.18, видно заметное ее сокращение ($6372,7 \text{ м}^2$), если учитываются параметры формируемых штабелей. В таком случае длина склада

$$L_{\text{скл.у}} = \frac{F_{\text{скл.у}}}{2b_{\text{шт}}} = \frac{2092,5}{2 \cdot 6,2} = 168,8 \text{ м.}$$

4 Для *выгрузки щебня* предусматривается сооружение повышенного пути, параметры которого определяются с использованием вышеизложенной методики для переработки каменного угля.

Тогда

$$l_{\text{разгр}}^{\text{шт}} = 13,35 \frac{13,92}{2} + 13,92 \approx 107 \text{ м;}$$

$$h_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 68,5}{1,9 \cdot 0,9 \cdot 13,92 \cdot 1}} - 0,5 = 1,2 \text{ м.}$$

Для выгрузки щебня принимается высота повышенного пути $h_{\text{шт}} = 1,5 \text{ м}$.

Вместимость разгрузочной части склада с обеих сторон повышенного пути при $h_{\text{шт}} = 1,5 \text{ м}$, $\rho = 45^\circ$, $b_{\text{отв}} = 1,5 \text{ м}$ и

$$F_{\text{отв}} = 1,5 \frac{1,5}{2} = 1,125 \text{ м}^2,$$

составит

$$E_{\text{шт}} = 2 \cdot 1,125 \cdot 107 \cdot 1,9 \cdot 0,9 = 411,7 \text{ т.}$$

Масса груза, находящегося в одной подаче,

$$Q_{\text{сут}}^p = 13,35 \cdot 68,5 = 914,5 \text{ т.}$$

Таким образом, при $h_{\text{шт}} = 1,5 \text{ м}$ разгрузочная часть повышенного пути длиной 107 м не обеспечивает размещения в отвалах груза одной подачи. В связи с этим возможны следующие решения: удлинение разгрузочной части

повышенного пути до 214 м, либо его повышения до величины 2,4 м, соответствующей типовому проекту.

Удлинение разгрузочной части повышенного пути приводит к необходимости выполнения маневровой работы для рассредоточения подвижного состава и привлечения дополнительных мер и средств обеспечения безопасности выполнения грузовых операций. Поэтому целесообразно рассмотреть решение этого вопроса за счет увеличения высоты повышенного пути до 2,4 м.

При этом получим:

$$F_{\text{отв}} = 2,4 \cdot \frac{2,4}{2} = 2,88 \text{ м}^2,$$

$$E_{\text{п.п}} = 2 \cdot 2,88 \cdot 107 \cdot 1,9 \cdot 0,9 = 1053,9 \text{ т.}$$

В таком случае емкость отвалов повышенного пути обеспечивает выгрузку щебня одной подачи.

Для складирования щебня для хранения ширина штабеля при использовании двухконсольного козлового крана пролетом 25 м (см. рисунок 4.7)

$$b_{\text{шт}} = \frac{25 - 2 \cdot 1,325 + 2 \cdot 2,4 + 2,6 + 2 \cdot 0,7}{2} = 6,8 \text{ м};$$

высота штабеля

$$h_{\text{шт}} = \frac{6,8}{2 \cdot 1} = 3,4 \text{ м};$$

длина штабеля поверху

$$l'_{\text{шт}} = 100,0 - 6,8 = 93,2 \text{ м};$$

объем штабеля

$$V_{\text{шт}} = \frac{6,8 \cdot 3,4 \cdot (100,0 - 93,2)}{6} = 411,5 \text{ м}^3;$$

местимость штабеля

$$E_{\text{шт}} = 411,5 \cdot 1,9 = 781,9 \text{ т};$$

количество штабелей

$$n_{\text{шт}} = \frac{914,5 \cdot (-0,5)}{781,9} \approx 3 = 1,8 \text{ штабеля.}$$

Определим соответствие средней фактической нагрузки груза на 1 м² площади основания штабеля допустимой норме

$$P_{\phi} = \frac{781,9}{680} \cdot 10 \approx 11,5 \text{ т/м}^2,$$

что практически удовлетворяет допустимой норме.

Тогда

$$F_{\text{скл.щ}} = 100 \cdot 6,8 \cdot 1,8 \cdot 1,5 = 1836 \text{ м}^2;$$

$$L_{\text{скл.щ}} = \frac{1836}{2 \cdot 6,8} = 135,0 \text{ м.}$$

5 При оборудовании площадки для складирования и хранения строительных конструкций двухконсольным козловым краном пролетом 16 м и отсутствием в условии примера параметров и способа укладки данного груза полезная ширина площадки составляет 13,35 м. Длина площадки при этом

$$L_{\text{пл.с.к}} = \frac{F_{\text{скл.ск}}^{\text{уд}}}{B_{\text{пл}}} = \frac{1908}{13,35} \approx 143,0 \text{ м.}$$

6 Однопролетный крытый склад для тарных и упаковочных грузов с внутренним вводом путей шириной 24 м позволяет использовать для размещения груза полезную ширину $b_{\text{скл}} = 19,08$ м. При общей потребной площади склада 1275,3 м²

$$L_{\text{скл.т-у}} = \frac{1275,3}{19,08} = 66,8 \text{ м.}$$

Принимается к проектированию ближайший типовой проект с длиной склада, равной 72 м.

Пример 4.20. Определим потребную длину фронта погрузочно-разгрузочных работ со стороны железнодорожного пути и подъезда автомобилей для грузов, рассмотренных в примерах 4.18 и 4.19. Количество подач и уборок круглого леса и пиломатериалов в сутки $X_{\text{пу}} = 3$ подачи; металла и металлоизделий, строительных конструкций и тарно-упаковочных грузов по две подачи. Для каменного угля и минерально-строительных материалов (щебня) определены условием примера 4.19.

Параметры автомобилей, коэффициент суточной неравномерности вывоза груза и средняя продолжительность погрузки приведены в таблице 4.19.

Расстояние между последовательно стоящими автомобилями принимается 4,5 м, между рядом стоящими – 1,5 м.

Продолжительность работы всех складов грузового района в течение суток $T_{\text{гр}} = 22$ ч.

Решение. Потребную длину грузового фронта со стороны железнодорожного пути, необходимую для одновременного выполнения грузовых операций со всеми вагонами одной подачи, находим:

$$l_{\text{фр}}^{\text{ж}} = m_{\text{сут}}^{\text{р}} \frac{l_{\text{ваг}}}{x_{\text{пу}}},$$

где $l_{\text{ваг}}$ – длина фронта, занимаемая одним вагоном, с учетом промежутков при расстановке для выполнения грузовых операций, м. Определяется по процентному соотношению по роду вагонов в одной подаче или, если неизвестно это соотношение, по роду вагона в подаче, имеющего наибольшую длину по осям автосцепок.

Т а б л и ц а 4.19 – Исходные параметры для решения примера

Наименование груза	Тип автомобиля	Параметры автомобиля			Коэффициент суточной неравномерности вывоза груза	Средняя продолжительность занятия фронта погрузки одним автомобилем, ч
		длина, м	ширина, м	средняя загрузка		
Круглый лес, пиломатериалы	Лесовоз	7,1	2,5	5,0	1,4	0,6
Металл и металлоизделия	Бортовой	7,1	2,5	8,7	1,5	0,7
Каменный уголь	Самосвал	6,7	2,5	7,0	1,35	0,5
Минерально-строительные (щебень)	Самосвал	6,7	2,5	8,5	1,30	0,5
Строительные конструкции	Бортовой	7,1	2,5	5,5	1,5	0,7
Тарные и упаковочные	Фургон	6,5	2,5	2,0	1,45	0,7

В рассматриваемом примере для грузов, поступающих в полувагонах и платформах (лесоматериалы, металл и металлоизделия и строительные конструкции), за расчетную принимается длина платформы, равная 14,62 м.

Тогда потребная длина грузового фронта:

– круглый лес и пиломатериалы

$$l_{\text{фр.л.п}}^{\text{ж}} = 6,95 + 18,13 \frac{14,62}{3} = 122,2 \text{ м};$$

– металл и металлоизделия

$$l_{\text{фр.м}}^{\text{ж}} = 10,76 \frac{14,62}{2} = 78,7 \text{ м};$$

– каменный уголь

$$l_{\text{фр.у}}^{\text{ж}} = l_{\text{разгр}}^{\text{у}} = 95,0 \text{ м};$$

– минерально-строительные материалы (щебень)

$$l_{\text{фр.щ}}^{\text{ж}} = l_{\text{разгр}}^{\text{щ}} = 107,0 \text{ м};$$

– строительные конструкции

$$l_{\text{фр.с.к}}^{\text{ж}} = 12,52 \frac{14,62}{2} = 91,5 \text{ м};$$

– тарные и упаковочные

$$l_{\text{фр.т-у}}^{\text{ж}} = 9,72 \frac{14,73}{2} = 71,6 \text{ м.}$$

Длина грузового фронта, м, со стороны автомобильного транспорта

$$l_{\text{фр}}^{\text{а}} = \frac{Q_{\text{сут}}^{\text{р}} k_{\text{а}} l_{\text{а}} t_{\text{а}}}{q_{\text{а}} T_{\text{гр}}},$$

где $k_{\text{а}}$ – коэффициент суточной неравномерности вывоза груза автотранспортом;

$l_{\text{а}}$ – фронт, потребный для установки одного автомобиля, м;

при установке вдоль склада $l_{\text{а}} = l_{\text{м}} + l'$ и перпендикулярно складу $l_{\text{а}} = b_{\text{м}} + l'$;

$l_{\text{м}}$ – длина автомобиля, м;

l' – расстояние между последовательно стоящими автомобилями, м;

$b_{\text{м}}$ – ширина автомобиля, м;

l' – расстояние между рядом стоящими автомобилями, м;

$t_{\text{а}}$ – средняя продолжительность занятия погрузочно-разгрузочного фронта одним автомобилем, ч;

$q_{\text{а}}$ – средняя загрузка одного автомобиля.

Потребный фронт работ при установке автомобилей для погрузки вдоль склада составит:

– круглый лес и пиломатериалы

$$l_{\text{фр.л.п}}^{\text{а}} = \frac{333,6 + 870,2 \cdot 1,4 \cdot (1 + 4,5) \cdot 0,6}{5,0 \cdot 22} = 106,6 \text{ м;}$$

– металл и металлоизделия

$$l_{\text{фр.м}}^{\text{а}} = \frac{677,9 \cdot 1,5 \cdot (1 + 4,5) \cdot 0,7}{8,7 \cdot 22} = 43,1 \text{ м;}$$

– каменный уголь

$$l_{\text{фр.у}}^{\text{а}} = \frac{802,47 \cdot 1,35 \cdot (1,7 + 4,5) \cdot 0,5}{7,0 \cdot 22} = 39,4 \text{ м;}$$

– минерально-строительные материалы (щебень)

$$l_{\text{фр.ш}}^a = \frac{914,48 \cdot 1,3 \cdot (6,7 + 4,5) \cdot 0,5}{8,5 \cdot 22} = 35,6 \text{ м};$$

– строительные конструкции

$$l_{\text{фр.с.к}}^a = \frac{613,48 \cdot 1,5 \cdot (6,1 + 4,5) \cdot 0,7}{5,5 \cdot 22} = 61,8 \text{ м}.$$

Фронт работ при установке автомобилей для погрузки тарных и упаковочных грузов рядом друг с другом

$$l_{\text{фр.т-у}}^a = \frac{398,52 \cdot 1,45 \cdot (6,5 + 1,5) \cdot 0,7}{2,0 \cdot 22} = 73,5 \text{ м}.$$

Если автомобили для погрузки данных грузов устанавливать последовательно друг другу

$$l_{\text{фр.т-у}}^a = \frac{398,52 \cdot 1,45 \cdot (6,5 + 4,5) \cdot 0,7}{2,0 \cdot 22} = 101,1 \text{ м}.$$

Пример 4.21. Определим площадь, длину и ширину площадки для переработки на грузовом районе большегрузных контейнеров двухконсольным козловым краном пролетом 32 м грузоподъемностью 30 т. Годовой объем переработки груза, поступающего в контейнерах, $Q_{\Gamma} = 190000$ т. Груз перевозится в 20- и 30-тонных контейнерах со средней статистической нагрузкой соответственно 14 и 21 тонны. Из общего потребного количества специализированных платформ 50 % используется для перевозки 20 т контейнеров и столько же – 30-тонных. Количество подач в сутки $X_{\text{пу}} = 6$.

Решение. Для определения среднесуточного вагонопотока необходимо рассчитать среднюю техническую норму загрузки одной платформы. Так как 50 % платформ используется для перевозки 20-тонных контейнеров, которые вмещают два таких контейнера и 50 % – для перевозки 30-тонных контейнеров, размещаемых по одному на платформе, средняя техническая норма загрузки платформы

$$P_{\text{тех}} = 2q'_k \alpha'_k + q''_k \alpha''_k,$$

где q'_k, q''_k – статическая нагрузка соответственно 20- и 30-тонных контейнеров, т;

α'_k, α''_k – доля платформ, используемых для перевозки соответственно 20- и 30-тонных контейнеров.

В соответствии с условием примера

$$P_{\text{тех}} = 2 \cdot 14 \cdot 0,5 + 21 \cdot 0,5 = 24,5 \text{ т}.$$

Тогда

$$m_{\text{сут.к}} = \frac{Q_{\Gamma}}{365 P_{\text{тех}}} = \frac{190000}{365 \cdot 24,5} = 21,25 \text{ вагонов.}$$

Среднее квадратическое отклонение величин потока вагонов при $a = 1,32$, $b = 0,701$ (см. таблицу 4.16 прочие грузы) и $t_{\beta} = 1,64$

$$\sigma = 1,32 \cdot 21,25^{0,701} = 11,25 \text{ вагона;}$$

Расчетный суточный вагонопоток

$$m_{\text{сут.к}}^p = m_{\text{сут.к}} + t_{\beta} \sigma_{\text{л}} = 21,25 + 1,64 \cdot 11,25 \approx 40 \text{ ваг.}$$

Учитывая доленое соотношение платформ, участвующих в перевозке 20- и 30-тонных контейнеров и количество контейнеров соответствующей грузоподъемности, располагаемых на одной платформе, получим:

расчетное количество контейнеров, поступающих в сутки для выгрузки:
20-тонных

$$n_{\text{к},20} = m_{\text{сут.к}}^p \alpha'_{\text{к}} n_{\text{к.пл}} = 40 \cdot 0,5 \cdot 2 = 40 \text{ контейнеров;}$$

30-тонных

$$n_{\text{к},30} = 40 \cdot 0,5 \cdot 1 = 20 \text{ контейнеров,}$$

где $n_{\text{к.пл}}$ – количество контейнеров соответствующей грузоподъемности, размещаемых на платформе.

Всего

$$n_{\text{сут.к}}^p = n_{\text{к},20} + n_{\text{к},30} = 40 + 20 = 60 \text{ контейнеров.}$$

Потребная емкость контейнерной площадки, с учетом срока хранения $t_{\text{хр}} = 2$ сут,

$$E_{\text{к}} = (n_{\text{к},20} + n_{\text{к},30}) t_{\text{хр}} = (40 + 20) \cdot 2 = 120 \text{ контейнеро-мест.}$$

С учетом необходимости размещения неисправных контейнеров, количество которых принимается 5 % от расчетного количества груженых, общая потребная емкость площадки

$$E_{\text{к,общ}} = E_{\text{к}} k_{\text{н}} = 120 \cdot 1,05 = 126 \text{ контейнеро-мест.}$$

Далее необходимо определить количество секций контейнеров, которое можно расположить по полезной ширине площадки ($b_{\text{пл}}$) с учетом величины пролета крана и требований по формированию секций. С учетом сложившей-

ся практики и требований нормативных документов* секции формируются из четырех большегрузных контейнеров, устанавливаемых длиной вдоль площадки (рисунок 4.8). Расстояние между контейнерами в секции (зазор) должен составлять не менее 0,1 м, а проходы между секциями – не менее 0,6 м.

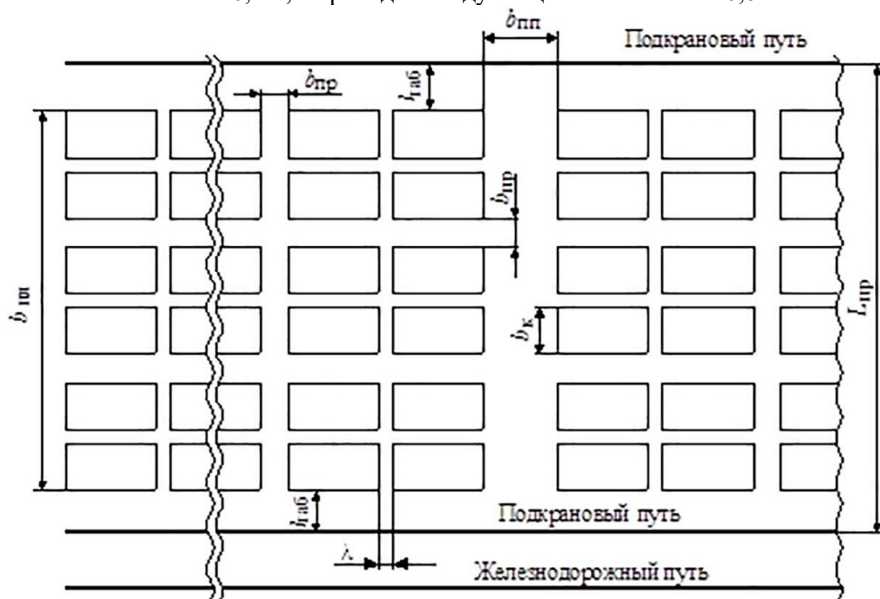


Рисунок 4.8 – Схема размещения крупнотоннажных контейнеров на контейнерной площадке

Полезная ширина контейнерной площадки при заданных условиях

$$b_{\text{пл}} = L_{\text{пр}} - 2l_{\text{габ}} = 32 - 2 \cdot 1,450 = 29,1 \text{ м.}$$

Количество секций контейнеров, размещаемых по ширине площадки,

$$n_{\text{с}}^{b_{\text{пл}}} = \frac{b_{\text{пл}} + b_{\text{пр}}}{2b_{\text{к}} + \lambda + b_{\text{пр}}},$$

где $b_{\text{пр}}$ – ширина прохода между смежными секциями (в примере принимается 1,0 м);

$b_{\text{к}}$ – ширина контейнера, $b_{\text{к}} = 2,438$ м;

λ – величина зазора между контейнерами в секции, $\lambda = 0,1$ м.

После подстановки исходных данных получим

$$n_{\text{с}}^{b_{\text{пл}}} = \frac{29,1 + 1,0}{2 \cdot 2,438 + 0,1 + 1,0} \approx 5 \text{ секций.}$$

* На Белорусской железной дороге – приказ № 832НЗ от 30.08.2013 г. «О правилах по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах на железнодорожном транспорте».

Количество контейнеров, устанавливаемых в ряду по ширине площадки,

$$n_k^{b_{\text{пл}}} = n_c^{b_{\text{пл}}} n_c = 5 \cdot 2 = 10 \text{ контейнеров,}$$

где n_c – количество контейнеров в секции, располагаемых в ряду по ширине площадки.

Требуемую длину контейнерной площадки находим следующим образом.

Определяем количество рядов контейнеров, устанавливаемых по длине площадки

$$n_p^{L_{\text{пл}}} = \frac{E_{\text{к.общ}}}{n_k^{b_{\text{пл}}}} = \frac{126}{10} = 12,5 \text{ ряда,}$$

принимается 13 рядов.

С учетом срока хранения на контейнерной площадке необходимо разместить 80 20-тонных и 40 30-тонных контейнеров. Тогда по длине площадки следует расположить восемь рядов или 4 секции 20-тонных и 4 ряда (или 2 секции) 30-тонных контейнеров. Тринадцатый ряд будет использоваться для размещения неисправных контейнеров (n_n).

В общем виде

$$L_{\text{к.п}} = \left(l_k^{20} + \lambda + b_{\text{пр}} \right) n_c^{20} + \left(l_k^{30} + \lambda + b_{\text{пр}} \right) n_c^{30} + \left(l_k^{\text{н}} + \lambda \right) n_k^{\text{н}},$$

где l_k^{20}, l_k^{30} – длина соответственно 20- и 30-тонного контейнера;

n_c^{20}, n_c^{30} – количество секций соответственно 20- и 30-тонных контейнеров, устанавливаемых по длине площадки;

$l_k^{\text{н}}$ – длина неисправного контейнера, принимается наибольшей из числа такой категории контейнеров;

$n_k^{\text{н}}$ – количество рядов неисправных контейнеров.

Принимая

$l_k^{20} = 6,058 \text{ м}$, $l_k^{30} = 12,192 \text{ м}$, $n_c^{20} = 4$ секции, $n_c^{30} = 2$ секции, $n_k^{\text{н}} = 1$ ряд, получим

$$\begin{aligned} L_{\text{к.п}} &= \left(6,058 + 0,1 + 1,0 \right) \cdot 4 + \left(12,192 + 0,1 + 1,0 \right) \cdot 2 + \left(2,192 + 0,1 \right) \cdot 1 = \\ &= 116,124 \text{ м.} \end{aligned}$$

Следует учесть, что через каждые 100 м необходимо предусматривать противопожарный разрыв $b_{\text{пр}}$ шириной не менее 5 м.

Тогда

$$L_{\text{к.п.общ}} = L_{\text{к}} + b_{\text{пр}} = 116,124 + 5 = 121,124 \approx 122 \text{ м.}$$

Для окончательного выбора расчетной длины контейнерной площадки следует определить требуемую длину грузового фронта со стороны железнодорожного пути $l_{\text{фр.к}}^{\text{ж}}$ и со стороны подъезда автомобилей.

Со стороны железнодорожного пути

$$l_{\text{фр.к}}^{\text{ж}} = \frac{m_{\text{сут.к}}^{\text{п}} l_{\text{ваг}}}{x_{\text{пу}}} = \frac{40 \cdot 19,62}{6} = 130,8 \text{ м.}$$

Со стороны подъезда автомобилей

$$l_{\text{фр.к}}^{\text{а}} = \frac{n_{\text{сут.к}}^{\text{п}} k_{\text{а}} l_{\text{а}} t_{\text{а}}}{n_{\text{а}} T_{\text{гр}}},$$

где $n_{\text{а}}$ – средневзвешенное количество контейнеров, устанавливаемых на один автомобиль,

$$n_{\text{а}} = \frac{n_{\text{к,20}} + n_{\text{к,30}}}{n_{\text{сут.а}}} = \frac{40 + 20}{40} = 1,5 \text{ контейнеров,}$$

$n_{\text{сут.а}}$ – суточное потребное количество автомобилей для вывоза контейнеров

$$n_{\text{сут.а}} = \frac{n_{\text{к,20}}}{2} + n_{\text{к,30}} = \frac{40}{2} + 20 = 40 \text{ автомобилей.}$$

Тогда при $k_{\text{а}} = 1,5$, $l_{\text{а}} = 12,3 + 4,5 = 16,8$ м (автомобили устанавливаются последовательно вдоль склада), $t_{\text{а}} = 0,5$ ч и $T_{\text{гр}} = 14$ ч (при двухсменной работе контейнерной площадки)

$$l_{\text{фр.к}}^{\text{а}} = \frac{60 \cdot 1,5 \cdot 16,8 \cdot 0,5}{1,5 \cdot 14} = 36 \text{ м.}$$

Пример 4.22. По результатам выполненных расчетов в примерах 4.19–4.21 установить параметры складов для принятия к проектированию грузового района.

Решение. Принимаемые к проектированию параметры складов должны обеспечивать: размещение грузов с учетом продолжительности их хранения, выполнение погрузочно-разгрузочных работ с вагонами одной подачи и взаимодействие с автомобильным транспортом при завозе-вывозе грузов. Основными параметрами для проектирования грузового пункта являются: полезная ширина склада (площадки) $b_{\text{скл}}$, в пределах которой размещается груз; длина склада $L_{\text{скл}}$, обеспечивающая выполнение условий размещения и хранения требуемого объема груза, необходимую длину грузового фронта со стороны железнодорожного пути и подъезда автомобилей; площадь склада, необходимая для размещения груза.

Полезная ширина склада принимается с учетом применяемых средств механизации из примеров 4.19 и 4.20 и сводится в таблицу 4.20.

Т а б л и ц а 4.20 – Исходные параметры для решения примера

Наименование груза	Расчетный суточный объем поступления, т	Тип склада	Проектируемые параметры склада	
			$b_{скл}$, м	$L_{скл}$, м
Круглый лес, пиломатериалы	1371,5	Открытая площадка	13,35	278,3
Металл и металлоизделия	677,9	То же	13,35	158,0
Каменный уголь	802,5	»	12,4	168,8
Минерально-строительные материалы (щебень)	914,5	»	13,6	135,0
Строительные конструкции	613,5	»	13,35	143,0
Тарные и упаковочные грузы в повагонных отправлениях	398,5	Крытый склад	19,08	208,0
Грузы, поступающие в большегрузных контейнерах	–	Открытая площадка	29,1	131,0

Расчетная длина склада (площадки) сравнивается с потребным фронтом для выполнения погрузочно-выгрузочных работ как со стороны железнодорожного пути, так и со стороны подъезда автомобилей. При этом к проектированию принимается наибольшее из значений.

Таким образом, сопоставляя эти параметры для каждого груза (см. примеры 4.19 и 4.20), получим:

– круглый лес и пиломатериалы

$$L_{скл} > l_{фр}^ж > l_{фр}^а, \text{ т.е. } 278,3 > 122,2 > 106,6 \text{ м.}$$

Следовательно, для проектирования принимается $L_{скл} = 278,3$ м;

– металл и металлоизделия

$$L_{скл} = 158,0 \text{ м, } l_{фр}^ж = 78,7 \text{ м и } l_{фр}^а = 43,1 \text{ м,}$$

принимается к проектированию $L_{скл} = 158$ м;

– каменный уголь

$$L_{скл} = 168,8 \text{ м, } l_{фр}^ж = 95,0 \text{ м и } l_{фр}^а = 39,4 \text{ м,}$$

принимается к проектированию $L_{скл} = 168,8$ м;

– минерально-строительные материалы (щебень)

$$L_{скл} = 135,0 \text{ м, } l_{фр}^ж = 107,0 \text{ м и } l_{фр}^а = 35,6 \text{ м,}$$

принимается к проектированию $L_{скл} = 135,0$ м;

– строительные конструкции

$$L_{\text{скл}} = 143,0 \text{ м}, l_{\text{фр}}^{\text{ж}} = 91,5 \text{ м} \text{ и } l_{\text{фр}}^{\text{а}} = 61,8 \text{ м},$$

принимается к проектированию $L_{\text{скл}} = 143,0 \text{ м}$;

– тарные и упаковочные

$$L_{\text{скл}} = 72,0 \text{ м}, l_{\text{фр}}^{\text{ж}} = 71,6 \text{ м} \text{ и } l_{\text{фр}}^{\text{а}} = 73,5 \text{ м},$$

при установке автомобилей рядом перпендикулярно складу, а также при $l_{\text{фр}}^{\text{а}} = 101,1 \text{ м}$ при последовательной расстановке автомобилей следует при-

нимать очередную типовую длину склада, равную $L_{\text{скл}} = 108 \text{ м}$;

– большегрузные контейнеры

$$L_{\text{кл}} = 122 \text{ м}, l_{\text{фр,к}}^{\text{ж}} \approx 131 \text{ м} \text{ и } l_{\text{фр,к}}^{\text{а}} = 36 \text{ м},$$

принимается $L_{\text{скл}} = 131 \text{ м}$.

Результаты заносим в таблицу 4.20 и определяем $F_{\text{скл}}$.

4.6 Устройства локомотивного предприятия

Пример 4.23. Определим потребное количество ремонтных позиций для поездных и маневровых локомотивов в основном депо станции Н. Приписные поездные тепловозы серии 2ТЭ10у и 2М62К обслуживают грузовое движение на участках тягового плеча А–Н и Б–Н (рисунок 4.9) с размерами соответственно 15 и 18 пар поездов в сутки. Приписанные к депо 20 маневровых тепловозов серии ЧМЭ-3 выполняют маневровую работу на станции Н, обслуживают передаточное и хозяйственное движение внутри железнодорожного узла и на прилегающих к нему участках, а также сдаются в аренду предприятиям, имеющим железнодорожные пути необщего пользования.

На ремонтных позициях выполняются: техническое обслуживание ТО-3 и текущие ремонты ТР-1 и ТР-2. Остальные виды ремонтов производятся специализированными предприятиями.

Решение. Годовая программа технических обслуживаний и ремонтов устанавливается для приписных поездных локомотивов каждой серии по фактическому годовому пробегу и нормам пробега между соответствующими видами ремонтов и обслуживаний. Для маневровых локомотивов по установленной продолжительности работы между ними.

Годовой пробег приписанных к депо поездных тепловозов

$$S = 365 \cdot 2 \sum lN,$$

где l – длина участка (см. рисунок 4.9), км;

N – количество пар поездов, следующих по участку.

$$S = 365 \cdot 2 \cdot 600 \cdot 15 + 450 \cdot 18 \approx 11,39 \text{ млн лок. км.}$$

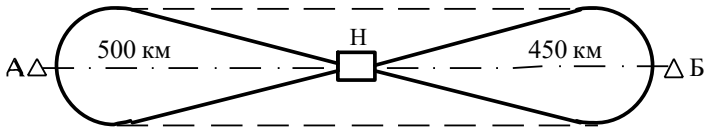


Рисунок 4.9 – Схема участков обращения локомотивов

Годовая программа обслуживания и ремонтов для поездных локомотивов:

– капитальный ремонт КР-2

$$P_{\text{КР-2}} = \frac{S}{L_{\text{КР-2}}};$$

– капитальный ремонт КР-1

$$P_{\text{КР-1}} = \frac{S}{L_{\text{КР-1}}} - P_{\text{КР-2}};$$

– текущий ремонт ТР-3

$$P_{\text{ТР-3}} = \frac{S}{L_{\text{ТР-3}}} - (P_{\text{КР-2}} + P_{\text{КР-1}});$$

– текущий ремонт ТР-2

$$P_{\text{ТР-2}} = \frac{S}{L_{\text{ТР-2}}} - (P_{\text{КР-2}} + P_{\text{КР-1}} + P_{\text{ТР-3}});$$

– текущий ремонт ТР-1

$$P_{\text{ТР-1}} = \frac{S}{L_{\text{ТР-1}}} - (P_{\text{КР-2}} + P_{\text{КР-1}} + P_{\text{ТР-3}} + P_{\text{ТР-2}});$$

– техническое обслуживание ТО-3

$$P_{\text{ТО-3}} = \frac{S}{L_{\text{ТО-3}}} - (P_{\text{КР-2}} + P_{\text{КР-1}} + P_{\text{ТР-3}} + P_{\text{ТР-2}} + P_{\text{ТР-1}});$$

где $L_{\text{КР-2}}, L_{\text{КР-1}}, L_{\text{ТР-3}}, L_{\text{ТР-2}}, L_{\text{ТР-1}}, L_{\text{ТО-3}}$ – нормы пробегов соответственно между капитальными и текущими ремонтами и техническим обслуживанием ТО-3 (таблица 4.21).

Т а б л и ц а 4.21 – **Нормы продолжительности работы тяговых средств между техническими обслуживаниями и ремонтами**

Вид и серия тягового средства	Техническое обслуживание		Текущий ремонт			Капитальный ремонт	
	ТО-2, ч/тыс. км	ТО-3, тыс. км/сут	ТР-1, тыс. км/мес, (сут)	ТР-2, тыс. км/лет, (мес)	ТР-3, тыс. км/лет, (мес)	КР-1, тыс. км/лет	КР-2, тыс. км/лет
<i>Тепловозы</i>							
Поездные пассажирские:							
ТЭП60	36	7,5/20	37,5/4	120/-	240/-	-	-
ТЭП70, ТЭП70К	48	10/-	50/-	200/-	400/-	800/-	1600/-
ТЭП70БС до первого КР-1	48	10/-	50/-	250/-	500/-	1000/-	-
ТЭП70БС после первого КР-1 до КР-2	48	10/-	50/-	200/-	400/-	-	1800/-
ТЭП70БС после первого КР-2	48	10/-	50/-	200/-	400/-	800/-	1600/-
М62, ДМ62	48	7,5/20	30/2,5	120/-	240/-	720/-	1440/-
Регионального движения с дизель-поездами:							
2М62М, 2М62УМ	48	-/15	-/2	120/-	240/-	720/-	1440/-
2М62УМК	48	-/15	-/2	150/-	300/-	900/-	1800/-
Поездные грузовые:							
2ТЭ10МК, 2ТЭ10УК	60	10/20	30/2,5	180/-	360/-	1080/-	2160/-
2ТЭ10М(У),	60	7,5/20	30/2,5	150/-	300/-	900/-	1800/-
2М62К, 2М62УК	60	7,5/20	30/2,5	120/1	240/2	720/6	1440/12
М62, 2М62	60	7,5/20	30/2,5	120/1	240/2	720/6	1440/12
Маневровые							
ЧМЭЗ в/и, ТЭМ2	72	-/30	-/6	220 т топл.	-/3	-/9	-/18
ТГМ, ТГК	60	-/30	-/8	-(/16)	-/(32)	-/8	-/16
ТМЭ1, ТМЭ2	144	-/40	-/12	-/4*	-/8*	-/16	-
ТМЭ3	288	-/60	-/12	-/3*	-/6*	-/12	-/24
<i>Дизель-поезда</i>							
ДР1П, А, Б, МДП	30	-/10	-/(60)	100/-	200/-	600/-	1200/-
ДДБ, ДРБ (вагоны)	48	-/15	-/(60)	150/-	300/-	600/-	1200/-
ДП1, ДПЗ, ДП6	168/2	30/-	120/-	240/-	480*/-	960*/-	1920/-
<i>Электропоезда</i>							
Пассажирские ЧС4т	48	15/-	30/-	175/-	350/-	700/-	2100/-
Грузовые ВЛ80с	60	-	15/-	200/-	400/-	800/-	2400/-
БКГ1, БКГ2	15 сут	15/30	45/90	250/-	500*/-	1000*/-	2000/-
<i>Электропоезда</i>							
ЭР9М, Е, Т, ТМ	72	-/6	-/(60)	150/-	300/-	600/-	1800/-
ЭП ^Г , ЭП ^Р , ЭП ^М	15/30**	-90	-/(180)	-/360			
При среднегодовом пробеге, тыс. км:				сут			
до 150					-/5*	-/10*	-/15
от 150 до 250					-/4*	-/8*	-/16
от 250 и выше					-/3*	-/6*	-/12
* Для средних ремонтов СР-1 и СР-2.							
** В числителе – ТО-2 № 1, знаменателе – ТО-2 № 2.							

Следовательно, количество обслуживаний и ремонтов за год при заданных условиях:

$$P_{\text{КР-2}} = \frac{11,39 \cdot 10^6}{1800 \cdot 10^3} = 6,33;$$

$$P_{\text{КР-1}} = \frac{11,39 \cdot 10^6}{900 \cdot 10^3} - 6,33 = 6,33;$$

$$P_{\text{ТР-3}} = \frac{11,39 \cdot 10^6}{300 \cdot 10^3} - 12,66 = 25,31;$$

$$P_{\text{ТР-2}} = \frac{11,39 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^3} - 37,97 = 37,97;$$

$$P_{\text{ТР-1}} = \frac{11,39 \cdot 10^6}{30 \cdot 10^3} - 75,94 = 303,73;$$

$$P_{\text{ТО-3}} = \frac{11,39 \cdot 10^6}{7,5 \cdot 10^3} - 379,67 = 1139,0.$$

Годовая программа ремонтов маневровых локомотивов:

– капитальный ремонт КР-2

$$P_{\text{КР-2}}^{\text{М}} = \frac{M_{\text{М}}}{T_{\text{КР-2}}};$$

– капитальный ремонт КР-1

$$P_{\text{КР-1}}^{\text{М}} = \frac{M_{\text{М}}}{T_{\text{КР-1}}} \left(1 - \frac{T_{\text{КР-1}}}{T_{\text{КР-2}}} \right);$$

– текущий ремонт ТР-3

$$P_{\text{ТР-3}}^{\text{М}} = \frac{12M_{\text{М}}}{T_{\text{ТР-3}}} - \frac{M_{\text{М}}}{T_{\text{КР-1}}};$$

– текущий ремонт ТР-2

$$P_{\text{ТР-2}}^{\text{М}} = \frac{M_{\text{М}}}{T_{\text{ТР-2}}} \left(1 - \frac{T_{\text{ТР-2}}}{T_{\text{ТР-3}}} \right);$$

– текущий ремонт ТР-1

$$P_{\text{ТР-1}}^{\text{М}} = \frac{M_{\text{М}}}{T_{\text{ТР-1}}} \left(1 - \frac{T_{\text{ТР-1}}}{T_{\text{ТР-2}}} \right);$$

– техническое обслуживание ТО-3

$$P_{\text{ТО-3}}^{\text{М}} = \frac{365M_{\text{М}}}{T_{\text{ТО-3}}} - \frac{12M_{\text{М}}}{T_{\text{ТР-1}}},$$

где $M_{\text{М}}$ – эксплуатируемый парк маневровых тепловозов;

$T_{\text{КР-2}}, T_{\text{КР-1}}$ – периоды между капитальными ремонтами, годы;
 $T_{\text{ТР-3}}, T_{\text{ТР-2}}, T_{\text{ТР-1}}$ – периоды между текущими ремонтами, месяцы;
 $T_{\text{ТО-3}}$ – периоды между техническими обслуживаниями ТО-3, сутки.

Используя данные таблицы 4.19, получим программу ремонтов ТР-2, ТР-1 и технического обслуживания ТО-3 маневровых локомотивов:

$$P_{\text{ТР-2}}^{\text{М}} = \frac{20}{18} \left(1 - \frac{18}{36} \right) = 0,56;$$

$$P_{\text{ТР-1}}^{\text{М}} = \frac{20}{6} \left(1 - \frac{6}{18} \right) = 2,20;$$

$$P_{\text{ТО-3}}^{\text{М}} = \frac{365 \cdot 20}{30} - \frac{12 \cdot 20}{6} = 283,33.$$

Потребное количество позиций для ТО-3, ТР-1 и ТР-2 в основном депо определяем как сумму для обслуживания поездных и маневровых тепловозов из выражений:

– позиции ТО-3

$$A_{\text{ТО-3}} = \sum \left(\frac{P_{\text{ТО-3}} t_{\text{ТО-3}}}{24\text{Д}} \right) \psi;$$

– позиции ТР-1

$$A_{\text{ТР-1}} = \sum \left(\frac{P_{\text{ТР-1}} t_{\text{ТР-1}}}{24\text{Д}} \right) \psi;$$

– позиции ТР-2

$$A_{\text{ТР-2}} = \sum \left(\frac{P_{\text{ТР-2}} t_{\text{ТР-2}}}{\text{Д}} \right) \psi,$$

где $t_{\text{ТО-3}}, t_{\text{ТР-1}}, t_{\text{ТР-2}}$ – продолжительность занятия стойла соответствующими видами ремонтов и обслуживаний (таблица 4.22);

Д – количество рабочих дней в году. Для расчета ТР-2 принимаем Д = 253, а ТО-3, ТР-1 и позиции испытаний с учетом работы в четыре смены без выходных дней Д = 365;

ψ – коэффициент, учитывающий неравномерность постановки локомотивов в стойло для ТО-3 и ТР-1 и реостатных испытаний; принимается равным 1,1–1,2.

Тогда общее количество ремонтных позиций:

$$A_{\text{ТО-3}} = \frac{1139,0 \cdot 10}{24 \cdot 365} \cdot 1,2 + \frac{283,33 \cdot 6}{24 \cdot 365} \cdot 1,2 = 1,79 \approx 2;$$

$$A_{\text{ТР-1}} = \frac{303,73 \cdot 36}{24 \cdot 365} \cdot 1,2 + \frac{2,20 \cdot 36}{24 \cdot 365} \cdot 1,2 = 1,51 \approx 2;$$

$$A_{\text{ТР-2}} = \frac{37,97 \cdot 10}{253} + \frac{0,56 \cdot 9}{253} = 1,52 \approx 2.$$

Т а б л и ц а 4.22 – **Нормы продолжительности технического обслуживания и ремонта тяговых средств**

Тип и серия тягового средства	Техническое обслуживание		Текущий ремонт			Капитальный ремонт	
	ТО-2, ч	ТО-3, ч	ТР-1, ч	ТР-2, сут/ч	ТР-3, сут	КР-1, сут	КР-2, сут
<i>Тепловозы</i>							
ТЭП70 в/и	2,0	10	36	9/–	15	20	30
ТЭП60	2,0	10	36	15/–	25	–	–
2ТЭ10У, 2ТЭ10М	1,2	10	40	10/–	12	20	30
2М62, 2М62УМ	1,5	10	36	10/–	15	22	30
М62, ДМ62	1,2	10	36	10/–	15	22	30
ЧМЭЗв/и, ТЭМ2	1,2	6	36	9/–	12	20	30
ТГМ, ТГК	1,2	6	36	10/–	20	25	30
ТМЭ1, ТМЭ2, ТМЭ3	1,2	10	36	–	– ²⁾	– ⁴⁾	–
<i>Дизель-поезда</i>							
ДР1в/и, МДП	2,0	10	24	12/–	18	23	30
ДРБ, ДДБ (вагоны)	2,0	10	36	2/–	3	5	7
ДП1, ДП3, ДП6	2,0	10	36	10/–	– ²⁾	– ⁴⁾	–
<i>Электровагоны</i>							
ВЛ80с	1,5	–	15	2,0/–	10	20	30
БКГ-1, БКГ-2	3,0	12	22	2,5/–	– ²⁾	– ⁴⁾	–
ЧС4т	2,0	10	15	7,0/–	20	40	60
<i>Электропоезда</i>							
ЭР9 в/и для ТЧ9	2,0	6	24	2,5/–	30	–	–
ЭР9 в/и для ТЧ3, ТЧ8	3,5	7	24	–	6	10	14
ЭП ¹⁾ , ЭП ^Р (ЭП ^{Р2)})	2,5/3,5 ¹⁾	5	9	–/21	6(7) ²⁾	– ⁴⁾	–
ЭП ^{М3)}	6,0/4,0 ¹⁾	9	15	–	9 ²⁾	– ⁴⁾	–
¹⁾ В числителе – ТО-2 № 1; в знаменателе – ТО-2 № 2. ²⁾ Для среднего ремонта СР-1. ³⁾ Нормы продолжительности технического обслуживания и ремонтов установлены временные и будут актуализированы с учетом опыта эксплуатации поездов. ⁴⁾ Для среднего ремонта СР-2.							

Суммарное потребное количество позиций по видам ремонтов (ТР-2, ТР-1) и обслуживания ТО-3 составляет 6.

Наряду с этим в депо предусматриваются позиции для испытаний тепловозов под нагрузкой, которое зависит от годовой программы, в данном случае, ремонта ТР-2

$$A_{и} = \frac{P_{ТР-2} t_{ТР-2}^{и}}{24Д} \psi c,$$

где $t_{ТР-2}^{и}$ – продолжительность испытаний тепловозов с учетом подключения приборов установки. После выполнения ТР-2 $t_{ТР-2}^{и}$ составляет 5–6 ч;
 c – количество секций тепловозов;

$$A_{и} = \frac{38,53 \cdot 6}{24 \cdot 365} \cdot 1,2 \cdot 2 = 0,06 \approx 1.$$

Кроме того, в здании депо надо предусмотреть одно-два стойла для выкатки колесных пар, одно стойло для обточки их бандажей и стойло для устранения последствий отказа локомотивов в межремонтный период (неплановый ремонт). Общее количество стойл равно 10.

Пример 4.24. Рассчитаем количество позиций для экипировки и технического обслуживания ТО-2 в локомотивном депо станции Н. В среднем в сутки для экипировки поступают: 10 тепловозов серии 2ТЭ10^У, 4 – 2М62 и 9 маневровых – ЧМЭЗ, обслуживающих маневровую работу и передаточное движение. Совмещенную экипировку и техническое обслуживание ТО-2 проходят, оборачивающиеся на станции, 8 тепловозов грузового движения серии 2ТЭ10^М и 7 – пассажирского движения серии ТЭП70.

Решение. Количество позиций экипировки и ТО-2 определяется по наибольшему в среднем за сутки числу локомотивов, поступающих на эти виды обслуживания, и их продолжительности

$$m_{ЭП} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{э,i} (t_{э,i} + t_{ПО}) + \sum_{i=1}^n N_{ТО-2,i} (t_{ТО-2,i} + t_{ПО})}{T_{ЭП}} \varphi,$$

где $N_{э,i}$, $N_{ТО-2,i}$ – количество локомотивов i -й серии, требующих соответственно экипировки и ТО-2;

$t_{э,i}$, $t_{ТО-2,i}$ – продолжительность соответственно экипировки и ТО-2 локомотива i -й серии (таблица 4.23);

$t_{ПО}$ – продолжительность подготовительных операций, включая установку освобождения локомотивом позиции экипировки, принимается $t_{ПО} = 6$ мин;

φ – коэффициент, учитывающий неравномерность поступления локомотивов на обслуживание ($\varphi = 1,2 \dots 1,5$);

$T_{ЭП}$ – продолжительность работы экипировочных позиций, $T_{ЭП} = 1440$ мин.

Т а б л и ц а 4.23 – Продолжительность занятия позиции экипировки и ТО-2

Тип локомотива	Продолжительность обслуживания, мин		
	Полная экипировка	Частичная экипировка	Экипировка, совмещенная с ТО
Электровозы:			
ВЛ80с	20–30	15–20	90
ЧС4т	–	–	120
Тепловозы:			
ТЭП70, ТЭП60	–	–	120
2ТЭ10, М62,	30–35	20–25	72
2М62	30–35	30–35	90
ЧМЭЗ	30–35	30–35	72
Дизель-поезда:			
ДР1, ДРБ1	–	–	120
Электропоезда ЭР9	–	–	120

Принимая продолжительность экипировки тепловозов серии 2ТЭ10^У, 2М62 и ЧМЭЗ $t_3 = 35$ мин, а продолжительность $t_{\text{ТО-2}}$ согласно таблице 4.21, получим

$$m_{\text{ЭП}} = \frac{N_{3,2\text{ТЭ}10^{\text{У}}} + N_{3,2\text{М}62} + N_{3,\text{ЧМЭЗ}} \cdot t_{\text{ПО}}}{1440} + \frac{N_{\text{ТО-2},2\text{ТЭ}10^{\text{У}}} \cdot t_{\text{ТО-2},2\text{ТЭ}10^{\text{У}}} + t_{\text{ПО}} + N_{\text{ТО-2},\text{ТЭ}10^{\text{М}}} \cdot t_{\text{ТО-2},\text{ТЭ}10^{\text{М}}} + t_{\text{ПО}}}{1440} = \frac{(0+4+9) \cdot (5+6) + 8 \cdot (2+6) + 7 \cdot (20+6)}{1440} = 1,7 \approx 2 \text{ позиции.}$$

Пример 4.25. Определим потребность в доборе топлива и песка на станции Н тепловозами серии 2ТЭ10^У, работающими по кольцу на тяговом плече А–Б (см. рисунок 4.8), если полную экипировку они проходят в оборотных депо станций А и Б. Средневзвешенная масса поезда брутто $Q = 3500$ т, расход топлива на 10000 т·км брутто $e_{\text{т}} = 29,0$ кг. Расход песка на 1 млн т·км брутто $e_{\text{п}} = 0,16$ м³. Суммарная вместимость топливных баков тепловоза $E_{\text{т.б}} = 12600$ кг. Расчетная вместимость песочных бункеров $E_{\text{пес}} = 1,31$ м³.

Решение. Необходимость размещения экипировочных устройств на территории станции (в горловинах приемо-отправочных парков или вблизи них) для обеспечения работы локомотивов по кольцу без захода в локомотивное депо определяется сопоставлением: наибольшего пробега локомотивов между пунктами экипировки с максимально возможным пробегом, лимитируемым вместимостью топливных баков и песочниц.

Максимальный пробег тепловоза, лимитируемый вместимостью топливного бака,

$$L_{\text{т}} = \frac{0,9E_{\text{т.б}} \cdot 10^4}{Qe_{\text{т}}},$$

где 0,9 – коэффициент, определяющий обязательный остаток (10 %) топлива в баках тепловоза для передвижений, не связанных с вождением поезда,

$$L_{\text{т}} = \frac{0,9 \cdot 12600 \cdot 10^4}{3500 \cdot 29,0} \approx 1117 \text{ км.}$$

Аналогично определяем максимальный пробег локомотива, лимитируемый вместимостью песочниц,

$$L_{\text{п}} = \frac{0,9E_{\text{пес}} \cdot 10^6}{Qe_{\text{п}}},$$

$$L_{\text{п}} = \frac{0,9 \cdot 1,31 \cdot 10^6}{3500 \cdot 0,16} = 2105 \text{ км.}$$

Сопоставляя $L_T = 1117$ км и $L_{\Pi} = 2105$ км с заданной протяженностью участков обращения ($L_{об}$) тепловозов между пунктами оборота (станции А и Б) $L_{об} = 500 + 450 = 950$ км, следует, что добор топлива и песка на станции основного депо Н не требуется, так как $950 < 1117 < 2105$ км.

Пример 4.26. Рассчитаем требуемую длину и количество путей для стоянки локомотивов в ожидании работы и оперативном резерве. Среднесуточное число эксплуатируемых тепловозов, заходящих в депо для экипировки и ГО-2, составляют: $2ТЭ10^Y - 10$, $2М62 - 4$, $ЧМЭ3 - 9$, $2ТЭ10^M - 8$ и $ТЭП70 - 7$. Парк приписных тепловозов включает: $2ТЭ10^Y - 48$, $2М62 - 8$, $ЧМЭ3 - 20$.

Решение. Общая требуемая длина путей для стоянки тепловозов в ожидании работы

$$L_{о.р} = \alpha_{о.р} \sum_{i=1}^n M_{экс, i} e_{л},$$

где $\alpha_{о.р}$ – доля тепловозов, требующих стоянки в ожидании работы. Определяется по результатам обработки статистических данных. Для ориентировочных расчетов $\alpha_{о.р} = 15 \dots 20$ %;

$M_{экс, i}$ – количество тепловозов i -й серии, заходящих в депо для обслуживания в течение суток;

$e_{л}$ – протяженность пути, необходимая для стоянки тепловоза наибольшей длины с учетом неточности установки. В примере принимается для серии $2М62 - 40$ м.

При $\alpha_{о.р} = 0,2$

$$L_{о.р} = 0,2 (10 + 4 + 9 + 8 + 7) \cdot 40 = 304 \text{ м.}$$

На одном пути рекомендуется устанавливать 4–5 тепловозов. Тогда при установке 5 тепловозов, количество путей

$$m_{о.р} = \frac{L_{о.р}}{5e_{лок}} = \frac{304}{5 \cdot 40} = 1,52 \approx 2 \text{ пути.}$$

Общая длина путей для стоянки оперативного резерва

$$L_p = 0,2 \sum_{i=1}^n M_{пр} e_{л},$$

где $0,2$ – принятая к расчету доля тепловозов, находящихся в резерве, от общего количества приписных тепловозов;

$M_{пр}$ – количество тепловозов приписного парка i -й серии;

$$L_p = 0,2 (48 + 8 + 20) \cdot 40 = 608 \text{ м.}$$

На каждый путь, как правило, устанавливают 7–8 тепловозов. Тогда при установке 8 тепловозов, количество путей

$$m_p = \frac{L_p}{8e_{л}} = \frac{608}{8 \cdot 40} = 1,9 \approx 2 \text{ пути.}$$

5 КОНСТРУКЦИЯ ГОРЛОВИН

5.1 Промежуточные и участковые станции

Пример 5.1. Требуется разработать конструкцию горловин для промежуточной станции поперечного типа на однопутной линии. Топографические условия нормальные. Для освоения заданных размеров движения поездов и грузовой работы на станции необходимо три приемо-отправочных пути, не считая главного, и грузовые устройства с путевым развитием тупикового типа (пути погрузочно-выгрузочный, выставочный и вытяжной). Грузовые устройства следует разместить со стороны, противоположной пассажирскому зданию (ПЗ), прикнув их путевое развитие к нечетной горловине. Устройства для обслуживания пассажиров разместим так, как показано на рисунке 5.1 (ширина низкой промежуточной пассажирской платформы 4 м).

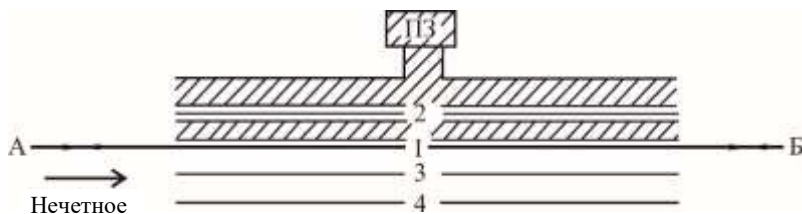


Рисунок 5.1 – Схема взаимного расположения приемо-отправочных путей и пассажирских устройств на промежуточной станции

Решение. В соответствии с нормативной документацией в области проектирования железнодорожных станций и узлов в горловинах промежуточной станции необходимо обеспечить прием (отправление) грузовых и пассажирских поездов с обоих направлений на главный и все приемо-отправочные пути, подачу (уборку) вагонов к грузовым устройствам и маневровую работу (отцепку и прицепку вагонов) со сборными и другими категориями поездов (нечетная горловина). Маневровая работа должна быть изолирована от приема и отправления поездов.

Подготовительный этап (рисунок 5.2):

– для выполнения маневровой работы изолированно от движения поездов в нечетной горловине предусматривается вытяжной путь 8 и секционирование приемо-отправочных путей, в четной – предохранительный тупик 9;

– ширину междупутий между главным I и приемо-отправочными путями 3 и 4 принимаем равной 5,3 м [4]. Минимальная ширина междупутья между путями I и 2 определяется конструкцией промежуточной пассажирской

платформы (см. пример 5.2). Принимаем его равным 7,5 м. Расстояние между осями главного I и вытяжного 8 (продолжении приемо-отправочного пути 3) равно 6,5 м, уширение междупутья с 5,3 до 6,5 м выполняем за последним стрелочным переводом, ведущим на путь 8. (При благоприятных условиях это можно сделать в пределах стрелочной зоны. Уширять междупутье в пределах полезной длины приемо-отправочного пути нецелесообразно, так как это увеличит строительные затраты). Расстояние между осями приемо-отправочного 4 и выставочного 5 путей принимаем равным 15,9 м. Это позволит в перспективе дополнительно уложить здесь два приемо-отправочных пути с нормальной шириной междупутий;

– все приемо-отправочные пути станции специализируем для двустороннего движения (четных и нечетных поездов): 1 – приема и отправления пассажирских и пропуска без остановки пассажирских и грузовых поездов; 2 – для приема и отправления пассажирских и грузовых поездов; 3 и 4 – для приема и отправления грузовых поездов. Сборные поезда, в составах которых находятся вагоны назначением на данную станцию, удобно принимать на пути 3 и 4, а в необходимых случаях можно и на путь 2.

Рабочие схемы разрабатываем отдельно для четной и нечетной горловин:

– в *четной горловине*, соблюдая принцип правопутности движения (первая входная стрелка отклоняется вправо), первым укладывается стрелочный перевод 2 (см. рисунок 5.2, а). От него по схеме III [4] взаимного расположения стрелочных переводов находим центр стрелочного перевода 4 и проводим линию под углом крестовины. В точках ее пересечения с осями путей 3 и 4 найдем центры стрелочных переводов 6 и 8;

– в *нечетной горловине* первым укладывается съезд 9 – 11 (см. рисунок 5.2, б), соединяющий пути 3 и 4 (полезная длина их наименьшая из всей группы 1 – 4). Затем по схеме I укладываем съезд 7 – 5, который соединит пути 3 и 4 с главным I. От стрелочного перевода 5 по схеме III находим центр стрелочного перевода 17, который соединит путь 2 с главным I, и по схеме II в сторону перегона размещаем съезд 1 – 3 для выхода с приемо-отправочного пути 2 на вытяжной путь 8. После стрелочного перевода 7 по схеме IV укладываем стрелочный перевод 13, связывая путь 8 с грузовыми устройствами. Укладывать стрелочный перевод 13 ближе к стрелочному переводу 1 нецелесообразно, так как это вызовет дополнительный пробег вагонов при их подаче (уборке) с путей 3 и 4 к грузовым устройствам. Центр стрелочного перевода 19 расположен на пересечении оси пути 5 и ответвления стрелочного перевода 13. Чтобы уменьшить строительные затраты, это соединение целесообразно выполнить сокращенным (см. раздел 1). Место укладки стрелочного перевода 21 (в каждом конкретном случае) определяется размерами грузовых устройств. Место расположения стрелочного перевода 15 находится на пересечении продолжения приемо-отправочного пути 4 и соединительного пути к грузовым устройствам. Соединение 11 – 15 обеспечивает изоляцию маневро-

вой работы со сборными поездами, принимаемыми на путь 4, от маршрутов приема и оправления поездов на пути 1 – 3.

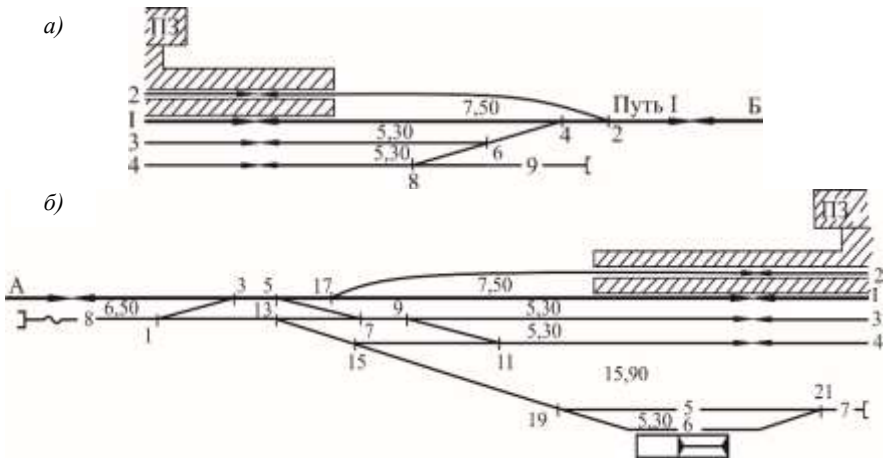


Рисунок 5.2 – Пример конструкции горловин промежуточной станции на однопутной линии: а – четной; б – нечетной

По разработанным схемам горловин легко определить путь с наименьшей полезной длиной, удобно скомпоновать и запроектировать в масштабе схему станции.

Пример 5.2. Необходимо разработать конструкцию горловин промежуточной станции поперечного типа на двухпутной линии. Для приема и отправления поездов различных категорий требуется предусмотреть укладку приемо-отправочного пути со стороны второго главного пути (путь 4) и двух (пути 3, 5) – со стороны первого главного пути (см. рисунок 5.3). Промежуточные пассажирские платформы шириной 4 м сооружаются между II – 4 и 1 – 3 путями. Размещение грузовых устройств, принимается по условию примера 5.1.

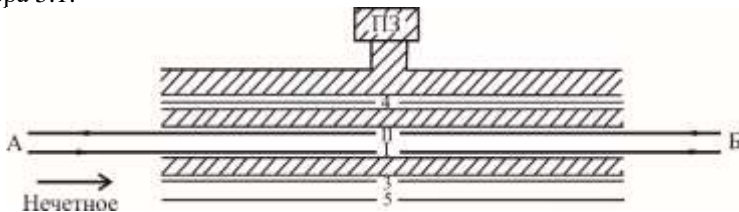


Рисунок 5.3 – Схема взаимного расположения приемо-отправочных путей и пассажирских устройств на промежуточной станции

Решение. В горловинах промежуточных станций двухпутных линий наряду с перечнем операций, которые должны быть предусмотрены при кон-

струировании промежуточных станций однопутных линий (см. пример 5.1), необходимо соблюдать принцип двухпутности для обеспечения одновременного приема грузовых поездов обоих направлений, возможность перевода движения поездов с правильного на неправильный путь и наоборот, а также прием поездов с обоих направлений к платформе у пассажирского здания.

Все приемо-отправочные пути, за исключением главных, специализируются для двустороннего движения: 4 путь – для приема и отправления четных грузовых поездов, а также пассажирских поездов региональных и межрегиональных линий с обоих направлений, 3 и 5 – для приема и отправления грузовых поездов нечетного направления, а также сборных, передаточных, вывозных поездов с обоих направлений для обеспечения изоляции выполнения маневровой работы с ними.

При проектировании горловин промежуточных станций на двухпутных линиях главной отличительной способностью их конструкции от горловин промежуточных станций на однопутной линии является необходимость укладки двух диспетчерских съездов в каждом конце станции. Причем их укладку следует осуществить таким образом, чтобы на нечетном (четном) главном пути были обращены друг к другу острия стрелочных переводов, а четном (нечетном) главном пути – крестовины. Такая схема взаимной укладки съездов обеспечивает перевод движения поездов с правильного на неправильный главный путь, и наоборот, и прием поездов с обоих направлений к платформе у пассажирского здания.

С учетом вышесказанного конструирование горловин выполняется следующим образом: в *четной горловине* подключение 3 и 5 приемо-отправочных путей к первому главному пути производится аналогично схеме, показанной на рисунке 5.2, *а* (рисунок 5.4, *а*). Далее относительно стрелочного перевода 6, вправо по схеме I укладываем стрелочный перевод 4 и съезд 4 – 2, слева от стрелочного перевода 6 по III схеме укладываем стрелочный перевод 12 и съезд 12 – 14. От стрелочного перевода 14 по схеме I находим центр стрелочного перевода 16 и проводим линию под углом крестовины до пересечения с осью пути 4. Рассмотренная схема укладки диспетчерских съездов 2 – 4, 12 – 14 позволяет несколько сократить длину горловины (если бы оба съезда укладывались за стрелочным переводом 6 вправо) и соблюсти вышеизложенные требования; в *нечетной горловине* пути 3, 5, 6, 7 увязываются с первым главным путем и вытяжным 9, укладываемым рядом с ним на расстоянии 6,5 м аналогично, как это представлено на рисунке 5.2, *б* (рисунок 5.4, *б*). Диспетчерские съезды 1 – 3 и 21 – 23 в этой горловине целесообразно уложить относительно стрелочного перевода 9. Влево от стрелочного перевода 9 по I схеме укладываем стрелочный перевод 3 и съезд 3 – 1, а вправо по III схеме стрелочный перевод 21 и съезд 21 – 23. За стрелочным

переводом 23 по I схеме находим центр стрелочного перевода 25, с помощью которого соединяем II главный и 4 пути. По III схеме от стрелочного перевода 3 укладываем стрелочный перевод 5 и съезд 5 – 7, который обеспечивает связь I, II, 4 путей с вытяжным путем 9, в промежутке между стрелочными переводами 7 и 17 можно осуществить переход от междупутья 7,5 м (I – 3 пути) к междупутью 6,5 м (1 – 9 пути).

Представленная на рисунке 5.4 схема размещения диспетчерских съездов не повлияет на сокращение полезной длины пути 4 менее установленной, так как наименьшая длина будет определяться по 5 пути.

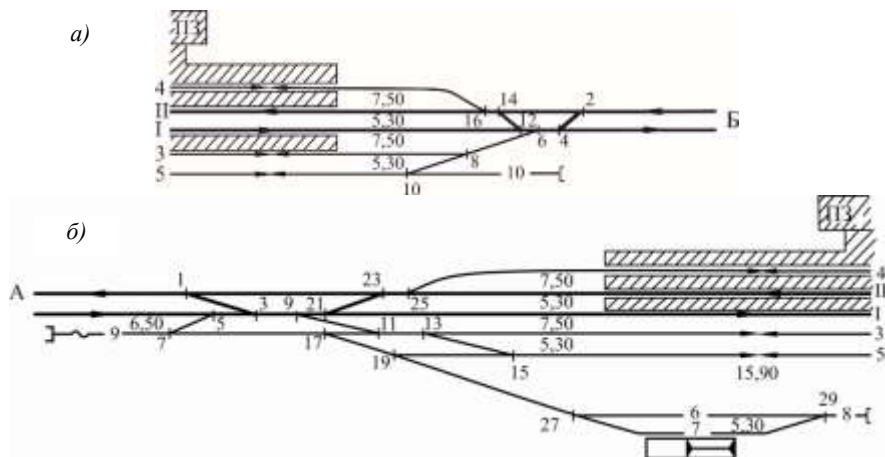


Рисунок 5.4 – Пример конструкции горловин промежуточной станции на двухпутной линии: а – четной; б – нечетной

Пример 5.3. Разработаем конструкции горловин для участковой станции поперечного типа на однопутной линии, предусмотрев укладку в четном приемо-отправочном (ПО) парке трех, в нечетном – трех и в сортировочном (С) – шести путей. Для маневровой работы предусмотрим два вытяжных пути. Разместим на станции объединенную базу ПЧ, ШЧ и других железнодорожных предприятий (ОБ), пути стоянки пассажирских составов (ПСПС), пожарного и восстановительного поездов (ПВП). Место расположения локомотивного и вагонного предприятий (ЛВП), грузового терминала (ГТ), парков и специализация путевого развития показаны на рисунке 5.5.

Решение. Конструкции горловин определяются технологией работы и потребной пропускной способностью станции. На однопутной линии они должны обеспечить выполнение следующих параллельных операций: одновременный прием и отправление поездов различных направлений; одновременную независимую смену поездных локомотивов у грузовых поездов,

следующих на различные направления; отправление грузовых поездов параллельно смене поездных локомотивов на секционированных приемо-отправочных путях, одновременную независимую смену поездных локомотивов у грузовых поездов, следующих на различные направления; отправление грузовых поездов параллельно смене поездных локомотивов на секционированных приемо-отправочных путях. Наряду с этим необходимо проектировать прямой выход со всех или части путей сортировочного парка в обеих его горловинах на главные пути, обеспечить маневровую работу с составами грузовых поездов (расформирование – формирование) и местными вагонами, предусмотрев выход со всех приемо-отправочных путей для грузового движения на вытяжные пути без занятия главных. Горловины должны быть компактными, иметь наименьшее количество искривлений на стрелочных переводах и кривых на наиболее интенсивных маршрутах, для чего количество стрелочных переводов, укладываемых на главных путях и основных поездных маршрутах должны быть наименьшими.

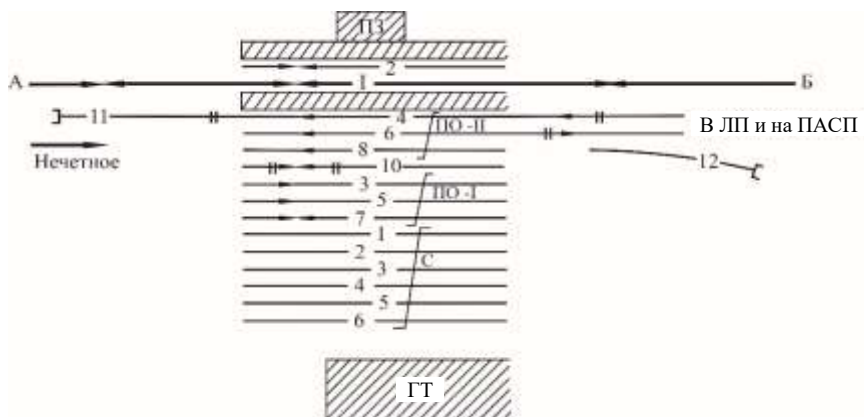


Рисунок 5.5 – Взаимное размещение основных устройств и специализация путей на участковой станции поперечного типа (однопутная линия)

Последовательность конструирования горловин.

Четная горловина. Вычерчиваем главный, соединительные, вытяжной, ходовой, приемо-отправочные и сортировочные пути (см. рисунок 5.6) с требуемой шириной междупутий [4]. Главный, соединительные и вытяжной пути размещаются параллельно с одной шириной междупутий на всем протяжении (5,3; 5,3 и 6,5 м соответственно), чтобы не усложнять конструкцию горловины и не увеличивать ее длину.

Руководствуясь рисунком 5.5, разрабатывается специализация и нумерация путей парков.

В соответствии со схемами взаимного расположения стрелочных переводов и требований [4] разрабатывается конструкция горловины, подключая к соединительным путям, ведущим в *ЛВП*, пути парка *ПО – II* (съезд 38 – 40 и стрелочный перевод 42). От стрелочного перевода 38 по схеме III укладываются съезды 44 – 46, 48 – 50, а по схеме II – перекрестный съезд 34 – 32, 28 – 30, которым соединяются пути для приема и отправления пассажирских поездов с локомотивным предприятием. От стрелочного перевода 28 по схеме I укладываем съезд 26 – 24, связывающий парк *ПО – II* с главным путем I. Укладывать стрелочные переводы 44, 38, 34, 28, 26 на соединительном пути в другой комбинации (например, 44, 38, 26, 34, 28) нецелесообразно, так как это вызовет некоторое удлинение горловины. За стрелочным переводом 30 по схеме I укладываем стрелочный перевод 36, соединив таким образом ходовой путь 10 с путями, ведущими в локомотивное предприятие. Подключать ходовой путь 10 к стрелочной улице одного из парков не рекомендуется. Это увеличит задержки подвижного состава из-за враждебности маршрутов и сократит пропускную способность горловины. По схеме III от стрелочного перевода 32 укладываем стрелочный перевод 58, продолжение ответвления которого соединяем с приемо-отправочным путем 5. К нему же стрелочным переводом 60 подключаем вытяжной путь 12. По схеме II от стрелочного перевода 60 укладываем стрелочный перевод 64 и от него стрелочную улицу парка *ПО – I* (стрелочные переводы 66, 68). На ответвлении стрелочного перевода 64 (после перевода 70) укладываем стрелочную улицу сортировочного парка (переводы 72, 74, 76, 78, 80). Для изоляции маневровой работы на пути 12 от отправления поездов и подачи-уборки локомотивов из *ПО – I* предусматриваем соединение 70 – 62. Парк *ПО – I* с перегонном связывается через стрелочный перевод 58 и съезды 16 – 14, 12 – 10, которые также обеспечивают выход на перегон из сортировочного парка. Возможно и другое решение: прямую связь *СП* с перегонном можно обеспечить укладкой съездов после стрелочного перевода 62. Однако это увеличит длину горловины и количество стрелочных переводов.

Парк *ПО – II* соединяется с вытяжным путем 12 съездом 18 – 20. Укладка последнего между стрелочными переводами 58 и 16 ухудшила бы качество горловины: увеличилась бы продолжительность занятия пересечения пропуском поездов, отправляемых из парка *ПО – I*.

Грузовой терминал соединяется с путем 12 стрелочным переводом 22 по схеме III относительно стрелочного перевода 20. Пути отстоя составов региональных и межрегиональных поездов, заканчивающих движение на станции, рекомендуется по возможности проектировать в том районе, где расположены устройства вагонного и локомотивного предприятий. В соответствии с этим, пути *ЛСПС* соединяются с путями, предназначенными для пассажирского движения, с помощью съезда 52 – 54 и стрелочного перевода 56. Пути стоянки *ЛВП* размещаются вблизи локомотивного предприятия, обеспечивая выход с них на главный путь I в обоих направлениях (в четном – по стрелочным переводам 108, 8, 6; нечетном – 109, 4, 2). Объеди-

ненная база ПЧ, ШЧ и других служб также примыкает к вытяжному пути 12, с обеспечением прямой связи с главным путем I через съезды 18 – 20, 32 – 34, 44 – 46.

В горловине предусмотрено выполнение следующих основных операций:

- прием или отправление пассажирских поездов с путей I, 2;
- подача или уборка локомотивов от пассажирских поездов с путей I и 2 в локомотивное предприятие;
- прием грузовых поездов в *ПО* – II,
- подача или уборка локомотивов от поездов, прибывающих в *ПО* – II по ходовому пути 10;
- отправление поездов из *ПО* – I на Б;
- уборка или подача локомотивов в *ПО* – I из локомотивного предприятия;
- прием или отправление поездов из *СП* в нечетном направлении.

Количество параллельных операций определяется количеством параллельных линий (главный, соединительные и вытяжной пути). В данной горловине можно устанавливать одновременно следующие параллельные маршруты: прием грузовых или пассажирских поездов, подача локомотивов по ходовому пути 10, уборка локомотивов из парка *ПО* – I в локомотивное предприятие и маневровая работа на вытяжном пути 12.

Нечетная горловина. Особенность данной горловины – тупиковый путь 13 для подачи и уборки локомотивов от четных поездов. Кроме того, здесь можно запроектировать сортировочную горку малой мощности для расформирования-формирования поездов и подборки местных вагонов. Разработку конструкции, так же как и четной, начинаем с нанесения путевого развития и его специализации (см. рисунок 5.7). Затем на продолжении пути 4 устраиваем вытяжной путь 11 с междупутьем не менее 6,5 м до главного пути. На продолжении пути 6 укладываем локомотивный тупик 13. От его упора на расстоянии полезной длины (принимается равной длине двух поездных локомотивов плюс *a*), размещается центр стрелочного перевода 15, которым соединяется тупиковый 13 и ходовой 10 пути. От стрелочного перевода 75 по схеме III укладывается съезд 13 – 11 и за ним стрелочный перевод 27 на путь 8. По схеме V от стрелочного перевода 27 устраивается съезд 23 – 25, соединяющий путь 4 с локомотивным тупиком. После стрелочного перевода 11 по схеме I укладываем съезд 9 – 7, предусматривая выход из парка *ПО* – II на перегон. Центр стрелочного перевода 5 определяется так, чтобы расстояние между осью его ответвления и упором в месте их сближения составляло не менее 8 м (расстояние безопасности). К ответвлению стрелочного перевода 5 подключаются пути 3, 5, 7. От центра перевода 5 по схеме V укладывается стрелочный перевод 29, а к его ответвлению примыкают пути сортировочного парка. От стрелочного перевода 29 по схеме III укладывается стрелочный перевод 31, а за ним стрелочная улица парка *ПО* – I. Чтобы повысить маневренность станции и сократить враждебные передвижения при уборке (подаче) поездов

ных локомотивов из *ПО – I* на ходовой путь 10, он присоединяется к стрелочной улице парка стрелочным переводом 33. От стрелочного перевода 5 по схеме I предусматривается съезд 3 – 1 для приема поездов в парки *ПО – I* и *СП*. От центра стрелочного перевода 3 по схеме IV наносится центр перевода 39 и соединение 39 – 41, для одновременного приема поезда и выполнения маневровой работы на вытяжном пути 11. Междупутье между соединениями 5 – 29 и 39 – 41 позволяет устроить здесь сортировочную горку малой мощности. Также для повышения маневренности станции – обеспечения выхода с путей I и 2 на вытяжной путь 11 для отцепки вагонов от пассажирских поездов – укладывается съезд 17 – 19, но так, чтобы не увеличить длину горловины.

Конструкция горловины обеспечивает одновременное выполнение операций в различных сочетаниях:

- прием или отправление пассажирских поездов с путей I и 2, подача или уборка поездных локомотивов с пути 10 или из парка *ПО – II* и маневровая работа на пути 11;

- отправление поездов с пути 4, подача или уборка локомотивов с путей 6, 8, 10 и маневровая работа на вытяжном пути 11;

- подача или уборка локомотивов с пути 10 и из парка *ПО – II*, прием поездов в парк *ПО – 7* и маневровая работа на пути 11;

- отправление поездов с путей 1, 2 и из парка *ПО – II*, подача (уборка) локомотивов из тупика 13 по пути 10, маневровая работа на вытяжном пути 11.

Пример 5.4. Требуется разработать конструкции горловин участковой станции полупродольного типа, расположенной на двухпутной линии. Размеры движения – 42 пары грузовых поездов со сменой локомотивов. Количество путей в парках: приемо-отправочных: четном – 4; нечетном – 5; сортировочном – 6; количество вытяжных путей – 3. Размещение локомотивного предприятия и грузового терминала принять согласно рисунку 5.8.

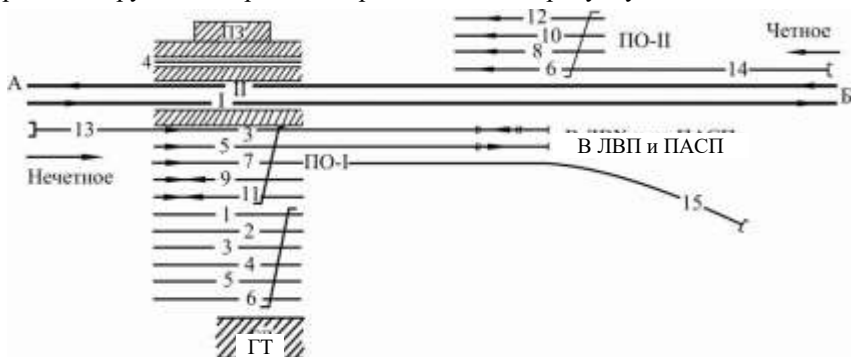


Рисунок 5.8 – Взаимное размещение основных устройств и специализация путей на участковой станции полупродольного или продольного типа (двухпутная линия)

Решение. Проектируя горловины станций на двухпутных линиях, следует соблюдать принцип двухпутности, обеспечивая одновременный прием и отправление грузовых и пассажирских поездов различных направлений, а также обеспечить прием и отправление поездов по неправильному пути. Технологические операции на станциях такого типа в основном те же, что и на станциях поперечного типа, лишь распределение их по горловинам различно.

Четная горловина (рисунок 5.9). Проектируются главные и приемо-отправочные пути парка *ПО – П*, а также примыкающий к нему вытяжной путь 14. Указывается ширина междупутий, специализация и нумерация путей, укладывается горловина, начиная со съезда 6 – 8 и стрелочной улицы парка *ПО – П* (стрелочные переводы 10, 12, 14 и 16). Это соединение обеспечивает прием поездов из Б на любой путь парка. Для возможности одновременного выполнения маневровой работы с транзитными поездами на путях 10, 12 и приема поездов на пути 6, 8 проектируется соединение 14 – 22, а затем от стрелочного перевода 6 в сторону перегона по схеме I – съезд 4 – 2 (диспетчерский) для приема поездов в парк *ПО – П* из Б по неправильному пути. Съезд 18 – 20 размещается так, чтобы не увеличивать длину горловины. В данном случае он размещается после стрелочного перевода 10. Съезд 18 – 20 связывает вытяжной путь 14 с сортировочным парком для ускорения подачи маневрового локомотива (без Z-образных передвижений) в парк *ПО – П* к транзитным поездам. Количество параллельных линий в данной горловине позволяет выполнять одновременно три операции.

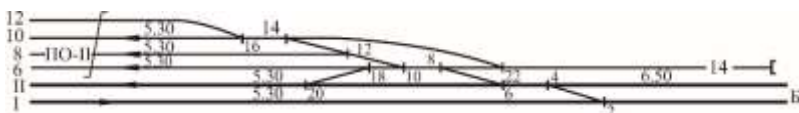


Рисунок 5.9 – Конструкция четной горловины участковой станции полупродольного типа (двухпутная линия)

Нечетная горловина (рисунок 5.10). Далее вычерчиваются перронный, главные, приемо-отправочные, вытяжной и сортировочные пути, обозначается ширина междупутий, специализация парков и нумерация путей. Укладка горловины начинается с соединения путей парка *ПО – I* и главного пути I. Учитывая, что парк специализируется для приема нечетных транзитных и перерабатываемых поездов, поступающих с обоих направлений, его целесообразно разделить на две изолированные секции: первая – пути 3, 5, 7, вторая – 9, 11. К главному пути I подключается первая секция с помощью съезда II – 13 и стрелочных переводов 41, 43. По схеме IV от стрелочного перевода 13 укладывается перевод 9, а на его ответвлении – стрелочная улица второй секции. По схеме III от стрелочного перевода 9 располагается стрелочный перевод 45, на ответвлении которого проектируется стрелочная улица сортировочного парка (переводы 101, 103, 105, 107, 109, 111). По схеме I от стрелочного перевода 9

укладываются съезды 7 – 5 и 3 – 1, обеспечивая связь второй секции и сортировочного парка с перегонном. Такое взаимное расположение стрелочных улиц парков *ПО – I* и *СП*, а также соединение 15 – 101 позволяют изолировать маневровую работу на вытяжном пути 13, путях 9 и 11 парка *ПО – I* от приема поездов в первую секцию. Кроме того, соединения 9 – 45 – 101 и 15 – 101 обеспечивают возможность сооружения сортировочной горки и отправления поездов своего формирования непосредственно с путей сортировочного парка. Для приема (отправления) пассажирских поездов на пути II и 4 укладываются съезды 21 – 23, 25 – 27, 29 – 31, взаимно располагая два последних так, чтобы обеспечить (см. специализацию путей) одновременный прием на главный, путь II и отправление с пути 4. Место расположения определяется полезной длиной перронных путей.

Так как рассматриваемая схема станции полупродольного типа, *ЛСПС* разместить со стороны локомотивного и вагонного предприятий сложно. Их целесообразно запроектировать в данной горловине. Связь *ЛСПС* с путями, предназначенными для пассажирского движения, обеспечивается съездами 33 – 35, 37 – 39 и соединением 27 – 39. Для перестановки составов из парка *ПО – II* на вытяжной путь 13 проектируется съезд 17 – 19. Запроектированная горловина обеспечивает выполнение четырех параллельных операций.

Центральная горловина (рисунок 5.11). Расположение приемоотправочных парков по обе стороны от главных путей и их продольное смещение относительно друг друга является особенностью конструкции схемы станции. В центральной горловине ее предусматриваем соединительные пути, ведущие в локомотивное предприятие, и вытяжной путь 15 для маневровой работы с местными вагонами, а для подачи (уборки) поездных локомотивов из парка *ПО – II* в *ЛВП* – локомотивный тупик 16 (вместимостью не менее двух локомотивов). После подготовительного этапа укладку горловины начинаем с присоединения перронного пути 4 стрелочным переводом 64 и путей парка *ПО – II* к главному II. В створе с центром стрелочного перевода 64 размещается упор локомотивного тупика 16 – продолжения пути 6 парка *ПО – II*. Откладывавая его полезную длину плюс *a*, определяется центр стрелочного перевода 52, после чего укладывается перекрестный съезд 52 – 50, 54 – 56 и стрелочная улица парка *ПО – II*. По схеме IV от стрелочного перевода 64 укладывается съезд 68 – 66 (для одновременного приема поездов на путь 4 и отправления с пути II).

Выполняется увязка нижней части горловины. Пути 7, 9, 11 парка *ПО – I* подключаются к соединительному – продолжению пути 5 – стрелочными переводами 82, 78, 88; вытяжной путь 15 – к соединению 78 – 88 стрелочным переводом 80. По схеме III от стрелочного перевода 80 укладывается перевод 102, на его ответвлении – стрелочная улица сортировочного парка.

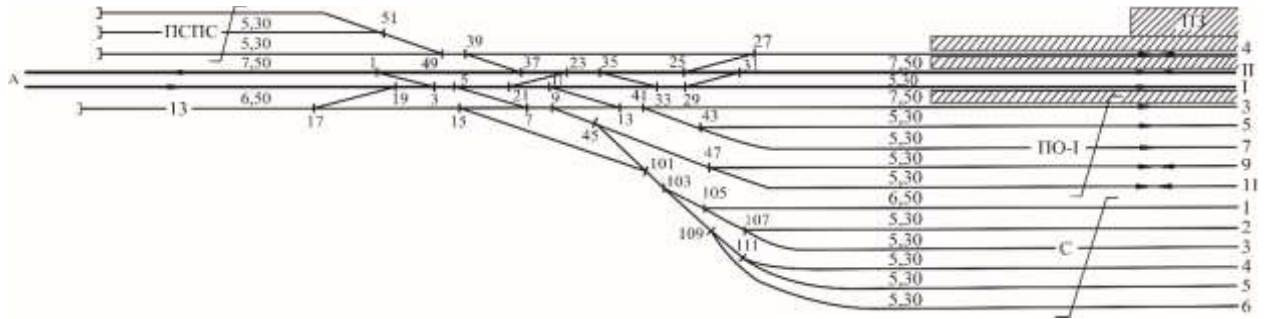


Рисунок 5.10 – Конструкция нечетной горловины на участковой станции полупролонгового типа (двухпутная линия)

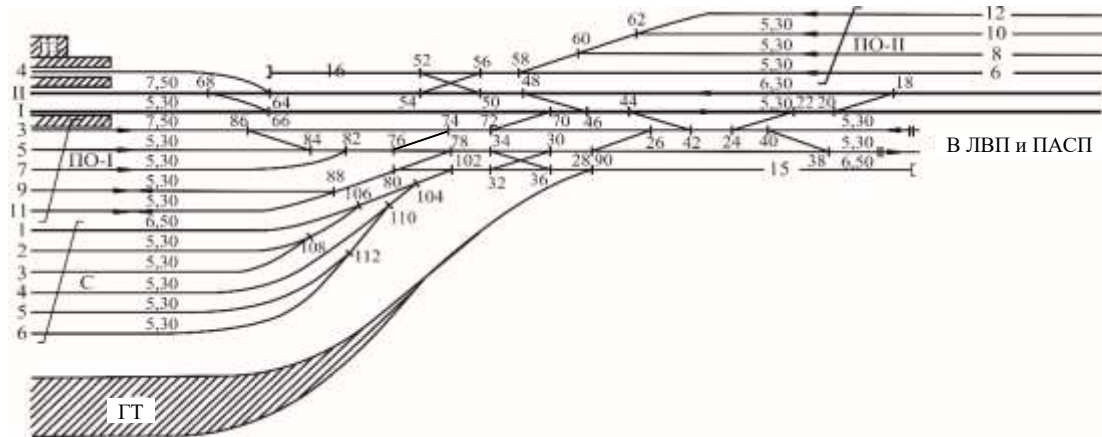


Рисунок 5.11 – Конструкция центральной горловины на участковой станции полупролонгового типа (двухпутная линия)

После стрелочного перевода 102 укладываются съезды 32 – 30, 28 – 26, 24 – 22 и 20 – 18, которыми связываются пути 9 к 11 и *СП* с главными и соединительными в локомотивное предприятие, и съезды 48 – 46, 44 – 42 и 40 – 38, связывающие локомотивный тупик 16 с соединительными путями. По схеме IV от стрелочного перевода 78 укладываются съезды 76 – 74 и 72 – 70, изолируя маршруты отправления поездов с путей 3, 5 к 7 от маршрутов подачи и уборки локомотивов с путей 9 и 11. По схеме III от стрелочного перевода 82 укладывается съезд 84 – 86 и от стрелочного перевода 78 – съезд 34 – 36 для связи путей 3, 5, 7 с вытяжным путем 15. Путевое развитие грузового терминала подключается к вытяжному пути 15 стрелочным переводом 90, укладываемым по схеме III от перевода 36. Примыкание стрелочной горловины *СП* к вытяжному пути 15 стрелочным переводом 102 позволяет изолировать маневровую работу от отправления поездов из *ПО* – I.

В центральной горловине предусмотрено выполнение маршрутов по следующим основным операциям:

- прием пассажирских поездов на путь 4 по стрелочным переводам 18, 48, 50, 54, 64 и на путь II дополнительно через стрелочный перевод 68;

- отправление поездов с пути I через стрелочные переводы 66, 70, 46, 44, 22 и 20, с пути II, кроме того, через съезд 68 – 66;

- отправление грузовых поездов из *ПО* – II по стрелочной улице 58, 60, 62 и съезду 54 – 56;

- подача и уборка локомотивов из *ПО* – II в локомотивное предприятие через локомотивный тупик 16 и съезды 52 – 50, 48 – 46, 44 – 42 и 40 – 38;

- отправление грузовых поездов из *ПО* – I через стрелочные переводы 86, 74, 72, 70, 46, 44, 22, 20; 84, 82, 76, 74, 72, 70, 46, 44, 22, 20, 88, 80, 78, 34, 30, 28, 26, 42, 24, 22, 20 (три маршрута);

- прием или отправление поездов из *СП* по стрелочной улице 104, 106, 108 или 104, 110, 112, стрелочному переводу 102 и съездам 32 – 30, 28 – 26, 24 – 22, 20 – 18;

- подача и уборка поездных локомотивов из *ПО* – I (несколько маршрутов) через стрелочные переводы 86 или 84, 82, 76 и далее 74, 72, 26, 42, 24, 40; 88, 80, 78, 34, 30, 28, далее 26, 42, 24, 40 или 35.

Конструкция центральной горловины станции обеспечивает параллельное выполнение шести операций.

Пример 5.5. Требуется спроектировать центральную горловину участковой станции продольного типа. Размеры грузового движения (со сменой локомотивов) превышают 60 пар поездов в сутки. Количество путей в парках: приемо-отправочных четном и нечетном – по 6; сортировочном – 8. Взаимное расположение локомотивного предприятия и грузового терминала принять аналогично рисунку 5.8.

Р е ш е н и е. Центральная горловина (рисунок 5.12) этой станции отличается от станции полупродольного типа смещением приемо-отправочного парка *ПО – II* в продольном направлении, обеспечивающим непосредственную связь его с путями *ПО – I* и сортировочного парков. Это необходимо, если рядом с *ПО – II* не проектируют сортировочные пути. Все поезда, прибывающие в этот парк для расформирования, переставляют на вытяжной путь противоположной горловины или один из путей сортировочного парка по съездам 30 – 32, 34 – 36, 138 – 40, 42 – 44, 58 – 60, 72 – 74.

Учитывая, что на станциях двухпутных линий при размерах грузового движения свыше 60 пар поездов главный путь следует проектировать в обход локомотивного предприятия, а на станциях продольного или полупродольного типов (при смене локомотивов у всех поездов) в выходной горловине смещенного парка, кроме того, укладывая путь в обход локомотивного тупика [4], предусматриваются следующие дополнительные соединения: 204 – 94 (путь 20 в обход локомотивного тупика 18), а также 48 – 46, 50 – 52, 80 – 82, 84 – 86 и 68 – 70, 108 – 110 для связи, парка *ПО – I* и путей, предназначенных для пассажирского движения, с главным путем III и отправления поездов в обход локомотивного предприятия.

Пример 5.6. Требуется разработать конструкцию нечетной горловины узловой участковой станции полупродольного типа с двумя приемо-отправочными (в четном – 5, нечетном – 6 путей) и сортировочным (8 путей) парками. Для маневровой работы требуются три вытяжных пути. Подходы магистральных линий, размещение локомотивного предприятия и грузового терминала принять в соответствии с рисунком 5.13.

Р е ш е н и е. В отличие от рассмотренных примеров в горловине узловой участковой станции должна быть обеспечена возможность одновременного приема поездов со всех примыкающих направлений. Для этого пути приемо-отправочных парков секционируются по линиям примыкания: 5, 7, 9 объединяются для приема поездов из *A*, а 11, 13 и 15 – из *B* (рисунок 5.14). Главные пути, по которым осуществляется прием поездов, соединяются, как правило, после пассажирского здания. Для одновременного отправления поездов на *A* и *B* при больших размерах движения или загрузке горловин целесообразно укладывать дополнительный путь (штриховая линия). При небольших размерах поездопотока движение по линиям примыкания может разветвляться в выходной горловине (стрелочный перевод 1). Кроме того, в горловине предусматривается ряд соединений, увеличивающих пропускную способность и маневренность станции и повышающих безопасность выполнения основных операций. Конструкция нечетной горловины (см. рисунок 5.14) узловой участковой станции позволяет выполнять параллельно в различной комбинации четыре операции.

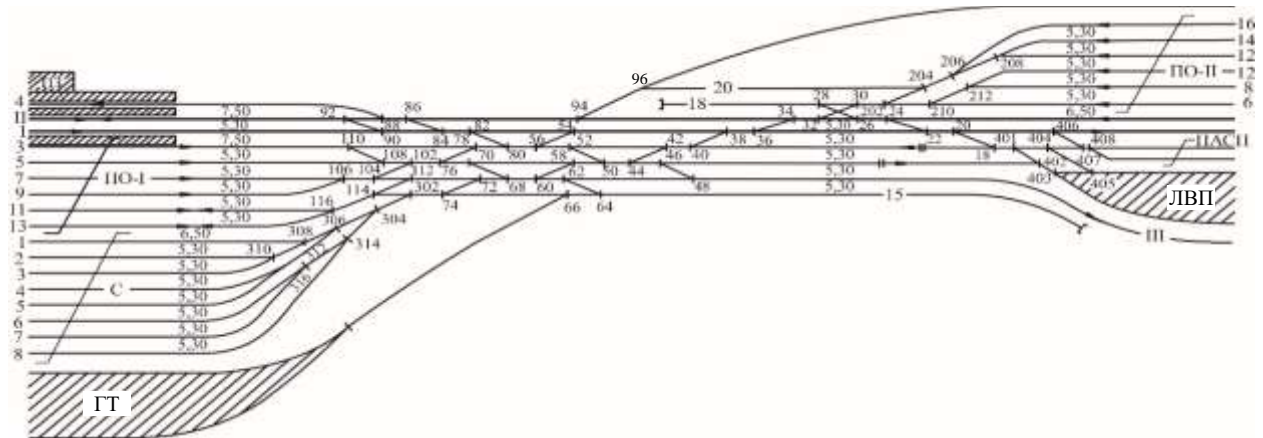


Рисунок 5.12 – Конструкция центральной горловины участковой станции продольного типа (двухпутная линия)

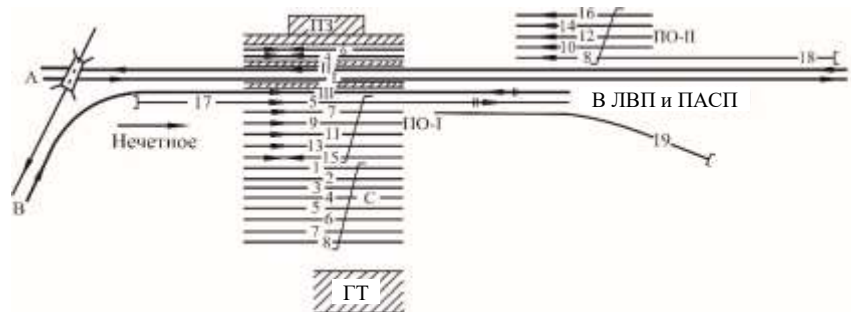


Рисунок 5.13 – Взаимное размещение основных устройств и специализация путей на участковой станции полупродольного типа

5.2 Сортировочные станции

Пример 5.7. Необходимо разработать конструкцию горловины предгорочного парка сортировочной станции с последовательным расположением парков. Схема подходов и размещение устройств показаны на рисунке 5.15.

Р е ш е н и е. Горловины сортировочных станций в зависимости от технологического процесса и потребной перерабатывающей способности должны обеспечить выполнение следующих основных операций: прием и отправление поездов; подачу и уборку поездных локомотивов; заезд горочного локомотива за составом; надвиг и роспуск составов с горки; формирование составов на вытяжных путях; перестановку составов из сортировочного парка в парк отправления; отправление поездов с путей сортировочного парка на все направления и др.

Входная горловина предгорочного парка должна обеспечить параллельное выполнение следующих операций [4]:

- одновременный прием поездов с примыкающих к парку направлений;
- уборку поездных локомотивов от поездов, прибывающих с направления, противоположного сортировке;
- заезд горочного локомотива на часть путей за составами, подлежащими к роспуску с горки.

Одновременный прием поездов с примыкающих направлений обеспечивается секционированием парка по линиям (рисунок 5.16): пути 1 и 2 – для приема из *G*; 3, 4, 6 – из *B* и 7 – 9 – с направления *A*, противоположного направлению сортировки. Чтобы наряду с приемом поездов обеспечить одновременно заезд горочного локомотива за составом и уборку поездных локомотивов от поездов, прибывающих с направления *A*, укладываются локомотивные тупики 12 и 11: первый – на продолжении пути 5, второй – на продолжении пути 7, и к нему проектируется ходовой путь в локомотивное предприятие через стрелочный перевод 124. В необходимых случаях ходовой путь используется для приема поездов, а горочные локомотивы пропускаются по одному из свободных путей парка. Съезды 2 – 4, 6 – 8, 10 – 12, 14 – 16 повышают маневренность предгорочного парка и позволяют изменять в случае необходимости специализацию путей.

В выходной горловине (рисунок 5.17) предгорочного парка предусматривается параллельное выполнение следующих операций:

- прием поездов с направления, противоположного направлению сортировки;
- заезд горочного локомотива за очередным составом;
- надвиг и роспуск составов с горки (двух – при параллельном роспуске), уборку поездных локомотивов с части путей парка.

Предусматривается связь путей предгорочного парка с главным. Это повышает маневренность станции и обеспечивает взаимозаменяемость парков в сложных условиях работы.

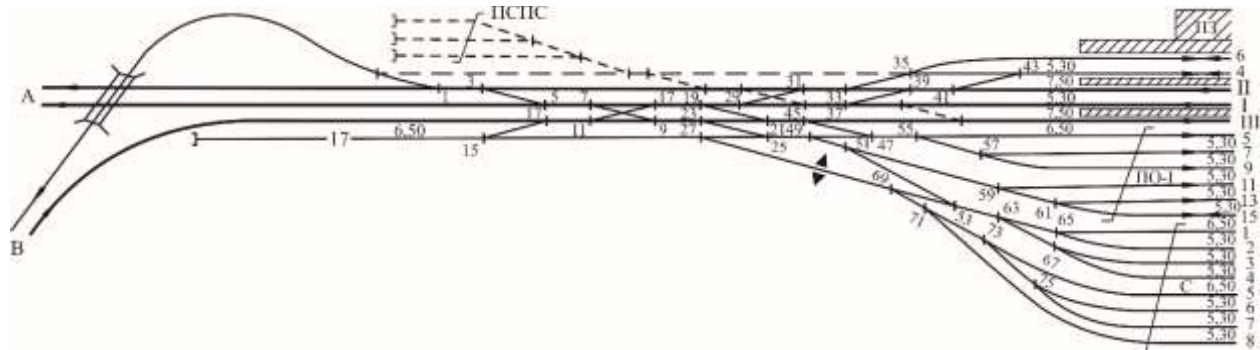


Рисунок 5.14 – Конструкция нечетной горловины узловой участковой станции полупродольного типа

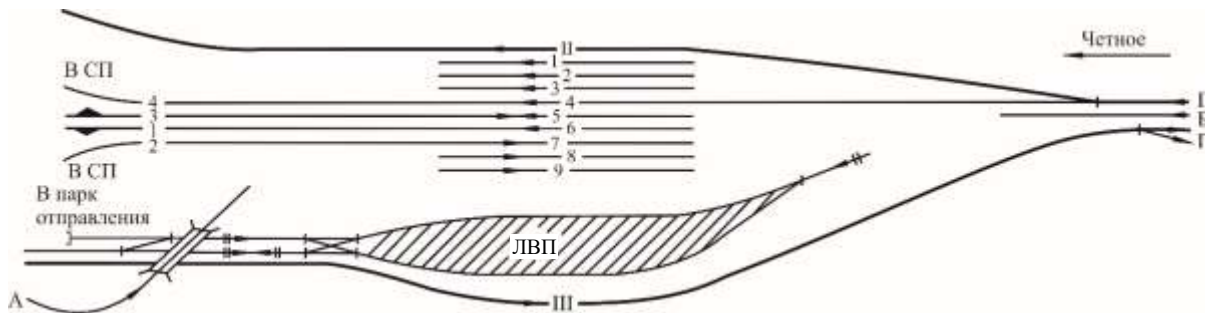


Рисунок 5.15 – Специализация путей предгорочного парка на сортировочной станции

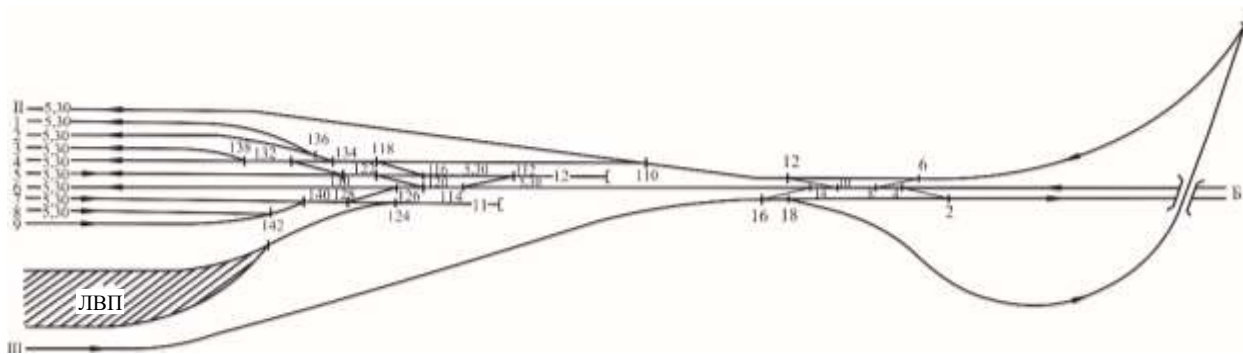


Рисунок 5.16 – Конструкция входной горловины предгорочного парка

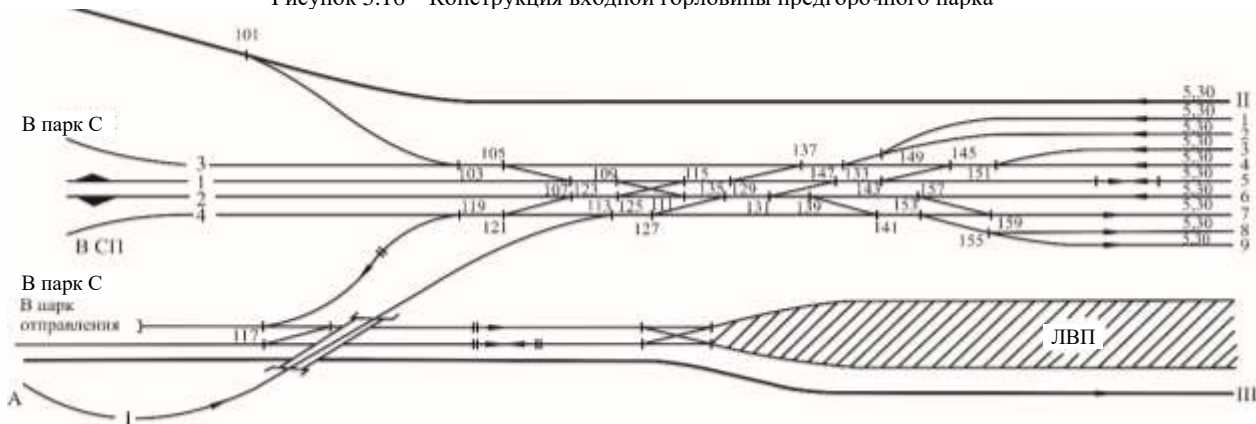


Рисунок 5.17 – Конструкция выходной горловины предгорочного парка

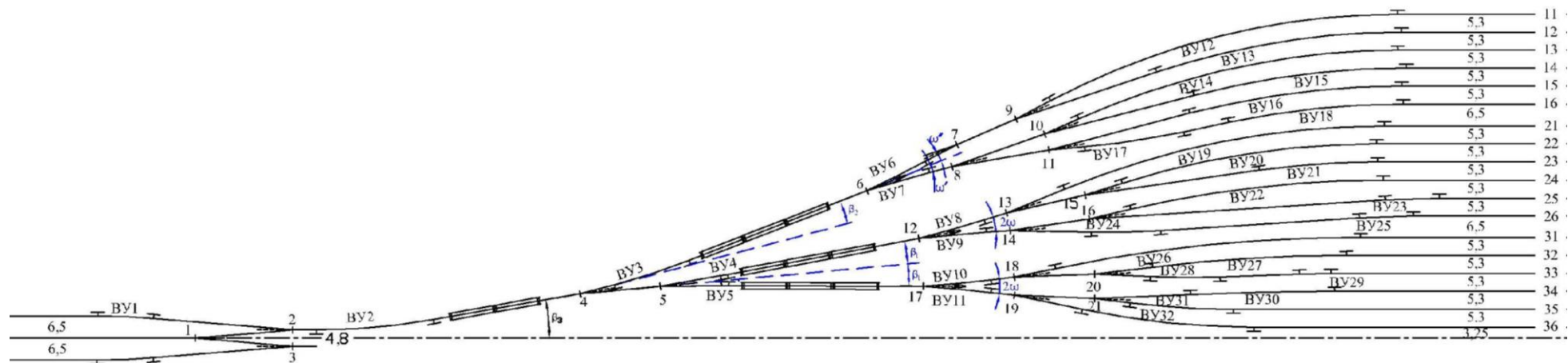


Рисунок 5.18 – План ½ части горочной горловины сортировочного парка на 36 путей при применении радиусов закрестовинных кривых 250 м для обеспечения безопасных условий взаимодействия длиннобазного подвижного состава (автоматическое сцепление вагонов)

Пример 5.8. Требуется рассчитать параметры и запроектировать план горочной горловины сортировочного парка на 36 путей, состоящей из шести пучков по шесть путей в каждом пучке (рисунок 5.18). Соединение двух спускных путей и двух путей роспуска выполнить с помощью перекрёстного съезда из четырёх симметричных стрелочных переводов марки крестовины 1/6, два из которых (входные) являются первыми разделительными элементами горловины в головной зоне сортировочной горки. В горловине необходимо предусмотреть два обходных пути, примыкающих к крайним путям сортировочного парка. Конструировать горловину, используя симметричные стрелочные переводы марки крестовины 1/6 Р65. Для обеспечения безопасного взаимодействия длиннобазного подвижного состава при автоматическом сцеплении в круговых кривых участков путей по возможности применять радиусы $R \geq 250$ м [12, 13, приложение И], в том числе за счет уменьшения междупутий между пучками в начале сортировочных путей до 4,8 м. При проектировании желательнее избегать *s*-образных кривых, т. к. они увеличивают сопротивление движению, вызывают повышенный износ пути и подвижного состава, снижают безопасность при маневрах, особенно с длиннобазными вагонами. На двух горочных тормозных позициях предусмотреть укладку пятизвенных вагонных замедлителей типа ЗВУ (два на первой тормозной позиции и три – на второй). Следует учитывать, что существующие типовые решения систем ГАЦ и АРС, УУПТ предусматривают не более шести разделительных стрелочных переводов в маршруте скатывания отцепы от ВГ до предельного столбика сортировочного пути (не более трех после пучковой ТП) и восемь путей в пучке.

Решение. Основными факторами, определяющими конструкцию горочной горловины, являются: количество путей в сортировочном парке; количество путей в пучках; количество путей надвига и спускных; ширина междупутий; количество тормозных позиций на спускной части сортировочной горки; длина прямых участков пути для размещения тормозных позиций; ограничения по длине горловины (расстояния от начала первого разделительного элемента до предельного столбика расчетного пути и до конца закрестовинной кривой); сумма углов поворота кривых и стрелочных переводов по маршруту скатывания вагонов на сортировочные пути.

К основным структурным особенностям горочных горловин относятся: схемы соединения путей надвига и спускных; схемы увязки путей в пучки; схема размещения тормозных позиций; относительное расположение первых разделительных элементов горловины в головной зоне горки за её вершиной; размещение дополнительных (конструктивных) кривых; схема примыкания обходных путей. Незвестными величинами являются углы поворота β конструктивных кривых и их производные углы в симметричных (ω) и несимметричных (ω' и ω'') пучках путей, углы наклона пучков к базису горочной горловины – оси сортировочного парка (β_1 и β_2) и угол поворота в кривой перед первой тормозной позицией, определяемый с помощью угла β_3 .

На основе этих значений определяются углы поворота в закрестовинных кривых, сопрягающих наклонные участки путей в горловине и сортировочные пути, углы наклона всех участков путей в горловине между основными точками плана горловины и расстояния между этими точками, а также координаты всех основных точек плана 1/2 части горочной горловины, по которым выполняется её графическое построение. Проектирование горловины выполняется в несколько этапов.

1 Угол наклона ω определяется в соответствии с расчетной схемой, показанной на рисунке 5.16, методом, адаптированным в БелГУТе [14].

В пучках из шести путей угол поворота β в кривой, располагаемой после головного стрелочного перевода пучка (рисунок 5.19), находят путём вписывания внутреннего пути (трудный по вписыванию путь, что обеспечивает соединение элементов пучка в целостную конструкцию) относительно базиса пучка.

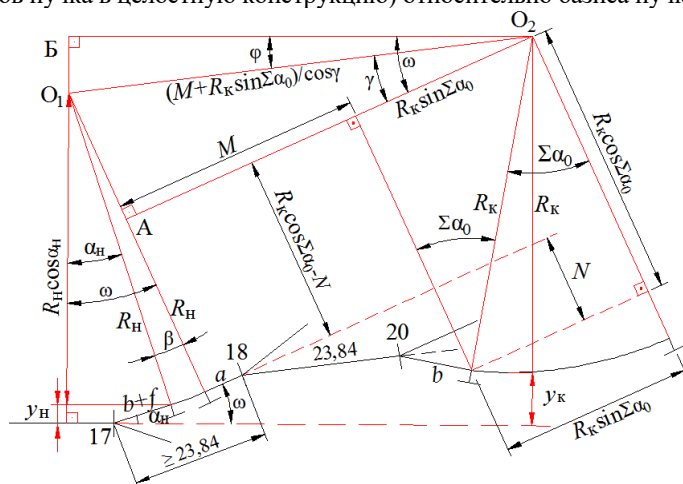


Рисунок 5.19 – Расчетная схема определения угла поворота β в пучке из шести путей методом БелГУТа

Из расчетной схемы на рисунке 5.19 $\beta = \omega - \alpha_n$, где $\omega = \varphi + \gamma$.

Из прямоугольного треугольника O_2AO_1

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{R_n - R_k \cos \sum \alpha_0 + N}{M + R_k \sin \sum \alpha_0},$$

а из прямоугольного треугольника O_2BO_1

$$\sin \varphi = \frac{R_k + y_k - y_n - R_n \cos \alpha_n}{M + R_k \sin \sum \alpha_0} \cos \gamma,$$

где R_n – радиус начальной круговой сопрягающей кривой с искомым углом β , м;

R_k – радиус последней соединительной кривой расчетного пути, м;

$\Sigma\alpha_0$ – алгебраическая сумма углов поворота отрезка расчетного пути протяжением от конца кривой за первым стрелочным переводом пучка или его ответвления до начала последней соединительной кривой, рассчитываемая относительно направления участка пути, получаемого после прохождения кривой с искомым углом;

N – то же на ось, перпендикулярную к направлению искомого угла, м;

M – проекция отрезка расчетного пути протяжением от конца кривой за первым стрелочным переводом пучка или его ответвления до начала последней соединительной кривой на направление участка пути, получаемое после прохождения кривой с искомым углом, м;

y_k – ордината горизонтальной касательной к последней соединительной кривой расчетного пути, м;

y_n – ордината начала кривой за первым стрелочным переводом пучка или его ответвления;

α_n – угол наклона начального направления участка пути к базису (оси симметрии).

Длина проекции M определяется как сумма проекций отдельных элементов участка пути от конца кривой, расположенной за головным стрелочным переводом пучка, до начала закрестовинной кривой внутреннего пути:

$$M = a + 23,84\cos(\alpha/2) + b \cos(\alpha).$$

Длина проекции этого же участка пути на ось, перпендикулярную к направлению участка пути, получаемого после прохождения кривой с искомым углом поворота β ,

$$N = 23,84 \sin(\alpha/2) + b \sin(\alpha),$$

где 23,84 – минимально необходимое расстояние между центрами стрелочных переводов при их попутной укладке с учетом обеспечения минимальной длины предстрелочного участка 6 м изолированной рельсовой цепи управления стрелочным переводом. Для стрелочных переводов марки крестовины 1/6 с типом рельсов Р65:

$$23,84 = b_1 + 1,07 + 5,26 + a_2 = 11,63 + 5,26 + 6,95.$$

Величины, входящие в состав расчетных формул для определения угла β , имеют следующие значения: $R_n = R_{10} = 200$ м; $R_k = R_{28} = 250$ м; $\alpha_n = \alpha/2$; $\Sigma\alpha_0 = \alpha$; $f = 0$ м; $y_n = (b + f)\sin(\alpha/2) = 10,56\sin(9,46233/2) = 0,87$ м; $y_k = 2,9$ м; $\alpha = 9,46233^\circ$.

$$M = 6,95 + 23,84 \cos(9,46233/2) + 10,56 \cos 9,46233 = 41,13 \text{ м};$$

$$N = 23,84 \sin (9,46233/2) + 10,56 \sin 9,46233 = 3,70 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{200 - 250 \cos(9,46233) + 3,70}{41,13 + 250 \sin(9,46233)} = 0,086396;$$

$$\gamma = \operatorname{arctg}(0,086396) = 4,93788 \text{ или } 4^\circ 56' 16'';$$

$$\sin\varphi = \frac{250 + 2,9 - 0,87 - 250 \cdot 0,996593}{41,13 + 250 \sin(9,46233)} \cos(4,93788) = 0,034906;$$

$$\varphi = \arcsin 0,034906 = 2,00037^\circ = 2^\circ 0' 01''.$$

$$\omega = \varphi + \gamma = 2,00037^\circ + 4,93788^\circ = 6,93825^\circ;$$

$$\beta = \omega - \alpha_n = 6,93825^\circ - 9,46233^\circ/2 = 2,20709^\circ = 2^\circ 12' 26''.$$

2 Алгебраические значения расчетных величин при определении угла β_1 (рисунок 5.20) следующие: $R_H = R_4 = 200$ м; $R_K = R_{23} = 250$ м; $\Sigma\alpha_0 = \omega$; $\alpha_n = \alpha/2$; $f = 7,57$ м; $y_H = (b+f) \sin(\alpha/2) = (10,56 + 7,57) \sin(9,46233/2) = 1,495$ м; $y_K = 5,3 + 5,0/2 = 7,8$ м; $d_1 = 5$ м; $d_2 = 5,26$ м. Величина f является моделируемым параметром и получена таким образом, чтобы минимальное междупутье между расходящимися путями в начале второй тормозной позиции было не менее 4,2 м для обеспечения возможности укладки складчателителей ЗВУ в соответствии с их габаритными параметрами (рисунок 5.20).

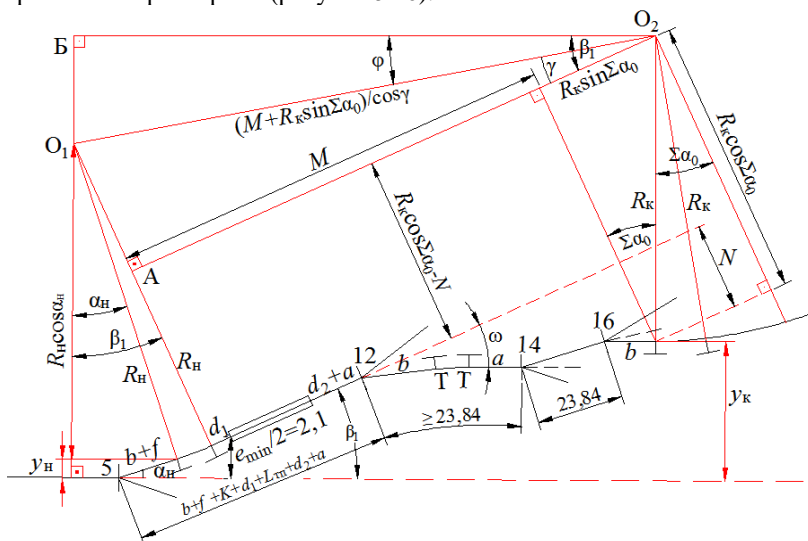


Рисунок 5.20 – Расчетная схема определения угла поворота β_1

$$T_9 = R_9 \operatorname{tg}((\omega - \alpha/2)/2);$$

$$M = (d_1 + L_{\text{ТП}} + d_2 + a) + (b + T) \cos(\alpha/2) + (T + a) \cos\omega + 23,84 \cos(\omega - \alpha/2) + b \cos\omega;$$

$$N = (b + T) \sin(\alpha/2) + (T + a) \sin\omega + 23,84 \sin(\omega - \alpha/2) + b \sin\omega.$$

После подстановки исходных данных получим

$$T = 250 \operatorname{tg}((6,93825 - 9,46233/2)/2) = 4,82 \text{ м};$$

$$M = (5,0 + 13,48 \cdot 3 + 5,26 + 6,95) + (10,56 + 4,82) \cos(9,46233/2) + (4,82 + 6,95) \cos 6,93825 + 23,84 \cos (6,93825 - 9,46233/2) + 10,56 \cos 6,93825 = 118,96 \text{ м};$$

$$N = (10,56 + 4,82) \sin (9,46233/2) + (4,82 + 6,95) \sin 6,93825 + 23,84 \sin (6,93825 - 9,46233/2) + 10,56 \sin 6,93825 = 4,88 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{200 - 250 \cos 6,93825 + 4,88}{118,96 + 250 \sin 6,93825} = -0,2902;$$

$$\gamma = \arctg (-0,2902) = -16,18287, \text{ или } -16^{\circ}10'58'';$$

$$\sin \varphi = \frac{250 + 7,8 - 1,495 - 200 \cos (9,46233/2)}{118,96 + 250 \sin 6,93825} \cos (-16,18287) = 0,366914;$$

$$\varphi = \arcsin 0,366914 = 21,52545^{\circ} = 21^{\circ}31'31''.$$

$$\beta_1 = \varphi + \gamma = 21,52545^{\circ} + (-16,18287^{\circ}) = 5,34258^{\circ}.$$

3 Элементы, входящие в состав расчетных формул для определения угла ω' (рисунок 5.21), имеют следующие значения: $R_H = R_7 = 250 \text{ м}$; $R_K = R_{14} = 235 \text{ м}$; $\Sigma \alpha_0 = \alpha$; $\alpha_H = \alpha/2$; $f = 0 \text{ м}$; $y_H = (b + f) \sin(\alpha/2) = (10,56 + 0) \sin (9,46233/2) = 0,87 \text{ м}$; $y_K = 2,9 \text{ м}$.

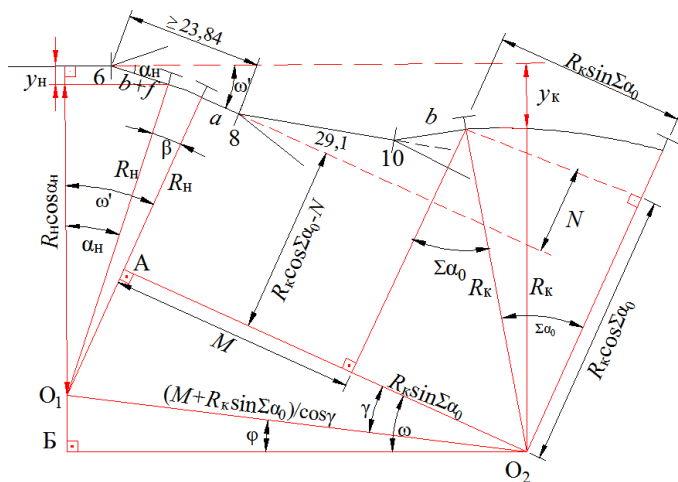


Рисунок 5.21 – Расчетная схема определения угла поворота ω'

$$M = a + 29,1 \cos (\alpha/2) + b \cos \alpha;$$

$$N = 29,1 \sin (\alpha/2) + b \sin \alpha.$$

После подстановки значений исходных величин получим

$$M = 6,95 + 29,1 \cos (9,46233/2) + 10,56 \cos 9,46233 = 46,37 \text{ м};$$

$$N = 29,1 \sin (9,46233/2) + 10,56 \sin 9,46233 = 4,14 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{250 - 235 \cos(9,46233) + 4,14}{46,37 + 235 \sin(9,46233)} = 0,262746;$$

$$\gamma = \arctg 0,262746 = 14,72150 \text{ или } 14^{\circ}43'17'';$$

$$\sin \varphi = \frac{235 + 2,9 - 0,87 - 250 \cos(9,46233/2)}{46,37 + 235 \sin(9,46233)} \cos(14,72150) = -0,137896;$$

$$\varphi = \arcsin(-0,137896) = -7,926134^{\circ} = -7^{\circ}55'34''.$$

$$\omega' = \varphi + \gamma = -7,926134^{\circ} + 14,72150^{\circ} = 6,79536^{\circ}.$$

4 Угол поворота верхнего ответвления несимметричного пучка ω'' (рисунок 5.22) определяется при следующих исходных данных: $R_H = R_6 = 250$ м; $R_K = R_{13} = 230$ м; $\Sigma \alpha_0 = \alpha$; $\alpha_H = \alpha/2$; $f = 0$ м; $y_H = (b + f) \sin(\alpha/2) = (10,56 + 0) \times \sin(9,46233/2) = 0,87$ м; $y_K = 2,9$ м.

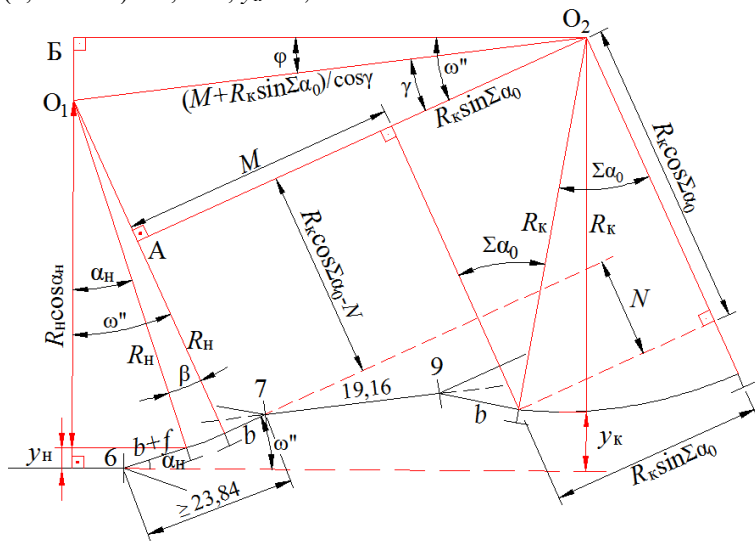


Рисунок 5.22 – Расчетная схема определения угла поворота ω''

$$M = b + 19,16 \cos(\alpha/2) + b \cos \alpha;$$

$$N = 19,16 \sin(\alpha/2) + b \sin \alpha;$$

$$M = 10,56 + 19,16 \cos(9,46233/2) + 10,56 \cos 9,46233 = 40,07 \text{ м};$$

$$N = 19,16 \sin(9,46233/2) + 10,56 \sin 9,46233 = 3,32 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{250 - 230 \cos 9,46233 + 3,32}{40,07 + 230 \sin 9,46233} = 0,339559;$$

$$\gamma = \arctg(0,339559) = 18,75536 \text{ или } 18^{\circ}45'19'';$$

$$\sin\varphi = \frac{230 + 2,9 - 0,87 - 250 \cos(9,46233/2)}{40,07 + 230 \sin(9,46233)} \cos(18,75536) = -0,208135;$$

$$\varphi = \arcsin(-0,208135) = -12,01308^\circ = 12^\circ 0' 47''.$$

$$\omega'' = \varphi + \gamma = -12,01308^\circ + 18,75536^\circ = 6,74229^\circ.$$

5 При определении угла наклона верхнего несимметричного пучка β_2 (рисунок 5.23) используются следующие исходные значения расчетных величин: $R_H = R_3 = 200$ м; $R_K = R_{19} = 250$ м; $\Sigma\alpha_0 = \alpha + \omega' = 9,46233^\circ + 6,79536^\circ = 16,25769^\circ$; $f = 7,57$ м; $y_H = 0$ м; $d_1 = d_3 = 4$ м [12, рисунок 4.6]; $d_2 = d_4 = 5,26$ м [12, рисунок 4.6, а и б].

$$T_1 = R_4 \operatorname{tg}((\beta_1 - \alpha/2)/2); T_2 = R_8 \operatorname{tg}((\omega - \alpha/2)/2);$$

$$T_3 = R_{кт} \operatorname{tg}((\alpha/2 - \beta_1 - \omega)/2); T_4 = R_7 \operatorname{tg}((\omega' - \alpha/2)/2).$$

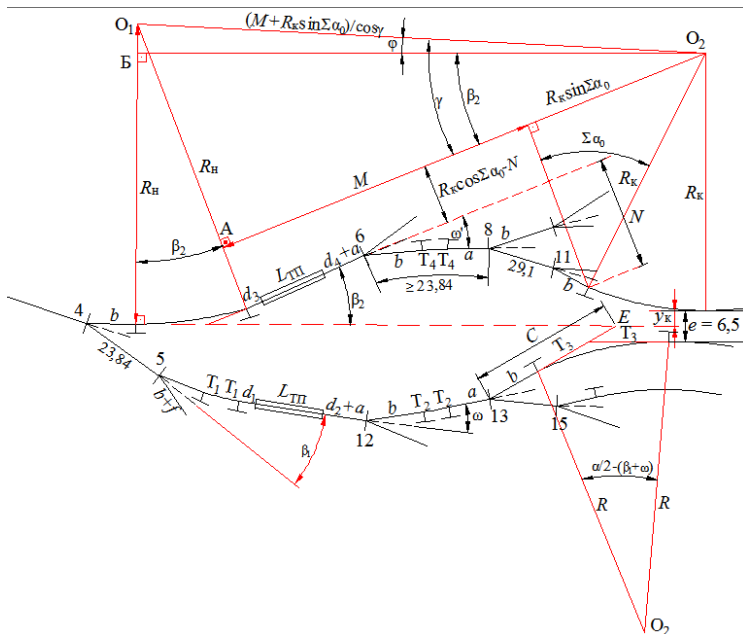


Рисунок 5.23 – Расчетная схема определения угла поворота β_2

Величину C определяем из алгебраической суммы проекций прямых участков крайнего верхнего пути второго пучка от центра стрелочного перевода 4 до точки E (точки пересечения продолжения верхнего ответвления стрелочного перевода 13 с продолжением верхнего ответвления стрелочного перевода 4) на ось, перпендикулярно верхнему ответвлению перевода 4, т. е.

$$23,84 \sin \alpha + (b + f + T_1) \sin (\alpha/2) + (T_1 + d_1 + L_{\text{ТП}} + d_2 + a) \sin(\alpha - \beta_1) + \\ + (b + T_2) \sin (\alpha/2 - \beta_1) + (T_2 + a) \sin (\alpha - \beta_1 - \omega) + C \cdot \sin (\alpha/2 - \beta_1 - \omega) = 0;$$

$$y_k = 6,5 - [C - (b + T_3)] \sin (-\alpha/2 + \beta_1 + \omega);$$

$$M = (d_3 + L_{\text{ТП}} + d_4 + a) + (b + T_4) \cos (\alpha/2) + (T_4 + a) \cos \omega' + \\ + 29,1 \cos (\alpha/2 + \omega') + b \cos (\alpha + \omega');$$

$$N = (b + T_4) \sin (\alpha/2) + (T_4 + a) \sin \omega' + 29,1 \sin (\alpha/2 + \omega') + b \cdot \sin (\alpha + \omega').$$

После подстановки получаем

$$T_1 = 200 \operatorname{tg} ((5,34258 - 9,46233/2)/2) = 1,07 \text{ м};$$

$$T_2 = 250 \operatorname{tg} ((6,93825 - 9,46233/2)/2) = 4,82 \text{ м};$$

$$T_3 = 250 \operatorname{tg} (|9,46233/2 - 5,34258 - 6,93825|/2) = 16,49 \text{ м};$$

$$T_4 = 250 \operatorname{tg} ((6,779536 - 9,46233/2)/2) = 4,50 \text{ м};$$

$$23,84 \sin 9,46233 + (10,56 + 7,57 + 1,07) \sin (9,46233/2) + (1,07 + 5 + 13,48 \times \\ \times 3 + 5,26 + 6,95) \sin (9,46233 - 5,34258) + (10,56 + 4,82) \sin (9,46233/2 - \\ - 5,34258) + (4,82 + 6,95) \sin (9,46233 - 5,34258 - 6,93825) = \\ = -C \sin (9,46233 / 2 - 5,34258 - 6,93825);$$

$$8,978543 = -C (-0,131386); C = 8,978543 / 0,131386 = 68,34 \text{ м};$$

$$y_k = 6,0 - [68,34 - (10,56 + 16,49)] \sin(-9,46233/2 + 5,34258 + 6,93825) = 0,58 \text{ м};$$

$$M = (4 + 13,48 \cdot 3 + 5,26 + 6,95) + (10,56 + 4,50) \cdot \cos(9,46233/2) + \\ + (4,50 + 6,95) \cdot \cos 6,79536 + 29,1 \cdot \cos(9,46233/2 + 6,79536) + \\ + 10,56 \cos(9,46233 + 6,79536) = 121,69 \text{ м};$$

$$N = (10,56 + 4,50) \sin (9,46233/2) + (4,50 + 6,95) \sin 6,79536 + \\ + 29,1 \sin (9,46233/2 + 6,79536) + 10,56 \sin (9,46233 + 6,79536) = 11,37 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{200 - 250 \cos(9,46233 + 6,79536) + 11,37}{121,69 + 250 \sin(9,46233 + 6,79536)} = -0,149388;$$

$$\gamma = \operatorname{arctg} (-0,149388) = -8,49648 \text{ или } -8^\circ 29' 47'';$$

$$\sin \varphi = \frac{250 + 0,58 - 0 - 200 \cos(0)}{121,69 + 250 \sin(9,46233 + 6,718286)} \cos(-8,49648) = 0,260967;$$

$$\varphi = \operatorname{arcsin} 0,260967 = 15,12744^\circ = 15^\circ 7' 39''.$$

$$\beta_2 = \varphi + \gamma = 15,12744^\circ + (-8,49648^\circ) = 6,63096^\circ.$$

6 Угол наклона верхней трехпучковой части горловины сортировочного парка относительно базиса парка β_3 (рисунок 5.24) при исходных данных

$R_H = R_2 = 200$ м; $R_K = R_{31} = 250$ м; $\alpha_H = \alpha/2$; $\Sigma\alpha_0 = \alpha/2 + \beta_1 + \omega$; $f = 7,57$ м;
 $d_1 = d_3 = 5$ м; $d_2 = d_4 = 5,26$ м; $y_K = 8,55$ м находится следующим образом:

$$T_1 = R_5 \operatorname{tg} ((\beta_1 - \alpha/2)/2); T_2 = R_{11} \operatorname{tg} ((\omega - \alpha/2)/2);$$

$$y_H = e'/2 + a \sin (\alpha/2);$$

$$M = (d_1 + L_{\text{ТП}} + d_2 + a) + 23,84 \cos (\alpha/2) + (b + f + T_1) \cos \alpha + \\ + (T_1 + d_3 + L_{\text{ТП}} + d_4 + a) \cos (\alpha/2 + \beta_1) + (b + T_2) \cos (\alpha + \beta_1) + \\ + (T_2 + a) \cos (\alpha/2 + \beta_1 + \omega) + 23,84 \cos (\beta_1 + \omega) + b \cos (\alpha/2 + \beta_1 + \omega);$$

$$N = 23,84 \sin (\alpha/2) + (b + f + T_1) \sin \alpha + (T_1 + d_3 + L_{\text{ТП}} + d_4 + a) \sin (\alpha/2 + \beta_1) + \\ + (b + T_2) \sin (\alpha + \beta_1) + (T_2 + a) \sin (\alpha/2 + \beta_1 + \omega) + 23,84 \sin (\beta_1 + \omega) + \\ + b \sin (\alpha/2 + \beta_1 + \omega).$$

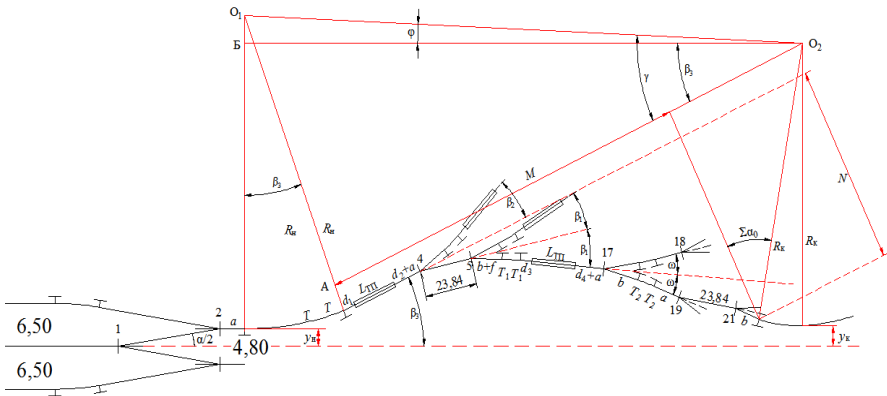


Рисунок 5.24 – Расчетная схема определения угла поворота β_3

После подстановки исходных данных получаем:

$$T_1 = 200 \operatorname{tg} ((5,34258 - 9,46233/2)/2) = 1,07 \text{ м};$$

$$T_2 = 250 \operatorname{tg} ((6,93825 - 9,46233/2)/2) = 4,82 \text{ м};$$

$$y_H = 4,8/2 + 6,95 \sin (0) = 2,4 \text{ м};$$

$$M = (5 + 13,48 \cdot 2 + 5,26 + 6,95) + 23,84 \cos (9,46233/2) + \\ + (10,56 + 7,57 + 1,07) \cos 9,46233 + (1,07 + 5 + 13,48 \cdot 3 + 5,26 + \\ + 6,95) \cos (9,46233/2 + 5,34258) + (10,56 + 4,82) \cos (9,46233 + 5,34258) + \\ + (4,82 + 6,95) \cos (9,46233/2 + 5,34258 + 6,93825) + 23,84 \cos (5,34258 + \\ + 6,93825) + 10,56 \cos (9,46233/2 + 5,34258 + 6,93825) = 204,19 \text{ м};$$

$$N = 23,84 \sin (9,46233/2) + (10,56 + 7,57 + 1,07) \sin 9,46233 + (1,07 + 5 + \\ + 13,48 \cdot 3 + 5,26 + 6,95) \sin (9,46233/2 + 5,34258) + (10,56 + \\ + 4,82) \sin (9,46233 + 5,34258) + (4,82 + 6,95) \sin (9,46233/2 + 5,34258 + \\ + 6,93825) + 23,84 \sin (5,34258 + 6,93825) + 10,56 \sin (9,46233/2 + \\ + 5,34258 + 6,93825) = 30,92 \text{ м}.$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{200 - 250 \cos(9,46233/2 + 5,34258 + 6,93825) + 30,92}{204,19 + 250 \sin(9,46233/2 + 5,34258 + 6,93825)} = -0,02934;$$

$$\gamma = \arctg(-0,02934) = -1,68048^\circ, \text{ или } 1^\circ 40' 50'';$$

$$\sin \varphi = \frac{250 + 8,55 - 2,4 - 200 \cos(0)}{204,19 + 250 \sin(9,46233/2 + 5,34258 + 6,93825)} \cos(-1,68048) = 0,20238;$$

$$\varphi = \arcsin 0,20238 = 11,67621^\circ = 11^\circ 40' 34''.$$

$$\beta_3 = \varphi + \gamma = 11,67621^\circ + (-1,68048^\circ) = 9,99573^\circ = 9^\circ 59' 45''.$$

7 Определяем углы поворота наклонной части сортировочных путей относительно оси сортировочного парка (базиса). Величина этих углов равна алгебраической сумме всех предшествующих им углов поворота, как положительных, так и отрицательных, включая стрелочные. Начало отсчета ведётся от базисной точки, в данном примере – от центра стрелочного перевода № 1 (см. рисунок 5.24).

Например, угол поворота кривой с ВУП № 12 определяется следующим образом (все стрелочные переводы однотипные – с углом крестовины $\alpha_{сп}$ и $\alpha_{спi} / 2 = \alpha_{сп} / 2$):

$$\alpha_{кр12} = \alpha_{сп1} / 2 - \alpha_{сп2} / 2 + \alpha_{кр2} + \alpha_{сп4} / 2 + \alpha_{кр3} + \alpha_{сп6} / 2 + \alpha_{кр6} - \alpha_{сп7} / 2 + \alpha_{сп9} / 2 = \\ = \alpha_{сп} + \alpha_{кр2} + \alpha_{кр3} + \alpha_{кр6} = 9,46233 + 9,99573 + 6,63096 + 2,01112 = 28,10014^\circ.$$

Величины углов поворота s -образных кривых подбираются таким образом, чтобы междупутье между кривыми и соседними наклонными участками путей было не менее минимально допустимого 4,8 м. Величины углов поворота в криволинейных участках путей горловины сортировочного парка, в т. ч. образующих и s -образные кривые, и другие их характеристики представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – **Ведомость кривых участков путей ½ части горочной горловины**

Номер кривой	Угол поворота α , град	Длина тангенса T , м	Длина кривой K , м	Длина радиуса R , м
1	4,731165	8,26	16,51	200
2	9,995726	17,49	34,89	200
3	6,630963	11,59	23,15	200
4	0,611413	1,07	2,13	200
5	0,611413	1,07	2,13	200
6	2,01112	4,39	8,78	250
7	2,064197	4,5	9,01	250
8	2,207087	4,82	9,63	250
9	2,207087	4,82	9,63	250
10	2,207087	4,82	9,63	250

Окончание таблицы 5.1

Номер кривой	Угол поворота α , град	Длина тангенса T , м	Длина кривой K , м	Длина радиуса R , м
11	2,207087	4,82	9,63	250
12	28,100139	55,06	107,9	220
13	18,637809	37,74	74,82	230
14	24,024822	50	98,54	235
15	14,562492	31,94	63,54	250
16	14,562492	31,94	63,54	250
17	6,844064	14,95	29,86	250
18	11,944226	26,15	52,12	250
19	22,276556	49,22	97,2	250
20	17,545391	38,58	76,56	250
21	8,083061	17,66	35,27	250
22	13,131217	37,98	75,63	330
23	3,668887	8,01	16,01	250
24	4,731165	10,33	20,64	250
25	3,668887	8,01	16,01	250
26	11,5914	43,65	86,99	430
27	6,860235	28,77	57,47	480
28	4,731165	10,33	20,64	250
29	2,12907	4,65	9,29	250
30	2,446061	21,35	42,69	1000
31	7,016269	15,33	30,61	250
32	11,747434	25,72	51,26	250

8 Выполняется расчет координат основных точек, в которых преломляются прямолинейные в плане участки путей: центров стрелочных переводов и вершин углов поворота. Положение вершины горки определяется в соответствии с подразд. 6.2 данного пособия. Координаты основных точек следует рассчитывать в строгой последовательности их размещения, заполняя ведомость координат элементов плана горочной горловины (таблица 5.2).

Значения первых четырех граф определяются расчетом в соответствии со схемой горочной горловины (см. рисунок 5.18) на основании данных таблицы 5.1. Для соединительных кривых, расположенных за крайними стрелочными переводами, ведущими на пути сортировочного парка, вместо 3-й графы заполняется 10-я, так как расстояния между расчетными и связующими точками ещё неизвестны, а координаты у вершин их углов равны сумме соответствующих междупутий. Для кривых, расположенных за крайними стрелочными переводами, заполняются графы 5 и 7, а для остальных – 5 и 6.

Приращение координат определяется по формулам:

– для кривых, расположенных за последними стрелочными переводами,

$$\Delta y = y - y_{св}; \Delta x = \Delta y / \operatorname{tg}\varphi;$$

– для остальных $\Delta y = L \sin \varphi; \Delta x = L \cos \varphi$.

Таблица 5.2 – Водомость координат основных точек плана ½ части горочной горловины

Номер точки		Расстояние L , м	Угол наклона линии к базису φ , град	Тригонометрические функции угла наклона линии к базису			Приращение координат, м		Координаты, м	
связующей	расчетной			$\sin\varphi$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Δy	Δx	y	x
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Верхний пучок. Координаты начальной точки ЦП1 (0;0)</i>										
ЦП1	ЦП2	29,1	4,731165	0,082481	0,996593		2,40	29,0	2,40	29,0
ЦП2	ВУ2	24,44	0	0	1		0	24,44	2,40	53,44
ВУ2	ЦП4	61,66	9,99573	0,173575	0,984821		10,70	60,72	13,10	114,16
ЦП4	ВУ3	22,15	14,72689	0,254212	0,967149		5,63	21,42	18,73	135,58
ВУ3	ЦП6	68,24	21,35783	0,364191	0,931324		24,85	63,55	43,58	199,13
ЦП6	ВУ6	14,95	26,08899	0,439766	0,898112		6,57	13,43	50,16	212,56
ВУ6	ЦП7	14,95	28,10012	0,471013	0,882126		7,04	13,19	57,20	225,74
ЦП7	ЦП9	19,16	23,36895	0,39665	0,91797		7,6	17,59	64,80	243,33
ЦП9	ВУ12	65,71	28,10012	0,471013	0,882126	0,533952	30,95	57,97	95,75	301,30
ЦП9	ВУ13	80,27	18,63779	0,319584	0,947558	0,337271	25,65	76,06	90,45	319,39
ЦП6	ВУ7	15,06	16,62666	0,286134	0,95819		4,31	14,43	47,89	213,57
ВУ7	ЦП8	11,45	14,56241	0,251434	0,967874		2,88	11,09	50,77	224,65
ЦП8	ЦП10	29,10	19,29358	0,330408	0,943838		9,61	27,46	60,39	252,12
ЦП10	ВУ14	60,82	24,02474	0,407131	0,91337	0,445746	24,76	55,55	85,15	307,67
ЦП10	ВУ15	77,40	14,56241	0,251434	0,967874	0,25978	19,46	74,92	79,85	327,03
ЦП8	ЦП11	29,10	9,831247	0,170747	0,985315		4,97	28,67	55,74	253,32
ЦП11	ВУ16	74,80	14,56241	0,251434	0,967874	0,25978	18,81	72,40	74,55	325,72
ЦП11	ВУ17	25,50	5,100082	0,088896	0,996041		2,27	25,40	58,01	278,72
ВУ38	ВУ18	54,33	11,94008	0,206888	0,978365	0,211464	11,24	53,16	69,25	331,88
<i>Средний пучок. Координаты начальной точки ЦП4 (13,10;114,16)</i>										
ЦП4	ЦП5	23,84	5,264565	0,091755	0,995782		2,19	23,74	15,29	137,90
ЦП5	ВУ4	19,20	9,99573	0,173575	0,984821		3,33	18,91	18,62	156,81
ВУ4	ЦП12	58,72	10,60715	0,184074	0,982912		10,81	57,71	29,43	214,52
ЦП12	ВУ8	15,38	15,33831	0,264518	0,964381		4,07	14,83	33,50	229,35
ВУ8	ЦП13	11,77	17,5454	0,301461	0,953478		3,55	11,22	37,04	240,57
ЦП13	ВУ19	67,81	22,27657	0,379077	0,925365	0,409652	25,71	62,75	62,75	303,32
ЦП13	ЦП15	23,84	12,81424	0,221791	0,975094		5,29	23,25	42,33	263,81
ЦП15	ВУ20	50,15	17,5454	0,301461	0,953478	0,31617	15,12	47,82	57,45	311,63
ЦП15	ВУ21	69,82	8,08307	0,140609	0,990065	0,14202	9,82	69,13	52,15	332,95
ЦП12	ВУ9	15,38	5,875981	0,102375	0,994746		1,57	15,29	31,0	229,82
ВУ9	ЦП14	11,77	3,668892	0,06399	0,997951		0,75	11,74	31,76	241,56
ЦП14	ЦП16	23,84	8,400057	0,146084	0,989272		3,48	23,58	35,24	265,14
ЦП16	ВУ22	51,1	13,13122	0,227182	0,973852	0,233282	11,61	49,77	46,85	314,91
ЦП16	ВУ23	98,61	3,668892	0,06399	0,997951	0,064122	6,31	98,40	41,55	363,55
ЦП14	ВУ24	34,36	-1,06228	0,018539	0,999828	0,018542	0,64	34,34	31,12	275,91
ВУ24	ВУ25	80,16	3,668887	0,06399	0,997951	0,064122	5,13	79,99	36,25	355,9

Окончание таблицы 5.2

Номер точки		Расстояние L , м	Угол наклона линии к базису φ , град	Тригонометрические функции угла наклона линии к базису			Приращение координат, м		Координаты, м	
связующей	расчетной			$\sin\varphi$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Δy	Δx	y	x
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Нижний пучок. Координаты начальной точки ЦП5 (15,29;137,90)</i>										
ЦП5	ВУ5	19,20	0,5334	0,009309	0,999957		0,18	19,20	15,47	157,10
ВУ5	ЦП17	58,72	-0,07802	-0,00136	0,999999		-0,08	58,72	15,39	215,82
ЦП17	ВУ10	15,38	4,653148	0,081123	0,996704		1,25	15,33	16,64	231,14
ВУ10	ЦП18	11,77	6,860237	0,119448	0,99284		1,41	11,68	18,04	242,82
ЦП18	ВУ26	58,27	11,5914	0,200931	0,979605	0,205114	11,71	57,08	29,75	299,91
ЦП18	ЦП20	23,84	2,129072	0,037151	0,99931		0,89	23,82	18,93	266,65
ЦП20	ВУ27	46,24	6,860237	0,119448	0,99284	0,120309	5,52	45,90	24,45	312,55
ЦП20	ВУ28	22,31	-2,60210	0,453996	0,998969		1,18	22,27	17,75	288,92
ВУ28	ВУ29	37,79	2,129070	0,037151	0,999310	0,037176	1,4	37,77	19,15	326,69
ЦП17	ВУ11	15,38	-4,80918	-0,08384	0,996479		-1,29	15,32	14,10	231,14
ВУ32	ЦП19	11,77	-7,01627	-0,12215	0,992512		-1,44	11,68	12,66	242,82
ЦП19	ЦП21	23,84	-2,28511	-0,03987	0,999205		-0,95	23,82	11,71	266,64
ЦП21	ВУ30	50,09	2,446059	0,042679	0,999089	0,042718	2,14	50,05	13,85	316,68
ЦП21	ВУ31	25,89	-7,01627	-0,12215	0,992512	-0,12307	-3,16	25,69	8,55	292,33
ЦП19	ВУ32	46,23	-11,7474	-0,2036	0,979055	-0,20795	-9,41	45,26	3,25	288,08

Координаты расчетных точек (графы 10 и 11)

$$y = y_{св} + \Delta y; x = x_{св} + \Delta x,$$

где $y_{св}$ и $x_{св}$ – координаты связующих точек.

Расстояния между расчетными и связующими точками для кривых участков, расположенных за крайними стрелочными переводами, можно определить после расчета координат по формулам:

$$L = \Delta y / \sin\varphi; L = \Delta x / \cos\varphi.$$

Необходимо следить, чтобы длины участков между центрами стрелочных переводов, в пределах которых расположены дополнительные (конструктивные) кривые, были не менее 23,84 м (23,96 м) при использовании стрелочных переводов марки крестовины 1/6 Р65 (Р50). Такими контролируемыми значениями являются длины участков ЦП6–ЦП7, ЦП6–ЦП8, ЦП12–ЦП13, ЦП12–ЦП14, ЦП17–ЦП18 и ЦП17–ЦП19. Также контролируется правильность вписывания всех закрестовинных кривых при принятых радиусах.

Пример 5.9. Для станции с последовательным расположением парков необходимо запроектировать выходную горловину сортировочного парка на 32 пути. В конструкции применяются стрелочные переводы марки 1/9; для маневровой работы по окончанию формирования поездов требуется три вытяжных пути.

Решение. Конструкция выходной горловины сортировочного парка определяется принципиальной схемой станции, количеством путей в парке, маневровых вытяжек, конструкцией стрелочных переводов, а также способом формирования и подборки местных вагонов. Горловину делим на маневровые районы. Их количество зависит от количества примыкающих к сортировочному парку вытяжных путей. В каждом районе с помощью стрелочных переводов пути парка объединяем в пучки (с примерно одинаковым количеством путей и стрелочных переводов) и подключаем к одной из маневровых вытяжек так, чтобы обеспечить возможность одновременной работы локомотивов во всех маневровых районах. Кроме того, предусматриваем взаимозаменяемость вытяжных путей.

Выходную горловину (рисунок 5.25) сортировочного парка разбиваем на три маневровых района: первый – вытяжной путь 16 и пучок путей 1 – 11; второй – вытяжной путь 15 и пучок 12 – 22 и третий – вытяжной путь 17 и пучок 23 – 32. Это позволит выполнять маневровую работу изолированно в каждом районе. Съезды 393 – 395, 397 – 399, 401 – 403 и 405 – 407 предусматривают взаимозаменяемость вытяжных путей, а вытяжной путь 15 связывает пучки между собой. Пути среднего пучка укладываем под одним или двумя углами крестовины, а крайних пучков – под углами от α до 4α . Это сокращает длину горловины и улучшает условия для маневровой работы. За стрелочными переводами 391 и 393 по схеме I укладываем стрелочные переводы 389 и 387, с помощью которых обеспечим связь вытяжных путей с главным (соединительным путем или ходовым путем) для подачи поездных локомотивов и отправления поездов с путей сортировочного парка.

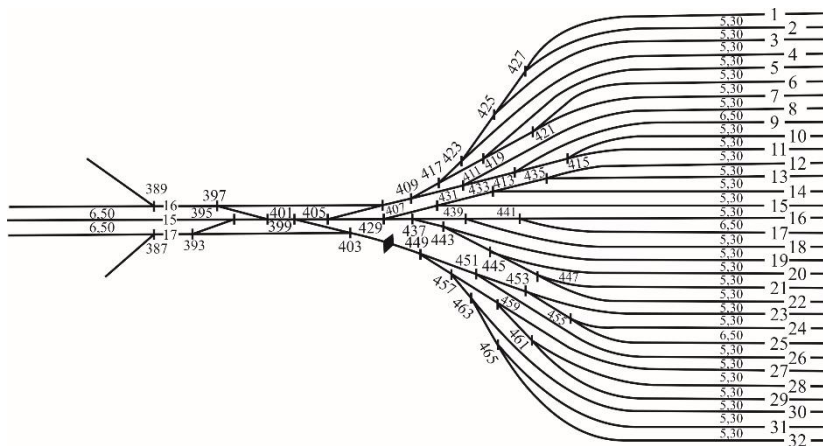


Рисунок 5.25 – Конструкция выходной горловины сортировочного парка

Пример 5.10. Требуется разработать конструкцию горловин объединенного парка отправления сортировочной станции с последовательным расположением парков. Путевое развитие, схема расположения подходов и специализация главных и станционных путей показаны на рисунке 5.26.

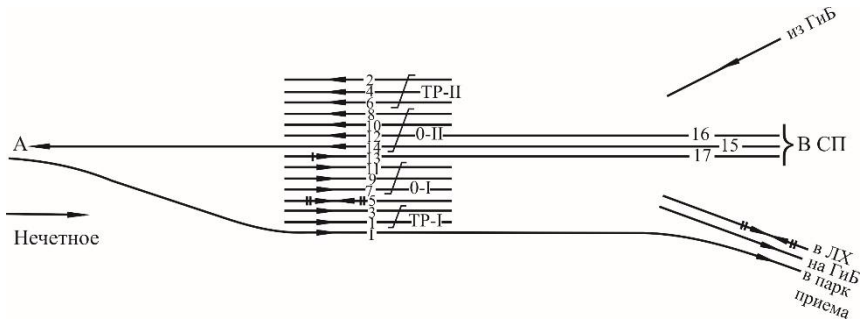


Рисунок 5.26 – Специализация путей объединенного парка отправления на сортировочной станции

Решение. Во входной горловине (рисунок 5.27) объединенного парка отправления предусматриваются следующие операции:

- формирование составов всеми маневровыми локомотивами, прикрепленными к районам формирования, а также перестановку составов из сортировочного парка в отправочный;
- подачу поездных локомотивов (на часть путей);
- отправление поездов в направлении, противоположном направлению сортировки.

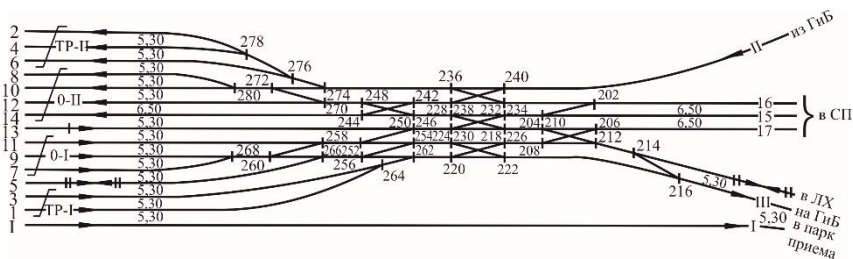


Рисунок 5.27 – Конструкция входной горловины объединенного парка отправления

Кроме того, изолируем маршруты отправления нечетных транзитных поездов от подачи поездных локомотивов в парк отправления; обеспечиваем прием четных транзитных поездов на отправочные пути, а также связь путей

транзитных парков с вытяжными путями; изолируем прием и отправление поездов от вывода составов из сортировочного парка.

В горловине одновременно можно выполнять шесть операций в различной комбинации.

В *выходной горловине* (рисунок 5.28) объединенного парка отправления обеспечиваем не менее трёх параллельных операций:

- прием поездов, в нечетный транзитный парк;
- отправление поездов из четного транзитного или отправочного парка;
- подачу или уборку поездных локомотивов;
- передвижение маневрового локомотива (одиночного или с группой вагонов).

Для подачи и уборки поездных локомотивов предусматриваем локомотивный тупик 19 (при значительных размерах движения их может быть два). Как правило, его укладывают на продолжении ходовых, а при их отсутствии – на продолжении одного из средних отправочных путей (на рисунке 5.28 – на продолжении ходового пути 13). Для работы с транзитными поездами (перцепки групп, выкиды вагонов с техническим и коммерческим браком и др.) укладываем вытяжкой путь 18 (на половину длины состава), подключая его к транзитному парку и связывая со всеми отправочными путями. Диспетчерский съезд 203 – 205 повышает маневренность парка и всей станции. В горловине можно выполнять четыре параллельные операции в различных комбинациях.

5.3 Пассажирские станции и станции технического обслуживания пассажирского подвижного состава

Пример 5.11. Разработаем конструкции горловин пассажирской станции сквозного типа, через которую предусмотрен пропуск грузовых поездов. Путевое развитие, специализация путей и взаимное расположение основных устройств показаны на рисунке 5.29.

Решение. В горловинах пассажирских станций должно быть наименьшее количество враждебных маршрутов. При этом надо обеспечить маневренность так, чтобы количество параллельных операций по возможности было равно количеству главных и ходовых путей. При значительных размерах движения и когда приемо-отправочных путей много, следует проектировать параллельные стрелочные улицы для всех или части путей в зависимости от их специализации или характера работы. Учитывая, что в примере технический парк и локомотивное предприятие расположены между главными путями со стороны *A*, в горловинах целесообразно максимально изолировать пропуск грузовых и пассажирских транзитных поездов от выполнения операций – обслуживания пассажирских составов конечных поездов.

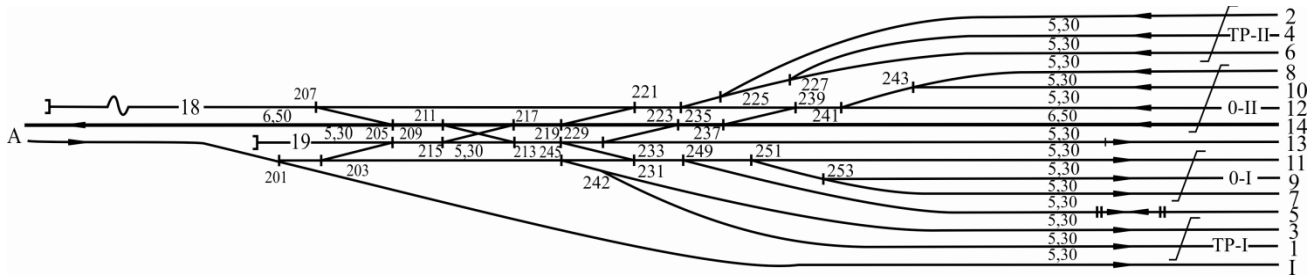


Рисунок 5.28 – Конструкция выходной горловины объединенного парка отправления

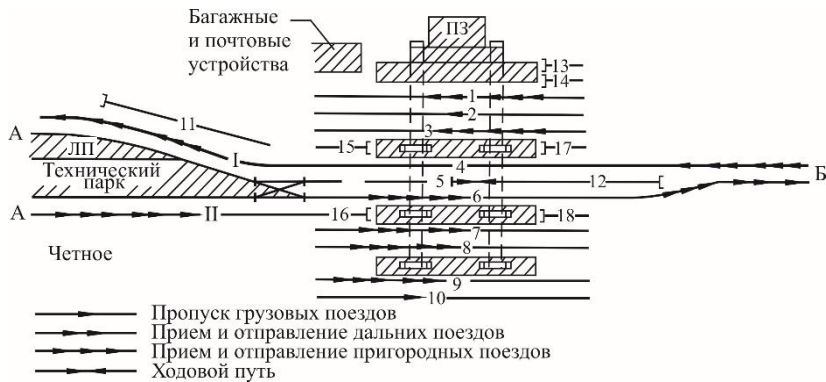


Рисунок 5.29 – Взаимное расположение основных устройств и специализация путей на пассажирской станции сквозного типа

В *четной горловине* (рисунок 5.30) путь 2 для пропуска грузовых поездов подключаем к главному пути I через стрелочные переводы 26, 22, 20/18, 16/14 и путь 10 к главному пути II стрелочным переводом 2. Пути II и 9, специализируемые для приема и отправления транзитных пассажирских поездов межрегиональных и региональных линий, следующих по маятниковому графику, соединяем соответственно с главными путями I и II стрелочными переводами 14/16, 18/20, 22, 26 и 56/58, 60. Внутренние пути, предназначенные в основном для приема и отправления конечных пассажирских поездов межрегиональных и региональных линий, соединяем с главными и ходовыми в технический парк, укладывая два независимых хода: с путей 3, 4 по стрелочным переводам 30 – 32, 34/36, 38/40, 42/44, а с путей 6, 7, 8 – по 68/70, 72/74, 76/78, 80, 82. Для приема и отправления поездов по неправильному пути и повышения маневренности станции, наметившиеся двойные стрелочные улицы дополняем съездами 4 – 6, 8 – 10, 12 – 14, 28 – 30, 66 – 68, 46 – 48, 50 – 52, 54 – 56. Для выполнения маневровой работы (подачи и уборки вагонов к багажным устройствам) и изоляции ее от приема и отправления поездов вытяжной путь 11 и погрузочно-выгрузочные пути соединяем с приемо-отправочными перекрестным стрелочным переводом 64/66, съездом 22 – 24 и участками пути между стрелками 62 – 18 и 84 – 24. При этом в горловине можно одновременно выполнять операции:

- прием и отправление грузовых или пассажирских поездов с крайних путей;
- вывод составов пассажирских поездов из технического парка и подачу на внутренние пути;
- маневровую работу – подачу (уборку) вагонов к багажным и почтовым устройствам.

Аналогичная конструкция *нечетной горловины* (рисунок 5.31). Здесь для приема и отправления поездов и маневровой работы также предусматриваем двойные стрелочные улицы: в нечетном направлении – 11 – 13, 15, 17, 23, 25 и 27, 29/31, 33, 35; в четном – 37, 39/41, 43, 45/47, 49 и 7/9, 51/53, 55, 57, 59. Съезды 1 – 3 и 7/9 – 5 диспетчерские. Для маневровой работы предусматривается путь 14.

Пример 5.12. Разработаем конструкции горловин пассажирской технической станции, предусмотрев в парке приема шесть путей, ремонтно-экипировочном депо – четыре, парке отправления – четыре, парке местных составов – три и один путь в цехе наружной обмывки составов. Взаимное расположение парков станции, ремонтно-экипировочного и вагонного депо приведено на рисунке 5.32.

Решение. Учитывая, что техническая станция соединена с пассажирской двухпутной линией, в *четной горловине* (рисунок 5.33) целесообразно, прежде всего, изолировать маршруты приема в парк отстоя местных составов и отправления с путей 1 – 4 дальних пассажирских составов, уложив съезд 10 – 12.

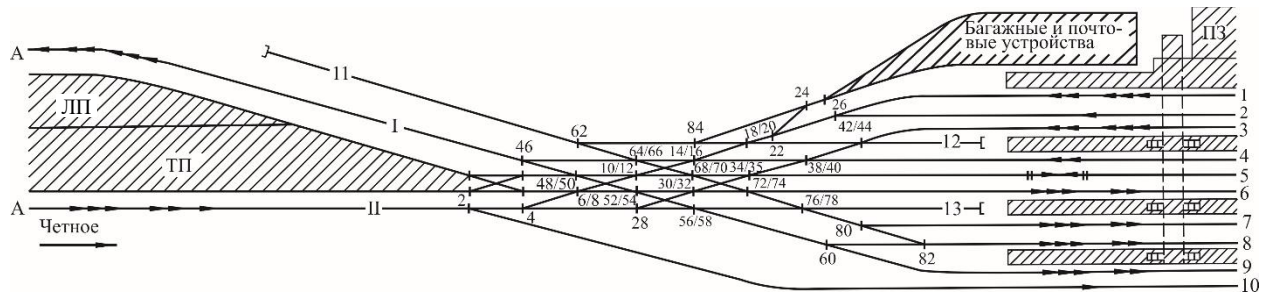


Рисунок 5.30 – Конструкция четной горловины пассажирской станции сквозного типа (обозначения те же, что на рисунке 5.29)

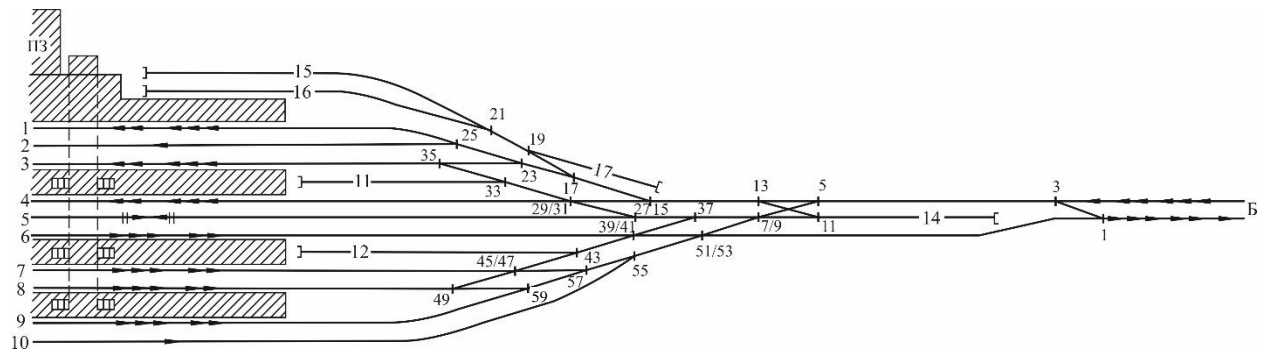


Рисунок 5.31 – Конструкция нечетной горловины пассажирской станции сквозного типа (обозначения те же, что на рисунке 5.29)

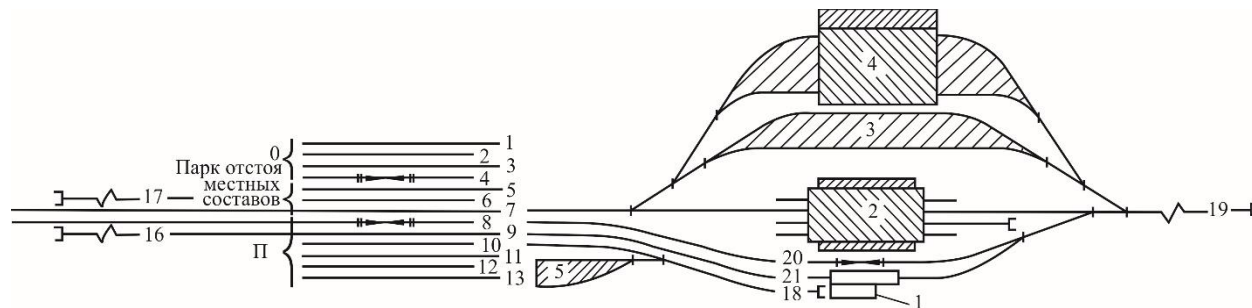


Рисунок 5.32 – Взаимное расположение основных устройств и специализация путей на пассажирской технической станции:
 1 – вагономоечная машина; 2 – ремонтно-экипировочное депо; 3 – парк резервных составов; 4 – вагонное депо; 5 – пункт газовой обработки вагонов

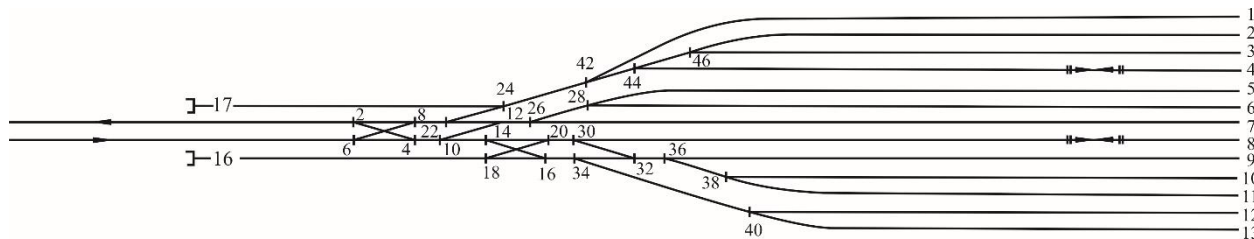


Рисунок 5.33 – Конструкция четной горловины на пассажирской технической станции

6 СОРТИРОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

6.1 Силы, действующие на отцеп при скатывании с горки

Пример 6.1. Определим дополнительное удельное сопротивление от воздушной среды и ветра при движении на спусковой части сортировочной горки в неблагоприятных условиях скатывания:

- одного крытого четырехосного вагона массой 30 т брутто;
- двух четырехосных полувагонов массой каждого 84 т брутто.

Средняя скорость движения отцепов 5 м/с. Встречный ветер направлен под углом $\beta = 30^\circ$ к вектору движения отцепов. Скорость ветра $v_v = 5$ м/с. Расчетная температура воздуха $t^\circ = -20^\circ\text{C}$.

Р е ш е н и е. Дополнительное удельное сопротивление движению отцепа от воздушной среды и ветра $w_{\text{ср}}$, Н/кН [7, 33]:

- для одиночных вагонов

$$\pm w_{\text{ср}} = \frac{17,8C_x S}{(273 + t^\circ) q} v_p^2, \quad (6.1)$$

- для отцепов из нескольких вагонов

$$\pm w_{\text{ср}} = 17,8 \frac{C_x S + \sum_{j=2}^n C_{xj} S_j}{(273 + t^\circ) \sum_{j=1}^n q_j} v_p^2, \quad (6.2)$$

где C_x, C_{xj} – коэффициенты воздушного сопротивления соответственно одиночных вагонов или первого и последующих вагонов (кроме первого) в отцепе;

S, S_j – площадь поперечного сечения (мидель) соответственно одиночного или первого и последующих вагонов в отцепе, м^2 ;

q – масса вагона, т;

$\sum_{j=1}^n q_j$ – масса отцепа из n вагонов, т;

t° – расчетная температура воздуха, $^\circ\text{C}$;

v_p – результирующая относительная скорость движения отцепа с учетом направления ветра, м/с.

Коэффициенты воздушного сопротивления C_x и C_{xj} выбирают в зависимости от рода вагона и угла α между результирующим вектором движения

отцепа и направлением ветра (таблица 6.1) [7, 33]. Результирующую скорость v_p и угол α можно вычислить по формулам:

$$v_p^2 = v_{cp}^2 + v_b^2 \pm 2v_{cp}v_b \cos\beta \quad \text{при } 0 \leq \beta \leq 90; \quad (6.3)$$

$$\alpha = \arcsin(v_b \sin\beta / v_p) \quad \text{или} \quad \alpha = \arctg \left[v_b \sin\beta / \sqrt{v_p^2 - (v_b \sin\beta)^2} \right], \quad (6.4)$$

где v_{cp} – средняя скорость движения отцепа на участке расчетной части горки, м/с (определяется в зависимости от типа горки, как показано в примере 6.2. По условию данного примера $v_{cp} = 5$ м/с);

v_b – скорость ветра, принимаемая постоянной на всем протяжении расчетной части горки, м/с;

β – угол между направлением ветра и осью участка пути, по которому движется отцеп, град.

С допустимой погрешностью, если угол $\beta < 30^\circ$, можно считать

$$v_p = v_{cp} \pm v_b \quad \text{и} \quad \alpha = \beta / 2. \quad (6.5)$$

Т а б л и ц а 6.1 – Значения коэффициентов воздушного сопротивления вагонов, необходимых для расчета w_{cp}

Род вагона	Количество осей	S, м ²	Угол α между результирующим вектором относительной скорости и направлением движения отцепа, град						
			0	10	20	30	50	70	90
<i>Значения коэффициентов воздушного сопротивления $C_x/C_{ст}$</i>									
Полувагон	4	8,5	1,36	1,68	1,83	1,76	1,11	0,43	0,10
			0,50	0,69	0,82	0,88	0,80	0,43	0,10
Крытый	4	9,7	1,12	1,46	1,64	1,58	0,92	0,29	0,10
			0,22	0,38	0,56	0,67	0,85	0,29	0,10
Полувагон	8	10,7	1,56	1,95	2,09	2,03	1,15	0,40	0,15
			0,75	0,97	1,13	1,16	0,88	0,40	0,15
<i>Значения коэффициентов воздушного сопротивления C_x</i>									
Платформа	4	4,1	1,51	2,02	2,30	2,23	1,30	0,40	0,10
Цистерна	4	9,8	0,59	0,82	0,96	0,96	0,56	0,19	0,05
Цистерна	8	10,3	0,81	1,08	1,22	1,10	0,65	0,19	0,05
Хоппер	4	9,9	0,92	1,18	1,38	1,46	1,21	0,68	0,25
<i>Примечание</i> – Воздушное сопротивление четырехосной платформы с контейнерами принимается равным сопротивлению крытого четырехосного вагона.									

Знак «+» в формулах следует принимать при встречном ветре, знак «-» – при попутном. Знак величины сопротивления от воздушной среды w_{cp} в формулах (6.1) и (6.2) необходимо принимать согласно знаку выражения ($v_{cp} \pm v_b \cos \beta$). Так, при значительном превышении скорости попутного ветра v_b средней скорости скатывания отцепа на участке расчетной части сортировочной горки v_{cp} и малых углах β w_{cp} будет со знаком «-». В этом случае возникает дополнительная удельная движущая сила ветра, действующая на отцеп. В нашем примере для отцепа из одного крытого четырехосного вагона:

$$v_p^2 = 5^2 + 5^2 + 2 \cdot 5 \cdot 5 \cos 30^\circ = 93,30 \text{ (м/с)}^2; v_p = 9,66 \text{ м/с};$$

$$\alpha = \arcsin(5 \sin 30^\circ / 9,66) = \arcsin 0,25880 = 15^\circ.$$

В соответствии с таблицей 6.1, используя метод интерполяции, для крытого вагона коэффициент воздушного сопротивления $C_x = [5 (1,64 - 1,46) / 10] + 1,46 = 1,55$. Тогда $w_{cp} = 17,8 \cdot 1,55 \cdot 9,7 \cdot 93,3 / \sqrt{73 - 20} = 3,29 \text{ Н/кН}$.

Аналогично для отцепа из двух четырехосных полувагонов при $v_p = 9,66 \text{ м/с}$ и $\alpha = 15^\circ$ $C_x = [5 (1,83 - 1,68) / 10] + 1,68 = 1,76$; $C_{x2} = [5 (0,82 - 0,69) / 10] + 0,69 = 0,76$. Тогда

$$w_{cp} = 17,8(1,76 \cdot 8,5 + 0,76 \cdot 8,5) \cdot 93,3 / \sqrt{73 - 20} = 0,84 \text{ Н/кН}.$$

Пример 6.2. Определим работу всех сил сопротивления при движении «плохого» бегуна (четырёхосного крытого вагона на подшипниках качения) по симметричному стрелочному переводу марки 1/6 (Р50) в неблагоприятных условиях скатывания при встречном лобовом ветре $v_b = 4 \text{ м/с}$ ($\beta = 0^\circ$). Расчетная температура воздуха $t = -25^\circ \text{С}$. Расчетная масса «плохого» бегуна $m = 30 \text{ т}$ (легкосредняя категория вагона). Стрелочный перевод находится на спускной части горки большой мощности на расстоянии 160 м от ее вершины – в третьей зоне скоростей от начала второй тормозной позиции до начала парковой тормозной позиции (таблица 6.2). В данной зоне действует дополнительное сопротивление снега и инея.

Решение. Работа всех сил сопротивления $A_{пол}$ в неблагоприятных условиях скатывания в пределах стрелочного перевода (Н·м) [7; 32; 33]

$$A_{пол} = mg' [L_{п} (w_o + w_{сн}) + 0,56 + 0,23 \alpha_{пер} \bar{v}_{стр}^2], \quad (6.6)$$

где m – масса отцепа, т;

g' – коэффициент приведения ускорения свободного падения «плохого» бегуна под действием силы тяжести с учетом инерции вращающихся частей вагона, м/с^2 ;

$L_{п}$ – полная длина стрелочного перевода по оси пути, м;

w_o – основное удельное сопротивление, Н/кН;

$w_{сн}$ – дополнительное удельное сопротивление снега и инея, Н/кН;

0,56 – коэффициент, учитывающий удельную работу сил сопротивления движению от ударов колес вагонов на стрелочном переводе (обостряки, крестовины и контррельсы);

0,23 – коэффициент, учитывающий удельную работу сил сопротивления движению в переводной кривой;

$\alpha_{пер}$ – угол поворота в пределах переводной кривой стрелочного перевода, град (для 1/6 с $\alpha_{кр} = \alpha_{кр}/2 = 4,73^\circ$);

$\bar{v}_{стр}$ – средняя скорость движения вагона в пределах стрелочного перевода, м/с (в соответствии с таблицей 6.2 и [7; 33] в пределах третьего расчетного участка горок большой мощности $\bar{v}_{стр} = 5 \text{ м/с}$).

Т а б л и ц а 6.2 – Средняя скорость движения вагонов на расчетных участках горки

Оборудование горки тормозными позициями	Участок горки	Тип горки			
		ГПМ	ГБМ	ГСМ	ГММ
С двумя тормозными позициями (ТП) на спускной части	От вершины горки до начала первой ТП	4,5	4,2	4,0	3,5
	От начала первой ТП до начала второй ТП	6,0	5,5	5,0	4,0
	От начала второй ТП до начала третьей (парковой) ТП	5,0	5,0	4,0	3,0
	От начала парковой ТП до расчетной точки	2,0	2,0	2,0	1,4
С одной ТП на спускной части	От вершины горки до начала ТП спускной части	–	–	4,5	3,5
	От начала ТП на спускной части до начала парковой ТП	–	–	4,0	3,0
	От начала парковой ТП до расчетной точки	–	–	2,0	1,4
Без ТП на спускной части	От вершины горки до начала парковой ТП	–	–	–	3,0
	От начала парковой ТП до расчетной точки	–	–	–	1,4

Приняв нормированное отклонение основного удельного сопротивления движению вагонов от среднего значения равным 1,75 при 96%-ном уровне доверительной вероятности, определим по таблице 6.3 [7; 33] основное удельное сопротивление $w_0 = 1,54 + 1,75 \cdot 0,59 = 2,57$ Н/кН.

Т а б л и ц а 6.3 – Значения w_0 , $\sigma_{w_0}^{пк}$ и параметры гамма-распределения для расчетных категорий вагонов на роликовых подшипниках

Диапазон веса вагона, кН	Тип расчетного бегуна	Весовая категория вагона		Числовые характеристики распределения \bar{w}_0 , Н/кН	
		Наименование	Обозначение	Среднее значение \bar{w}_0	Среднее квадратическое отклонение $\sigma_{w_0}^{пк}$
До 280	Очень «плохой» (до 250 кН) и «плохой»	Легкая	Л	1,75	0,67
280–440		Легкосредняя	ЛС	1,54	0,59
440–600	«Хороший»	Средняя	С	1,39	0,50
600–720		Среднетяжелая	СТ	1,25	0,38
Свыше 720	«Хороший» и очень «хороший» (свыше 850 кН)	Тяжелая	Т	1,23	0,35

Удельное сопротивление от воздушной среды и ветра по формуле (6.1):

$$w_{cp} = 17,8 \cdot 1,12 \cdot 9,7(5 + 4)^2 / \sqrt{73 - 25} \sqrt{30} = 2,11 \text{ Н/кН.}$$

При расчетной температуре воздуха $t = -25$ °С по [15, таблица 4.7] $w_{\text{сн}} = [5(0,4 - 0,2) / 10] + 0,2 = 0,3$ Н/кН. Приняв $g' = 9,29$ м/с² [15, таблица 4.2], $L_{\text{п}} = 17,51$ м [1, таблица 20] и подставив исходные величины в формулу (6.6), получим

$$A_{\text{пол}} = 30 \cdot 9,29 [17,51 \cdot 0,57 + 2,11 + 0,3] + 0,56 + 0,23 \cdot 4,73 \cdot 5^2 = 35784 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Пример 6.3. Определим угол поворота пути 1.2 сортировочного парка (вершина угла 57 на рисунке 6.1). Координаты основных точек, параметры кривых и расчетные длины элементов плана горочной горловины приведены в таблицах 6.4–6.6. В горловине уложены симметричные стрелочные переводы марки крестовины 1/6.

Т а б л и ц а 6.4 – Координаты основных точек горочной горловины

Номер точки	Y, м	X, м	Номер точки	Y, м	X, м	Номер точки	Y, м	X, м
1	2,65	0	21	13,50	170,72	41	31,99	178,85
2	2,65	31,8	22	14,31	175,00	42	34,37	202,54
3	3,60	43,26	23	15,60	181,83	43	36,25	306,58
4	5,82	70,13	24	18,09	205,51	44	36,25	308,36
5	5,90	71,13	25	19,15	253,37	45	35,79	282,53
6	6,40	77,22	26	24,45	239,07	46	36,12	301,28
7	7,27	83,27	27	29,75	232,98	47	36,25	351,28
8	8,27	90,15	28	29,75	255,08	48	41,55	241,35
9	8,98	116,80	29	29,75	265,13	49	38,24	201,83
10	10,62	143,71	30	29,75	283,88	50	46,85	248,37
11	11,36	155,90	31	29,75	333,88	51	52,15	240,17
12	11,13	166,51	32	10,65	100,49	52	30,82	163,79
13	11,04	170,87	33	12,41	108,15	53	31,48	165,41
14	10,76	175,22	34	14,77	115,65	54	32,17	167,01
15	10,31	182,16	35	15,07	116,60	55	36,35	176,76
16	3,25	229,61	36	23,16	142,32	56	44,58	201,42
17	10,73	205,97	37	26,82	153,97	57	57,45	254,09
18	8,55	239,40	38	29,16	164,32	58	62,75	243,83
19	13,85	237,06	39	30,02	168,15	–	–	–
–20	12,88	166,40	40	30,73	172,01	–	–	–

Р е ш е н и е. Угол поворота любого пути сортировочного парка – алгебраическая сумма углов поворота всех элементов пути, лежащих на маршруте следования отцепа от вершины горки до расчетной точки. Обозначим углы, поворачивающие путь против часовой стрелки, знаком «+», а по часовой стрелке – «–», в пределах переводной кривой стрелочного перевода через $\alpha/2$ – половину угла крестовины. Угол поворота пути № 1.2 с вершиной угла 57:

$$\begin{aligned} \angle 57 = \alpha_{2/2} + \angle 6 + \alpha_{8/2} + \angle 33 + \alpha_{37/2} + \angle 53 - \alpha_{55/2} - \alpha_{56/2} = 9,46^\circ/2 + \\ + 3,50^\circ + 9,46^\circ/2 + 4,50^\circ + 9,46^\circ/2 + 1,00^\circ - 9,46^\circ/2 - 9,46^\circ/2 = 13,73^\circ. \end{aligned}$$

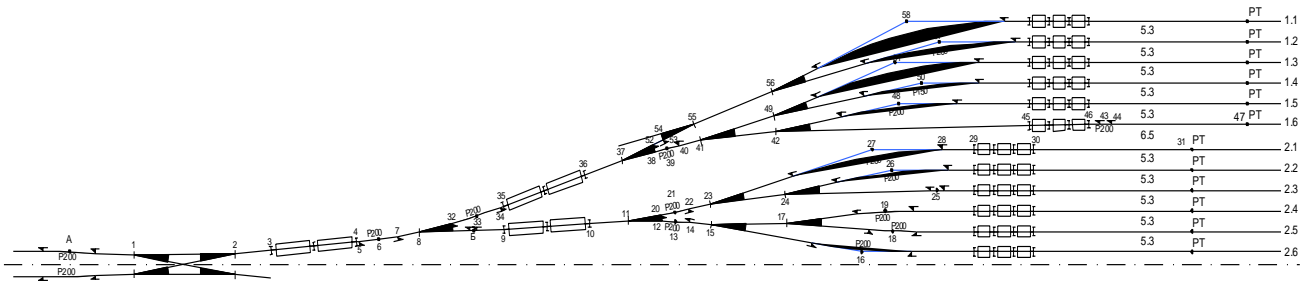


Рисунок 6.1 – Фрагмент схемы горочной горловины сортировочного парка

Т а б л и ц а 6.5 – Характеристика кривых плана горловины сортировочного парка

Номер вершины угла поворота (ВУП)	Угол поворота, град	Длина тангенса (Т), м	Длина кривой (К), м	Радиус кривой (Р), м
А	4,73	8,26	16,51	200
Б	0,6	1,05	2,09	200
6	3,50	6,11	12,22	200
13	2,50	4,36	8,73	200
16	9,06	15,85	31,62	200
18	4,33	7,56	15,11	200
19	5,73	8,96	17,91	200
21	2,50	4,36	8,73	200
25	1,27	2,21	4,43	200
26	10,13	17,73	35,36	200
27	14,86	26,08	51,87	200
33	4,50	7,86	15,71	200
39	2,25	3,93	7,85	200
43	1,02	1,78	3,56	200
48	10,48	18,34	36,59	200
50	10,48	18,34	36,59	200
51	19,94	26,37	52,442	150
53	1,00	1,75	3,49	200
57	13,73	24,08	47,93	200
58	23,19	30,78	60,072	150

Т а б л и ц а 6.6 – Длина расчетных элементов плана горловины сортировочного парка

От точки	До точки	Длина, м	От точки	До точки	Длина, м	От точки	До точки	Длина, м
1	2	31,80	24	25	47,873	42	48	39,47
2	3	11,503	24	26	34,156	41	49	23,81
3	4	26,966	23	27	53,074	49	50	47,33
4	5	1,00	27	28	26,08	49	51	40,78
5	6	6,11	28	29	6,00	37	52	10,61
6	7	6,11	29	30	18,75	52	53	1,75
7	8	6,95	30	31	50,00	53	54	1,75
8	9	26,67	8	32	10,61	54	55	10,61
8	Б	17,00	32	33	7,86	55	56	26,0
9	10	26,966	33	34	7,86	56	57	54,22
10	11	12,216	34	35	1,00	56	58	46,14
11	12	10,61	35	36	26,966	15	РТ.2.6	152,19
12	13	4,36	36	37	12,216	17	РТ.2.5	127,96
13	14	4,36	37	38	10,61	17	РТ.2.4	128,05
14	15	6,953	38	39	3,93	24	РТ.2.3	128,38
15	16	47,974	39	40	3,93	24	РТ.2.2	128,86

Окончание таблицы 6.6

От точки	До точки	Длина, м	От точки	До точки	Длина, м	От точки	До точки	Длина, м
15	17	23,813	40	41	6,95	23	РТ 2.1	153,64
17	18	33,50	41	42	23,81	42	РТ 1.6	148,75
17	19	31,24	42	43	104,05	42	РТ 1.5	149,29
11	20	10,61	43	44	1,78	49	РТ 1.4	150,72
20	21	4,36	42	45	80,00	49	РТ 1.3	152,17
21	22	4,36	45	46	18,75	56	РТ 1.2	151,76
22	23	6,953	46	47	50,00	56	РТ 1.1	152,68
23	24	23,813						

6.2 Расстояние от вершины горки до первого разделительного стрелочного перевода

Пример 6.4. Определим расстояние от вершины горки до остяков первого разделительного стрелочного перевода типа Р50 марки 1/6 при расположении за ним тормозной позиции. Расчетная скорость встречного ветра $v_w = 5$ м/с ($\beta = 0^\circ$). Расчетная температура воздуха $t = -20^\circ \text{C}$. Расчетная масса очень «плохого» бегуна (крытого четырехосного) $q = 22$ т, очень «хорошего» (четырёхосного полувагона) – 85 т (см. таблицы 6.3 и 6.7).

Решение. Расстояние от вершины горки до первого разделительного стрелочного перевода (или первого замедлителя) и уклон профиля на этом участке должны обеспечить при заданном темпе работы горки интервалы между последовательно скатывающимися очень «плохими» (медленными) и очень «хорошими» (быстрыми) бегунами (ОП – ОХ и ОХ – ОП), достаточные для перевода остяков (или шин замедлителя из нетормозного положения в тормозное), расчетную скорость роспуска и исключить нагон отцепов на этом участке [15, 28]. Минимально необходимое расстояние от вершины горки до остяков первого разделительного стрелочного перевода $L_{\min}^{\text{стр}}$ (рисунок 6.2, а) рассчитываем при скорости $v_0 = 1,7$ м/с и неблагоприятных условиях скатывания.

Скорость очень «плохого» бегуна за время хода от вершины горки до первой разделительной стрелки должна возрасти до $v_{\text{стр}}$, которая обеспечила бы проход им расчетного расстояния $l_{\text{расч}}$ за интервал времени между отцепами.

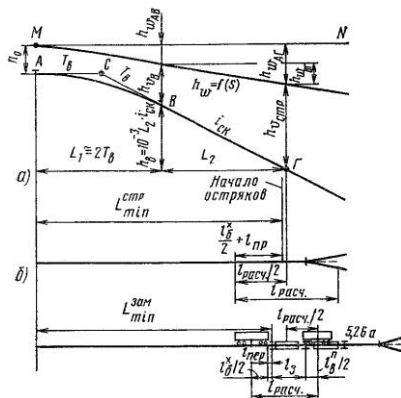


Рисунок 6.2 – Схемы расчета минимального расстояния от вершины горки: а – до начала остяков первого разделительного стрелочного перевода; б – до изолирующего стыка первой тормозной позиции, расположенной перед первым разделительным стрелочным переводом

$$t_{\text{стр}}^{\text{оп-ох}} = t_0^{\text{оп-ох}} - \Delta t - t_{\text{рез}},$$

где $t_0^{\text{оп-ох}}$ – начальный интервал на вершине горки между очень «плохим» и очень «хорошим» бегунами, с;

Δt – «диф» или разность времени хода очень «плохого» и очень «хорошего» бегунов при скатывании их от вершины горки до первого разделительного стрелочного перевода, с (принимается 0,8–1,0 с);

$t_{\text{рез}}$ – резерв времени, необходимый для обеспечения достаточных интервалов между отцепами на стрелочном переводе, с (принимается 1,0 с).

Начальный интервал на вершине горки между очень «плохим» и очень «хорошим» бегунами (рисунок 6.3)

$$t_0^{\text{оп-ох}} = \left[\left(\frac{l_{\text{в}}^{\text{оп}}}{2} + \frac{l_{\text{в}}^{\text{ох}}}{2} \right) - \Delta l_{\text{отр}} \right] / v_0, \quad (6.7)$$

где $l_{\text{в}}^{\text{оп}}$, $l_{\text{в}}^{\text{ох}}$ – длина вагона по осям автосцепки соответственно ОП и ОХ бегунов, м;

$\Delta l_{\text{отр}}$ – расстояния между точками отрыва ОП и ОХ бегунов, м (принимается 1,5–2 м);

v_0 – расчетная скорость роспуска, м/с.

$$t_0^{\text{оп-ох}} = \left[\left(\frac{14,73}{2} + \frac{13,92}{2} \right) - 1,8 \right] / 1,7 = 7,37 \text{ с.}$$

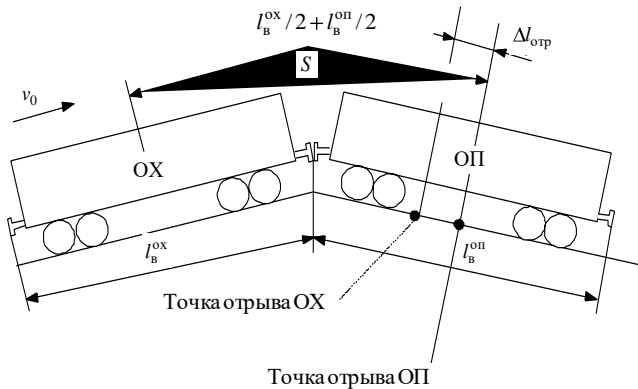


Рисунок 6.3 – Расчет интервала времени между отцепами на вершине горки
Минимальный интервал времени между бегунами ОП и ОХ на первом стрелочном переводе

$$t_{\text{стр}}^{\text{оп-ох}} = 7,37 - 0,80 - 1,00 = 5,57 \text{ с.}$$

Следовательно, ОП бегун должен пройти расчетное расстояние $l_{\text{расч}}$ (рисунок 6.4) за 5,57 с со средней скоростью

$$\bar{v}_{\text{стр}} = \frac{l_{\text{расч}}}{t_{\text{стр}}^{\text{оп-ох}}},$$

$$l_{\text{расч}} = \frac{l_6^{\text{оп}}}{2} + l_{\text{из}} + \frac{l_6^{\text{ох}}}{2}, \quad (6.8)$$

где $l_6^{\text{оп}}, l_6^{\text{ох}}$ – длина колесной базы соответственно очень «плохого» и очень «хорошего» бегунов, м;

$l_{\text{из}}$ – длина изолированного участка рельсовой цепи, м,

$$l_{\text{из}} = l_{\text{пр}} + l_{\text{остр}} + l_{\text{выст}}, \quad (6.9)$$

$l_{\text{пр}}$ – длина предстрелочного участка, м ($l_{\text{пр}} = 6$ м);

$l_{\text{остр}}$ – длина остяков симметричного стрелочного перевода типа Р50 марки 1/6, м ($l_{\text{остр}} = 4,34$ м);

$l_{\text{выст}}$ – длина выступа, м (от корня остяка до изолирующего стыка ($l_{\text{выст}} = 4,34$ м)).

$$l_{\text{из}} = 6 + 4,34 + 4,34 = 14,68 \text{ м};$$

$$l_{\text{расч}} = \frac{11,63}{2} + 14,68 + \frac{10,45}{2} = 25,72 \text{ м};$$

$$\bar{v}_{\text{стр}} = 25,72 / 5,57 = 4,62 \text{ м/с.}$$

С допустимой погрешностью можно принять скорость ОП бегуна в точке Г (см. рисунок 6.2), равной величине $\bar{v}_{\text{стр}} = 4,62$ м/с.

Эта величина является ключевой для определения минимального расстояния от вершины горки до начала остяков первого разделительного стрелочного перевода (см. рисунок 6.2, а):

$$L_{\text{мин}}^{\text{стр}} = L_1 + L_2 - l_{\text{расч}} / 2 + l_6^{\text{ох}} / 2 + l_{\text{пр}}, \quad (6.10)$$

где L_1 – расстояние от вершины горки до конца вертикальной сопрягающей кривой в профиле, м,

$$L_1 = 2T_{\text{в}} = 2 \frac{R_{\text{в}} \Delta i}{2000}, \quad (6.11)$$

$T_{\text{в}}$ – тангенс вертикальной сопрягающей кривой, м;

$R_{\text{в}}$ – радиус вертикальной сопрягающей кривой, м ($R_{\text{в}} = 250$ м);

Δi – алгебраическая разность сопрягаемых уклонов, ‰;

- L_2 – расстояние от конца вертикальной сопрягающей кривой в профиле до середины расчетного участка; м;
- $l_{расч}$ – длина расчетного участка стрелочного перевода, м;
- $l_6^{ок}$ – длина колесной базы «хорошего» бегуна, м;
- $l_{пр}$ – длина предстрелочного участка, м.

Приняв $\Delta i = i_{ск} = 50 \text{ ‰}$, находим

$$L_1 = 2 \frac{250 \cdot 50}{2000} = 12,5 \text{ м.}$$

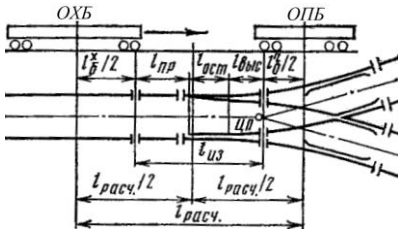


Рисунок 6.4 – Схема определения длины расчетного участка между отцепами на стрелочном переводе

Для расчета расстояния от конца вертикальной сопрягающей кривой до середины расчетного участка (L_2) составим уравнение энергетических высот точек В и Г (см. рисунок 6.2)

$$h_{v_B} + h_B = h_{w_{вг}} + h_{v_{стр}}. \quad (6.12)$$

Подставив в уравнение значения $h_B = 10^{-3} L_2 i_{ск}$ и $h_{w_{вг}} = 10^{-3} L_2 w_{вг}$, получим

$$L_2 = (h_{v_{стр}} - h_{v_B}) / 10^{-3} (i_{ск} - w_{вг}), \quad (6.13)$$

где $h_{v_{стр}}, h_{v_B}$ – энергетические высоты, эквивалентные скоростям «плохого» бегуна, соответственно, в середине расчетного участка и в точке В, м эн. в.;

$w_{вг}$ – суммарное удельное сопротивление движению очень «плохого» бегуна на участке В–Г, Н/кН.

Энергетическая высота, эквивалентная скорости ОП бегуна в середине расчетного участка, м эн. в.,

$$h_{v_{стр}} = v_{стр}^2 / 2g'_{оп}, \quad (6.14)$$

где $g'_{оп}$ – коэффициент приведения ускорения свободного падения ОП бегуна с учетом инерции вращающихся частей вагона, $м/с^2$ [15, таблица 4.2].

Следовательно, $h_{v_{стр}} = 4,62^2 / 2 \cdot 9,11 = 1,17$ м эн. в.

Для расчета h_{v_B} определим скорость ОП бегуна в точке В, заменив очертание криволинейного участка профиля А–В (рисунок 6.5) ломаной линией АБВ. Чтобы условная ломаная линия профиля была близка к кривой, надо принять $l_1 = l_2$; $i_1 = 0,167i_{ск} = 0,167 \cdot 50 = 8,35$ ‰; $i_2 = 0,833i_{ск} = 0,833 \cdot 50 = 41,65$ ‰.

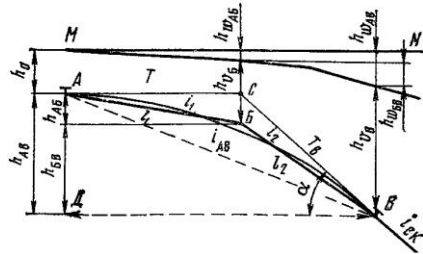


Рисунок 6.5 – Схема замены очертания криволинейного участка профиля ломаной линией, близкой к кривой

Так как угол БАС мал, то с достаточной степенью точности $l_1 = l_2 = T_B = 6,25$ м.

После замены криволинейного участка профиля ломаным скорость очень «плохого» бегуна в точках Б и В определяется через энергетические высоты h_{v_B} и h_{v_B} , м/с:

$$v_B = \sqrt{2g'_{оп}h_{v_B}} ; v_B = \sqrt{2g'_{оп}h_{v_B}} ,$$

или используя формулы

$$v_B = \sqrt{v_0^2 + 2g'_{оп}l_1(i_1 - w_{AB}) \cdot 10^{-3}} ; \quad (6.15)$$

$$v_B = \sqrt{v_B^2 + 2g'_{оп}l_2(i_2 - w_{BB}) \cdot 10^{-3}} , \quad (6.16)$$

где w_{AB}, w_{BB} – суммарные удельные сопротивления движению ОП бегуна, скатывающегося при неблагоприятных условиях, соответственно, на участках А–Б и Б–В, Н/кН,

$$w_{AB} = w_0 + w_{ср}^{AB} + w_{кр}.$$

При выполнении горочных технологических и конструктивных расчетов (кроме расчета высоты горки) значения основного удельного сопротивления

движению расчетных бегунов (очень «плохой» – ОП, «плохой» – П, «хороший» – Х, очень «хороший» – ОХ) принимаются по таблице 6.7 и [7, 33].

Т а б л и ц а 6.7 – Значения w_0 для расчетных бегунов на роликовых подшипниках

Характеристика	Числовые характеристики расчетных бегунов (вагонов)			
	ОП	П	Х	ОХ
Расчетная масса q , т	22	25	70	85
Основное удельное сопротивление w_0 , Н/кН	4,5	4,0	0,8	0,5

В соответствии с таблицей 6.7 $w_0^{оп} = 4,5$ Н/кН. Из-за незначительной разницы удельных сопротивлений от среды и ветра в точках Б, В и Г (см. рисунок 6.2, а) можно принимать $w_{ср}$ постоянным для всего участка А–Г. Средняя скорость очень «плохого» бегуна на участке А–Г

$$v_{ср} = (v_0 + v_{стр}) / 2 = (1,7 + 4,62) / 2 = 3,16 \text{ м/с},$$

а результирующая относительная скорость $v_p = v_{ср} + v_в = 3,16 + 5 = 8,16$ м/с.

Подставляем исходные данные в формулу (6.1), получим

$$w_{ср}^{АГ} = 17,8 \cdot 1,12 \cdot 9,7 \cdot 8,16^2 / (273 - 20) \cdot 22 = 2,31 \text{ Н/кН}.$$

В соответствии с планом горочной горловины сортировочного парка на участке А–В имеется кривой участок пути радиусом 200 м, удельное сопротивление от которого

$$w_{кр}^{АВ} = \frac{700}{R} = \frac{700}{200} = 3,5 \text{ Н/кН}.$$

На участке В–Г нет кривых, и $w_{кр}^{ВГ} = 0$ Н/кН.

Тогда суммарное удельное сопротивление движению ОП бегуна на расчетных участках

$$w_{АБ} = w_{БВ} = 4,5 + 2,31 + 3,5 = 10,31 \text{ Н/кН};$$

$$w_{ВГ} = 4,5 + 2,31 = 6,81 \text{ Н/кН}.$$

Подставив в формулу (6.15) значения исходных величин, получим скорость ОП бегуна в точке Б

$$v_Б = \sqrt{1,7^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 6,25 (6,35 - 10,31) \cdot 10^{-3}} = 1,63 \text{ м/с}.$$

Скорость отцепа в точке Б не может быть ниже скорости роспуска 1,7 м/с. Снижение скорости отцепа в точке Б говорит о том, что движущей силы для ускоренного движения на участке А–Б недостаточно. В точке Б отрыва отцепа от надвигаемого состава не произойдет и его скорость будет равна скорости роспуска $v_Б = v_0 = 1,7$ м/с. Аналогично скорость в точке В

$$v_В = \sqrt{1,7^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 6,25 (41,65 - 10,31) \cdot 10^{-3}} = 2,54 \text{ м/с},$$

следовательно,

$$h_{v_B} = v_B^2 / 2g'_{оп} = 2,54^2 / 2 \cdot 9,11 = 0,35 \text{ м эн. в.}$$

Подставив в формулу (6.13) рассчитанные величины, найдем

$$L_2 = (1,17 - 0,35) / [10^{-3}(50 - 6,81)] = 18,99 \text{ м.}$$

и

$$\begin{aligned} L_{мин}^{стр} &= L_1 + L_2 - l_{расч}/2 + l_B^{ox}/2 + l_{пр} = \\ &= 12,5 + 18,99 - 25,72/2 + 10,45/2 + 6 = 29,86 \text{ м.} \end{aligned}$$

Расстояние от вершины горки до центра стрелочного перевода в таком случае $L_{мин}^{БГ-ЦП1} = 29,86 + 6,21 = 36,07 \approx 36,1 \text{ м.}$

Пример 6.5. Определим минимальное расстояние от вершины горки до остряков первого разделительного стрелочного перевода. Тормозная позиция из двух замедлителей ЗВУ-00 (ЗВУМ-900-5-2) на сортировочной горке расположена до первого разделительного стрелочного перевода типа Р50 марки 1/6 (см. рисунок 6.2, б). Расчетная температура воздуха $t = -20 \text{ }^\circ\text{C}$. Ветер встречный $v = 5 \text{ м/с}$. Расчетная масса «плохого» бегуна $q = 22 \text{ т}$.

Решение. Вначале рассчитаем расстояние от вершины горки до первого изолирующего стыка тормозной позиции $L_{мин}^{зам}$ аналогично примеру 6.4. За время хода от вершины горки до первого изолирующего стыка тормозной позиции по скоростному уклону скорость «плохого» бегуна должна возрасти до $v_{зам}$, которая обеспечила бы проход расстояния $l_{расч}$ (см. рисунок 6.2, б) за интервал времени между очень «плохим» и следующим за ним очень «хорошим» бегуном $t_0^{оп-ох} - \Delta t$ [15, 28]:

$$l_{расч} = l_B^{ox}/2 + l_{пер} + l_3 + l_B^{оп}/2, \quad (6.17)$$

где $l_{пер}$ – расстояние, проходимое отцепом за время перевода шин замедлителя из одного положения в другое, $l_{пер} = v_{зам} t_{пз}$,

$t_{пз}$ – продолжительность перевода замедлителя в тормозное положение;

l_3 – длина изолированной секции замедлителя (длина по рельсам).

Для замедлителя ЗВУ-00 (ЗВУМ-900-5-2) $l_3 = 13,475 \approx 13,48 \text{ м}$;

$$l_{расч} = 10,45/2 + v_{зам} t_{пз} + 13,48 + 11,63/2 = 24,52 + v_{зам} t_{пз}.$$

Как и в примере 6.4, $t_{зам} = t_0^{оп-ох} - \Delta t = 7,37 - 0,8 = 6,57 \text{ с}$. Минимально необходимую среднюю скорость очень «плохого» бегуна на замедлителе при $t_{пз} = 0,8 \text{ с}$ (для замедлителей типа ЗВУ) определим из выражения

$$v_{зам} = l_{расч}/t_{зам} = (24,52 + v_{зам} t_{пз}) / 6,57.$$

Для этого произведем промежуточные преобразования, перегруппировав переменные уравнения относительно $v_{зам}$:

$$(24,52 + v_{\text{зам}} t_{\text{ПЗ}}) = 6,57 v_{\text{зам}} \quad \text{или} \quad 24,52 = v_{\text{зам}} (6,57 - t_{\text{ПЗ}}).$$

Отсюда $v_{\text{зам}} = 24,52 / (6,57 - t_{\text{ПЗ}})$, тогда $v_{\text{зам}} = 24,52 / (6,57 - 0,8) = 4,25$ м/с.

Аналогично, как и в примере 6.4, скорости отцепа в точках Б и В:

$$v_B = \sqrt{v_o^2 + 2g'_{\text{оп}} l_1 (i_1 - w_{\text{AB}}) \cdot 10^{-3}}; \quad v_B = \sqrt{v_B^2 + 2g'_{\text{оп}} l_1 (i_2 - w_{\text{BB}}) \cdot 10^{-3}}; \\ w_{\text{AB}} = w_o + w_{\text{сп}}^{\text{AB}} + w_{\text{кр}}. \quad (6.18)$$

В соответствии с таблицей 6.7 принимаем $w_o^{\text{оп}} = 4,5$ Н/кН.

С небольшой погрешностью принимаем сопротивление $w_{\text{сп}}$ постоянным для участка А–Г. Средняя скорость ОП бегуна на участке А–Г

$$v_{\text{сп}} = (v_o + v_{\text{зам}}) / 2 = (1,7 + 4,25) / 2 = 2,98 \quad \text{м/с},$$

а результирующая относительная скорость

$$v_p = (v_{\text{сп}} + v_B) = 2,98 + 5 = 7,98 \quad \text{м/с}.$$

Подставляя исходные данные в формулу (6.1), получим

$$w_{\text{сп}}^{\text{АГ}} = 17,8 \cdot 1,12 \cdot 9,7 \cdot 7,98^2 / [273 - 20] \cdot 22 = 2,21 \quad \text{Н/кН}.$$

На участке А–В в плане имеется кривой участок пути радиусом 200 м, удельное сопротивление от движения по которому равно

$$w_{\text{кр}}^{\text{AB}} = \frac{700}{R} = \frac{700}{200} = 3,5 \quad \text{Н/кН}.$$

На участке В–Г в плане нет кривых и $w_{\text{кр}}^{\text{ВГ}} = 0$ Н/кН.

Тогда суммарное удельное сопротивление ОП бегуна на расчетных участках

$$w_{\text{AB}} = w_{\text{БВ}} = 4,5 + 2,21 + 3,5 = 10,21 \quad \text{Н/кН}; \quad w_{\text{ВГ}} = 4,5 + 2,21 = 6,71 \quad \text{Н/кН}.$$

Подставив в формулу значения исходных величин, получим скорость очень «плохого» бегуна в точке Б

$$v_B = \sqrt{1,7^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 6,25(8,35 - 10,21) \cdot 10^{-3}} = 1,64 \quad \text{м/с}.$$

В точке Б отрыва отцепа от надвигаемого состава не произойдет и, следовательно, скорость его будет равна скорости надвига состава $v_B = v_o = 1,7$ м/с. Так как $w_{\text{AB}} = w_{\text{БВ}} = 10,21$ Н/кН, а значения $l_2 = 6,25$ м, $i_2 = 41,65$ ‰ определены в примере 6.4, то

$$v_B = \sqrt{1,7^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 6,25(41,65 - 10,21) \cdot 10^{-3}} = 2,54 \quad \text{Н/кН},$$

а следовательно,

$$h_{v_B} = v_B^2 / 2g'_{оп} = 2,54^2 / 2 \cdot 9,11 = 0,35 \text{ м эн. в.}$$

Из рисунка 6.2, б

$$L_{\min}^{\text{зам}} = L_1 + L_2 + l_{\text{расч}}/2 - l_B^{\text{оп}}/2 - l_3; \quad (6.19)$$

$$L_1 = 2T_B = l_1 + l_2 = 6,25 + 6,25 = 12,5 \text{ м.} \quad (6.20)$$

L_2 находим по формуле

$$L_2 = (h_{v_{\text{зам}}} - h_{v_B}) / 10^{-3} (i_{\text{ск}} - w_{\text{БГ}}), \quad (6.21)$$

где $h_{v_{\text{зам}}}$ – энергетическая высота, эквивалентная средней скорости ОП бе-гуна на расчетном участке замедлителя или скорость в точке Г.

$$h_{v_i} = 4,25^2 / (2 \cdot 9,11) = 0,99 \text{ м эн. в.};$$

$$L_2 = (0,99 - 0,35) / [10^{-3} (50 - 6,71)] = 14,78 \text{ м};$$

$$L_{\min}^{\text{зам}} = 12,5 + 14,78 + (24,52 + 4,25 \cdot 0,8) / 2 - 11,63 / 2 - 13,48 = 21,95 \text{ м.}$$

В то же время необходимо следить, чтобы длина прямого участка в про-филе между тангенсами вертикальных сопрягающих кривых перевальной части сортировочной горки и участка первой тормозной позиции была не менее 20 м. С учетом этого требования при расположении тормозной пози-ции перед первым разделительным стрелочным переводом расстояние от вершины горки до начала тормозной позиции (по изостыку) при $i_{\text{ск}} = 50 \%$ должно составлять около 36 м, что превышает расчетную величину $L_{\min}^{\text{зам}}$. Расстояние от вершины горки до начала острьяков первого разделительного стрелочного перевода в этом случае (см. рисунок 6.2, б)

$$L_{\min}^{\text{стр}} = L_{\min}^{\text{зам}} + 2l_3 + 5,26 + m,$$

где 5,26 – расстояние от последнего изолирующего стыка тормозной пози-ции до переднего стыка рамных рельсов первого разделительного стрелочного перевода, м;

m – расстояние от переднего стыка рамных рельсов до начала остря-ков, м. Для симметричного стрелочного перевода типа Р50 марки $1/6 m = 0,74$ м.

$$L_{\min}^{\text{стр}} = 36 + 2 \cdot 13,48 + 5,26 + 0,74 = 68,96 \text{ м.}$$

Максимально допустимое расстояние от вершины горки до начала пер-вой тормозной позиции определяется условием: скорость входа четырехос-

ного полувагона массой 100 т на роликовых подшипниках на первую тормозную позицию должна быть не выше максимально допустимой при благоприятных условиях скатывания, а именно

$$L_{\max} = T_{\text{в}} + (v_{\text{вх}(\max)}^2 - v_{0(\max)}^2) \cdot 10^3 / \left[g'(i_{\text{ск}} - w_0 \pm w_{\text{ср}}) \right]. \quad (6.22)$$

Принимая $i_{\text{ск}} = 50 \text{ ‰}$ и $v_{0(\max)} = 2,5 \text{ м/с}$, пренебрегая удельным сопротивлением от воздушной среды и ветра, получим

$$L_{\max} = 6,25 + (8,0^2 - 2,5^2) \cdot 10^3 / \left[9,65(50 - 0,5) \right] = 66,70 \text{ м.}$$

Возможный диапазон в размещении первой тормозной позиции относительно вершины горки при $i_{\text{ск}} = 50 \text{ ‰}$ не ближе 36 м и не далее 66,70 м.

Пример 6.6. Определим «трудный» и «легкий» пути плана горочной горловины сортировочного парка горки большой мощности (см. рисунок 6.1). За критерий выбора принять суммарную удельную работу, совершаемую очень «плохим» бегуном по преодолению всех сил сопротивлений при его движении от вершины горки до расчетных точек $1/2$ части путей сортировочного парка (при условии симметричности горловины). Расчет выполнить для неблагоприятных условий скатывания. Средняя температура января $t = -6,9 \text{ °C}$; $t_{\min} = -37 \text{ °C}$, ветер встречный северного направления под углом $\beta = 20^\circ$ к направлению сортировки (оси сортировочного парка) $v_{\text{в}} = 5,6 \text{ м/с}$. Расчетная масса ОП бегуна (крытого четырехосного) $q = 30 \text{ т}$.

Решение. «Трудный» расчетный путь головы сортировочного парка тот, на котором работа всех удельных сопротивлений при следовании очень «плохого» бегуна от вершины горки до расчетной точки при неблагоприятных условиях наибольшая; «легкий» – соответственно тот, где эта работа наименьшая. Удельная работа сил сопротивления по маршрутам на каждый путь определяется для условий расчета высоты горки (см. пример 6.7) по формуле [7; 15; 32; 33], Дж/кН,

$$A_i = 1,75 [L_i (w_0 + \bar{w}_{\text{ср}}) + 0,23 \sum \alpha_{\text{кр},i} \bar{v}^2 + (0,56 + 0,23 \alpha_{\text{пов}}) \bar{v}^2 n_i] + L_{\text{сн},i} w_{\text{сн}}, \quad (6.23)$$

где 1,75 – мера отклонения расчетного значения суммарной работы сил сопротивления (основного удельного, воздушной среды ветра, кривых и стрелочных переводов) от его среднего значения;

L_i – расстояние от вершины горки до расчетной точки (50 м от низа парковой (третьей) тормозной позиции) i -го пути, м;

w_0 – основное удельное сопротивление крытого четырехосного вагона на роликовых подшипниках, принимается по таблице 6.3, Н/кН.

В соответствии с данными таблицы 6.3 при $q_{\text{оп}} = 30 \text{ т}$ $w_0 = 1,54 \text{ Н/кН}$;

- $\bar{w}_{\text{ср}}$ – среднее значение дополнительного удельного сопротивления движению ОП бегуна от воздушной среды и ветра, Н/кН;
- $\sum \alpha_{\text{кр},i}$ – сумма углов поворота в круговых кривых по маршруту скатывания вагона от вершины горки до расчетной точки i -го пути, град;
- \bar{v} – средняя скорость движения вагона на участке от вершины горки до расчетной точки, м/с;
- $\alpha_{\text{пов}}$ – угол поворота в пределах переводной кривой одного стрелочного перевода, град (для симметричного стрелочного перевода $1/6 \alpha_{\text{пер}} = 4,73^\circ$);
- n_i – количество стрелочных переводов по маршруту скатывания вагона от вершины горки до расчетной точки i -го пути;
- $l_{\text{сн},i}$ – расстояние от низа второй тормозной позиции до расчетной точки i -го пути, м;
- $w_{\text{сн}}$ – удельное сопротивление движению вагонов от снега и инея, действие которого выражается в увеличении коэффициента трения качения колес вагонов по рельсам (принимается по таблице 6.8 и [7; 33] при расчетной температуре наружного воздуха), Н/кН.

С допустимой погрешностью работу по преодолению сил сопротивления в кривых и на стрелочных переводах, от воздушной среды и ветра можно определять по средневзвешенной скорости скатывания расчетного отцепа

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^4 l_i}{\sum_{i=1}^4 l_i / v_i} \quad \text{или} \quad \bar{v} = (v_1 l_1 + v_2 l_2 + v_3 l_3 + v_4 l_4) / (l_1 + l_2 + l_3 + l_4), \quad (6.24)$$

где $v_1; v_2; v_3; v_4$ – средние скорости движения вагона на расчетных участках горки, м/с (см. таблицу 6.2);

$l_1; l_2; l_3; l_4$ – длины расчетных участков горки, м. Определяются по плану горочной горловины по маршруту на соответствующий сортировочный путь. Например, путь № 1.1 (см. рисунок 6.1, таблицу 6.6) с учетом $L_{\text{min}}^{\text{ВГ-ЦП1}} = 36,07$ м (см. пример 6.4).

Т а б л и ц а 6.8 – Дополнительное удельное сопротивление от снега и инея для вагонов различной весовой категории при расчетных температурах

В ньютонах на килоньютоны

Весовая категория вагона	Условное обозначение	Дополнительное сопротивление $w_{\text{сн}}$ при температуре, °С					
		-10	-20	-30	-40	-50	-60
Легкая	Л	0,2	0,3	0,5	0,9	1,7	3,3
Легкосредняя	ЛС	0,1	0,2	0,4	0,7	1,3	2,4
Средняя	С	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	2,0
Среднетяжелая	СТ	–	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6
Тяжелая	Т	–	0,1	0,2	0,3	0,7	1,5

$$\bar{v} = \frac{4,2 \cdot 79,37 + 5,5 \cdot 74,47 + 5 \cdot 173,84 + 2 \cdot 68,75}{79,37 + 74,47 + 173,84 + 68,75} = 4,41 \text{ м/с.}$$

Среднее значение дополнительного удельного сопротивления движению вагона от воздушной среды и ветра определяется по формуле (6.1)

$$w_{cp} = \frac{17,8C_x S}{(273 + t^{\circ})q_{он}} v_p^2.$$

Предварительно вычислим температуру наружного воздуха, которая определяется для неблагоприятных условий:

$$t = \bar{t} + 0,3\tau(t_{\min} - \bar{t}), \quad (6.25)$$

где \bar{t} – средняя месячная температура воздуха, °С;

τ – нормированное отклонение (принимается для ГПМ – 3; ГБМ и ГСМ – 2,5; ГММ – 2,0);

t_{\min} – абсолютный минимум температуры воздуха для данного месяца, °С;

$$t = -6,9 + 0,3 \cdot 2,5(-37 + 6,9) = -29,5 \text{ °С};$$

$$v_p^2 = \bar{v}^2 + v_b^2 + 2v_b \bar{v} \cos\beta = 4,41^2 + 5,6^2 + 2 \cdot 4,41 \cdot 5,6 \cdot 0,93969 = 97,22 \text{ (м/с)}^2;$$

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{v_b \sin\beta}{v_p} \right) = \arcsin \left(\frac{5,6 \cdot 0,34202}{9,86} \right) = 11,20^{\circ};$$

$$w_{cp} = \frac{17,8 \cdot 1,48 \cdot 9,7}{(273 - 29,5) \cdot 30} 97,22 = 3,40 \text{ Н/кН.}$$

Расчеты по выбору «трудного» и «легкого» путей сведены в таблицу 6.9.

Таблица 6.9 – Определение «трудного» и «легкого» путей сортировочного парка

Номер пути	L_p , м	$w_0^{он} + w_{cp}$, Н/кН	$L_p(w_0^{он} + w_{cp})$, Дж/кН	$\sum \alpha_{кр}^{\circ}$	$0,23 \sum \alpha_{кр}^{\circ} \bar{v}^2$, Дж/кН	n	$(0,56 + 0,23\alpha_{непр}) \bar{v}^2 n$, Дж/кН	$1,75(\sum_{пр} 4; 6; 8)$, Дж/кН	$l_{ен}$, м	$w_{ен}$, Н/кН	$l_{ен} w_{ен}$, Дж/кН	$\sum_{пр} 9; 12$, Дж/кН	Примечание
1.1	396,43	4,94	1958,36	36,92	165,37	6	192,55	4053,50	215,65	0,39	84,10	4138	«Трудный»
1.2	395,51	4,94	1953,82	27,46	122,94	6	192,47	3971,15	214,70	0,39	83,73	4055	
1.3	394,43	4,94	1948,48	34,92	156,27	6	192,38	4019,98	213,62	0,39	83,31	4103	
1.4	392,98	4,94	1941,32	25,46	113,78	6	192,12	3932,63	212,17	0,39	82,75	4015	
1.5	391,55	4,94	1934,26	25,46	113,68	6	191,94	3919,79	210,74	0,39	82,19	4002	

Окончание таблицы 6.9

Номер пути	L_p , м	$W_{0-1}^{сп}$, Н/кН	$L_1(W_{0-1}^{сп}, W_1^{сп})$, Дж/кН	$\sum \sigma_{кр}$	$0,22 \sum \sigma_{кр}^{-2}$, Дж/кН	n	$(0,56 + 0,23\alpha_{бер}) \bar{V}^2 n$, Дж/кН	$1,75(\sum_{р 4; 6; 8})$, Дж/кН	$l_{сн}$, м	$W_{сн}$, Н/кН	$l_{сн} W_{сн}$, Дж/кН	$\sum_{р 9; 12}$, Дж/кН	Примечание
1.6	391,01	4,94	1931,59	16,00	71,41	6	191,86	3840,99	210,20	0,39	81,98	3923	
2.1	372,29	4,92	1831,67	26,19	115,30	5	157,71	3683,18	192,14	0,39	74,93	3758	
2.2	371,32	4,91	1823,18	21,46	94,39	6	189,08	3686,63	191,17	0,39	74,56	3761	
2.3	370,84	4,91	1820,82	12,60	55,39	6	188,99	3614,12	190,69	0,39	74,37	3688	«Легкий»
2.4	370,51	4,91	1819,20	17,06	75,00	6	188,99	3645,59	190,36	0,39	74,24	3720	
2.5	370,42	4,91	1818,76	15,66	68,81	6	188,91	3633,84	190,27	0,39	74,21	3708	
2.6	370,84	4,91	1820,82	20,39	89,64	5	157,49	3618,93	190,69	0,39	74,37	3693	

Отношение удельной суммарной работы «легкого» пути к работе «трудного» характеризует качество плана горочной горловины сортировочного парка

$$\gamma = \frac{A_{\text{легк}}}{A_{\text{труд}}} = \frac{3688}{4138} = 0,89 \approx 0,9. \quad (6.26)$$

Полученное значение коэффициента $\gamma = 0,9$, близкое к «1», показывает примерное равенство суммарных удельных работ по преодолению сил сопротивления движению ОП бегуна на различные пути сортировочного парка на участках от вершины горки до расчетных точек этих путей (максимальное расхождение составляет около 10 %) и характеризует достаточно высокое качество конструкции анализируемой горочной горловины.

Пример 6.7. Для плана головы сортировочного парка, представленного на рисунке 6.1 (характеристики линейных и угловых параметров см. таблицы 6.5, 6.6), определить минимально необходимую высоту сортировочной горки по условию докатывания ОП бегуна до расчетной точки «трудного» пути сортировочного парка при неблагоприятных условиях роспуска. Средняя температура расчетного месяца $t = -6,9$ °С; $t_{\min} = -37$ °С, ветер встречный, северо-западный под углом $\beta = 20^\circ$ к направлению сортировки со скоростью $v_b = 5,6$ м/с. Расчетная масса очень «плохого» бегуна $q = 30$ т. «Трудный» путь определен в примере 6.6 и его характеристики приведены в таблице 6.9.

Решение. Минимальная расчетная высота горки должна обеспечить докатывание очень «плохого» бегуна при неблагоприятных условиях скатывания от вершины горки до расчетной точки (Р.Т.) «трудного» пути сортировочного парка [7–8; 12; 15; 28; 32], м эн. в.

$$H_{\Gamma} = [1,75(L_p w_0 + \sum_i^4 l_i w_{cp_i} + \sum_{i=1}^4 0,23 \sum \alpha_{кр_i}^0 v_i^2 + \sum_{i=1}^3 (0,56 + 0,23 \alpha_{пер}^0) v_i^2 n_i) + l_{сн} w_{сн}] \cdot 10^{-3} - \frac{v_0^2}{2g'_{опб}}, \quad (6.27)$$

где 1,75 – мера отклонения расчетного значения суммарной потери энергетической высоты при преодолении сил сопротивления от его среднего значения;

L_p – расстояние от вершины горки до Р.Т. «трудного» пути, м ($L_p = 396,43$ м по таблице 6.9);

w_0 – основное удельное сопротивление движению крытого четырехосного вагона на роликовых подшипниках, Н/кН (для горок большой мощности $w_0 = 1,54$ Н/кН по таблице 6.3);

l_i – длина расчетного участка по маршруту на «трудный» путь, м (в соответствии с рекомендацией таблицы 6.2 и по рисунку 6.1, таблице 6.6 $l_1 = 79,37$ м; $l_2 = 74,47$ м; $l_3 = 173,84$; $l_4 = 68,75$ м);

w_{cp_i} – дополнительное удельное сопротивление движению ОП бегуна от воздушной среды и ветра на расчетном участке l_i , Н/кН;

$\sum \alpha_{кр_i}^0$ – сумма углов поворота в круговых кривых на расчетном участке l_i по маршруту скатывания вагона от вершины горки до Р.Т. «трудного» пути, град (в соответствии с рисунком 6.1 и таблицей 6.5) для пути № 1.1:

$$\sum \alpha_{кр_1}^0 = \angle A = 4,73^\circ; \quad \sum \alpha_{кр_2}^0 = \angle 6 + \angle 33 = 3,5^\circ + 4,5^\circ = 8^\circ;$$

$$\sum \alpha_{кр_3}^0 = \angle 53 + \angle 58 = 1^\circ + 23,19^\circ = 24,19^\circ; \quad \sum \alpha_{кр_4}^0 = 0);$$

v_i – средняя скорость ОП бегуна на l_i расчетном участке, м/с (в соответствии с таблицей 6.2 для ГБМ $v_1 = 4,2$ м/с; $v_2 = 5,5$ м/с; $v_3 = 5,0$ м/с; $v_4 = 2,0$ м/с);

n_i – количество стрелочных переводов на l_i по маршруту скатывания ОП бегуна от вершины горки до Р.Т. (в соответствии с рисунком 6.1 $n_1 = 2$; $n_2 = 1$; $n_3 = 3$);

$l_{сн}$ – расстояние от низа второй тормозной позиции до Р.Т. «трудного» пути, м ($l_{сн} = 215,65$ м – см. рисунок 6.1);

$w_{сн}$ – удельное сопротивление от снега и инея при расчетной температуре наружного воздуха, Н/кН (см. таблицу 6.8);

v_0 – расчетная скорость роспуска, м/с (для ГБМ $v_0 = 1,7$ м/с, таблица 6.10 и [7; 33]);

g' – см. пример 6.2.

Расчетная температура наружного воздуха при неблагоприятных условиях скатывания (см. пример 6.6)

$$t = t + 0,3\tau(t_{\min} - \bar{t}) = -6,9 + 0,3 \cdot 2,5(-37 + 6,9) = -29,5^\circ\text{C}.$$

Т а б л и ц а 6.10 – **Нормативные минимальные скорости роспуска**

Сортировочная горка			Расчетное сочетание бегунов	Скорость роспуска $v_{\text{ор}}$, м/с
Повышенной мощности			ОП-ОХ-ОП	1,7
Большой мощности			ОП-ОХ-ОП	1,7
Средней мощности			ОП-Х-ОП	1,4
Малой мощности	С тормозной позицией на спускной части	Механизированной	ОП*-Х-ОП*	1,2
		Немеханизированной	ОП*-Х-ОП*	1,0
	Без тормозной позиции на спускной части		ОП*-Х-ОП*	0,8
* При доле порожних вагонов более 30 %, в противном случае принимается сочетание П-Х-П.				

Расчитаем w_{cp} на четырех расчетных участках спускной части горки и сортировочного пути по формуле (6.1) $w_{\text{cp}} = \frac{17,8C_x S}{(273 + t^\circ)q_{\text{оп}}} v_p^2$.

Участок l_1 :

$$\begin{aligned} v_{p1}^2 &= v_1^2 + v_B^2 + 2v_1 v_B \cos\beta = 4,2^2 + 5,6^2 + \\ &+ 2 \cdot 4,2 \cdot 5,6 \cdot \cos 20^\circ = 93,20 (\text{м/с})^2; \\ v_{p1} &= 9,65 \text{ м/с}; \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = \arcsin(v_B \sin\beta / v_{p1}) = \arcsin(5,6 \cdot 0,34202 / 9,65) = 11,45^\circ.$$

По таблице 6.1 при $\alpha_1 = 11,45^\circ$ $C_{x1} = 1,49$;

$$w_{\text{cp}1} = 17,8 \cdot 1,49 \cdot 9,7 \cdot 93,2 / [(273 - 29,5) \cdot 30] = 3,28 \text{ Н/кН}.$$

Участок l_2 :

$$\begin{aligned} v_{p2}^2 &= 5,5^2 + 5,6^2 + 2 \cdot 5,5 \cdot 5,6 \cdot 0,93969 = 119,50 (\text{м/с})^2; \\ v_{p2} &= 10,93 \text{ м/с}; \end{aligned}$$

$$\alpha_2 = \arcsin(5,6 \cdot 0,34202 / 10,93) = 10,09^\circ.$$

По таблице 6.1 при $\alpha_2 = 10,09^\circ$ $C_{x2} = 1,46$;

$$w_{cp2} = 17,8 \cdot 1,46 \cdot 9,7 \cdot 119,50 / [(273 - 29,5) \cdot 30] = 4,12 \text{ Н/кН.}$$

Участок l_3 :

$$v_{p3}^2 = 5^2 + 5,6^2 + 2 \cdot 5 \cdot 5,6 \cdot 0,93969 = 108,98 \text{ (м/с)}^2;$$

$$v_{p3} = 10,44 \text{ м/с};$$

$$\alpha_3 = \arcsin(5,6 \cdot 0,34202 / 10,44) = 10,57^\circ$$

По таблице 6.1 при $\alpha_3 = 10,57^\circ$ $C_{x3} = 1,47$;

$$w_{cp3} = 17,8 \cdot 1,47 \cdot 9,7 \cdot 108,98 / [(273 - 29,5) \cdot 30] = 3,79 \text{ Н/кН.}$$

Участок l_4 :

$$v_{p4}^2 = 2^2 + 5,6^2 + 2 \cdot 2 \cdot 5,6 \cdot 0,93969 = 56,41 \text{ (м/с)}^2;$$

$$v_{p4} = 7,51 \text{ м/с};$$

$$\alpha_4 = \arcsin(5,6 \cdot 0,34202 / 7,51) = 14,78^\circ.$$

По таблице 6.1 при $\alpha_4 = 14,78^\circ$ $C_{x4} = 1,55$;

$$w_{cp4} = 17,8 \cdot 1,55 \cdot 9,7 \cdot 56,41 / [(273 - 29,5) \cdot 30] = 2,07 \text{ Н/кН.}$$

Подставив исходные данные в расчетную формулу высоты горки, получим

$$\begin{aligned} H_r = & [1,75(396,43 \cdot 1,54) + 79,37 \cdot 3,28 + 74,47 \cdot 4,12 + 173,84 \cdot 3,79 + \\ & + 68,75 \cdot 2,07 + 0,23 \cdot 4,73 \cdot 4,2^2 + 0,23 \cdot 8 \cdot 5,5^2 + 0,23 \cdot 24,19 \cdot 5,0^2 + \\ & + (0,56 + 0,23 \cdot 4,73) \cdot 4,2^2 \cdot 2 + 1,65 \cdot 5,5^2 \cdot 1 + 1,65 \cdot 5,0^2 \cdot 3) + \\ & + 215,65 \cdot 0,39] \cdot 10^{-3} - \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,29} = 4,17 \text{ м эн. в.} \end{aligned}$$

Пример 6.8. Определить общую мощность тормозных средств на спускной части механизированной горки большой мощности высотой $H_r = 4,17$ м эн. в. По плану горочной горловины сортировочного парка «легкий» путь № 2.3 (см. рисунок 6.1 и таблицу 6.6). Расстояние от вершины горки до конца второй тормозной позиции (ТП) пучка с «легким» путем $L = 180,14$ м, до конца третьей ТП при $l_{ТПП}^{ЗВУ-02} = 11,49$ м – 313,58 м, от конца второй ТП до наиболее удаленного предельного столбика $l_{стр} = 94,37$ м пучка с путем № 2.3, от наиболее удаленного предельного столбика до РТ $l_{сп} = 96,33$ м. Уклон стрелочной зоны принимаем $i_{стр} = 1,5$ ‰, путей сортировочного парка до Р.Т. $i_{сп} = 1,0$ ‰. Расчетная скорость попутного ветра ($\beta = 0$) для летних благоприятных условий скатывания $v_b = 5$ м/с, средняя температура расчетного месяца $t = 18,6$ °С; максимальная – $t_{max} = 37$ °С.

Решение. На всех тормозных позициях механизированной сортировочной горки (1–3 позиции) устанавливаются вагонные замедлители различных типов в зависимости от потребной мощности тормозных средств. На горках с

большим количеством сортировочных путей проектируются три тормозных позиции. Суммарная мощность тормозных средств на спускной части горки повышенной, большой и средней мощности должна обеспечить при благоприятных условиях скатывания остановку очень «хорошего» бегуна (четырёхосного полувагона весом 1000 кН и сопротивлением 0,5 Н/кН) на второй (пучковой) ТП при частичном торможении его на первой [7; 33]. Исходя из данного требования, на рисунке 6.6 представлена схема для расчета H_T .

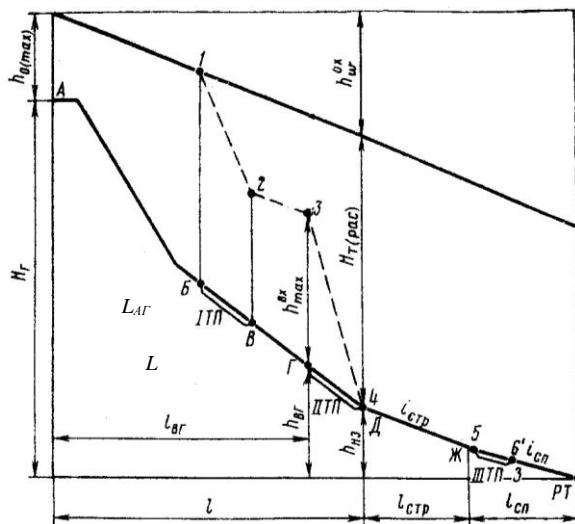


Рисунок 6.6 – Расчетная схема определения общей мощности тормозных средств

Используя рисунок 6.6, составим уравнение энергетических высот для точек А и Д

$$H_{Г} + h_{0(\max)} = h_w^{\text{ox}} + H_T + h_{нз}, \quad (6.28)$$

откуда

$$H_T = H_{Г} + h_{0(\max)} - h_w^{\text{ox}} - h_{нз},$$

где H_T – высота горки, м эн. в.;

h_w^{ox} – энергетическая высота, соответствующая суммарной удельной работе всех сил сопротивления при проходе четырехосного полувагона массой 100 т брутто от вершины горки до конца второй тормозной позиции при благоприятных условиях скатывания на «легкий» путь, м эн. в.;

$h_{нз}$ – высота расположения конца второй (пучковой) тормозной позиции над расчетной точкой «легкого» пути, м эн. в.

При расчете энергетической высоты $h_{0(\max)}$ скорость роспуска принимаем $v_{0(\max)} = 2,5$ м/с:

$$h_{0(\max)} = v_{0(\max)}^2 / 2g'_{ox} = 2,5^2 / (2 \cdot 9,65) = 0,32 \text{ м эн. в.}$$

Энергетическая высота, теряемая очень «хорошим» бегуном на преодоление всех сил сопротивления при прохождении расстояния от вершины горки до конца второй тормозной позиции,

$$h_w^{ox} = [(w_0^{ox} \pm w_{cp}^{ox})L + 0,23 \sum \alpha_L^0 \cdot v_L^2 + (0,56 + 0,23\alpha_{пер})\bar{v}_L^2 \cdot n_L] \cdot 10^{-3}, \quad (6.29)$$

где L – расстояние от вершины горки до конца пучковой (второй) ТП пучка с «легким» путем, м (в соответствии с рисунком 6.1 $L = 180,14$ м);

$\sum \alpha_L^0$ – сумма углов поворота круговых кривых на участке L , град ($\sum \alpha_L^0 = 8,83^\circ$);

\bar{v}_L – средняя расчетная скорость скатывания ОХ бегуна на участке L , м/с;

n_L – количество стрелочных переводов на участке L ($n_L = 3$).

Среднюю расчетную скорость на участке L можно определить по формуле

$$v_L = (v_{0(\max)} \pm v_{вх}) / 2 = (2,5 + 8) / 2 = 5,25 \text{ м/с,}$$

где $v_{вх}$ – допустимая скорость входа вагона на замедлитель (например, для замедлителей КНП-5 $v_{вх} = 7$ м/с, ЗВУ, ВЗПГ – $v_{вх} = 8$ м/с).

Для расчета w_{cp}^{ox} определим расчетную температуру наружного воздуха для благоприятных условий

$$t = \bar{t} + 0,3\tau(t_{(\max)} - \bar{t}) = 18,6 + 0,3 \cdot 2,5(37 - 18,6) = 32,4 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$w_{cp}^{ox} = 17,8 \cdot 1,36 \cdot 8,5(5,25 - 5)^2 / [(273 + 32,4)] \cdot 100 = 0,0004 \approx 0;$$

$$h_w^{ox} = [(0,5 - 0) \cdot 180,14 + 0,23 \cdot 8,83 \cdot 5,25^2 + (0,56 + 0,23 \cdot 4,73) \cdot 5,25^2 \cdot 3] \cdot 10^{-3} = 0,28 \text{ м эн. в.};$$

$$h_{нз} = (l_{стр}i_{стр} + l_{сп}i_{сп}) \cdot 10^{-3} = (94,37 \cdot 1,5 + 96,33 \cdot 1) \cdot 10^{-3} = 0,24 \text{ м эн. в.};$$

$$H_T = 4,17 + 0,32 - 0,28 - 0,24 = 3,97 \text{ м эн. в.}$$

Потребная расчетная мощность тормозных позиций спускной части горки на участке от вершины горки до конца второй тормозной позиции [7; 33]

$$H_{\text{ТСЧ}} = K_y H_T, \quad (6.30)$$

где K_y – коэффициент увеличения потребной мощности ТП для компенсации погрешностей регулирования скорости скатывания вагонов и обеспечения живучести технологической системы регулирования. Принимается $K_y = 1,15 \dots 1,20$.

$$H_{\text{ТСЧ}} = 1,2 \cdot 3,97 = 4,76 \text{ м эн. в.}$$

Пример 6.9. Определим мощность и длину тормозных позиций на сортировочной горке при общей мощности $H_T = 4,76$ м эн. в. Дополнительно к условиям примера 6.8 заданы: расстояние от вершины горки (точка А на рисунке 6.5) до начала пучковой (второй) тормозной позиции (точка Г) $L_{AG} = 153,18$ м, сумма углов поворота в кривых от вершины горки до начала второй тормозной позиции $\sum \alpha_{AG}^\circ = 8,83^\circ$. Уклон второй тормозной позиции принимаем $i_{\text{тн2}} = 9\%$, на позиции резервируется прямой участок для укладки двух пятизвенных вагонных замедлителей максимальной длины $l_{\text{зам}} = 13,48$ м.

Решение. Общую мощность тормозных средств на участке от вершины горки до конца второй тормозной позиции следует распределить по тормозным позициям так, чтобы обеспечить безопасность роспуска и максимальную перерабатывающую способность горки [15, 28, 32]. Если известны расчетные скорости входа $v_{\text{вх}}$ и выхода $v_{\text{вых}}$ отцепа на и с тормозных позиций, их мощность

$$h_T = (v_{\text{вх}}^2 - v_{\text{вых}}^2) / 2g'_{\text{ОХБ}} + l_T (i_T - w) \cdot 10^{-3},$$

где l_T – длина тормозной позиции, м;

i_T – уклон тормозной позиции, ‰;

w – суммарное удельное сопротивление движению очень «хорошего» бегуна на тормозной позиции, Н/кН.

Однако для расчета скоростей входа и выхода необходимы план и профиль путей головы сортировочного парка, которые невозможно запроектировать без расчета мощности и длины тормозных позиций (хотя бы ориентировочно). Поэтому в данном примере предлагается распределить общую тормозную мощность H_T по двум позициям спускной части сортировочной горки на основании расчета минимальной мощности первой, максимальной мощности второй тормозных позиций, выпускаемых промышленностью замедлителей и опыта проектирования. Минимальная мощность первой позиции должна обеспечить вход очень «хорошего» бегуна на вторую позицию со скоростью, не превышающей максимально допустимой конструкцией замедлителя [15; 28]. Эту мощность определим из уравнения энергетических высот, составленного для точек А и Г (см. рисунок 6.6)

$$h'_{\tau(\min)} = H_{\Gamma} + h_{0(\max)} - h_{\text{ВТ}} - h_{\text{ПМХ}}^{\text{ВХ}} - h_{\text{В(ВТ)}}^{\text{ОХ}},$$

где $h_{\text{ВТ}}$ – высота расположения начала второй тормозной позиции над расчетной точкой «легкого» пути, м эн. в.:

$$h_{\text{ВТ}} = h_{\text{НЗ}} + l_{\text{ЗАМ}}'' \cdot 10^{-3} = 0,24 + 2 \cdot 13,48 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 0,48 \text{ м эн. в.};$$

$h_{\text{ПМХ}}^{\text{ВХ}}$ – энергетическая высота, эквивалентная максимально допустимой скорости входа на тормозное устройство, м эн. в.:

$$h_{\text{ПМХ}}^{\text{ВХ}} = v_{\text{ПМХ}}^{\text{ВХ}} / 2g'_{\text{ОХБ}} = 8^2 / (2 \cdot 9,65) = 3,32 \text{ м эн. в.};$$

$h_{\text{В(ВТ)}}^{\text{ОХ}}$ – энергетическая высота, теряемая на преодоление всех сил сопротивления при проходе ОХ бегом участка АГ от вершины горки до начала второй тормозной позиции, м эн. в. (см. рисунок 6.6):

$$h_{\text{В(ВТ)}}^{\text{ОХ}} = [(w_0^{\text{ОХ}} \pm w_{\text{СР}}^{\text{ОХ}})L_{\text{АГ}} + 0,23 \sum \alpha_{\text{АГ}} \cdot \bar{v}_{\text{АГ}}^2 + (0,56 + 0,23\alpha_{\text{ПЕР}}) \bar{v}_{\text{АГ}}^2 n_{\text{АГ}}] \cdot 10^{-3}. \quad (6.31)$$

Из примера 6.8: $w_{\text{СР}}^{\text{ОХ}} = 0$; $\bar{v}_{\text{АГ}} = \bar{v}_L = 5,25 \text{ м/с}$; $h_{0(\max)} = 0,32 \text{ м эн. в.}$;

$$h_{\text{В(ВТ)}}^{\text{ОХ}} = (0,5 \cdot 153,18 + 0,23 \cdot 8,83 \cdot 5,25^2 + 1,65 \cdot 5,25^2 \cdot 3) \cdot 10^{-3} = 0,27 \text{ м эн. в.};$$

$$h'_{\tau(\min)} = 4,17 + 0,32 - 0,48 - 3,32 - 0,27 = 0,42 \text{ м эн. в.}$$

В соответствии с [7] максимальная мощность пучковой (второй) ТП на горках повышенной или большой мощности должна обеспечить остановку ОХ бегуна при наибольшей допустимой скорости входа $v_{\text{ВХ}}$ его на эту позицию. Составляет 2,5 м эн. в. при $v_{\text{ВХ}} = 7 \text{ м/с}$ и 3,2 м эн. в. при $v_{\text{ВХ}} = 8,0 \text{ м/с}$.

Реализация расчетных мощностей ТП возможна за счет укладки современных универсальных вагонных замедлителей типа ЗВУ (таблица 6.11) [12].

Учитывая общую потребную мощность тормозных позиций ($H_{\text{ТСЧ}} = 4,76 \text{ м эн. в.}$) и расчетную погашаемую энергетическую высоту одним замедлителем, целесообразно использовать пятизвенные замедлители ЗВУ. При укладке на второй ТП двух пятизвенных замедлителей ЗВУ-00 (1,7 м эн. в.) ее мощность составит $h_{\tau}'' = 3,4 \text{ м эн. в.}$ Тогда мощность первой тормозной позиции без учета одного резервного замедлителя $h_{\tau}' = H_{\text{ТСЧ}} - h_{\tau}'' = 4,76 - 3,4 = 1,36 \text{ м эн. в.}$, что обеспечивается укладкой двух четырехзвенных замедлителей ЗВУ-01 мощностью 1,5 м эн. в., один из которых резервный, однако с учетом целесообразности применения однотипных замедлителей на спускной части сортировочной горки принимаем для

установки на первой ТП замедлители ЗВУ-00. Наличная мощность первой ТП составит $h'_T = 3,4$ м эн. в., а суммарная наличная мощность первой и второй ТП – 5,1 м эн. в., что превышает потребную 4,76 м эн. в. Условие примера выполняется. Эпюры укладки замедлителей ЗВУ приведены на рисунке 6.7.

Мощность парковой тормозной позиции рекомендуется проектировать в пределах от 0,8 до 1,2 м эн. в., что реализуется за счет укладки однорельсовых замедлителей ЗВУМ-600-5-1к мощностью $h''_T = 0,8$ м эн. в. Замедлители ЗВУМ-600-5-1к отличаются возможностью укладки их в кривой $R \geq 180$ м.

Т а б л и ц а 6.11 – Характеристика универсальных вагонных замедлителей ЗВУ

Показатель		Типы замедлителей					
		двухрельсовых			парковых однорельсовых		
		ЗВУ-00, ЗВУ-03	ЗВУ-01, ЗВУ-04	ЗВУ-02, ЗВУ-05	ЗВУМ- 600-5-1к	ЗВУМ- 600-4-1к	ЗВУМ- 600-3-1к
Количество звеньев		5	4	3	5	4	3
Масса (без рельсов и шпальных брусьев), т	Н 900	30	25	20	–	–	–
	Н 600	27	22,5	18	19	16	13
Длина по балкам, мм		12500 ⁺¹⁰	10225 ⁺¹⁰	7950 ⁺¹⁰	12500 ⁺¹⁰	10225 ⁺¹⁰	7950 ⁺¹⁰
Длина по рельсам, мм		13475 ⁺⁶	11200 ⁺⁶	11492 ⁺⁶	13475 ⁺⁶	11200 ⁺⁶	11492 ⁺⁶
Ширина конструкции, мм		3600			3600		
Высота Н от низа бруса до уровня головки рельса ^а , мм		900, 600			600		
Глубина заложения от уровня головки рельса, м	Н 900	1,05			–		
	Н 600	0,75			0,75		
Расчетная погашаемая энергетическая высота отцепов ^б , м эн. в.		1,7	1,5	1,3	0,8	0,7	0,6
Режим торможения вагонов		8-ступенчатый			8-ступенчатый		
Продолжительность затормаживания/растормаживания, с		Не более 0,8			Не более 0,8		
Допустимая скорость входа вагонов на замедлитель, м/с		8,0			6,5		
Расход свободного воздуха на одно срабатывание, м ³		1,9	1,6	1,3	1,0	0,8	0,7
Возможность установки в кривой радиусом не менее, м		–	–	–	180		
Тип рельса		Р65			Р65		
Ориентировочная стоимость без НДС, тыс. у. е.	Н 900	190	160	130	–	–	–
	Н 600	150	130	120	100	85	70
Наработка до капитального ремонта, лет, не менее		10			10		
Средний ресурс до списания, лет, не менее		20			20		
^а Замедлители высотой 600 мм устанавливаются на парковой тормозной позиции на щебеночный балласт без фундамента. ^б Принимается 80 % от среднего значения при торможении любых полногрузных вагонов и давления сжатого воздуха 0,65 МПа (6,5 кг/см ²).							

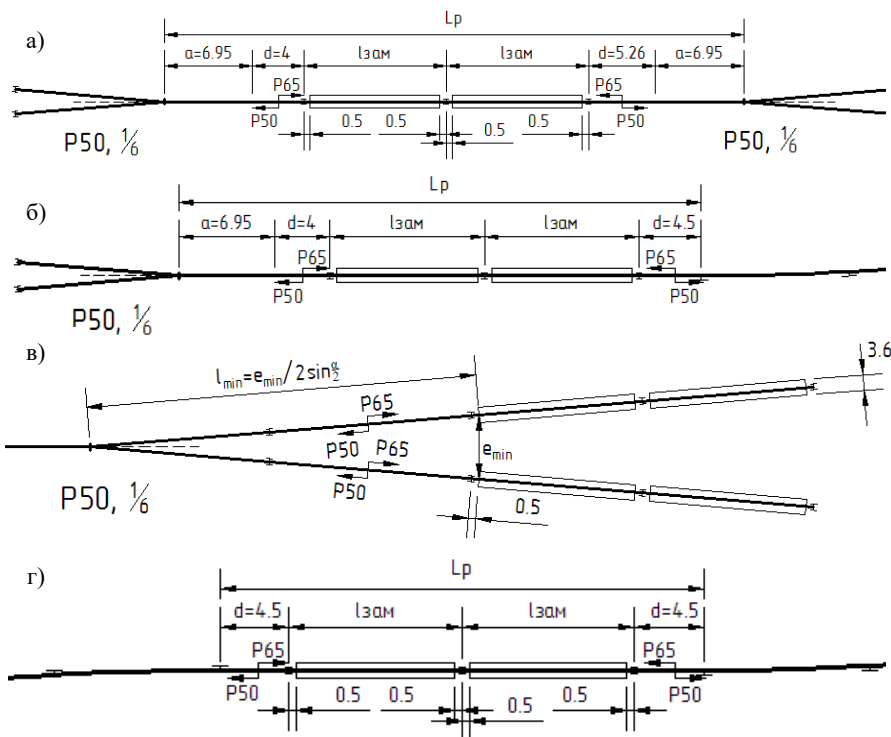


Рисунок 6.7 – Схемы укладки замедлителей ЗВУ:

- a* – размещение тормозной позиции между встречно уложенными стрелочными переводами;
- б* – размещение тормозной позиции между встречно уложенным стрелочным переводом и кривым участком пути; *е* – взаимное размещение замедлителей на пучковой тормозной позиции ($e_{\min} = 4,2$ м; $l_{\min} = 25,47$ м); *г* – размещение тормозной позиции между кривыми участками пути

Укладка замедлителей ЗВУ на парковой тормозной позиции вне закрепостивной кривой производится по схеме, приведенной на рисунке 6.8.

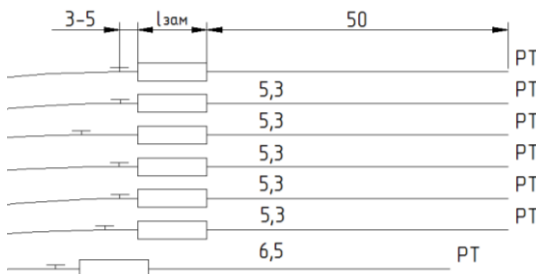


Рисунок 6.8 – Схема укладки замедлителей на парковой тормозной позиции

При этом следует учитывать, что чем больше мощность парковой тормозной позиции сортировочной горки, тем более высокую скорость роспуска составов можно реализовать на ней для сокращения эксплуатационных расходов. Альтер-

нативными вариантами по сравнению с принятым являются установка на парковых тормозных позициях более мощных двухрельсовых трехзвенных замедлителей ЗВУ-02(05) (1,3 м эн. в.) или двух однозвенных замедлителей ЗВУ-07 (0,5 м эн. в.). На горках повышенной, большой мощности и на четырех пучковых горках средней мощности следует на одном пути в каждом пучке устанавливать на парковой тормозной позиции вслед за основными замедлителями дополнительные мощностью 0,4 м эн. в. [7]. Оптимальный вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки выбирается на основе технико-экономических расчетов.

Длина тормозной позиции определяется по схеме укладки замедлителей (см. рисунки 6.7, 6.8).

6.3 Профиль сортировочной горки

Пример 6.10. Для плана головы сортировочного парка (см. рисунок 6.1) рассчитаем параметры продольного профиля спускной части сортировочной горки большой мощности и начала сортировочных путей для пучка с «трудным» путем. Высота горки $H_T = 4,17$ м эн. в. На первой и второй тормозных позициях уложены по два двухрельсовых пятизвенных замедлителя ЗВУ-00, а на парковой позиции в начале каждого сортировочного пути – однорельсовый пятизвенный замедлитель ЗВУМ-600-5-1к. Нормативы для расчета приведены в [7; 33].

Решение. Разбиваем план «трудного» пути № 1.1 на следующие участки: скоростной, первая тормозная позиция, межпозиционный (промежуточный), вторая тормозная позиция, стрелочная зона и сортировочные пути до начала парковой тормозной позиции, парковая (третья) тормозная позиция, сортировочные пути подгорочного парка до расчетной точки (рисунок 6.9). Точки перелома профиля должны находиться от тормозных позиций, острых и крестовин стрелочных переводов на расстоянии, равном тангенсу вертикальной сопрягающей кривой: $T_c = \Delta i \cdot 250 / 2000 = 0,125 \Delta i$.

Так как до окончания расчета профиля получить значение Δi невозможно, целесообразно точки перелома профиля намечать в 3–4 м от конца минимально необходимых прямых участков на тормозных позициях. Если перелом профиля необходим в пределах стрелочного перевода, то точку перелома намечают от центра перевода плюс 2–3 м в сторону крестовины.

Приняв предварительно скоростной уклон равным 50 ‰, определяем тангенс вертикальной сопрягающей кривой $T_c = 50 \cdot 250 / 2000 = 6,25$ м. На плане головы сортировочного парка находим расстояние от вершины горки до начала прямого участка тормозной позиции $l_1 = 79,37$ м и длину скоростного участка $l_{ск} = 79,37 - 2 \cdot 6,25 - 3 = 63,87$ м. Так как длина $l_{ск}$ значительна, разбиваем скоростной участок на два элемента: $l'_{ск}$ и $l''_{ск}$. Длину первого принимаем равной расстоянию от начала скоростного участка до центра стре-

лочного перевода плюс 3 м в сторону его крестовины $l'_{\text{ск}} = 36,07 - 2 \cdot 6,25 + 3 = 26,57$ м. Тогда $l''_{\text{ск}} = 63,87 - 26,57 = 37,3$ м.

Параметры скоростного участка должны обеспечить максимальную скорость роспуска, однако скорость входа «хорошего» бегуна на первую тормозную позицию при благоприятных условиях скатывания не должна превышать максимально допустимую конструкцией замедлителя. Исходя из этого условия высота скоростного участка, м эн. в.,

$$h_{\text{ск}} = (v_{\text{вх}}^2 - v_{\text{o(макс)}}^2) / 2g'_{\text{ох}} + [l_1(w_0^{\text{ох}} \pm w_{\text{сп}}^{\text{ох}}) + 0,23 \sum \alpha_{l_1}^{\text{o}} \cdot \bar{v}_{l_1}^2 + (0,56 + 0,23\alpha_{\text{пер}}) \bar{v}_{l_1}^2 \cdot n_{l_1}] \cdot 10^{-3}, \quad (6.32)$$

где l_1 – расстояние от вершины горки до начала первой тормозной позиции, м;

$v_{\text{вх}}$ – максимально допустимая скорость входа вагона на замедлитель по его конструкции, м/с (для ЗВУ $v_{\text{вх}} = 8$ м/с);

$v_{\text{o(макс)}}$ – максимальная расчетная скорость роспуска, м/с (для ГБМ $v_{\text{o(макс)}} = 2,5$ м/с);

$w_0^{\text{ох}}$ – основное удельное сопротивление движению очень «хорошего» бегуна при благоприятных условиях скатывания, Н/кН ($w_0^{\text{ох}} = 0,5$ Н/кН);

$w_{\text{сп}}^{\text{ох}}$ – дополнительное удельное сопротивление ОХ бегуна от среды и ветра при благоприятных условиях роспуска, Н/кН ($w_{\text{сп}}^{\text{ох}} = 0$, см. пример 6.8);

$\sum \alpha_{l_1}^{\text{o}}$ – сумма углов поворота в круговых кривых на участке l_1 , ° ($\sum \alpha_{l_1}^{\text{o}} = 4,73^\circ$);

\bar{v}_{l_1} – средняя скорость скатывания ОХ бегуна на участке l_1 , м/с (принимаем $\bar{v}_{l_1} = (v_{\text{o(макс)}} + v_{\text{вх}}) / 2 = (2,5 + 8) / 2 = 5,25$ м/с);

n_{l_1} – количество стрелочных переводов на участке l_1 ($n_{l_1} = 2$).

$$h_{\text{ск}} = (8^2 - 2,5^2) / 2 \cdot 9,65 + [79,37 \cdot 0,5 + 0,23 \cdot 4,73 \cdot 5,25^2 + (0,56 + 0,23 \cdot 4,73) \cdot 5,25^2 \cdot 2] \cdot 10^{-3} = 3,153 \text{ м эн. в.}$$

Уклон первого элемента скоростного участка $i'_{\text{ск}}$ принимаем 50 %, а первой тормозной позиции – $i_{\text{т1}} = 12$ %, тогда уклон второго скоростного элемента

$$i''_{\text{ск}} = (1000h_{\text{ск}} - i'_{\text{ск}} l'_{\text{ск}} - i'_{\text{ск}} T_c - 3i_{\text{т1}}) / l''_{\text{ск}} =$$

$$= (3153 - 50 \cdot 26,57 - 50 \cdot 6,25 - 3 \cdot 12) / 37,3 = 39,57 \text{ \%}.$$



Примечание – I и II ТП оснащены двумя замедлителями ЗВУ-00 (мощность одного замедлителя 1,7 м эн. в.); III ТП (парковая) – одним однорельсовым замедлителем ЗВУМ-600-5-1к мощностью 0,80 м эн. в., которые укладываются на каждом пути сортировочного парка. Один замедлитель I ТП считается резервным.

Рисунок 6.9 – Схема продольного профиля спусковой части горки и сортировочных путей до расчетной точки

С учетом значительной высоты скоростного участка крутизна остальных элементов продольного профиля должна соответствовать их минимальным нормативным значениям. Очевидно, что при $i_{\text{т1}} = 12 \text{ \%}$ разность уклонов второго скоростного элемента и участка расположения первой тормозной позиции $\Delta i = 39,57 - 12 = 27,57 \text{ \%}$ превышает 25 %, что является недопустимым при сопряжении двух смежных элементов продольного профиля сортировочных горок. Так как уклон первой тормозной позиции соответствует минимальному значению, следует уменьшить крутизну скоростного участка. Для дальнейших расчетов принимаем уклон второго скоростного элемента $i''_{\text{ск}} = 37 \text{ \%}$. Далее профиль рассчитываем со стороны расчетной точки. Принимаем уклон путей сортировочного парка от конца парковой тормозной позиции до расчетной точки $i_{\text{сп}} = 0,6 \text{ \%}$. Крутизна участка стрелочной зоны и начала сортировочных путей на крайних пучках сортировочных парков, объединяющих до 30 путей, а также в холодных температурных зонах должна проектироваться в пределах от 1,0 до 2,0 %. Минимальное значение $i_{\text{стр}} = 1,0 \text{ \%}$. Уклон второй тормозной позиции должен обеспечить трогание с места остановленного «плохого» бегуна в зимних условиях, но быть не менее 7 %. Принимаем $i_{\text{т2}} = 7 \text{ \%}$. Длины участков тормозных позиций $l_{\text{т1}} = l_{\text{т2}} = 3 + l_{\text{пч}} + 3 = 3 + 26,96 + 3 = 32,96 \text{ м}$ и промежуточного участка $l_{\text{пр}} = 41,51 \text{ м}$. Варьироваться может крутизна промежуточного участка $i_{\text{пр}}$.

Уклон этого участка

$$i_{\text{пр}} = [10^3 H_{\Gamma} - (i'_{\text{СК}} T_{\text{С}} + i'_{\text{СК}} l'_{\text{СК}} + i''_{\text{СК}} l''_{\text{СК}} + i_{\text{T1}} l_{\text{T1}} + i_{\text{T2}} l_{\text{T2}} + i_{\text{СТР}} l_{\text{СТР}} + i_{\text{T3}} l_{\text{T3}} + i_{\text{СП}} l_{\text{СП}})] / l_{\text{пр}} = \\ = [10^3 \cdot 4,17 - (50 \cdot 6,25 + 50 \cdot 26,57 + 37 \cdot 37,3 + 12 \cdot 32,96 + 7 \cdot 32,96 + \\ + 1,0 \cdot 140,88 + 1,0 \cdot 19,48 + 0,6 \cdot 52,27)] / 41,51 = (4170 - 3839,06) / 41,51 \cong 8 \text{ ‰}.$$

Полученная величина $i_{\text{пр}}$ удовлетворяет условию $i'_{\text{T1}} \geq i_{\text{пр}} \geq i''_{\text{T2}}$, поэтому запроектированный вариант конструкции продольного профиля спускной части сортировочной горки соответствует всем нормативным требованиям и может быть принят в качестве исходного для последующего анализа. Чтобы построить такой профиль, определим высоты точек его переломов (точек начала и конца элементов профиля) относительно расчетной точки, м эн. в.

$$h_{\text{СП}} = 10^{-3} i_{\text{СП}} l_{\text{СП}} = 10^{-3} \cdot 0,6 \cdot 52,27 = 0,03;$$

$$h_{\text{T3}} = h_{\text{СП}} + 10^{-3} i_{\text{T3}} l_{\text{T3}} = 0,03 + 10^{-3} \cdot 1 \cdot 19,48 = 0,05;$$

$$h_{\text{СТР}} = h_{\text{T3}} + 10^{-3} i_{\text{СТР}} l_{\text{СТР}} = 0,05 + 10^{-3} \cdot 1,0 \cdot 140,88 = 0,19;$$

$$h_{\text{T2}} = h_{\text{СТР}} + 10^{-3} i_{\text{T2}} l_{\text{T2}} = 0,19 + 10^{-3} \cdot 7 \cdot 32,96 = 0,42;$$

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{T2}} + 10^{-3} i_{\text{пр}} l_{\text{пр}} = 0,42 + 10^{-3} \cdot 8 \cdot 41,51 = 0,75;$$

$$h_{\text{T1}} = h_{\text{пр}} + 10^{-3} i_{\text{T1}} l_{\text{T1}} = 0,75 + 10^{-3} \cdot 12 \cdot 32,96 = 1,15;$$

$$h''_{\text{СК}} = h_{\text{T1}} + 10^{-3} i''_{\text{СК}} l''_{\text{СК}} = 1,15 + 10^{-3} \cdot 37 \cdot 37,3 = 2,53;$$

$$h'_{\text{СК}} = h''_{\text{СК}} + 10^{-3} i'_{\text{СК}} l'_{\text{СК}} = 2,53 + 10^{-3} \cdot 50 \cdot 26,57 = 3,86;$$

$$h''_{\text{TС}} = h'_{\text{СК}} + 10^{-3} \cdot 0,833 \cdot i'_{\text{СК}} T_{\text{С}} = 3,86 + 10^{-3} \cdot 0,833 \cdot 50 \cdot 6,25 = 4,12;$$

$$h'_{\text{TС}} = h''_{\text{TС}} + 10^{-3} \cdot 0,167 \cdot i'_{\text{СК}} T_{\text{С}} = 4,12 + 10^{-3} \cdot 0,167 \cdot 50 \cdot 6,25 = 4,17.$$

Длина расчетного пути

$$L_{\text{р}} = 2T_{\text{С}} + l'_{\text{СК}} + l''_{\text{СК}} + l_{\text{T1}} + l_{\text{пр}} + l_{\text{T2}} + l_{\text{СТР}} + l_{\text{T3}} + l_{\text{СП}} = \\ = 2 \cdot 6,25 + 26,57 + 37,3 + 32,96 + 41,51 + 32,96 + 140,88 + 19,48 + 52,27 = 396,43 \text{ м}.$$

6.4 Аналитический расчет скоростей движения отцепов

Пример 6.11. Для продольного профиля спускной части сортировочной горки, рассчитанного в примере 6.10 (см. рисунок 6.9) определить скорость входа и выхода с тормозных позиций очень «хорошего» (ОХ) бегуна при благоприятных условиях скатывания (попутный ветер $v_{\text{в}} = 5 \text{ м/с}$, расчетная

температура $t = 32,4 \text{ }^\circ\text{C}$, $v_0 = 2,5 \text{ м/с}$) по маршруту на «трудный» путь. На первой и второй тормозных позициях уложено по два пятизвенных двухрельсовых замедлителя ЗВУ-00, на третьей – один пятизвенный однорельсовый замедлитель ЗВУМ-600-5-1к. Отцеп подвергается торможению на одном замедлителе первой (второй замедлитель резервный) и второй тормозных позициях. В качестве ОХ бегуна принят четырехосный полувагон массой 100 т. Расстояние от низа второй тормозной позиции до предельного столбика «трудного» пути № 1.1 минус 3 м составляет 92 м.

Решение. Для упрощения решения задачи, условимся считать скорость входа на тормозные позиции – скорость ОХ бегуна в точках перелома профиля Г, Е и К (от этих точек до начала тормозной позиции 3 м); скорость выхода – скорость в точках Д, Ж и Л; скорость ОХ бегуна в точке Б, равной скорости роспуска $v_B = v_0 = 2,5 \text{ м/с}$. Скорость отцепа в конце любого элемента профиля [28, 32]

$$v_k = \sqrt{v_n^2 + 2g'l(i - w_0 - w_{\text{ск}} \pm w_{\text{сп}}) \cdot 10^{-3} - 2g'h_t}, \quad (6.33)$$

где v_n – скорость отцепа в начале элемента профиля, м/с;

g' – коэффициент приведения ускорения свободного падения с учетом инерции вращающихся частей вагонов (для очень «хорошего» бегуна $g' = 9,65 \text{ м/с}^2$);

l – длина элемента профиля, м;

i – уклон элемента профиля, ‰;

w_0 – основное удельное сопротивление движению отцепа, Н/кН (для ОХ бегуна $w_0 = 0,5 \text{ Н/кН}$);

$w_{\text{ск}}$ – дополнительное удельное сопротивление движению отцепа от стрелочных переводов и кривых, расположенных в пределах элемента профиля, Н/кН (рассчитываем по плану головной части сортировочного парка, см. рисунок 6.1);

$w_{\text{сп}}$ – удельное сопротивление воздушной среды и ветра в пределах рассчитываемого элемента, Н/кН;

h_t – энергетическая высота, погашаемая на тормозной позиции, м эк. в.

Удельное сопротивление воздушной среды и ветра в пределах рассчитываемого элемента определяем по формуле (6.1), принимая за среднюю скорость движения отцепа скорость в начале расчетного участка. Приняв скорость отцепа в точке Б равной скорости роспуска $v_0 = 2,5 \text{ м/с}$, получим

$$-w_{\text{сп}}^{\text{ББ}} = \frac{17,8 \cdot 1,36 \cdot 8,5}{(273 + 32,4) \cdot 100} (2,5 - 5)^2 = -0,04 \text{ Н/кН}.$$

Используя план горочной горловины сортировочного парка, найдем дополнительное удельное сопротивление движению по кривым и стрелочным переводам на участке Б–В (первый скоростной участок и вертикальная кривая):

$$w_{\text{ск}}^{\text{БВ}} = [0,23 \sum \alpha_{\text{БВ}} \cdot v_{\text{БВ}}^2 + (0,56 + 0,23 \alpha_{\text{пер}}) n_{\text{БВ}} \cdot v_{\text{БВ}}^2] / (l'_{\text{ск}} + T_{\text{с}}) = \\ = [0,23 \cdot 4,73 \cdot 2,5^2 + (0,56 + 0,23 \cdot 4,73) \cdot 0,5 \cdot 2,5^2] / (26,57 + 6,25) = 0,36 \text{ Н/кН.}$$

Подставив исходные данные в формулу (6.33), получим

$$v_{\text{к}} = \sqrt{2,5^2 + 2 \cdot 9,65(26,57 + 6,25)(50 - 0,5 - 0,36 + 0,04) \cdot 10^{-3}} - 0 = 6,12 \text{ м/с.}$$

Для участка В–Г (второй скоростной участок)

$$w_{\text{сп}}^{\text{ВГ}} = \frac{17,8 \cdot 1,36 \cdot 8,5}{(273 + 32,4) \cdot 100} (6,12 - 5)^2 = 0,008 \approx 0;$$

$$w_{\text{ск}}^{\text{ВГ}} = [(0,56 + 0,23 \cdot 4,73) \cdot 1,5 \cdot 6,12^2] / 37,3 = 2,49 \text{ Н/кН.}$$

Скорость входа ОХ бегуна на первую тормозную позицию

$$v_{\text{Г}} = \sqrt{6,12^2 + 2 \cdot 9,65 \cdot 37,3(37 - 0,5 - 2,49 - 0) \cdot 10^{-3}} - 0 = 7,9 \approx 8 \text{ м/с.}$$

Скорость входа ОХ бегуна на первую тормозную позицию практически соответствует допустимой скорости входа вагона на замедлитель по его конструкции $v_{\text{вх}} = 8 \text{ м/с}$. Расхождение связано с отступлением величины уклона второго скоростного элемента от его максимального значения по условию обеспечения плавного сопряжения двух смежных элементов профиля (см. пример 6.10) и расположением точки Г перед тормозной позицией на расстоянии 3 м от ее начала.

Удельное сопротивление воздушной среды и ветра на участке Г–Д (I ТП)

$$w_{\text{сп}}^{\text{ГД}} = \frac{17,8 \cdot 1,36 \cdot 8,5}{(273 + 32,4) \cdot 100} (7,9 - 5)^2 = 0,067 (7,9 - 5)^2 = 0,06 \text{ Н/кН};$$

$$w_{\text{ск}}^{\text{ГД}} = 0 \text{ Н/кН.}$$

При торможении ОХ бегуна на первой тормозной позиции на одном замедлителе ($h_{\text{Г1}} = 1,7 \text{ м эн. в.}$) скорость выхода с позиции

$$v_{\text{Д}} = \sqrt{7,9^2 + 2 \cdot 9,65 \cdot 32,96(12 - 0,5 - 0,06) \cdot 10^{-3}} - 2 \cdot 9,65 \cdot 1,7 = 6,2 \text{ м/с.}$$

Для участка Д–Е (промежуточный участок) удельное сопротивление стрелочных переводов и кривых участков пути

$$w_{\text{ск}}^{\text{ДЕ}} = (0,23(3,50 + 4,50) \cdot 6,2^2 + 1,65 \cdot 6,2^2 \cdot 1) / 41,51 = 3,23 \text{ Н/кН};$$

удельное сопротивление воздушной среды и ветра

$$w_{\text{ср}}^{\text{ДЕ}} = 0,067(6,2 - 5)^2 = 0,10 \text{ Н/кН.}$$

Скорость входа ОХ бегуна на вторую тормозную позицию

$$v_E = \sqrt{6,2^2 + 2 \cdot 9,65 \cdot 41,51(8 - 0,5 - 3,23 - 0,10) \cdot 10^{-3}} - 0 = 6,46 \text{ м/с.}$$

Для участка расположения второй тормозной позиции Е–Ж (II ТП)

$$-w_{\text{ср}}^{\text{ЕЖ}} = 0,067(6,46 - 5)^2 = -0,14 \text{ Н/кН.}$$

При торможении на второй тормозной позиции одним замедлителем $h_{\text{оз}} = 1,7$ м эн. в. скорость выхода ОХ бегуна с позиции

$$v_{\text{Ж}} = \sqrt{6,46^2 + 2 \cdot 9,65 \cdot 32,96(7 - 0,5 + 0,14) \cdot 10^{-3}} - 2 \cdot 9,65 \cdot 1,7 = 3,63 \text{ м/с.}$$

Для участка Ж–З (стрелочной зоны)

$$-w_{\text{ср}}^{\text{ЖЗ}} = 0,067(3,63 - 5)^2 = -0,13 \text{ Н/кН;}$$

$$w_{\text{ск}}^{\text{ЖЗ}} = (0,23 \cdot 1 \cdot 3,63^2 + 1,65 \cdot 3,63^2 \cdot 3) / 92 = 0,73 \text{ Н/кН;}$$

$$v_3 = \sqrt{3,63^2 + 2 \cdot 9,65 \cdot 92(1,0 - 0,5 - 0,73 + 0,13) \cdot 10^{-3}} = 3,61 \text{ м/с.}$$

Для участка начала сортировочных путей З–К (участок $l_{\text{сн}}^{\text{T}}$ от предельного столбика «трудного» пути до начала парковой тормозной позиции) при $l_{\text{сн}}^{\text{T}} = 54,88$ м

$$-w_{\text{ср}}^{\text{ЗК}} = 0,067(3,61 - 5)^2 = -0,13 \text{ Н/кН;}$$

$$w_{\text{ск}}^{\text{ЗК}} = (0,23 \cdot 23,19 \cdot 3,61^2) / 54,88 = 1,27 \text{ Н/кН.}$$

Скорость входа ОХ бегуна на третью (парковую) тормозную позицию

$$v_K = \sqrt{3,61^2 + 2 \cdot 9,65 \cdot 54,88(1 - 0,5 - 1,27 + 0,13) \cdot 10^{-3}} = 3,51 \text{ м/с.}$$

Для участка третьей тормозной позиции К–Л (III ТП)

$$-w_{\text{ср}} = 0,067(3,51 - 5)^2 = -0,15 \text{ Н/кН;}$$

$$w_{\text{ск}} = 0 \text{ Н/кН.}$$

Скорость выхода ОХ бегуна с третьей тормозной позиции при торможении на полную мощность

$$v_{\text{Л}} = \sqrt{3,51^2 + 2 \cdot 9,65 \cdot 19,48(1 - 0,5 + 0,15) \cdot 10^{-3}} - 2 \cdot 9,65 \cdot 0,8 = 0 \text{ м/с.}$$

Запроектированный профиль обеспечивает безопасность расформирования составов при скорости роспуска ОХ бегуна 2,5 м/с. Скорость входа на тормозные позиции не превышает максимально допустимую и обеспечивается остановка отцепа на третьей тормозной позиции при торможении на первой и второй позиции одним замедлителем.

Пример 6.12. Для продольного профиля спускной части горки (см. рисунок 6.9) определить скорость очень «плохого» (ОП) бегуна в точках перелома профиля. Отцеп скатывается при неблагоприятных условиях на «трудный» путь без торможения. Расчетная температура воздуха $t = -29,5$ °С, ветер встречный под углом 20° , расчетная его скорость 5,6 м/с. Расчетная масса ОП бегуна $q = 22$ т. «Трудный» путь сортировочного парка – путь № 1.1 (см. рисунок 6.1). Скорость роспуска $v_0 = 1,7$ м/с.

Решение. Основное удельное сопротивление движению ОП бегуна (для горочных технологических расчетов принимается четырехосный полувагон на роликовых подшипниках) в соответствии с таблицей 6.7 $w_0^{\text{оп}} = 4,5$ Н/кН. Удельное сопротивление воздушной среды и ветра определяется по средней скорости движения вагона на расчетных участках (см. таблицу 6.2 для горок большой мощности (ГБМ)). На всех расчетных участках горки Б–В, В–Г, Г–Д, Д–Е, Е–Ж, Ж–З, З–К, К–Л и Л–М принимаем $\alpha = \beta/2 = 10^\circ$.

Участок Б–В (первый скоростной участок и вертикальная кривая)

$$w_{\text{ск}}^{\text{БВ}} = [0,23 \sum \alpha_{\text{БВ}} v_1^2 + (0,56 + 0,23 \alpha_{\text{пер}}) n v_1^2] / (i'_{\text{ск}} + T_c) =$$

$$= (0,23 \cdot 4,73 \cdot 4,2^2 + 1,65 \cdot 0,5 \cdot 4,2^2) / (26,57 + 6,25) = 1,03 \text{ Н/кН};$$

$$v_{\text{п}}^{\text{БВ}} = \sqrt{v_1^2 + v_{\text{в}}^2 + 2v_1 v_{\text{в}} \cos \beta} = \sqrt{4,2^2 + 5,6^2 + 2 \cdot 4,2 \cdot 5,6 \cdot 0,93969} = 9,65 \text{ м/с};$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{БВ}} = \frac{17,8 C_x S}{(273 + t) q_{\text{оп}}} v_{\text{п}}^2 =$$

$$= \frac{17,8 \cdot 1,68 \cdot 8,5}{(273 - 29,5) 22} v_{\text{п}}^2 = 0,047 v_{\text{п}}^2 = 0,047 \cdot 9,65^2 = 4,38 \text{ Н/кН}.$$

Подставляя исходные данные в формулу (6.33), получим

$$v_{\text{в}} = \sqrt{1,7^2 + 2 \cdot 9,11(26,57 + 6,25)(50 - 4,5 - 1,03 - 4,38) \cdot 10^{-3}} = 5,18 \text{ м/с}.$$

Для участка ВГ (второй скоростной участок)

$$w_{\text{ск}}^{\text{ВГ}} = (1,65 \cdot 1,5 \cdot 4,2^2) / 37,3 = 1,17 \text{ Н/кН};$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{ВГ}} = w^{\text{БВ}} = 4,38 \text{ Н/кН}.$$

Скорость входа ОП бегуна на первую тормозную позицию

$$v_{\Gamma} = \sqrt{5,18^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 37,3(37 - 4,5 - 1,17 - 4,38) \cdot 10^{-3}} = 6,72 \text{ м/с.}$$

Для участка Γ –Д (I ТП)

$$w_{\text{ск}}^{\Gamma\text{Д}} = 0 \text{ Н/кН;}$$

$$v_{\text{п}}^{\Gamma\text{Д}} = \sqrt{5,5^2 + 5,6^2 + 2 \cdot 5,5 \cdot 5,6 \cdot 0,93969} = 10,93 \text{ м/с;}$$

$$w_{\text{ср}}^{\Gamma\text{Д}} = 0,047 \cdot 10,93^2 = 5,61 \text{ Н/кН;}$$

$$v_{\text{Д}} = \sqrt{6,72^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 32,96(12 - 4,5 - 0 - 5,61) \cdot 10^{-3}} = 6,80 \text{ м/с.}$$

Для участка Д–Е (промежуточный участок)

$$w_{\text{ск}}^{\text{ДЕ}} = (0,23 \cdot 8 \cdot 5,5^2 + 1,65 \cdot 5,5^2 \cdot 1) / 41,51 = 2,54 \text{ Н/кН;}$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{ДЕ}} = w_{\text{ср}}^{\Gamma\text{Д}} = 5,61 \text{ Н/кН.}$$

Скорость входа ОП бегуна на вторую тормозную позицию

$$v_{\text{Е}} = \sqrt{6,80^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 41,51(8 - 4,5 - 2,54 - 5,61) \cdot 10^{-3}} = 6,54 \text{ м/с.}$$

Для участка Е–Ж (II ТП)

$$w_{\text{ск}}^{\text{ЕЖ}} = 0 \text{ Н/кН;}$$

$$v_{\text{п}}^{\text{ЕЖ}} = \sqrt{5^2 + 5,6^2 + 2 \cdot 5 \cdot 5,6 \cdot 0,93969} = 10,44 \text{ м/с;}$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{ЕЖ}} = 0,047 \cdot 10,44^2 = 5,12 \text{ Н/кН;}$$

$$v_{\text{Ж}} = \sqrt{6,53^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 32,96(7 - 4,5 - 0 - 5,12) \cdot 10^{-3}} = 6,41 \text{ м/с.}$$

Для участка Ж–З (стрелочная зона) дополнительное удельное сопротивление снега и инея $w_{\text{сн}} = 0,49 \text{ Н/кН;}$

$$w_{\text{ск}}^{\text{ЖЗ}} = (0,23 \cdot 1 \cdot 5^2 + 1,65 \cdot 3 \cdot 5^2) / 92 = 1,41 \text{ Н/кН;}$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{ЖЗ}} = w_{\text{ср}}^{\text{ЕЖ}} = 5,12 \text{ Н/кН;}$$

$$v_{\text{З}} = \sqrt{6,41^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 92(1,0 - 4,5 - 1,41 - 5,12 - 0,49) \cdot 10^{-3}} = 4,84 \text{ м/с.}$$

Для участка З–К (участок начала сортировочных путей)

$$w_{\text{ск}}^{\text{ЗК}} = (0,23 \cdot 23,19 \cdot 5^2) / 54,88 = 2,43 \text{ Н/кН;}$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{ЗК}} = w_{\text{ср}}^{\text{ЖЗ}} = 5,12 \text{ Н/кН.}$$

Скорость входа ОП бегуна на третью тормозную позицию

$$v_K = \sqrt{4,84^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 54,88(1 - 4,5 - 2,43 - 5,12 - 0,49) \cdot 10^{-3}} = 3,45 \text{ м/с.}$$

Для участка КЛ (III ТП)

$$w_{\text{ск}}^{\text{КЛ}} = 0 \text{ Н/кН;}$$

$$v_p = \sqrt{2^2 + 5,6^2 + 2 \cdot 2 \cdot 5,6 \cdot 0,93969} = 7,51 \text{ м/с;}$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{КЛ}} = 0,047 \cdot 7,51^2 = 2,65 \text{ Н/кН.}$$

$$v_{\text{Л}} = \sqrt{3,45^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 19,48(1,0 - 4,5 - 2,65 - 0,49) \cdot 10^{-3}} = 3,09 \text{ м/с.}$$

Для участка ЛМ (участок сортировочных путей от конца III ТП до РТ)

$$w_{\text{ск}}^{\text{ЛМ}} = 0 \text{ Н/кН;}$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{ЛМ}} = w_{\text{ср}}^{\text{КЛ}} = 2,65 \text{ Н/кН.}$$

Скорость подхода ОП бегуна к расчетной точке

$$v_M = \sqrt{3,09^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 52,27(0,6 - 4,5 - 2,65 - 0,49) \cdot 10^{-3}} = 1,69 \text{ м/с.}$$

Расчетная высота горки обеспечивает докатывание ОП бегуна при неблагоприятных условиях скатывания до расчетной точки «трудного» пути. Скоростная (остаточная) энергетическая высота, эквивалентная скорости ОП бегуна в расчетной точке, составляет $h_v = 1,69^2 / 2 \cdot 9,11 = 0,16$ м эн. в. При необходимости эта энергетическая высота может быть погашена на парковой тормозной позиции, наличная мощность которой 0,8 м эн. в., для обеспечения допустимой скорости соударения вагонов в сортировочном парке $v_{\text{соуд}} = 1,4$ м/с или для полной остановки отцепа в пределах парковой тормозной позиции. В случае свободы пути сортировочного парка ОП бегун может проследовать в глубину сортировочного парка на расстояние [12; 35]

$$l_{\text{дп}} = \frac{h_v \cdot 10^3}{w_0 + w_{\text{ср}} + w_{\text{ск}} + w_{\text{сн}} \pm i_c}, \quad (6.34)$$

где $l_{\text{дп}}$ – дальность пробега в сортировочный парк ОП бегуна, м;

$w_{\text{ср}}$ – дополнительное сопротивление от воздушной среды и ветра при движении отцепа на сортировочном пути, Н/кН;

$w_{\text{ск}}$ – дополнительное удельное сопротивление движению вагонов в кривых участках сортировочного пути, Н/кН;

$w_{\text{сн}}$ – удельное сопротивление снега и инея на сортировочном пути, Н/кН;
 i_c – усредненный уклон сортировочного пути, ‰.

Расстояние $l_{\text{дп}}$ определяется относительно расчетной точки.

При средней скорости свободного движения ОП бегуна по сортировочному пути до момента полной остановки $v_{\text{сн}} = 1,69 / 2 = 0,85$ м/с

$$v_p = \sqrt{0,85^2 + 5,6^2 + 2 \cdot 0,85 \cdot 5,6 \cdot 0,93969} = 6,41 \text{ м/с};$$

$$w_{\text{ср}} = 0,047 \cdot 6,41^2 = 1,93 \text{ Н/кН}.$$

Принимаем $w_{\text{ск}} = 0$ Н/кН, $w_{\text{сн}} = 0,49$ Н/кН, а усредненный уклон сортировочного пути $i_c = 0,6$ ‰ в направлении сортировки. Дальность пробега ОП бегуна от расчетной точки в глубину сортировочного парка

$$l_{\text{дп}} = \frac{0,16 \cdot 10^3}{4,5 + 1,93 + 0 + 0,49 - 0,6} = 25,32 \approx 25 \text{ м}.$$

Общая дальность пробега отцепов в глубину парка относительно низа парковой тормозной позиции $L_{\text{дп}} = 55,27 + 25,32 = 80,59 \text{ м} \approx 81 \text{ м}$.

6.5 Анализ и проектирование продольного профиля спускной части сортировочной горки с применением сплайновых моделей

Пример 6.13. С помощью сплайнового метода определить гладкость сопряжения всех элементов исследуемого продольного профиля и запроектировать гладкий сплайновый продольный профиль сортировочной горки в соответствии с параметрами, приведенными в примере 6.10. Рассчитать потенциально реализуемую максимальную скорость роспуска составов с горки при последовательном чередовании отцепов в сочетании ОП–ОХ–ОП и неблагоприятных условиях скатывания для принятого варианта продольного профиля проектируемой сортировочной горки.

Решение. В соответствии с примерами 6.7 и 6.10 высота горки $H_{\Gamma} = 4,17$ м эк. в., средняя температура неблагоприятного расчетного месяца $t = -6,9$ °С, $t_{\text{min}} = -37$ °С, ветер встречный, северо-западный под углом $\beta = 20$ ° к направлению сортировки со скоростью $v_{\text{в}} = 5,6$ м/с. Высота сортировочной горки определена при расчетной массе очень «плохого» бегуна (крытый четырехосный $l_{\text{в}}^{\text{п}} = 11,63$ м, $l_{\text{в}}^{\text{н}} = 14,73$ м) $q = 30$ т. Средняя температура благоприятного расчетного месяца $t = 18,6$ °С, $t_{\text{max}} = 37$ °С, скорость попутного ветра $v_{\text{в}} = 5$ м/с. При моделировании скатывания в неблагоприятных условиях расчетных бегунов в наиболее трудном сочетании ОП–ОХ–ОП расчетная

масса очень «плохого» ОП бегуна (полувагон четырехосный $l_6^{\text{оп}} = 10,45$ м, $l_{\text{в}}^{\text{оп}} = 13,92$ м) принята $q = 22$ т, очень «хорошего» ОХ бегуна (полувагон четырехосный) – $q = 100$ т. Параметры «трудного» пути № 1.1, соседнего с «трудным» № 1.2 и «легкого» № 2.3 путей определены в соответствии с планом головы сортировочного парка (см. рисунок 6.1), таблицами 6.4–6.6. Горка запроектирована с тремя тормозными позициями. На первой и второй (пучковой) тормозных позициях уложены по два замедлителя ЗВУ–00 мощностью 1,7 м эн. в. каждый, на парковой тормозной позиции каждого сортировочного пути укладывается один длиннобалочный замедлитель ЗВУМ–600–5–1к мощностью 0,8 м эн. в.

Проверка гладкости сопряжения элементов продольного профиля спускной части сортировочной горки. Параметры запроектированных в примере 6.10 участков продольного профиля спускной части сортировочной горки и начала подгорочных путей будем использовать в качестве исходных данных для автоматизированного расчета сплайновой модели продольного профиля (кубическая сплайновая модель с дефектом первого порядка) [15; 28]. Результаты расчета показаны на рисунке 6.10. Графическое представление модели показывает, что элементы профиля сопряжены достаточно гладко, так как отсутствуют ямы, волны или трамплины на профиле, а также резкие переходы от одного элемента к другому. Таким образом, можно сделать вывод, что запроектированный продольный профиль имеет достаточно высокую степень гладкости сопряжения одновременно всех его элементов.

Отличительной особенностью исходной конструкции продольного профиля является концентрация профильной высоты на головном участке сортировочной горки при реализации максимально допустимой скорости входа ОХ бегуна на вагонный замедлитель первой тормозной позиции, что позволяет достичь наилучшей динамики движения отцепов на спускной части горки. Уклон стрелочной зоны и сортировочных путей до начала парковой тормозной позиции имеет минимальное значение, равное 1 ‰. Содержание этого участка, наряду с перевальной частью, в процессе эксплуатации сортировочных горок вызывает наибольшие сложности и часто фактические параметры профиля значительно отклоняются от проектных значений, образуя различные деформации земляного полотна, в т. ч. противоуклоны. Для уменьшения негативных явлений целесообразно уменьшить крутизну второго скоростного участка и увеличить уклон стрелочной зоны и начала сортировочных путей до 1,5 ‰, обеспечивая гладкость сопряжения остальных элементов продольного профиля спускной части сортировочной горки. Такая конструкция профиля, показанная на рисунке 6.11, может быть альтернативным вариантом исходному продольному профилю, запроектированному в примере 6.10.

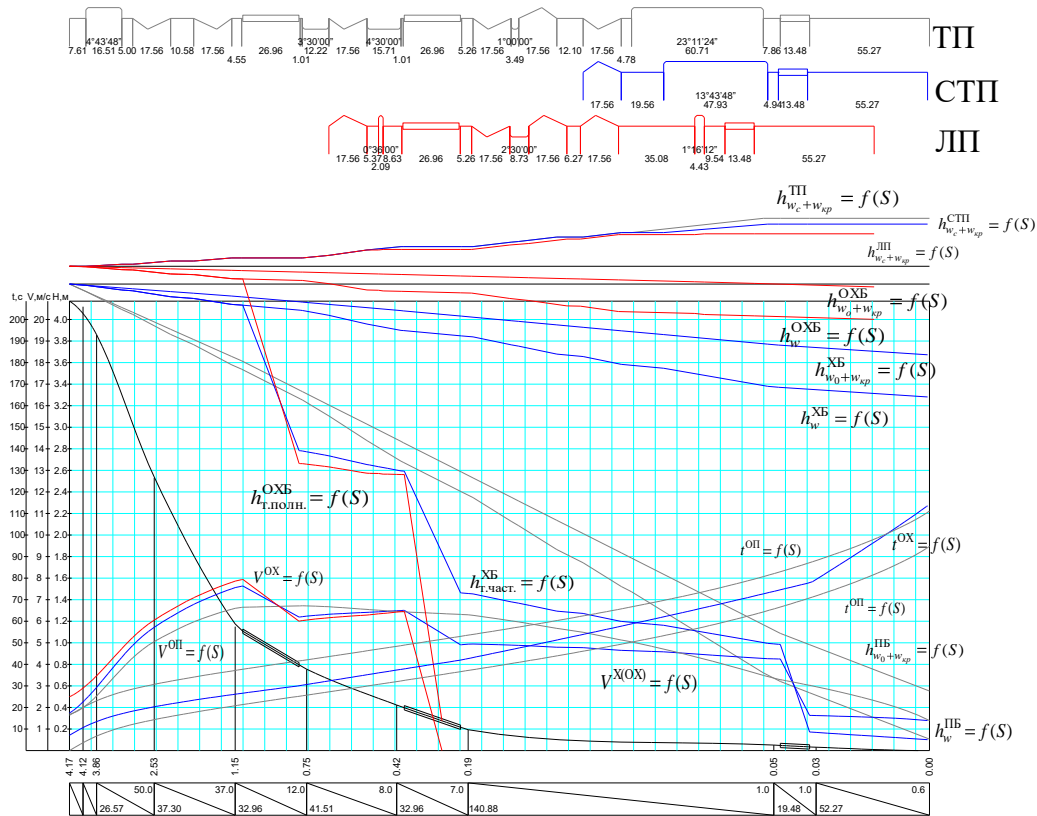


Рисунок 6.10 – Слайдовая модель продольного профиля, запроектированного в примере 6.10, при $H_{\Gamma} = 4,17$ м; w_0 (ОПБ) = 4,5 Н/кН; w_0 (ОХБ) = 0,5 Н/кН; $P_{\text{ТП}} = 48$ %; $P_{\text{СТП}} = 27$ %; $l_{\text{ск1}} = 26,57$ м; $i_{\text{ск1}} = 50$ ‰; $i_{\text{ск2}} = 37$ ‰; $i_{\text{Т1}} = 12$ ‰; $i_{\text{ПР}} = 8$ ‰

Определение потенциально реализуемой максимальной скорости роспуска составов с горки при последовательном чередовании ОП–ОХ–ОП отцепов в неблагоприятных условиях скатывания (продольный профиль проектируется в соответствии с параметрами, рассчитанными в примере 6.10). Проверка возможности реализации установленной скорости и определение потенциально реализуемой максимальной скорости роспуска составов на запроектированной сортировочной горке, оценка качества продольного профиля ее спускной части выполняется на основе результатов моделирования работы сортировочного устройства [12; 15; 32].

Моделирование работы сортировочных горок связано с трудоемкими расчетами и графическими построениями, поэтому целесообразно воспользоваться средствами программного обеспечения «PP_SG» (САПР СГ). Подробная характеристика данного программного комплекса приведена в [12 и 15, приложение Б]. При использовании автоматизированных методов в расчетах сортировочных горок появляется возможность многократно моделировать процесс скатывания отцепов с горки в их самых неблагоприятных сочетаниях, параметры которых используются в горочных конструктивных и технологических расчетах (кроме расчета высоты горки и ее продольного профиля).

В соответствии с [7; 33] возможность реализации расчетной и определение потенциально реализуемой максимальной скорости роспуска составов для проектируемых горок проверяется наличием достаточных интервалов для разделения ОП (П) и ОХ (Х) бегунов на всех разделительных элементах спускной части горки, сочетание которых устанавливается в зависимости от мощности сортировочных устройств, их технического оснащения, структуры перерабатываемого вагонопотока (см. таблицу 6.10). Кроме того, необходимо предусматривать резерв времени на каждом разделительном элементе не менее 1 с из расчета продолжительности перевода остряжков стрелочного перевода, приведения в рабочее положение балок современных вагонных замедлителей, равной 0,6 и 0,2–0,8 с соответственно.

Для горок большой мощности проверку продольного профиля выполняют при моделировании скатывания в неблагоприятных условиях расчетных бегунов в наиболее трудном сочетании ОП–ОХ–ОП и $v_0 = 1,7$ м/с.

Для проверки возможности перевода стрелочных переводов, тормозных балок замедлителей в интервале времени между отцепами и расчета потенциально реализуемой максимальной скорости роспуска составов с горки необходимо определить и сопоставить фактические и минимально необходимые интервалы на первом и последнем разделительных стрелочных переводах и тормозных позициях (первой и пучковой) на общем пути следования отцепов в их неблагоприятных сочетаниях.

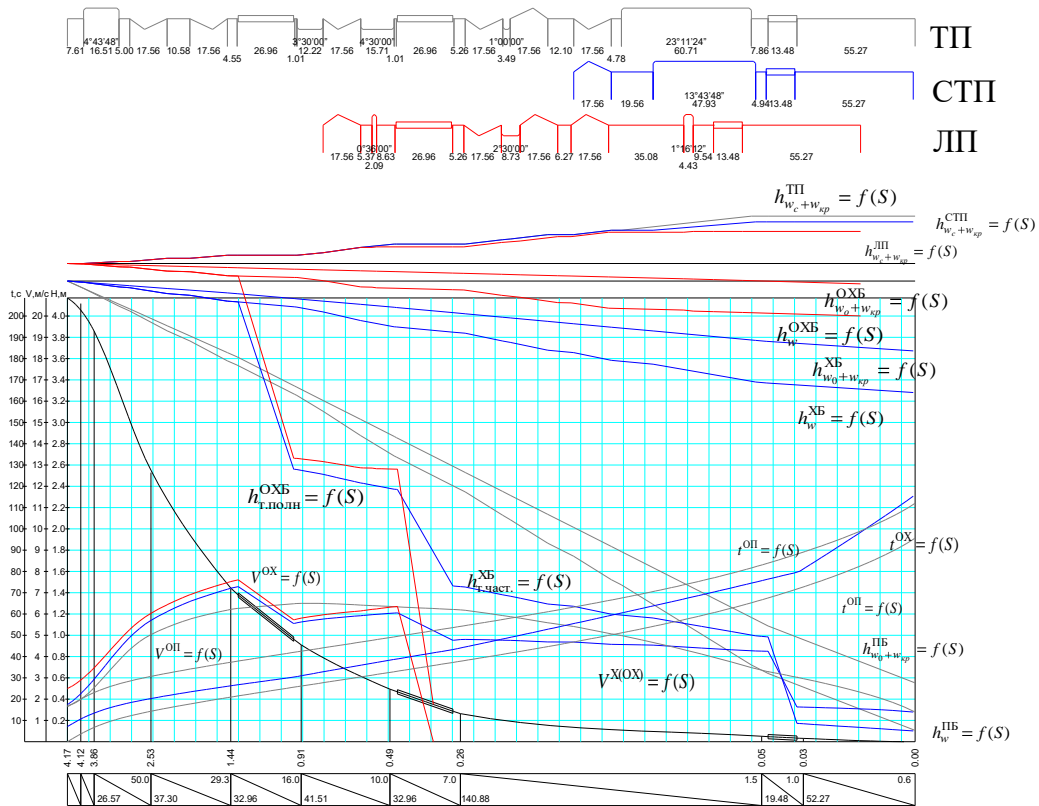


Рисунок 6.11 – Гладко сопряженный продольный профиль сортировочной горки при $H_t = 4,17$ м; w_0 (ОПБ) = 4,5 Н/кН; w_0 (ОХБ) = 0,5 Н/кН; $R_{ТП} = 48\%$; $R_{СТП} = 27\%$; $l_{ck1} = 26,57$ м; $l_{ck1} = 50\%$; $i_{т1} = 16\%$; $i_{ПР} = 10\%$, $i_{стр} = 1,5\%$

Минимально необходимый интервал $t_{\min}^{\text{стр}}$ между отцепами на стрелочных переводах определяется в соответствии с [15; 28] по формуле

$$t_{\min}^{\text{стр}} = \frac{l_{\text{расч}}^{\text{стр}}}{v_{\text{ср}}^{\text{стр}}},$$

где $l_{\text{расч}}^{\text{стр}}$ – минимальное расчетное расстояние между отцепами на стрелочном переводе, которое определяется в соответствии с рисунками 6.4 и 6.11 по формуле (6.8), м,

$$l_{\text{расч}}^{\text{стр}} = l_6^{\text{ох}}/2 + l_{\text{изол}} + l_6^{\text{оп}}/2,$$

$l_6^{\text{ох}}$, $l_6^{\text{оп}}$ – колесные базы очень «хорошего» и «плохого» бегунов, м;

$l_{\text{изол}}$ – изолированная секция стрелочного перевода, включающая предстрелочный участок $l_{\text{пр}}$ длиной не менее 6 м, длину остряков стрелочного перевода $l_{\text{ост}}$ и длину выступа $l_{\text{выст}}$ от корня остряков до изолирующих стыков перед крестовиной, м.

$v_{\text{ср}}^{\text{стр}}$ – средняя скорость прохождения впереди идущим бегуном расчетного участка $l_{\text{расч}}^{\text{стр}}$, определяемая в его середине, м/с.

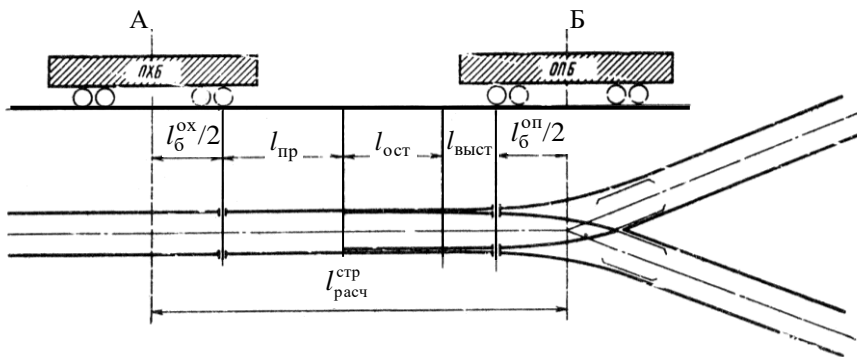


Рисунок 6.12 – Схема определения минимального расчетного расстояния между отцепами на стрелочном переводе

Длина стрелочного изолированного участка должна быть не менее 11,38 м [8]. В современных условиях, например, для симметричного стрелочного перевода типа Р65 марки крестовины $1/6$ $l_{\text{изол}} = 6,0 + 5,35 + 3,33 = 14,68$ м; для симметричного стрелочного перевода типа Р50 марки крестовины $1/6$ $l_{\text{изол}} = 6,0 + 4,34 + 4,34 = 14,68$ м.

С учетом полученных значений $l_{\text{изол}}$ и колесной базы, например полувагона, $l_6^{\text{ох}} = l_6^{\text{оп}} = 10,45$ м

$$l_{\text{расч}}^{\text{стр}} = 10,45 / 2 + 14,68 + 10,45 / 2 = 25,13 \text{ м.}$$

На замедлителях минимальный интервал $t_{\text{зам}}$, с, между отцепами должен быть не менее продолжительности перевода тормозных балок и прохода отцепом изолированной секции замедлителей (рисунок 6.13) [15; 28]:

$$t_{\text{зам}} = t_{\text{прох}} + t_{\text{ПЗ}};$$

$$t_{\text{прох}} = \frac{l_{\text{зам}} + (l_6^{\text{ОХ}} + l_6^{\text{ОП}}) / 2}{v_{\text{зам}}},$$

где $l_{\text{зам}}$ – длина изолированной секции замедлителя, м;

$v_{\text{зам}}$ – средняя скорость прохода замедлителя впереди идущим бегуном, м/с.

Для вагонного замедлителя типа ЗВУ $t_{\text{ПЗ}} = 0,8$ с (см. пример 6.5).

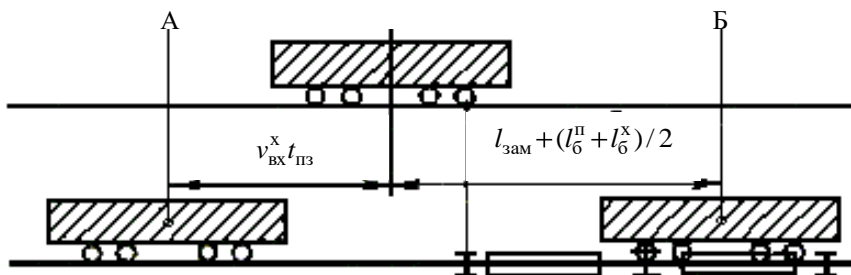


Рисунок 6.13 – Схема определения минимального расчетного расстояния между отцепами на замедлителях

Расчет минимально необходимых интервалов времени на разделительных элементах плана горочной горловины горки большой мощности (см. рисунок 6.1) выполняется для конструкции продольного профиля спускной части сортировочной горки, представленной на рисунке 6.10. В соответствии с условиями примера в качестве ОП бегуна принимаем четырехосный полувагон массой 22 т (основное удельное сопротивление $w_0 = 4,5$ Н/кН), а ОХ бегуна – четырехосный полувагон массой 100 т (основное удельное сопротивление $w_0 = 0,5$ Н/кН). Кривые энергетических высот, потерянных на преодолении сил сопротивления движению принятых расчетных бегунов, кривые скорости и времени хода, построенные с помощью программы «PP_SG», также показаны на рисунке 6.10.

Вариантным путем установлено, что на первой тормозной позиции погашается 48 % энергии ОХ бегуна, на второй – 27 % и на третьей – 25 %. В этом случае устанавливаются примерно равные интервалы следования отцепов в неблагоприятном сочетании ОП–ОХ–ОП. Среднюю скорость прохождения бегуном расчётных участков определяют на основе данных аналитического расчета скоростей движения отцепов в начале и в конце разделительных эле-

ментов плана расчетных путей, получаемых при моделировании процесса роспуска в автоматизированном режиме. Результаты такого моделирования представлены в таблице 6.12.

Т а б л и ц а 6.12 – Результаты моделирования скатывания отцепов с горки при w_0 (ОП) = 4,5 Н/кН и w_0 (ОХ) = 0,5 Н/кН

Наименование расчетных бегунов	Скорость в контрольных точках, м/с									
	Вершина горки	Первый СП*		I ТП*		II ТП		Последний СП		Расчетная точка
		Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход	
ОП	1,70	4,3	5,5	6,6	6,7	6,4	6,3	5,5	5,1	1,4
ОХ с частичным торможением	1,70	4,9	6,2	7,6	5,8	6,2	4,9	4,8	4,6	1,4
ОХ с полным торможением	2,5	5,2	6,5	7,9	6,0	6,4	–	–	–	–

* СП – стрелочный перевод; ТП – тормозная позиция.

Скорость прохождения ОП бегуном расчетной точки составляет 1,4 м/с и соответствует допустимой скорости соударения вагонов (1,4 или 5 км/ч). Остаточная энергетическая высота, достигаемая ОП бегуном в расчетной точке, составляет 0,11 м эн. в. Предполагается, что при необходимости полной остановки отцепа в случае занятости путей сортировочного парка избыточная кинетическая энергия ОП бегуна может быть погашена на парковой тормозной позиции (мощность 0,8 м эн. в.).

Произведем расчет минимально необходимых интервалов времени следования отцепов на разделительных элементах.

Минимально необходимые интервалы между отцепами на первом и последнем разделительных стрелочных переводах:

– при чередовании ОП–ОХ:

первый разделительный стрелочный перевод

$$t_{\min}^{\text{стр}} = \frac{25,13}{(5,5+4,3)/2} = 5,1 \text{ с;}$$

последний разделительный стрелочный перевод

$$t_{\min}^{\text{стр}} = \frac{25,13}{(5,1+5,5)/2} = 4,7 \text{ с;}$$

– при чередовании ОХ–ОП:

первый разделительный стрелочный перевод

$$t_{\min}^{\text{стр}} = \frac{25,13}{(6,2+4,9)/2} = 4,5 \text{ с;}$$

последний разделительный стрелочный перевод

$$t_{\min}^{\text{стр}} = \frac{25,13}{(4,6 + 4,8)/2} = 5,3 \text{ с.}$$

Минимально необходимые интервалы между отцепами на первой и второй тормозных позициях:

– при чередовании ОП–ОХ:

на первой тормозной позиции

$$t_{\text{зам}} = \frac{13,48 + (10,45 + 10,45)/2}{(6,7 + 6,6)/2} + 0,8 = 4,4 \text{ с.}$$

на второй тормозной позиции

$$t_{\text{зам}} = \frac{13,48 + (10,45 + 10,45)/2}{(6,3 + 6,4)/2} + 0,8 = 4,6 \text{ с.}$$

– при чередовании ОХ–ОП:

на первой тормозной позиции

$$t_{\text{зам}} = \frac{13,48 + (10,45 + 10,45)/2}{(5,8 + 7,6)/2} + 0,8 = 4,4 \text{ с.}$$

на второй тормозной позиции

$$t_{\text{зам}} = \frac{13,48 + (10,45 + 10,45)/2}{(4,9 + 6,2)/2} + 0,8 = 5,1 \text{ с.}$$

Сравнивая рассчитанные выше минимально необходимые интервалы времени между отцепами с фактическими интервалами, полученными моделированием процесса роспуска, определим резерв времени на разделительных элементах плана сортировочной горки. Результаты расчета сведены в таблицу 6.13.

Т а б л и ц а 6.13 – Определение резерва времени на разделительных элементах плана горочной горловины

Разделительный элемент	Интервал времени при чередовании бегунов, с					
	ОП–ОХ			ОХ–ОП		
	$t_{\text{ф}}$	t_{\min}	Δt	$t_{\text{ф}}$	t_{\min}	Δt
Вершина горки	7,13			9,25		
Первый стрелочный перевод	6,1	5,1	1,0	10,3	4,5	5,8
Первая тормозная позиция	5,3	4,4	0,9	11,1	4,4	6,7
Вторая тормозная позиция	5,8	4,6	1,2	10,6	5,1	5,5
Последний стрелочный перевод	8,5	4,7	3,8	7,9	5,3	2,6

Данные таблицы 6.13 показывают, что на первом разделительном стрелочном переводе, первой и второй тормозных позициях при чередовании отцепов ОП–ОХ резерв времени минимален, но положителен и соответствует минимально необходимому значению, равному 1 с ($\Delta t = 1,0; 0,9; 1,2$ с соответственно). Это означает, что проверка конструкции проектируемого продольного профиля на возможность реализации установленной скорости роспуска $v_0 = 1,7$ м/с выполняется и расчетные отцепы при скатывании в неблагоприятном, наиболее трудном сочетании ОП–ОХ–ОП могут быть своевременно разделены. Ограничивающим элементом при следовании отцепов в сочетании ОП–ОХ является первая тормозная позиция (наименьший резерв времени $\Delta t_{\text{рез}} = 0,9$ с). При величине начального интервала на вершине горки между очень «плохим» и «хорошим» бегунами, определяемой по формуле (6.7) [12; 15; 28], с,

$$t_0^{\text{ОП-ОХ}} = \left[\left(\frac{I_{\text{В}}^{\text{ОП}}}{2} + \frac{I_{\text{В}}^{\text{ОХ}}}{2} \right) - \Delta t_{\text{отр}} \right] / v_0,$$

то есть

$$t_0^{\text{ОП-ОХ}} = \left[\left(\frac{13,92}{2} + \frac{13,92}{2} \right) - 1,8 \right] / 1,7 = 7,13 \text{ с},$$

при заданных условиях скорость роспуска можно повысить до величины

$$v_{0(\text{max})}^{\text{ОП-ОХ}} = \frac{I_{\text{В}}^{\text{ОП}} + I_{\text{В}}^{\text{ОХ}} - 2\Delta t_{\text{отр}}}{2(t_0^{\text{ОП-ОХ}} - \Delta t_{\text{рез}})} \text{ или } v_{0(\text{max})}^{\text{ОП-ОХ}} = \frac{13,92 + 13,92 - 2 \cdot 1,8}{2(7,13 - 0,9)} = 1,95 \approx 2,0 \text{ м/с}.$$

Таким образом, при моделировании процесса роспуска в выбранном режиме условия проверки выполняются, запроектированный продольный профиль спускной части сортировочной горки, параметры которого рассчитаны в примере 6.10, отвечает всем нормативным требованиям [7, 33], имеет достаточно высокую степень гладкости сопряжения одновременно всех элементов профиля, и его динамические качества являются удовлетворительными. Скорость роспуска может быть повышена с 1,7 до 2,0 м/с.

Иногда при скатывании расчетных отцепов в сочетании ОХ–ОП из-за недостаточной мощности парковой тормозной позиции или неверно выбранных параметров торможения ОХ (Х) бегуна, когда этот отцеп перетормаживается на тормозных позициях спускной части сортировочной горки, имеется лишь минимальный резерв времени на разделительных элементах между последовательно скатывающимися ОХ (Х) и ОП бегунами, особенно на последнем разделительном стрелочном переводе. Тогда начальный интервал между отцепами на вершине сортировочной горки, с, рассчитывается по формуле [12, 15, 28].

$$t_0^{\text{ОХ-ОП}} = \left[\left(\frac{l_{\text{В}}^{\text{ОП}}}{2} + \frac{l_{\text{В}}^{\text{ОХ}}}{2} \right) + \Delta l_{\text{отр}} \right] / v_0, \text{ или}$$

$$t_0^{\text{ОХ-ОП}} = \left[\left(\frac{13,92}{2} + \frac{13,92}{2} \right) + 1,8 \right] / 1,7 = 9,25 \text{ с},$$

а потенциально реализуемая максимальная скорость роспуска определяется как

$$v_{0(\text{max})}^{\text{ОХ-ОП}} = \frac{l_{\text{В}}^{\text{ОП}} + l_{\text{В}}^{\text{ОХ}} + 2\Delta l_{\text{отр}}}{2(t_0^{\text{ОХ-ОП}} - \Delta t_{\text{рез}})}.$$

Например, в соответствии с таблицей 6.13 наименьший резерв времени между отцепами, скатывающимися в сочетании ОХ–ОП, составил $\Delta t = 2,6$ с на последнем разделительном стрелочном переводе горочной горловины, который является в этом сочетании отцепов ограничивающим. В этом случае потенциально реализуемая максимальная скорость роспуска

$$v_{0(\text{max})}^{\text{ОХ-ОП}} = \frac{13,92 + 13,92 + 2 \cdot 1,8}{2(9,25 - 2,6)} = 2,36 \approx 2,4 \text{ м/с}.$$

Очевидно, что $v_{0(\text{max})}^{\text{ОП-ОХ}} < v_{0(\text{max})}^{\text{ОХ-ОП}}$, поэтому в процессе расформирования состава грузового поезда при следовании отцепов в сочетании ОП–ОХ–ОП может быть реализована величина скорости роспуска $v_{0(\text{max})}^{\text{ОП-ОХ}} = 2,0$ м/с, которая ограничивается интервалами следования ОП–ОХ бегунов.

7 ПРОПУСКНАЯ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СТАНЦИЙ

7.1 Горловины, парк и пути

Пример 7.1. Определим продолжительность занятия пересечения (рисунок 7.1) в течение суток.

Исходные данные:

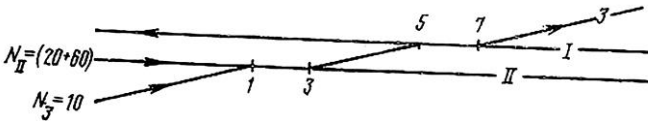
по главным путям проходят 20 пар пассажирских и 60 пар грузовых поездов;

средняя продолжительность занятия пересечения по I главному пути пассажирским поездом 4 мин, грузовым – 5 мин, а по II главному – соответственно 3 и 4 мин;

по пути 3 следует 10 поездов в сутки, продолжительность занятия пересечения одним поездом 5 мин;

по пути 4 следует в депо 20 локомотивов с продолжительностью занятия пересечения 2 мин.

а)



б)

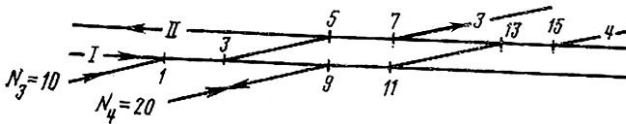


Рисунок 7.1 – Схемы пересечения линий:
а – двухпутной с однопутной; б – двухпутной с двухпутной
(стрелками указаны направления передвижений)

Решение. Продолжительность занятия пересечения, изображенного на рисунке 7.1, а, в течение суток

$$T_{\text{загр}} = \sum_{i=1}^k n_{1i} t_{1i} (1 - q_2) + \sum_{i=1}^k n_{2i} t_{2i} + \sum_{i=1}^k n_{3i} t_{3i}, \quad (7.1)$$

где k – количество категорий передвижений через пересечение;
 n_i – количество передвижений категории i ;

$t_{1,2,3,\dots,j,i}$ – продолжительность занятия пересечения передвижением категории i по маршруту j ;

$q_{1,2,\dots,j}$ – загрузка пересечения одного из параллельных маршрутов j , доли суток;

$$T_{\text{загр}} = (20 \cdot 4 + 60 \cdot 5) \cdot \frac{1}{1440} - (20 \cdot 3 + 60 \cdot 4) / 1440 + (20 \cdot 3 + 60 \cdot 4) + 10 \cdot 5 = 650 \text{ мин.}$$

Продолжительность занятия пересечения, изображенного на рисунке 7.1, б,

$$T_{\text{загр}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k n_{ji} t_{ji} - \sum_{i=1}^k n_{1i} t_{1i} q_2 + \sum_{i=1}^k n_{3i} t_{3i} q_4, \quad (7.2)$$

где n_{ji} – количество передвижений категории i по маршруту j ;

t_{ji} – продолжительность занятия пересечения передвижением категории i по маршруту j ;

$$T_{\text{загр}} = (20 \cdot 4 + 60 \cdot 5) + (20 \cdot 3 + 60 \cdot 4) + 10 \cdot 5 + 20 \cdot 2 - \frac{1}{1440} (20 \cdot 4 + 60 \cdot 5)(20 \cdot 3 + 60 \cdot 4) - 10 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 2 / 1440 = 690 \text{ мин.}$$

Пример 7.2. Определить наличную пропускную способность нечетной горловины грузовой станции (рисунок 7.2). Пути I, 3, 4 специализируются для приема и отправления пассажирских, региональных и грузовых поездов нечетного направления, пути II, 4, 3 специализируются для приема и отправления поездов этих же категорий четного направления.

Пути 5, 7 предназначены для приема и отправления сборных и передаточных поездов обоих направлений.

Стрелочные переводы на станции оборудованы электрической централизацией.

Все виды маневровой работы выполняются маневровыми локомотивами, приписанными к станции.

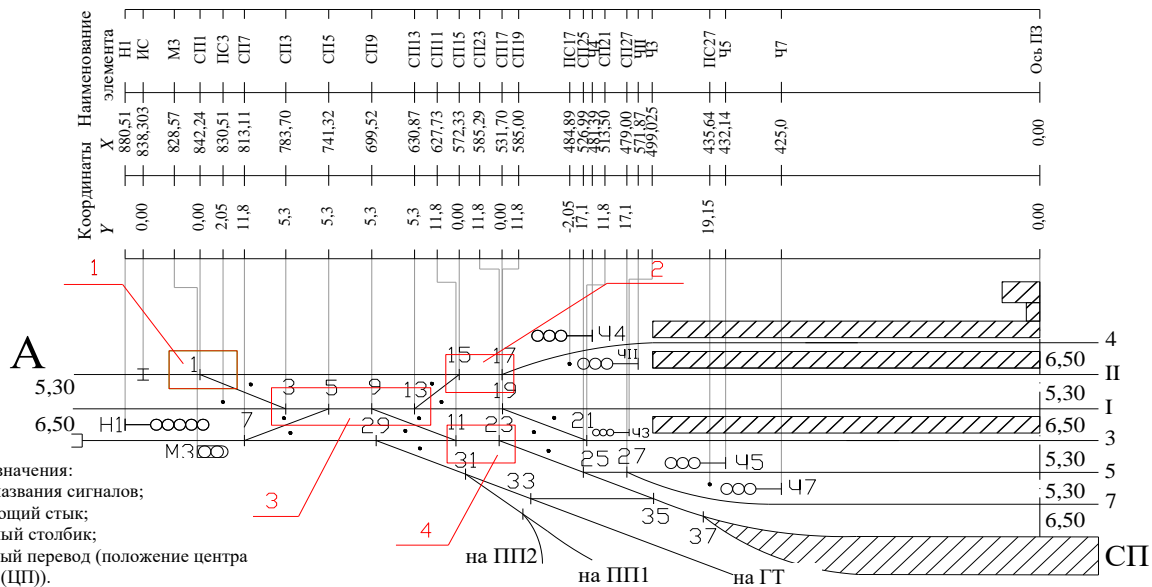
Продолжительность занятия горловины выполнением постоянных операций, не связанных с движением поездов, принимается 90 минут в сутки. Количество передвижений различных категорий, осуществляемых в горловине, расчетная длина поездов и маневровых составов приведены в таблице 7.1. Все поезда, прибывающие на станцию, имеют остановку.

Т а б л и ц а 7.1 – Количество передвижений и длина составов

Наименование передвижений	Количество передвижений		Расчетная длина состава, м	
	направления			
	нечетное	четное	нечетное	четное
Пропуск пассажирского поезда	6	6	465	465
Пропуск регионального поезда	7	7	160	160

Окончание таблицы 7.1

Наименование передвижений	Количество передвижений		Расчетная длина состава, м	
	направления			
	нечетное	четное	нечетное	четное
Пропуск грузового поезда	30	28	850	850
Прием сборного поезда	3	–	500	–
Отправление сборного поезда	–	3	–	500
Прием передаточного поезда из А	4	–	300/20*	–
Отправление передаточного поезда на А	–	4	–	300/20*
Заезд маневрового локомотива с вытяжного пути за отцепкой от сборного поезда на пути 5, 7	3	3	–	–
Вытягивание состава с отцепкой от сборного поезда на вытяжной путь 8 с путей 5, 7	3	3	210/14*	210/14*
Заезд маневрового локомотива с пути 8 за составом передаточного поезда на пути 5, 7	4	–	–	–
Вытягивание состава передаточного поезда с путей 5, 7 на вытяжной путь 8	4	–	300	–
Перестановка вагонов для сцепки к сборному поезду с вытяжного пути 8 нечетного направления на пути 5, 7**	3	–	200	–
Возвращение маневрового локомотива с путей 5, 7 на вытяжной путь 8	3	–	–	–
Перестановка готового к отправлению состава передаточного поезда на пути 5, 7 с вытяжного пути 8	–	4	–	300
Возвращение маневрового локомотива с путей 5, 7 на вытяжной путь 8	–	4	–	–
Подача локомотива под состав передаточного поезда на пути 5, 7 для отправления (с путей 7, 5)	–	4	–	–
* Указано число вагонов в составе.				
** Работа по прицепке вагонов к сборному поезду четного направления выполняется в четной горловине.				



№	Эл. горловины	l между эл.	№	Эл. горловины	l между эл.	№	Эл. горловины	l между эл.	№	Эл. горловины	l между эл.	№	Эл. горловины	l между эл.	№	Эл. горловины	l между эл.
1	ЭС – ЦП1	14,063	5	ЦП7 – Н1	50,00	9	ЦП13 – ЦП15	58,54	13	ПС17 – Ч5	59,00	17	ЦП21 – Ч3	14,475	21	ЦП25 – ЦП27	47,99
2	ЦП1 – ЦП3	58,54	6	ЦП7 – М3	15,459	10	ЦП15 – ЦП17	40,63	14	ЦП13 – ПС19	45,87	18	ЦП9 – ЦП11	71,79	22	ПС27 – Ч5	3,50
3	ПС3 – ЦП3	46,81	7	ЦП5 – ЦП9	41,80	11	ЦП17 – ПС17	46,81	15	ЦП19 – ПС21	71,50	19	ЦП11 – ЦП23	42,44	23	ЦП27 – СП27	43,36
4	ЦП3 – ЦП5	42,38	8	ЦП9 – ЦП13	45,87	12	ПС17 – Ч4	3,50	16	ЦП23 – ПС21	71,79	20	ЦП23 – ЦП25	47,70	24	ЦП27 – Ч7	60,00

Рисунок 7.2 – Схема нечетной горловины грузовой станции

Расчетное расстояние, проходимое поездом, маневровым составом и одиночным локомотивом, а также количество стрелочных переводов, участвующих в маршрутах приема и отправления поездов и маневровых передвижениях, приведены в таблицах 7.2 и 7.3.

Таблица 7.2 – Характеристика поездных маршрутов

№ пути	Полезная длина пути, м	Расстояние, проходимое поездом, м		Количество стрелочных переводов, участвующих в маршруте	
		при приеме – от входного сигнала до предельного столбика (изолирующего стыка) последнего стрелочного перевода по маршруту $L'_{тп}$	при отправлении – от выходного сигнала до предельного столбика (изолирующего стыка) выходного стрелочного перевода по маршруту 4 $L'_{то}$	приема $C'_{пр}$	отправления C'_o
4	970,7	376,3	351,7	6	3
II	955,0	–	360,3	–	3
I	981,0	323,0	–	5	–
3	941,8	358,9	334,8	6	7
5	850,0	438,0	413,8	7	8
7	850,0	451,2	430,0	7	8

Таблица 7.3 – Характеристика маневровых маршрутов

Наименование маршрута	Протяженность маршрута, м	Количество стрелочных переводов, участвующих в маршруте	Скорость передвижения, км/ч
Заезд маневрового локомотива с вытяжного пути 8 на пути 5, 7	368,0	6	25
Вытягивание маневрового состава на вытяжной путь 8:	с пути 5	6	15
	с пути 7	6	15
Перестановка маневрового состава с вытяжного пути 8 на пути 5, 7	368,0	6	15
Возвращение маневрового локомотива на вытяжной путь 8:	с пути 5	6	25
	с пути 7	6	25
Заезд поездного локомотива передаточного поезда за стрелочный перевод 25:	с пути 5	4	20
	с пути 7	4	20

Окончание таблицы 7.3

Наименование маршрута	Протяженность маршрута, м	Количество стрелочных переводов, участвующих в маршруте	Скорость передвижения, км/ч
Подача поездного локомотива под состав передаточного поезда от стрелочного перевода 25:			
на путь 7	131,8	2	20
на путь 5	118,7	2	20

Решение. Для определения наличной пропускной способности горловины используем метод непосредственного расчета:

$$N_{\Gamma} = \frac{1440 - T_{\text{пост}}^{\circ}}{t_{\text{зан}}^{\circ} + \Phi_{\Gamma} \bar{t}_{\text{вр}}^{\circ}}, \quad (7.3)$$

где $T_{\text{пост}}^{\circ}$ – продолжительность занятия наиболее загруженного элемента горловины выполнением постоянных операций в течение суток, мин;

$t_{\text{зан}}^{\circ}$ – средняя продолжительность занятия наиболее загруженного элемента поездными, маневровыми маршрутами, проходящими на одно передвижение (поезд), мин;

Φ_{Γ} – коэффициент, учитывающий совмещение невраждебных операций в горловине (при двух параллельных маршрутах $\Phi_{\Gamma} = 1,0$, при трех – $\Phi_{\Gamma} = 0,7$, четырех и более – $0,5$);

$\bar{t}_{\text{вр}}^{\circ}$ – средняя продолжительность возможных перерывов в использовании наиболее загруженного элемента горловины из-за враждебности маршрутов, проходящего на одно передвижение (поезд), мин.

Продолжительность занятия стрелочной горловины (с точностью до 0,1 мин) приемом или отправлением поезда рассчитывается для пути со средним количеством стрелочных переводов в маршруте и средним расстоянием, проходимым поездом в горловине при приеме или отправлении в соответствии со специализацией путей для движения поездов различных категорий

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{м}}^{\text{пп}} + t_{\text{вх}}; \quad (7.4)$$

$$t_{\text{от}} = t_{\text{м}}^{\circ} + t_{\text{вых}}; \quad (7.5)$$

где $t_{\text{м}}^{\text{пп}}, t_{\text{м}}^{\circ}$ – продолжительность установки маршрута соответственно приема или отправления поезда и открытия сигнала (при электрической централизации стрелок и сигналов принимается 0,05 мин на один стрелочный перевод и 0,1 мин на открытие сигнала; при маршрутной централизации общее время $t_{\text{м}}^{\text{пп}}$ и $t_{\text{м}}^{\circ}$ составляет 0,15–0,20 мин);

при электрической централизации стрелок и сигналов

$$t_{\text{пр}}^{\text{М}} = C_{\text{пр}} \cdot 0,05 + t_{\text{ос}}; \quad (7.6)$$

$$t_{\text{пр}}^{\text{о}} = C_{\text{о}} \cdot 0,05 + t_{\text{ос}}, \quad (7.7)$$

где $C_{\text{пр}}, C_{\text{о}}$ – расчетное количество стрелочных переводов, участвующих соответственно в маршруте приема или отправления поезда;

$t_{\text{ос}}$ – продолжительность открытия сигнала, мин;

$t_{\text{вх}}, t_{\text{вых}}$ – продолжительность прохода поездом расчетного расстояния, мин (соответственно $L_{\text{пр}}$ – при приеме, $L_{\text{от}}$ – при отправлении поезда),

$$t_{\text{вх}} = t_{\text{в}} + \frac{L_{\text{гп}} + L_{\text{п}} + L_{\text{т}}}{16,7V_{\text{вх}}}, \quad (7.8)$$

$t_{\text{в}}$ – продолжительность восприятия машинистом показания входного сигнала – 0,1 мин;

$L_{\text{гп}}$ – расчетное расстояние, проходимое поездом в стрелочной горловине при приеме, м;

$L_{\text{п}}$ – длина расчетного поезда, м;

$L_{\text{т}}$ – длина тормозного пути, м, принимается в соответствии с ПТЭ;

$V_{\text{вх}}$ – средняя скорость входа поезда на станцию от начала тормозного пути до остановки с учетом времени замедления;

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{о}} + \frac{L_{\text{го}} + L_{\text{п}}}{16,7V_{\text{вых}}}, \quad (7.9)$$

где $t_{\text{о}}$ – продолжительность времени от момента открытия выходного сигнала до трогания поезда, принимается $t_{\text{о}} = 0,5$ мин;

$L_{\text{го}}$ – расчетное расстояние, проходимое поездом по стрелочной горловине при отправлении, м;

$V_{\text{вых}}$ – средняя скорость выхода поезда со станции с учетом разгона.

Продолжительность занятия горловины маршрутами приема и отправления определяется отдельно для каждой категории поездов, обслуживаемых станцией. При расчете $t_{\text{вых}}$ по формуле (7.9) следует иметь ввиду, что длина поезда, $L_{\text{п}}$, принимается в расчетах, если этот параметр превышает полезную длину, $L_{\text{полезн}}$, приемо-отправочного пути, т. е. поезд длинносоставный, соединенный, когда $L_{\text{п}} > L_{\text{полезн}}$. При $L_{\text{п}} \leq L_{\text{полезн}}$ в расчетах используется среднее значение величины полезной длины путей, специализированных для отправления поездов данной категории. В расчетах длина тормозного пути ($L_{\text{т}}$) принимается равной 1000 м, средняя скорость входа поезда на станцию – $v_{\text{вх}} = 25$ км/ч, выхода со станции – $v_{\text{вых}} = 20$ км/ч.

Среднее расстояние, проходимое поездом в горловине при приеме ($L_{\text{пр}}$) и отправлении ($L_{\text{го}}$), и среднее количество стрелочных переводов, участвующих в маршруте приема ($C_{\text{пр}}$) и отправления ($C_{\text{о}}$) поезда соответствующей категории, определяются по формулам:

$$L_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^{m_{\text{пр}}} L'_{\text{пр},i}}{m_{\text{пр}}}, \quad L_{\text{го}} = \frac{\sum_{i=1}^{m_{\text{о}}} L'_{\text{го},i}}{m_{\text{о}}}; \quad (7.10)$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^{m_{\text{пр}}} C'_{\text{пр},i}}{m_{\text{пр}}}, \quad C_{\text{о}} = \frac{\sum_{i=1}^{m_{\text{о}}} C'_{\text{о},i}}{m_{\text{о}}}, \quad (7.11)$$

где $m_{\text{пр}}$, $m_{\text{о}}$ – количество путей, специализированных соответственно для приема и отправления поездов.

В соответствии с принятой специализацией путей, и используя данные таблицы 7.2, по формулам (7.10), (7.11) находим значение $L_{\text{пр}}$, $L_{\text{го}}$, $C_{\text{пр}}$, $C_{\text{о}}$ и соответствующие временные параметры установки маршрутов:

при приеме пассажирских, региональных и грузовых поездов на пути I, 3, 4:

$$L_{\text{пр}}^{1,3,4} = (323,0 + 358,9 + 376,3) / 3 = 352,7 \text{ м},$$

$$C_{\text{пр}}^{1,3,4} = (5 + 6 + 6) / 3 = 5,7,$$

$$t_{\text{м}}^{\text{пр}} = 5,7 \cdot 0,05 + 0,1 = 0,4 \text{ мин};$$

при отправлении этих же категорий поездов со II, 4, 3 путей:

$$L_{\text{го}}^{\text{II},4,3} = (360,3 + 351,7 + 334,8) / 3 = 348,9 \text{ м},$$

$$C_{\text{о}}^{\text{II},4,3} = (3 + 3 + 7) / 3 = 4,3,$$

$$t_{\text{м}}^{\text{о}} = 4,3 \cdot 0,05 + 0,1 = 0,3 \text{ мин};$$

при приеме и отправлении сборных и передаточных поездов с путей 5, 7:

$$L_{\text{пр}}^{5,7} = (438,0 + 451,2) / 2 = 444,6 \text{ м},$$

$$L_{\text{го}}^{5,7} = (413,8 + 430,0) / 2 = 412,9 \text{ м},$$

$$C_{\text{пр}}^{5,7} = (7 + 7) / 2 = 7,$$

$$t_{\text{м}}^{\text{пр}} = 7 \cdot 0,05 + 0,1 = 0,5 \text{ мин},$$

$$C_o^{5,7} = (8 + 8) / 2 = 8,$$

$$t_M^o = 8 \cdot 0,05 + 0,1 = 0,5 \text{ мин.}$$

По формуле (7.8) $t_{\text{вх}}$ при приеме поездов соответствующих категорий составит:

при приеме на 1, 3, 4 пути

$$t_{\text{вх}}^{\text{пас}} = 0,1 + \frac{352,7 + 465,0 + 1000,0}{16,7 \cdot 25} = 4,5 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{вх}}^{\text{рег}} = 0,1 + \frac{352,7 + 160,0 + 1000,0}{16,7 \cdot 25} = 3,7 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{вх}}^{\text{гр}} = 0,1 + \frac{352,7 + 850,0 + 1000,0}{16,7 \cdot 25} = 5,4 \text{ мин.};$$

при приеме поездов на 5, 7 пути:

$$t_{\text{вх}}^{\text{сб}} = 0,1 + \frac{444,6 + 500,0 + 1000,0}{16,7 \cdot 25} = 4,8 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{вх}}^{\text{перел}} = 0,1 + \frac{444,6 + 300,0 + 1000,0}{16,7 \cdot 25} = 4,3 \text{ мин.}$$

Продолжительность занятия горловины приемом поезда соответствующей категории по формуле (7.4):

$$t_{\text{пр}}^{\text{пас}} = 0,4 + 4,5 = 4,9 \text{ мин.}; \quad t_{\text{пр}}^{\text{рег}} = 0,4 + 3,7 = 4,1 \text{ мин.}; \quad t_{\text{пр}}^{\text{гр}} = 0,4 + 5,4 = 5,8 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{пр}}^{\text{сб}} = 0,5 + 4,8 = 5,3 \text{ мин.}; \quad t_{\text{пр}}^{\text{перел}} = 0,5 + 4,3 = 4,8 \text{ мин.}$$

Так как длина составов, отправляемых со станции поездов, не превышает полезную длину приемо-отправочных путей, в формулу (7.9) подставляется полезная длина приемо-отправочного пути. Учитывая, что приемо-отправочные пути имеют разную величину полезной длины, целесообразно определить ее среднее значение в соответствии со специализацией для отправления поездов различных категорий.

Так, для отправления пассажирских, региональных и грузовых поездов предназначены II, 4 и 3 пути, следовательно,

$$\bar{L}_{\text{полезн}}^{\text{II,4,3}} = \frac{\sum_{i=1}^{m_o} L_{\text{полезн}i}}{m_o} = \frac{955,0 + 970,7 + 941,8}{3} = 955,8 \text{ м.}$$

Для отправления сборных и передаточных поездов с путей 5, 7, имеющих одинаковую полезную длину, $\bar{L}_{\text{полезн}}^{5,7} = 850$ м.

Тогда

$$t_{\text{вых}}^{\text{II},4,3} = 0,5 + \frac{348,9 + 955,8}{16,7 \cdot 20} = 4,4 \text{ мин};$$

$$t_{\text{вых}}^{5,7} = 0,5 + \frac{412,9 + 850,0}{16,7 \cdot 20} = 4,3 \text{ мин};$$

$$t_{\text{от}}^{\text{II},4,3} = 0,3 + 4,4 = 4,7 \text{ мин};$$

$$t_{\text{от}}^{5,7} = 0,5 + 4,3 = 4,8 \text{ мин}.$$

Продолжительность занятия горловины маневровыми передвижениями, согласно [39], удобнее рассматривать по полурейсам и определять по формуле

$$t_{\text{ман}} = t_{\text{М}}^{\text{ман}} + t_{\text{В}}^{\text{ман}} + t_{\text{п/р}}, \quad (7.12)$$

где $t_{\text{М}}^{\text{ман}}$ – продолжительность установки маневрового маршрута и открытия сигнала,

$$t_{\text{М}}^{\text{ман}} = C_{\text{ман}} \cdot 0,05 + t_{\text{ос}}, \quad (7.13)$$

$C_{\text{ман}}$ – количество стрелочных переводов, участвующих в маневровом маршруте;

$t_{\text{ос}}$ – продолжительность времени, затрачиваемого на открытие маневрового сигнала, мин;

$t_{\text{В}}^{\text{ман}}$ – продолжительность восприятия машинистом показания маневрового сигнала, принимается 0,1 мин;

$t_{\text{п/р}}$ – продолжительность полурейса маневрового передвижения,

$$t_{\text{п/р}} = (\alpha_{\text{рт}} + \beta_{\text{рт}} m) \frac{v}{2} + 0,06 \frac{l_{\text{п/р}}}{v}, \quad (7.14)$$

$\alpha_{\text{рт}}$ – коэффициент, учитывающий время изменения скорости движения локомотива, приходящееся на 1 км/ч при разгоне и торможении, $\alpha_{\text{рт}} = 0,0407$ мин/(км/ч) [39];

$\beta_{\text{рт}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время изменения скорости движения маневрового состава на 1 км/ч, приходящееся на один вагон, при разгоне и торможении, $\beta_{\text{рт}} = 0,0017$ мин (км/ч) [17];

m – количество вагонов в маневровом составе;

v – средняя скорость движения при маневрах, км/ч;

$l_{\text{п/р}}$ – длина полурейса, м.

При передвижении одиночных локомотивов выражение (7.14) упрощается:

$$t_{н/р} = 0,0407 \frac{v}{2} + 0,6 \frac{l_{н/р}}{v}. \quad (7.15)$$

Используя формулы (7.12)–(7.15), расчеты продолжительности маневровых передвижений сводим в таблицу 7.4.

Для выявления наиболее загруженного элемента в горловине выделяем расчетные элементы, по которым в любой момент времени может совершаться только одно передвижение. Если выделенный элемент позволяет участвовать в нескольких параллельных маршрутах, то его следует разделить на более простые.

В рассматриваемой горловине выделяем четыре расчетных элемента:

- 1 – стрелочный перевод 1;
- 2 – стрелочные переводы 15, 17;
- 3 – стрелочные переводы 3, 5, 9, 13;
- 4 – стрелочные переводы 11, 23.

Средняя продолжительность занятия расчетного элемента

$$\bar{t}_{зан} = \frac{\sum t_i N_i}{\sum N_i},$$

где t_i – продолжительность занятия расчетного элемента горловины i -м передвижением;

N_i – количество передвижений i -й категории, совершаемых по элементу горловины.

Для расчета $\sum t_i N_i$ и $\sum N_i$ воспользуемся таблицей 7.5. По результатам выполненных расчетов наиболее загруженным является 3-й элемент с суммарной загрузкой 333,7 минут в сутки, а общее количество передвижений

$$\sum N_i = 5 + 5 + 25 + 1 + 2 + 5 + 1 + 2 + 4 + 3 + 4 + 3 + 4 = 64.$$

Следовательно,

$$\bar{t}_{зан} = \frac{333,7}{64} = 5,2 \text{ мин.}$$

Так как в горловине могут выполняться одновременно три поездные или маневровые операции, коэффициент φ_2 принимается равным 0,7, а $\bar{t}_{вр}$ приближенно определяется по формуле

$$\bar{t}_{вр} = 1440 \left(1 - \alpha_r \right) \sum N_i,$$

где α_r – коэффициент, учитывающий потери времени при использовании наиболее загруженного элемента горловины из-за враждебности

передвижений. Ориентировочные значения α_r : при двух параллельных маршрутах 0,8–0,85; при трех – 0,85–0,9; при четырех и более 0,90–0,95.

$$\bar{t}_{вр}^3 = 1440(1 - 0,85) / 64 = 3,38 \text{ мин.}$$

После подстановки полученных данных в формулу (7.3) найдем

$$N_r = \frac{1440 - 90}{5,2 + 0,7 \cdot 3,38} = 177 \text{ поездов.}$$

Т а б л и ц а 7.4 – Продолжительность маневровых передвижений

Наименование передвижения	Длина полуреяса, м	Средняя длина полуреяса, м	Продолжительность полуреяса, мин	Продолжительность установки маневрового маршрута $t_{\text{ман}}^{\text{у}} + t_{\text{ман}}^{\text{в}}$, мин	Продолжительность занятия горловины, мин
Заезд маневрового локомотива с вытяжного пути 8 на пути 5, 7	368,0	368,0	1,4	0,4	1,8
Вытягивание маневрового состава на вытяжной путь 8: с пути 5 с пути 7	371,5 384,7	378,1	1,6/2,0*	0,4	2,0/2,4*
Перестановка состава с вытяжного пути 8 на пути 5, 7	368,0	368,0	1,6/2,0*	0,4	2,0/2,4*
Возвращение маневрового локомотива на вытяжной путь 8: с пути 5 с пути 7	371,5 384,7	378,1	1,4	0,4	1,8
Заезд поездного передаточного поезда за стрелочный перевод 25: с пути 5 с пути 7	118,7 131,8	125,3	0,8	0,2	3,0
Подача поездного локомотива под состав передаточного поезда от стрелочного перевода 25: на путь 7 на путь 5	131,8 118,7	125,3	0,8	0,2	1,0

* Числитель – для сборного поезда, знаменатель – для передаточного.

Т а б л и ц а 7.5 – Суммарная загрузка элементов горловины

Наименование передвижения	Номера элементов горловины, по которым совершается передвижение	Продолжительность занятия элемента (маршрута) <i>i</i> -м передвижением, мин	Количество передвижений, совершаемых по маршруту за сутки	Суммарная загрузка элементов горловины, мин			
				1	2	3	4
Прием пассажирского поезда из А на пути I, 3	3	4,9	5			24,5	
Прием регионального поезда из А на пути I, 3	3	4,1	5			20,5	
Прием грузового поезда из А на пути I, 3	3	5,8	25			145,0	
Прием пассажирского поезда из А на путь 4	3,2	4,9	1		4,9	4,9	
Прием регионального поезда из А на путь 4	3,2	4,1	2		8,2	8,2	
Прием грузового поезда из А на путь 4	3,2	5,8	5		29,0	29,0	
Отправление пассажирского поезда с путей II, 4 на А	2,1	4,7	5	23,5	23,5		
Отправление регионального поезда с путей II, 4 на А	2,1	4,7	5	23,5	23,5		
Отправление грузового поезда с путей II, 4 на А	2,1	4,7	24	112,8	112,8		
Отправление пассажирского поезда с пути 3 на А	3,1	4,7	1	4,7		4,7	
Отправление регионального поезда с пути 3 на А	3,1	4,7	2	9,4		9,4	
Отправление грузового поезда с пути 3 на А	3,1	4,7	4	18,8		18,8	
Прием сборного поезда из А на пути 5, 7	3,4	5,3	3			15,9	15,9
Прием передаточного поезда из А на пути 5, 7	3,4	4,8	4			19,2	19,2
Отправление сборного поезда на А с путей 5, 7	4,3,1	4,8	3	14,4		14,4	14,4
Отправление передаточного поезда на А с путей 5, 7	4,3,1	4,8	4	19,2		19,2	19,2
Заезд маневрового локомотива с вытяжного пути 8 на пути 5, 7 за отцепкой от сборного поезда	4	1,8	3				5,4
Заезд маневрового локомотива с вытяжного пути 8 на 5, 7 за составом передаточного поезда	4	1,8	4				7,2
Вытягивание отцепки от сборного поезда на вытяжной путь 8 с путей 5, 7	4	2,0	3				6,0
Вытягивание состава передаточного поезда на вытяжной путь 8 с путей 5, 3	4	2,4	4				9,6

Окончание таблицы 7.5

Наименование передвижения	Номера элементов горловины, по которым совершается передвижение	Продолжительность занятия элемента (маршрута) <i>i</i> -м передвижением, мин	Количество передвижений, совершаемых по маршруту за сутки	Суммарная загрузка элементов горловины, мин			
				1	2	3	4
Перестановка прицепной группы вагонов к сборному поезду с вытяжного пути 8 на пути 5, 7	4	2,0	3				6,0
Перестановка состава передаточного поезда с вытяжного пути 8 на пути 5, 7	4	2,4	4				9,6
Возвращение маневрового локомотива на вытяжной путь 8 с путей 5, 7	4	1,8	7				12,6
Заезд поездного локомотива передаточного поезда за стрелочный перевод 25 с путей 5, 7	4	3,0	4				12,0
Подача поездного локомотива передаточного поезда от стрелочного перевода 25 на пути 5, 7	4	1,0	4				4,0
			Итого	226,3	201,9	333,7	141,1

Пример 7.3. Определим пропускную способность горловин участковой станции поперечного типа (рисунок 7.3) в грузовых поездах. Станция за сутки обслуживает 20 пар пассажирских поездов, в том числе 2 пары межрегиональных и 6 пар региональных, и 40 пар грузовых поездов, из них 6 пар сборных и участковых и два маршрута, прибывающих из А под выгрузку на путь необщего пользования 2. Локомотивы от всех грузовых и местных пассажирских поездов поступают на экипировку в локомотивное предприятие. Станция формирует 12 сборных и участковых поездов и 2 маршрута из порожних вагонов назначением на Б, которые для отправления представляют в приемо-отправочные парки через вытяжной путь 2. За сутки в технический парк выводят для отстоя 5 составов межрегиональных и региональных поездов, в том числе 2 состава от четных и 3 – от нечетных поездов; 4 раза подают вагоны к складам локомотивного предприятия и 2 раза на путь необщего пользования 1. Продолжительность занятия горловин: приемом пассажирского поезда $\tau_{пр}^{пас} = 4$ мин; грузового $\tau_{пр}^{пас} = 5$ мин; отправлением поезда любой категории $\tau_{от}^{пас} = \tau_{от}^{гр} = 4$ мин; пропуском поездного локомотива $\tau_{лок} = 2$ мин; подачей (уборкой) вагонов в локомотивное предприятие $\tau_{под}^{лх} = 3$ мин и на путь необщего пользования 1 $\tau_{под}^{пп1} = 3$ мин; перестановкой состава из сортировочного парка в приемо-отправочный $\tau_{пер} = 10$ мин; уборкой маневрового локомотива из приемо-отправочного парка в сортировочный $\tau_{ман} = 3$ мин; подачей (уборкой) маршрутов на путь необщего пользования 2 $\tau_{под}^{пп2} = 10$ мин; выводом составов в парк технического обслуживания подвижного состава и из него $\tau_{выст} = 6$ мин.

Решение. Пропускную способность каждой горловины рассчитываем в несколько этапов.

Четная горловина. Выявляем элементы, подлежащие расчету (группы стрелок с предполагаемой наибольшей загрузкой): 1 – 28, 32, 34, 56, 62; 2 – 8, 14, 20, 26, 38; 3 – 10, 18, 16, 22; 5 – 50, 52; 4 – 24, 68.

Составляем сводную таблицу совершаемых в горловине передвижений (таблица 7.6).

Определяем продолжительность занятия каждого элемента изменяющимися и постоянными (связанными с пропуском установленного количества пассажирских поездов, обслуживанием погрузочно-разгрузочных пунктов и др.) операциями:

$$T_{з,i} = \sum \tau_{ijp} N_{ijp} \text{ и } T_{пост,i} = \sum (\tau_{ijp} N_{ijp})_{пост} ,$$

где τ_{ijp} – продолжительность занятия элемента i передвижением категории j с подхода p через элемент i .

Чтобы найти продолжительность занятия элемента, следует сложить цифры гр. 5 или гр. 6 таблица 7.6 во всех строках, относящихся к операциям, в которых участвует данный элемент.

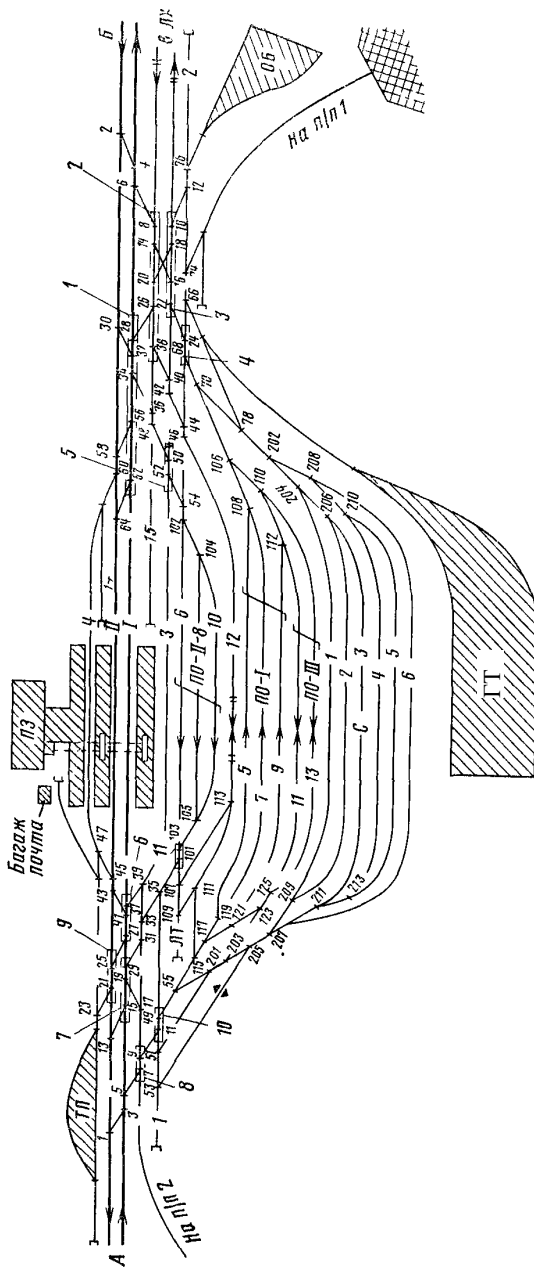


Рисунок 7.3 – Схема участковой станции поперечного типа

Т а б л и ц а 7.6 – Сводная таблица передвижений в четной горловине станции

Операция	Номера стрелок, участвующих в маршруте	Продолжительность занятия маршрута одной операцией t_{op}	Количество операций на маршруте N_{op}	Продолжительность занятия маршрута операциями		Номер элемента, в который входит стрелка маршрута
				изменяющимися	постоянными	
1	2	3	4	5	6	7
Прием грузовых поездов из Б в парк ПО-П	30, 32, 34, 36, 48, 50, 52, 54	5	34	170	–	1, 5
То же в парк ПО-Ш	2, 4, 6, 8, 14, 16, 22, 24, 68	5	6	30	–	2, 3, 4
Отправление пассажирских поездов с пути I на Б	62, 56, 34, 32, 28, 6, 4	4	12	–	48	1
То же региональных и межрегиональных с пути 3	52, 50, 48, 36, 34, 32, 28, 6, 4	4	8	–	32	5, 1
То же грузовых из ПО – I, ПО – Ш	68, 24, 22, 16, 14, 8, 6, 4	4	40	160	–	4, 3, 2
Перестановка составов из СП в ПО – I, ПО – П	72, 70, 68, 24, 44, 46, 54	10	12	120	–	4
Уборка маневрового локомотива из ПО – I, ПО – П в СП	54, 46, 44, 24, 68, 70, 72	3	12	36	–	4
Уборка поездных локомотивов от межрегиональных пассажирских поездов, прибывающих из Б	62, 56, 34, 32, 28, 26, 20, 18, 10	2	2	–	4	1, 2, 3
То же из А	52, 50, 42, 40, 22, 16, 18, 10	2	2	–	4	5, 3
Уборка поездных локомотивов с ходового пути 12	46, 44, 42, 40, 22, 16, 18, 10	2	40	80	–	3
То же из ПО – I	70, 68, 24, 22, 16, 18, 10	2	40	80	–	4, 3
Подача поездных локомотивов под межрегиональные поезда, следующие на А	8, 14, 20, 26, 28, 32, 34, 56, 62	2	2	–	4	2, 1
То же на Б	8, 14, 20, 26, 38, 36, 48, 50, 52	2	2	–	4	2, 5
Подача поездных локомотивов на ходовой путь 12	8, 14, 20, 26, 38, 40, 42, 44, 46	2	40	80	–	2
То же в ПО – I	8, 14, 20, 26, 38, 36, 48, 50, 52, 54	2	40	80	–	2, 5
Подача вагонов в локомотивное предприятие	70, 68, 24, 22, 16, 18, 10	3	4	–	12	3, 4
Уборка вагонов из локомотивного предприятия	10, 18, 16, 22, 24, 68, 70	3	4	–	12	–

Для элемента 3

$$T_{3,i} = 30 + 160 + 80 + 80 = 350 \text{ мин}; T_{\text{пост},i} = 4 + 4 + 12 + 12 = 32 \text{ мин.}$$

Определяем коэффициент загрузки каждого элемента:

$$k_{3i} = T_{3,i} (1 + q) / (T_p - T_{\text{пост},i}) < 1, \quad (7.16)$$

где q – коэффициент, учитывающий отказы устройств ЭЦ; принимаем $q = 0,01$;
 T_p – расчетный период (обычно $T_p = 1440$).

Рассчитываем коэффициент использования горловины:

$$k_{\Gamma} = \max_{(i=1,2,\dots,m)}^m \left[k_{3i} + \frac{\varphi t_{\text{вр},i} T_{3,i}}{(T_p - T_{\text{пост},i})(T_{3,i} + T_{\text{пост},i})} \right], \quad (7.17)$$

где φ – коэффициент, учитывающий совмещение невраздежных операций в горловине. При двух параллельных маршрутах $\varphi = 1$; при трех $\varphi = 0,7$; при четырех и более $\varphi = 0,5$;

$t_{\text{вр},i}$ – продолжительность перерывов в использовании элемента горловины при враждебных передвижениях по другим элементам. Приближенно $t_{\text{вр},i} = 1440 \left(1 - \alpha_{\Gamma i} \right)$;

$\alpha_{\Gamma i}$ – коэффициент, учитывающий потери времени в использовании элемента i . Ориентировочно при двух параллельных маршрутах $\alpha_{\Gamma} = 0,8 \dots 0,85$; при трех $\alpha_{\Gamma} = 0,85 \dots 0,90$; при четырех и более $\alpha_{\Gamma} = 0,9 \dots 0,95$.

В рассматриваемой горловине можно выполнять более четырех параллельных операций. Следовательно, $\varphi = 0,5$, соответственно $\alpha_{\Gamma} = 0,92$. Тогда $t_{\text{вр},i} = 1440 \left(1 - 0,92 \right) = 115,2$ мин. Результаты расчетов сводим в таблицу 7.7 и устанавливаем наиболее загруженный элемент.

Т а б л и ц а 7.7 – Расчет использования элементов четной горловины станции

Номер элемента (см. рисунок 7.3)	Продолжительность занятия операциями, мин		Коэффициент загрузки k_{3i}	Коэффициент использования $k_{\Gamma i}$
	изменяющимися T_{3i}	постоянными $T_{\text{пост},i}$		
1	170	88	0,127	0,155
2	350	12	0,248	0,287
3	350	32	0,251	0,288
4	426	24	0,304	0,343
5	250	40	0,180	0,215

Пропускную способность горловины определяем по наиболее загруженному элементу 4:

$$N_{\Gamma} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{\phi} N_{jp}}{k_{\Gamma}}; \quad (7.18)$$

$$\left(\begin{array}{l} j = 1, 2, \dots, n \\ p = 1, 2, \dots, \phi \end{array} \right),$$

где N_{jp} – количество передвижений категории j с подхода p через горловину;

$$N_{\Gamma}^{\text{н}} = (34 + 6) \cdot 2 / 0,343 = 233 \text{ поезда.}$$

Сравнение наличной пропускной способности с потребной (80 поездов) позволяет сделать вывод, что резерв пропускной способности данной горловины 153 поезда.

Нечетная горловина. Подлежат расчету 6 элементов: 6 – 27, 41, 37; 7 – 15, 19, 29; 8 – 7, 9; 9 – 21, 25; 10 – 11, 49; 11 – 101, 103. Составляем сводную таблицу передвижений (таблица 7.8) и определяем продолжительность занятия элементов изменяющимися и постоянными операциями (таблица 7.9). По элементам 6 и 9 передвижений, связанных с обслуживанием грузового движения, нет, поэтому их исключаем из дальнейших расчетов. Для остальных элементов определяем $k_{\text{э}i}$ и $k_{\text{г}i}$ при тех же значениях ϕ и α_{Γ} (см. таблицу 7.9). По максимальному значению $k_{\text{г}i}$ определяем пропускную способность горловины: $N_{\Gamma}^{\text{н}} = 40 \cdot 2 / 0,256 = 312$ поездов.

Станция же способна пропустить только 233 поезда.

Т а б л и ц а 7.8 – Сводная таблица передвижений в нечетной горловине станции

Операция	Номера стрелок, участвующих в маршруте	Продолжительность занятия маршрута одной операцией $t_{\text{оп}}$	Количество операций на маршруте $N_{\text{оп}}$	Продолжительность занятия маршрута операциями		Номер элемента, в который входит стрелка маршрута
				изменяющимися	постоянными	
Прием грузовых поездов из А в парк ПО-I	3, 7, 9, 11, 49, 55, 115	5	40	200	–	8, 10
Прием пассажирских и региональных поездов из А на пути I и 3	3, 5, 15, 19, 29, 27, 41, 37	4	20	–	80	7, 6
Отправление грузовых поездов из ПО – II на А	103, 101, 35, 33, 31, 29, 19, 15, 13, 1	4	40	160	–	7, 11
То же пассажирских и региональных с путей II, 4	45, 43, 25, 21, 13, 1	4	20	–	80	9

Окончание таблицы 7.8

Операция	Номера стрелок, участвующих в маршруте	Продолжительность занятия маршрута одной операцией $t_{оп}$	Количество операций на маршруте $M_{оп}$	Продолжительность занятия маршрута операциями		Номер элемента, в который входит стрелка маршрута
				изменяющимися	постоянными	
Вывод составов пассажирских и региональных поездов с пути 3 в технический парк	39, 37, 41, 27, 25, 21, 23	6	3	–	18	6, 9
Вывод составов из парка технического обслуживания подвижного состава на путь 3	23, 21, 25, 27, 41, 37, 39	6	3	–	18	6, 9
Уборка поездных локомотивов от межрегиональных пассажирских поездов с пути 4 за стрелку 43	47, 45, 43, 25, 21	2	2	–	4	9
Уборка поездных локомотивов от стрелочного перевода 43 на путь II	21, 25, 43, 45	2	2	–	4	9
Подача поездных локомотивов под межрегиональные пассажирские поезда: с пути II за стрелку 45 от стрелки 45 на путь 4	45, 43, 25, 21, 21, 25, 43, 45, 47	2	2	–	4	9
		2	2	–	4	9
Уборка поездных локомотивов из ПО – II в локомотивный тупик ЛТ	103, 101, 107, 109	2	34	68	–	11
Подача поездных локомотивов из ЛТ в ПО – II	109, 107, 101, 103	2	40	80	–	11
Уборка поездных локомотивов с путей 11 и 13 за стрелку 115	123, 121, 117, 115, 55, 49, 11	2	2	4	–	10
Уборка поездных локомотивов от стрелки 55 на ходовой путь 12	11, 49, 55, 115, 111	2	2	4	–	10
Подача поездных локомотивов на ходовой путь 12	117, 115, 55, 49, 11, 9, 7	2	10	–	20	8, 10
Уборка маршрутов с пути необщего пользования 2 в парк ПО – I	7, 9, 11, 49, 55, 115, 117	2	10	–	20	8, 10

Таблица 7.9 – Расчет использования элементов нечетных горловин станции

Номер элемента	Продолжительность занятия операциями		Коэффициент загрузки $k_{зi}$	Коэффициент использования k_{gi}
	изменяющимися $T_{з, i}$	постоянными $T_{пост, i}$		
6	–	116	–	–
7	160	80	0,119	0,147
8	200	40	0,144	0,178
9	–	132	–	–
10	208	40	0,150	0,184
11	308	–	0,216	0,256

Пример 7.4. Определим пропускную способность приемо-отправочных парков участковой станции поперечного типа (см. рисунок 7.3). В четном приемо-отправочном парке, состоящем из трех путей, обрабатывают 34 транзитных и 6 поездов своего формирования. В парке ПО – I (количество путей 3) обрабатывают 32 транзитных и 6 поездов своего формирования. В парк ПО – III (два пути) принимают в переработку по 6 поездов с обоих направлений, в том числе 2 пары сборных, 2 маршрута под выгрузку на путь необщего пользования 2, и отправляют на Б 2 маршрута из порожних вагонов. Продолжительность занятия приемо-отправочного пути обработкой одного поезда (с учетом ожидания и расформирования): транзитного $t_{\text{тр}} = 25$ мин; прибывающего в расформирование и маршрута под выгрузку $t_p = t_m = 30$ мин; своего формирования $t_{\text{сф}} = 45$ мин. Зимний период в районе расположения станции – 4, летний – 8 месяцев.

Р е ш е н и е. Пропускная способность приемо-отправочных парков

$$N = \frac{N_{jp}}{k_{\text{п}}}, \quad (7.19)$$

где N_{jp} – количество поездов категории j с подхода p , обрабатываемых в приемо-отправочном парке;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент использования мощности путей,

$$k_{\text{п}} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{\phi} N_{jp} t_{jp} \left(\alpha_{\text{п}} + \beta_{\text{п}} \right)}{1440 m \alpha_{\text{п}} \beta_{\text{п}} - \sum T_{\text{пост}} m}, \quad (7.20)$$

t_{jp} – продолжительность обработки поезда категории j (транзитного, разборочного, своего формирования, кроме сборных и вывозных, угловой передачи и др.);

$\beta_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий колебания вагонопотоков, отказы технических устройств, взаимовлияние смежных устройств и другие объективные факторы. Для приемо-отправочных путей неузловых несортировочных станций на двухпутных линиях $\beta_{\text{п}} = 0,2$, на однопутных линиях – $0,3$; для узловых несортировочных – $0,4$; для путей приема сортировочных станций – $0,3$; для отправочных парков сортировочных станций – $0,4$;

m – количество путей в приемо-отправочном парке;

$\alpha_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий влияние на использование путей парка движения пассажирских и сборных поездов. Учитывается, если пассажирские и сборные поезда обращаются по тем же главным путям, что и грузовые других категорий в пределах ближайших к рассчитываемой станции двух-трех перегонов. Для неузловых станций $\alpha_{\text{п}} = 0,75 \dots 0,90$, узловых $\alpha_{\text{п}} = 0,50 \dots 0,65$;

β – при расчете приемо-отправочных парков для транзитных поездов без переработки $\beta = 1$; $\beta = 1,08$ – для парков приема (отправления) на сортировочных станциях с двумя двухпутными подходами (выходами), оборудованными автоблокировкой; $\beta = 1,03$ – с двумя однопутными подходами, оборудованными полуавтоблокировкой;

$\sum T_{\text{пост}}$ – продолжительность выполнения постоянных операций за сутки (содержание и ремонт пути, уборка снега, пропуск подач на грузовые пункты и др.). На текущее содержание путей приема и отправления на неэлектрифицированных линиях принимают 25 мин, на плановые виды ремонта (только в летний период) – 5 мин, на уборку снега – 10 мин; на электрифицированных линиях соответственно 30, 75, 10 мин. Для сортировочных путей эти затраты одинаковы на электрифицированных и неэлектрифицированных линиях и равны 30, 5, 10 мин.

В соответствии с условием $\beta_{\text{п}} = 0,2$; $\alpha_{\text{п}} = 0,75$; $\beta = 1$ для ПО–I, ПО–II и $\beta = 1,08$ ПО–III; для одного пути $\sum T_{\text{пост}} = 25 + 3,3 + 3,3 = 31,6$ мин. Тогда

$$k_{\text{п}}^{\text{ПО-I}} = \frac{(32 \cdot 25 + 6 \cdot 45)(1 + 0,2)}{1440 \cdot 3 \cdot 0,75 \cdot 1 - 31,6 \cdot 3} = 0,408 ;$$

$$k_{\text{п}}^{\text{ПО-II}} = \frac{(34 \cdot 25 + 6 \cdot 45)(1 + 0,2)}{1440 \cdot 3 \cdot 0,75 \cdot 1 - 31,6 \cdot 3} = 0,427 ;$$

$$k_{\text{п}}^{\text{ПО-III}} = \frac{(14 \cdot 30 + 2 \cdot 45)(1 + 0,2)}{1440 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 1,08 - 31,6 \cdot 2} = 0,270 .$$

Пропускная способность парков соответственно:

$$N^{\text{ПО-I}} = 32 / 0,408 = 78 \text{ поездов}; N^{\text{ПО-II}} = 34 / 0,427 = 79 \text{ поездов};$$

$$N^{\text{ПО-III}} = 14 / 0,270 = 51 \text{ поезд.}$$

Наличная пропускная способность парков значительно выше требуемой.

Пропускная способность приемо-отправочных путей по направлениям движения грузовых поездов, если каждый путь парка ПО–III специализирован строго для обслуживания поездов одного направления, следующая:

нечетное направление:

$$k_{\text{н}}^{\text{нч}} = \frac{(32 \cdot 25 + 8 \cdot 30 + 8 \cdot 45)(1 + 0,2)}{1440 \cdot 4 \cdot 0,75 \cdot 1 - 31,6 \cdot 4} = 0,401 ;$$

$$N^{\text{нч}} = (32 + 8 + 6) / 0,401 \approx 115 \text{ грузовых поездов};$$

четное направление:

$$k_{\text{ч}}^{\text{ч}} = \frac{(34 \cdot 25 + 6 \cdot 30 + 6 \cdot 45)(1 + 0,2)}{1440 \cdot 4 \cdot 0,75 \cdot 1 - 31,6 \cdot 4} = 0,372 ;$$

$$N^4 = (34 + 6 + 4) / 0,327 \approx 118 \text{ грузовых поездов;}$$

Пример 7.5. Определим результирующую пропускную способность участковой станции (см. рисунок 7.3), если пропускная способность прилегающих к ней участков 86 пар грузовых поездов (исключая сборные).

Решение. Результирующую пропускную способность определяют по направлениям движения, категориям поездов в целом для станции:

$$N_p = \min(\bar{N}_n^1, N_n^2, \dots, N_n^i, \dots, N_n^m), \quad (7.21)$$

где N_n^i – наличная пропускная способность элемента i -й станции.

Сравнивая наличную пропускную способность горловин (четной – 233, нечетной – 312 поездов (см. пример 7.3), прямо-отправочных путей (в четном направлении – 118, в нечетном – 115 поездов (см. пример 7.4)) и прилегающих участков, видим, что ограничивают пропускную способность прилегающие к станции участки; следовательно, $N_p = 86$ пар грузовых поездов.

Пример 7.6. Определим пропускную способность входной горловины предгорочного парка сортировочной станции (рисунок 7.4), учитывая надежность работы его путевого развития. В предгорочный парк для расформирования принимают из А – 30, из Б – 12 и с противоположного им направления В – 30 поездов. Продолжительность занятия горловины приемом одного поезда $t_{пр} = 5$ мин, полурейсом передвижения поездного и горочного локомотива $t_{лок} = 2$ мин. Других передвижений в горловине нет, т. е. $T_{пост} = 0$. Продолжительность занятия пути технологическими операциями $t_3 = 0,5$ ч. Коэффициенты вариации интервалов прибытия поездов в парк $\gamma_{вх} = 0,6$; вывода составов на горку $\gamma_{вых} = 0,3$; уровень загрузки горки $\rho = 0,75$. Прием поездов равномерен на всех путях парка. Расчеты аналогичны примеру 7.2.

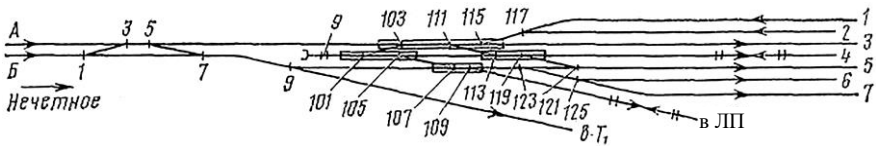


Рисунок 7.4 – Схема входной горловины предгорочного парка

Решение. В горловине выделяем 4 элемента, включающие стрелочные переводы: 1 – СП 103, СП 111, СП 115; 2 – СП 101, СП 105; 3 – СП 113, СП 119; 4 – СП 107, СП 109. Составляем сводную таблицу передвижений (таблица 7.10) и определяем продолжительность занятия элементов (таблица 7.11). Для увязки загрузки горловины и путей используем системный коэффициент использования

$$k_{Гс} = \max_i \left[\frac{T_{3,i}(1+q)}{T_p P_{пр} - T_{пост,i}} + \frac{\varphi t_{вр i} T_{3,i}(1+q)}{(T_p P_{пр} - T_{пост,i})(T_{3,i} + T_{пост,i})} \right], \quad (7.22)$$

где $P_{пр}$ – надежность работы станции; зависит от количества путей в парках, загрузки выходного канала,

$$P_{пр} = 1 - \rho^{m+1} \frac{\gamma_{вх}^\beta + \gamma_{вых}^2}{2},$$

ρ – уровень загрузки выходного канала: например, для парка приема – горки, для входной горловины парка отправления сортировочной станции – выходных участков, для входной горловины приемо-отправочного парка участковой станции – выходных участков и др. ($\rho \leq 0,85 \dots 0,90$);

m_n – количество путей в парке для погашения неравномерности движения поездов,

$$m_n = m_o - \lambda t_3 - m_d,$$

m_o – общее количество путей в парке;

λ – часовой темп поступления поездов в парк,

$$\lambda = N_o / 24;$$

N_o – общее количество поездов, обслуживаемых парком в течение суток;

m_d – количество дополнительных путей;

$\gamma_{вх}$ – коэффициент вариации интервалов входящего потока;

β – эмпирический коэффициент; изменяется от 2,5 до 2. В расчетах можно принять равным 2;

$\gamma_{вых}$ – то же обслуживания выходным каналом.

Т а б л и ц а 7.10 – Сводная таблица передвижений во входной горловине предгорочного парка

Операция	Номера стрелок, участвующих в маршруте	Продолжительность занятия маршрута одной операцией $T_{оп}$	Количество операций на маршруте $N_{оп}$	Продолжительность занятия маршрута операциями	Номер элемента, в который входят стрелки маршрута
Прием грузовых поездов из А на путь 3	3, 5, 103, 111, 115	5	15	75	1
То же на путь 5	3, 5, 103, 111, 113, 119, 121	5	15	75	1, 3
То же из Б на пути 6 и 7	1, 7, 9, 107, 109, 123, 125	5	12	60	4

Окончание таблицы 7.10

Операция	Номера стрелок, участвующих в маршруте	Продолжительность занятия маршрута $t_{мр}$	Количество операций на маршруте $N_{оп}$	Продолжительность занятия маршрута операциями	Номер элемента, в который входят стрелки маршрута
Передвижение поездных локомотивов с путей 1 – 2 в тупик 9	117, 115, 111, 103, 101	2	30	60	1, 2
То же из тупика 9 в локомотивное предприятие	101, 105, 107, 109	2	30	60	2, 4
Пропуск горочного локомотива с ходового пути 4 в тупик 9	119, 113, 105, 101	2	72	144	3, 2
Пропуск горочного локомотива под состав на пути 1 – 3	101, 103, 111, 115, 117	2	45	90	2, 1
То же на путь 5	101, 105, 113, 119, 121	2	15	30	2, 3
То же на пути 6 и 7	101, 105, 107, 109, 123, 125	2	12	30	2, 4

Таблица 7.11 – Расчет использования элементов входной горловины предгорочного парка

Номер элемента	Продолжительность занятия $T_{3,i}$	Системный коэффициент использования $k_{гс_i}$	Номер элемента	Продолжительность занятия $T_{3,i}$	Системный коэффициент использования $k_{гс_i}$
1	300	0,336	3	249	0,296
2	414	0,425	4	150	0,219

В соответствии с рекомендациями, приведенными в примере 7.3, $\varphi = 0,7$; $\alpha_{г} = 0,87$; $t_{вр} = 187,2$ мин. Тогда $m_{д} = 7 - 72 \cdot 0,5 / 24 - 2 \approx 3,5$ путей;

$$P_{пр} = 1 - 0,75^{3,5+1} (0,8^2 + 0,3^2) / 2 = 0,9.$$

По формуле (7.22) находим $k_{гс}$ (см. таблицу 7.11). По его максимальному значению (см. формулу (7.18))

$$N = 72 / 0,425 = 169 \text{ поездов.}$$

Резерв пропускной способности составляет 97 поездов.

Пример 7.7. Определим пропускную способность подсистемы расформирования составов поездов (парк приема – сортировочная горка – сортировочный парк) с вероятностью беспрепятственного приема $P_{пр} = 0,90$ при $t_{г} = 0,25$ ч. Остальные исходные данные см. в примере 7.6. Как изменится пропускная способность парка, если вероятность беспрепятственного приема повысится до 0,99? Каким должен быть $t_{г}$, чтобы вероятность беспрепятственного приема была $P_{пр} = 0,99$ при заданном количестве путей?

Решение. Пропускная способность с заданной вероятностью беспрепятственного приема

$$N = \frac{24}{I_{\text{вых}}} m+1 \sqrt{\frac{2(1-P_{\text{пр}})}{\gamma_{\text{вх}}^2 + \gamma_{\text{вых}}^2}}, \quad (7.23)$$

где $I_{\text{вых}}$ – интервал обслуживания транспортных единиц (горочный технологический интервал, интервалы отправления и вывода составов из парка).

В нашем примере $I_{\text{вых}} = t_{\Gamma}$;

$$N = \frac{24}{0,25} \sqrt[3,5]{\frac{2(1-0,90)}{0,8^2 + 0,3^2}} = 72 \text{ поезда.}$$

С увеличением вероятности беспрепятственного приема до 0,99 пропускная способность парка

$$N = \frac{24}{0,25} \sqrt[3,5]{\frac{2(1-0,99)}{0,8^2 + 0,3^2}} = 43 \text{ поезда.}$$

Для реализации заданной пропускной способности горочный интервал необходимо довести до

$$t_{\Gamma} = \frac{24}{72} \sqrt[3,5]{\frac{2(1-0,99)}{0,8^2 + 0,3^2}} = 0,15 \text{ ч.}$$

7.2 Сортировочные горки, вытяжные пути и погрузочно-разгрузочные фронты

Пример 7.8. Определить перерабатывающую способность механизированной сортировочной горки с двумя путями надвига, роспуска и двумя обходными путями односторонней сортировочной станции с последовательным расположением парков (рисунок 7.5) при работе двух горочных локомотивов.

За сутки на станцию в расформирование прибывает 64 поезда и столько же формируется на 18 назначений плана формирования. Для накопления вагонов по назначениям плана формирования в сортировочном парке имеется 22 пути, общей вместимостью 1100 вагонов. Среднее количество вагонов в расформировываемых (формируемых) составах $\bar{m} = 56$ вагонов.

Горка в среднем за сутки перерабатывает 190 местных вагонов, 40 вагонов из деповского и текущего ремонтов, 8 вагонов, задержанных на станции для устранения коммерческого брака, перегруза и по другим причинам. Вагоны с

путей отсева, ремонта и местные выводят в парк приема по обходным путям без занятия горки. Вагоны данных категорий проходят на горке в среднем двойную переработку, т. е. $\gamma = 2$. Продолжительность перерывов в работе горки из-за смены локомотивных бригад и ежедневного обслуживания горочных устройств в среднем в сутки составляет $t_{\text{лок}}^{\text{гор}} = 30$ мин. На проведение работ по ремонту пути, замене стрелочных переводов и др. $t_{\text{пр}} = 32$ мин.

Горочная горловина включает четыре пучка путей сортировочного парка. На спускной части горки для регулирования скорости скатывания отцепов уложены две тормозные позиции из замедлителей типа КНП-5.

При наличии в составе, роспускаемом через горку, отцепов, запрещенных к спуску без локомотива, производится их отцепка вторым горочным локомотивом, на что тратится время $\Delta t_{\text{зр}} = 1$ мин, в среднем приходится на один расформировываемый состав.

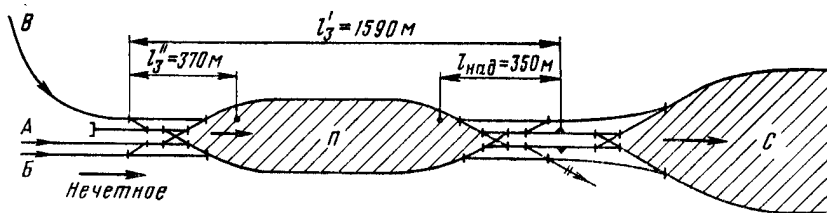


Рисунок 7.5 – Схема подачи составов на горку при последовательном расположении предгорочного и сортировочного парков

Решение. Наличная перерабатывающая способность горки определяется из следующего выражения

$$N_{\text{гор}} = \frac{1440 \alpha_{\text{гор}} - (t_{\text{пост}}^{\text{гор}} - t_{\text{техн}}^{\text{гор}} - t_{\text{повт}}^{\text{гор}})}{t_{\text{гор}}(1 + \rho_{\text{гор}}) + \Delta t_{\text{зр}}} m, \quad (7.24)$$

где $\alpha_{\text{гор}}$ – коэффициент, учитывающий перерывы в использовании горки из-за враждебности маршрутов других категорий передвижений (прием и отправление грузовых поездов через выходную горловину парка приема или горочную горловину, пропуск поездных локомотивов и др.) рекомендуется принимать равным 0,97, за исключением случаев расположения транзитного парка параллельно парку приема при отсутствии изолированного от горки соединения с локомотивным депо, а также объединенного парка приема при отсутствии петлевого подхода с направления, противоположного сортировке, когда этот коэффициент принимается равным 0,95;

$\sum t_{\text{пост}}^{\text{гор}}$ – сьем полезного времени работы горки для переработки вагонопотока из-за необходимости расформирования вагонов углового потока, вагонов, поступающих с грузовых фронтов, ремонтных путей, вагонного депо и других пунктов,

$$t_{\text{пост}}^{\text{гор}} = \gamma \sum_{i=1}^n n_i^{\text{гор}} t_i^{\text{гор}}, \quad (7.25)$$

γ – коэффициент, учитывающий количество переработок на горке вагонов данных категорий;
 $n_i^{\text{гор}}$ – количество вагонов i -й категории (углового потока, с грузовых фронтов и т.д.), расформировываемых за сутки горкой;
 $t_i^{\text{гор}}$ – продолжительность занятия горки расформированием одного вагона i -й категории. Ориентировочно $t_i^{\text{гор}} = t_{\text{гор}} / m$;
 $t_{\text{техн}}^{\text{гор}}$ – продолжительность перерывов в работе горки из-за обслуживания технических устройств горки (горочных локомотивов, замедлителей и других),

$$t_{\text{техн}}^{\text{гор}} = t_{\text{лок}}^{\text{гор}} + t_3 + t_{\text{пр}}, \quad (7.26)$$

$t_{\text{лок}}^{\text{гор}}$ – потери времени в работе горки из-за экипировки и ежедневного обслуживания горочных локомотивов;
 t_3 – перерывы в работе горки в сутки, требуемые на обслуживание горочного оборудования,

$$t_3 = K_3 \Pi_3, \quad (7.27)$$

K_3 – коэффициент, зависящий от количества спускных путей на горке. Принимается 8 и 5 для замедлителей типа КНП-5; 6 и 5 для НК-114, ВЗПГ, ЗВУ и других типов соответственно при одном и двух (и более) спускных путях;
 Π – количество пучков в сортировочном парке;
 $t_{\text{пр}}$ – перерывы в работе горки в сутки, связанные с прочими работами (ремонт пути, замена стрелочных переводов и др.);
 $t_{\text{повт}}^{\text{гор}}$ – затраты времени на горке в течение суток на повторную сортировку вагонов (недостаточная длина и количество сортировочных путей, предназначенных для накопления вагонов),

$$t_{\text{повт}}^{\text{гор}} = (1440 \alpha_{\text{гор}} - t_{\text{пост}}^{\text{гор}} - t_{\text{техн}}^{\text{гор}}) (\mu_{\text{повт}}^{\text{гор}} - 1), \quad (7.28)$$

$\mu_{\text{повт}}^{\text{гор}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты времени на повторную сортировку части вагонов при окончании формирования составов из-за недостатка длины и количества сортировочных путей. Рекомендуется определять с помощью таблицы 7.12;

$t_{гор}$ – величина горочного технологического интервала;

$\rho_{гор}$ – коэффициент, учитывающий перерывы в работе горки из-за отказов технических устройств, нерасцепов вагонов и других непредвиденных ситуаций. Определяется в зависимости от величины горочного технологического интервала, типа замедлителей и технического оснащения горки из таблицы 7.13;

$\Delta t_{зр}$ – потери времени на горке, связанные с выцепкой из расформировываемых составов вагонов, запрещенных к роспуску без локомотивов, отнесенные на один состав.

Т а б л и ц а 7.12 – Значение коэффициента $\mu_{повт}^{гор}$

Вместимость сортировочного парка, вагонов*	Коэффициент $\mu_{повт}^{гор}$ при соотношении вместимости сортировочного парка к произведению количества назначений плана формирования на средний состав отправляемых поездов					
	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
1	2	3	4	5	6	7
Менее 500	1,18	1,14	1,09	1,06	1,04	1,01
1000	1,16	1,12	1,08	1,06	1,04	1,01
1500 и более	1,14	1,09	1,06	1,04	1,03	1,01

* Учитываются пути, выделенные для накопления вагонов по назначениям плана формирования.

Т а б л и ц а 7.13 – Значение коэффициента $\rho_{гор}$

Горочный технологический интервал $t_{гор}$, мин	Значение $\rho_{гор}$ в зависимости от $t_{гор}$, типа замедлителя и сортировочного устройства*			
	НК-114	КНП-5	ЗВУ-02**	ВЗПГ
До 11,0	$\frac{0,12}{0,11}$	$\frac{0,10}{0,09}$	$\frac{0,08}{0,07}$	$\frac{0,09}{0,08}$
11,1–14,0	$\frac{0,09-0,12}{0,08-0,11}$	$\frac{0,08-0,10}{0,07-0,09}$	$\frac{0,07}{0,06}$	$\frac{0,07-0,09}{0,06-0,08}$
14,1–19,0	$\frac{0,09}{0,08}$	$\frac{0,08}{0,07}$	$\frac{0,05}{0,04}$	$\frac{0,07}{0,06}$
19,1–24,0	$\frac{0,06-0,08}{0,06-0,08}$	$\frac{0,05-0,07}{0,05-0,07}$	$\frac{0,03}{0,03}$	$\frac{0,04-0,06}{0,04-0,06}$
24,1 и более	$\frac{0,06}{0,06}$	$\frac{0,05}{0,05}$	$\frac{0,02}{0,02}$	$\frac{0,04}{0,04}$

* Значения $\rho_{гор}$ в числителе относятся к автоматизированной горке, в знаменателе – для механизированной. Меньшее значение $\rho_{гор}$ относится к составу поезда из 50 вагонов, большее – 63 вагонов. Для немеханизированных горок и вытяжных путей $\rho_{гор} = 0,03$.

** Ориентировочные данные.

При последовательном расположении предгорочного и сортировочного парков, работе на горке двух локомотивов и последовательном роспуске составов \bar{t}_r определяют по графику работы горочных локомотивов (рисунков 7.6) при условии, что осаживание и окончание формирования произво-

дятся после роспуска трех составов. Продолжительность заезда, надвига и роспуска устанавливают по масштабному плану станции. Продолжительность цикла на графике $T_{\text{ц}} = 33,5$ мин, а $t_r = T_{\text{ц}} / N_{\text{ц}} = 33,5/3 = 11,2$ мин.

Наименование операций	Продолж., мин	Время, мин					
		10	20	30	40	50	60
Заезд	4,3						
Надвиг	3,4						
Роспуск	8,0						
Окончание формирования	7,5 на 3 состава						
Продолжительность горочного цикла	33,5						

Рисунок 7.6 – Технологический график работы горки

С учетом исходных данных продолжительность занятия горки постоянными операциями по формуле (7.25)

$$t_{\text{пост}}^{\text{гор}} = \frac{2(190 + 40 + 8) \cdot 11,2}{56} = 95,2 \text{ мин.}$$

Перерывы в работе горки на обслуживание технических устройств по формуле (7.26) с учетом того, что $t_3 = 5 \cdot 4 = 20$ мин,

$$t_{\text{техн}}^{\text{гор}} = 30 + 20 + 32 = 82,0 \text{ мин.}$$

Так как общая вместимость путей сортировочного парка, специализированных для накопления составов по назначению плана формирования, составляет 1100 вагонов, а произведение количества назначений на средний состав поезда $18 \cdot 56 = 1008$ вагонов, то соотношение между ними составит 1,09. Тогда по таблице 7.12 $\mu_{\text{повт}}^{\text{гор}}$ принимается равным 1,06. Следовательно,

$$t_{\text{повт}}^{\text{гор}} = (1440 \cdot 0,97 - 95,2 - 82,0)(1,06 - 1) = 73,2 \text{ мин.}$$

Коэффициент $\rho_{\text{гор}}$ для рассматриваемых условий принимается равным 0,07.

Тогда перерабатывающая способность горки

$$N_{\text{гор}} = \frac{1440 \cdot 0,97 - 95,2 - 82,0 - 73,2}{11,2(1 + 0,07) + 1} \cdot 56 = 4946 \text{ вагонов.}$$

Так как в среднем за сутки необходимо переработать на горке $64 \cdot 56 = 3584$ вагона, то резерв ее перерабатывающей способности составляет 1362 вагона.

Пример 7.9. Рассчитать перерабатывающую способность сортировочной горки четной сортировочной системы станции Г, где парк приема расположен параллельно сортировочному парку (рисунок 7.7). На сортировочную горку для расформирования поступают вагонопотоки, прибывающие со станций Ж и К в грузовых поездах, с предузловых станциях – в узловых и нечетной сортировочной системы – в угловых передаточных поездах (таблица 7.14).

Т а б л и ц а 7.14 – **Количество и средний состав расформируемых поездов**

Операции приема и отправления по категориям поездов	Количество поездов в сутки	Средний состав поезда, вагонов
Прием четных грузовых поездов из Ж	8	65
Прием четных грузовых поездов из К	7	65
Прием четных узловых передач из Ж	2	13
Прием четных узловых передач из К	1	13
Прием угловых передач с нечетной сортировочной системы	2	33

Вместе с тем на горке расформируются группы вагонов, поступающие с путей необщего пользования, примыкающих к сортировочной системе (таблица 7.15).

Для расформирования (формирования) поездов горка имеет: вытяжной путь (№ 2т), один путь надвига, один путь роспуска и один обходной (см. рисунок 7.7). Горка оборудована устройствами ГАЦ, тремя тормозными позициями (ТП) из замедлителей КНП-5 (на 1-й и 2-й ТП) и РНЗ-2 (на парковой ТП).

Т а б л и ц а 7.15 – **Количество вагонов, поступающих в расформирование с путей необщего пользования**

Наименование пути необщего пользования	Количество групп вагонов	Количество вагонов в группе
10-й путь	2	5
База технического снабжения (БТС)	1	9
Электротехнический (ЭТЗ) и электромеханический заводы (ЭМЗ)	2	1
Дистанция гражданских сооружений (НГЧ)	2	3
Управление производственно-технологической комплектации (УПТК)	7	2
Строительно-монтажный поезд (СМП)	1	6
Горрайтопсбыт	5	3

Нормы времени на выполнение горочных технологических операций, установленные технологическим процессом, составляют: $t_{зг} = 3$ мин; $t_{над} = 3$ мин; $t_{гор} = 34$ мин.

В сортировочно-отправочном парке, состоящем из 11 путей (2 пучка), для накопления составов по назначениям плана формирования поездов (Ч, Бр, Уг, Бх) выделено четыре пути вместимостью соответственно 78, 77, 80 и 74 вагона. На этих путях в среднем в сутки формируется 8 поездов с количеством вагонов в составе 72 и один поезд из 22 вагонов.

Решение. Перерабатывающую способность сортировочной горки определяем по формуле

$$N_{\text{гор}} = \frac{1440 \alpha_{\text{гор}} - t_{\text{пост}}^{\text{гор}} - t_{\text{тех}}^{\text{гор}} - t_{\text{повт}}^{\text{гор}}}{t_{\text{гор}}(1 + \rho_{\text{гор}}) + \Delta t_{\text{зр}}} \bar{m}. \quad (7.29)$$

Коэффициент, учитывающий перерывы в использовании горки из-за враждебности маршрутов, принимается $\alpha_{\text{гор}} = 0,95$.

Для расчета $t_{\text{пост}}^{\text{гор}}$ по формуле (7.25) воспользуемся вспомогательной таблицей 7.16, в которой n_i и m_c приняты в соответствии с таблицами 7.14 и 7.15, а $l_{\text{выт}}$ – по масштабному плану станции. Величина $t_{\text{выт}}$ определяется по формуле (7.14):

$$t_{\text{выт}} = (0,0407 + 0,0017 m_c) \frac{v_{\text{выт}}}{2} + 0,06 \frac{l_{\text{п/р}}}{v_{\text{выт}}},$$

где $v_{\text{выт}}$ – в соответствии с технологическим процессом составляет 6,5 км/ч,

$$\text{а } l_{\text{п/р}} = l_c + l_{\text{выт}}.$$

Продолжительность роспуска каждого из составов находим по формуле

$$t_{\text{рос}} = 0,06 \frac{l_c}{v_{\text{рос}}} \left(1 - \frac{1}{2q_0} \right), \quad (7.30)$$

где $v_{\text{рос}}$ – скорость роспуска состава на горке, составляет 4 км/ч;

q_0 – количество отцепов в расформировываемом составе (см. таблицу 7.16).

По результатам выполненных расчетов с помощью таблицы 7.16

$$t_{\text{пост}}^{\text{гор}} = 198,4 \text{ мин.}$$

Продолжительность перерывов в работе горки $t_{\text{техн}}^{\text{гор}}$, связанных с плановым обслуживанием и ремонтом технических устройств (горочных локомотивов, замедлителей и другого оборудования), определяется по формуле (7.26):

$$t_{\text{техн}}^{\text{гор}} = t_{\text{лок}}^{\text{гор}} + t_3 + t_{\text{пр}}.$$

При этом $t_{\text{лок}}^{\text{гор}}$ – среднесуточная продолжительность экипировки и обслуживания локомотивов, согласно месячному графику экипировки и смены локомотивных бригад, принимается равной 30 мин; t_3 – средняя продолжительность времени, требуемого на технологическое обслуживание замедлителей и другого оборудования, определяется по формуле (7.27).

Таблица 7.16 – Вспомогательная таблица для расчета $t_{\text{пост}}^{\text{гор}}$

Наименование расформировываемых составов	Обозначения и числовые значения величин													
	n_i	m_c	$l_c=15m_c$	$l_{\text{выг}}$	$l_{\text{п/р}}=l_c+l_{\text{выг}}$	$v_{\text{выг}}$	$t_{\text{выг}}$	$t_{\text{над}}$	q_0	$v_{\text{рос}}$	$t_{\text{рос}}$	$t_i^{\text{гор}}$	$t_{\text{пост}}^{\text{гор}} = n_i^{\text{гор}} t_i^{\text{гор}}$	
	Состав	Вагон	м	м	м	км/ч	мин	мин	Отцеп	км/ч	мин	мин		мин
Узловые передачи	3	13	195	273	468	6,5	4,5	3,00	9	4	2,76	10,26	30,78	
Угловые передачи	2	33	495	273	768	6,5	7,4	3,00	13	4	7,14	17,54	35,08	
Уборка с местных пунктов	10-й путь	2	5	75	273	348	6,5	3,4	3,00	3	4	0,94	7,34	14,68
	БТС	1	9	135	273	408	6,5	3,9	3,00	7	4	1,25	8,15	8,15
	ЭТЗ и РМЗ	2	1	15	273	288	6,5	2,8	3,00	1	4	0,23	6,03	12,06
	НГ и РМЗ	2	3	45	273	318	6,5	3,1	3,00	2	4	0,51	6,61	13,22
	УПТК	7	2	30	273	303	6,5	2,9	3,00	2	4	0,34	6,24	43,68
	СМ	1	6	90	273	363	6,5	3,5	3,00	4	4	1,18	7,68	7,68
Гортоп	5	3	45	273	318	6,5	3,1	3,00	2	4	0,51	6,61	33,05	
Всего	Съем полезного времени работы горки $t_{\text{пост}}^{\text{гор}} = \sum_{i=1}^n n_i^{\text{гор}} t_i^{\text{гор}}$												198,38	

Так как горка на спускной части оборудована замедлителями КНП-5 и имеет один спускной путь при двух пучках $t_3 = K_3 \Pi = 8 \cdot 2 = 16$ мин.

Работы по ремонту пути производятся без выделения дополнительного времени, т. е. $t_{пр} = 0$.

Тогда $t_{техн}^{гор} = 30 + 16 = 46$ мин.

Так как четная сортировочная система имеет полезную длину путей, выделенных для накопления составов поездов по назначениям плана формирования, большую, чем длину составов, то $t_{повт}^{гор} = 0$.

Потери времени, связанные с расформированием составов, имеющих вагоны запрещенные к роспуску, учтены в горочном технологическом интервале. Перерывы в работе горки из-за отказов технических устройств, нерасцепов и по другим причинам учитываются через коэффициент $\rho_{гор}$, который составляет 0,05.

Тогда при $m = \frac{65 \cdot 15 + 13 \cdot 3}{15 + 3} = 56,3$ вагона

$$N_{гор} = \frac{1440 \cdot 0,95 - 198,4 - 46}{34(1 + 0,05)} \cdot 56,3 = 1772 \text{ ваг./сут.}$$

Уровень загрузки горки

$$\gamma_{гор} = \frac{\sum N_i m_i}{N_{гор}} = \frac{65 \cdot 15}{1772} = 0,55.$$

Пример 7.10. Определить наличную перерабатывающую способность вытяжного пути сортировочной станции, на котором выполняются операции окончания формирования поездов, а также подборка местных вагонов на грузовые фронты. На вытяжном пути в среднем в сутки формируют три сквозных, четыре двухгруппных, четыре сборных поезда и шестьдесят местных вагонов. Технологическая продолжительность окончания формирования и перестановки состава в парк отправления: сквозных – 20 мин, двухгруппных – 30 мин, сборных – 65 мин. На работу с местными вагонами затрачивается 80 мин. Средний состав поездов $m_c = 53$ вагона.

Решение. Наличная перерабатывающая способность i -го вытяжного пути

$$n_i^B = \frac{\sum_{j=1}^n N_{pj}^B m_{\phi}}{k_i^B} + m_{пост}^B, \quad (7.31)$$

где m_{ϕ} – среднее количество вагонов в составе формируемого поезда;

N_{pj}^B – количество поездов j -й категории, прибывающих (отправляемых) на станцию и обрабатываемых на вытяжном пути;

k_i^B – коэффициент использования перерабатывающей способности вытяжного пути;

$m_{пост}^B$ – количество вагонов углового потока, местных и т.д., обрабатываемых за время $\sum T_{пост}^B$.

Коэффициент использования наличной перерабатывающей способности вытяжного пути

$$k_i^B = \frac{\mu_{\text{повт}}^B \left[\sum_{j=1}^n N_{pj}^B t_{pj}^B \right] (I + \beta_B)}{1440 \alpha_c p_{\text{пр}} - \sum T_{\text{пост},i}^B}, \quad (7.32)$$

где $\mu_{\text{повт}}^B$ – коэффициент повторной сортировки, для средних условий равен 1,02–1,05;

t_{pj}^B – продолжительность обработки на вытяжке поезда j -й категории, прибывающего (отправляемого) с подхода p . Определяется с использованием методик технического нормирования маневровой работы;

β_B – коэффициент, учитывающий отказы технических устройств, равный 0,01;

α_c – коэффициент, учитывающий перерывы в использовании вытяжного пути из-за враждебности передвижений, равный 0,93–0,95;

$p_{\text{пр}}$ – коэффициент, характеризующий перерывы в использовании вытяжного пути из-за занятости путей парка отправления $p_{\text{пр}} = 0,93 \dots 0,96$;

$\sum T_{\text{пост},i}^B$ – продолжительность занятия i -го вытяжного пути в течение суток для выполнения операций, не зависящих от объема переработки (перестановка углового потока, обработка групп вагонов, подлежащих ремонту или отремонтированных, обработка групп местных вагонов, затраты времени на экипировку маневрового локомотива, формирование сборных поездов).

Значение коэффициента повторной сортировки принимается $\mu_{\text{повт}}^B = 1,02$; коэффициента β_B , учитывающего отказы технических устройств, равным 0,01; коэффициента α_c , учитывающего перерывы в использовании вытяжного пути из-за враждебности передвижений, равным 0,93; коэффициента $p_{\text{пр}}$, характеризующего перерывы в использовании вытяжного пути из-за занятости парка отправления, равным 0,93. Продолжительность занятия вытяжного пути в течение суток выполнением операций, не зависящих от объема переработки, равно 320 мин.

Тогда $k^B = [1,02(13 \cdot 20 + 4 \cdot 30 + 4 \cdot 65)(1 + 0,01)] / (1440 \cdot 0,93 \cdot 0,93 - 320) = 0,712$.

Наличная перерабатывающая способность вытяжного пути

$$n^B = (13 + 4 + 4) \cdot 53 / 0,712 + 60 \approx 1623 \text{ вагона.}$$

Пример 7.11. Определим суточную наличную перерабатывающую способность грузового фронта, обслуживаемого электропозвучиком. Продолжительность: грузовой операции с вагонами $t_{\text{тр}} = 30$ мин, маневровых опера-

ций расстановки (сборки) вагонов одной подачи – $t_{\text{раст}} = t_{\text{сб}} = 10$ мин. Протяженность грузового фронта – 60 м.

Р е ш е н и е. Перерабатывающая способность грузового фронта (по средствам механизации) определяется по формуле

$$N_{\text{гф}}^{\text{м}} = \frac{T_{\text{р}}^{\text{ф}} - \sum t_{\text{пост}}^{\text{ф}}}{T_{\text{ц}}^{\text{ф}}(1 + \rho_{\text{ф}})} E_{\text{ф}}. \quad (7.33)$$

- где $T_{\text{р}}^{\text{ф}}$ – период работы грузового фронта, принимается равным 1440 мин;
 $\sum t_{\text{пост}}^{\text{ф}}$ – продолжительность выполнения на грузовом фронте постоянных операций (текущий осмотр и ремонт погрузочно-разгрузочных механизмов и др.);
 $T_{\text{ц}}^{\text{ф}}$ – продолжительность цикла обработки одной подачи, мин;
 $E_{\text{ф}}$ – вместимость грузового фронта – количество вагонов, с которыми грузовые операции можно выполнять одновременно;
 $\rho_{\text{ф}}$ – коэффициент, учитывающий возникновение отказов технических устройств на грузовом фронте (неисправность средств механизации, отключение электроэнергии и др.).

На грузовых фронтах, оснащённых мобильными механизмами (электропогрузчиками, автопогрузчиками, одноковшовыми погрузчиками и др.), которые в случае отказа могут быть оперативно заменены на исправные машины в $\sum t_{\text{пост}}^{\text{ф}}$, включается только простой в ежедневном техническом обслуживании, продолжительность которого принимается в соответствии с таблицей 7.17. При отсутствии подменных средств $\sum t_{\text{пост}}^{\text{ф}}$ рекомендуется принимать по результатам хронометражных наблюдений, а для ориентировочных расчётов – равным 1 час. Следовательно, в примере $\sum t_{\text{пост}}^{\text{ф}} = 60$ мин.

Т а б л и ц а 7.17 – Простой механизмов в техническом обслуживании

Машины	Значение $t_{\text{пост}j}^{\text{ф}}$, ч/сут
Козловые краны грузоподъемностью: – до 15 т	0,4
– более 15 до 50 т	0,6
Краны стреловые автомобильные: – с механическим приводом рабочего органа	0,5
– с гидравлическим и электрическим приводом рабочего органа	0,4
– на пневмоходу и железнодорожном ходу	0,6
Погрузчики одноковшовые и автопогрузчики	0,5
Бульдозеры и экскаваторы	0,4
Электропогрузчики	0,3

Коэффициент ρ_ϕ , учитывающий возникновение отказов технических устройств на грузовом фронте (неисправность средств механизации, отключение электроэнергии и др.), принимается при обслуживании одной машины равным 0,02.

Вместимость грузового фронта, ваг., при длине условного вагона $l_b = 14,5$ м

$$E_\phi = \frac{L_\phi}{l_b} = \frac{60}{14,5} = 4, \quad (7.34)$$

где L_ϕ – длина погрузочно-разгрузочного фронта со стороны железной дороги;

l_b – длина условного вагона, $l_b = 14,5$ м.

Продолжительность цикла обработки одной подачи (от момента прибытия до момента прибытия следующей подачи), мин,

$$T_{ц} = t_{\text{раст}} + t_{\text{гр}} E_\phi + t_{\text{сб}} = 10 + 120 + 10 = 140, \quad (7.35)$$

где $t_{\text{раст}}$ – продолжительность расстановки вагонов у грузового фронта;

$t_{\text{гр}}$ – средняя продолжительность грузовой операции с одним вагоном, с учётом количества работающих машин;

$t_{\text{сб}}$ – продолжительность сборки вагонов у грузового фронта.

Тогда

$$N = \frac{1440 - 60}{140(1 + 0,02)} \cdot 4 = 38 \text{ вагонов}$$

Пример 7.12. Определим перерабатывающую способность грузового пункта, состоящего из трех грузовых фронтов, перерабатывающих тяжеловесные грузы. Подача (уборка) вагонов производится одним закрепленным за грузовым пунктом маневровым локомотивом. Погрузочно-выгрузочные операции выполняются козловыми кранами грузоподъемностью 5 тонн. Характеристика грузового пункта и затраты времени на выполнение маневровых и погрузочно-выгрузочных операций приведена в таблице 7.18.

Решение. Перерабатывающая способность грузового пункта по средствам механизации может быть определена по формуле

$$N_{\text{гп}}^M = \sum_{i=1}^{\phi} \frac{T_i - t_{\text{пост},i}^\phi}{T_{\text{рц}}^\phi (1 + \rho_{\phi,i})} E_{\phi,i}. \quad (7.36)$$

Таблица 7.18 – Характеристика грузового пункта

Показатели грузового пункта	Значение показателей по грузовым фронтам		
	1	2	3
Емкость грузового фронта (E_ϕ), ваг.	2	4	8
Количество одновременно работающих кранов	1	2	3

Окончание таблицы 7.18

Показатели грузового пункта	Значение показателей по грузовым фронтам		
	1	2	3
Продолжительность грузовой операции с вагоном ($t_{гр}$), мин	45	60	75
Затраты времени на маневровую работу по расстановке (сборке) вагонов одной подачи ($t_{ман}$), мин	6	12	20
Продолжительность занятия грузового фронта выполнением постоянных операций ($t_{пост}^{\Phi}$), мин	30	60	60
Период работы грузового фронта (T), мин	480	1440	1440

Р е ш е н и е. Перерабатывающая способность грузового пункта по средствам механизации может быть определена по формуле

$$N_{гп}^M = \sum_{i=1}^{\Phi} \frac{T_i - t_{пост,i}^{\Phi}}{T_{рц}^{\Phi} (1 + \rho_{\Phi,i})} E_{\Phi,i} \cdot \quad (7.37)$$

где Φ – количество грузовых фронтов, входящих в состав грузового пункта;

T_i – расчётный период работы i -го грузового фронта за сутки, мин;

$T_{рц}^{\Phi}$ – продолжительность расчётного цикла работы грузового пункта;

$E_{\Phi,i}$ – вместимость i -го грузового фронта, ваг.;

$\rho_{\Phi,i}$ – коэффициент, учитывающий возникновение отказов технических устройств на i -м грузовом фронте.

Для нахождения расчетного цикла следует определить продолжительность цикла работы каждого грузового фронта по формуле

$$T_{ц}^{\Phi,i} = t_{манj} + t_{грj} E_{\Phi,i} / M_i \cdot \quad (7.38)$$

где $t_{манj}$ – затраты времени на маневровую работу, связанную с расстановкой и сборкой вагонов одной подачи на i -м грузовом фронте ($t_{ман} = t_{расст} + t_{сб}$), мин;

$t_{грj}$ – продолжительность грузовой операции с одним вагоном на грузовом фронте;

M_i – количество одновременно работающих механизмов на грузовом фронте.

Продолжительность цикла работы:

– первого грузового фронта

$$T_{ц1}^{\Phi,i} = 6 + 6 + 45 \cdot 2 = 102 \text{ мин};$$

– второго грузового фронта

$$T_{ц2}^{\Phi,i} = 12 + 12 + 60 \cdot 4/2 = 144 \text{ мин};$$

– третьего грузового фронта

$$T_{ц3}^{\phi,i} = 20 + 20 + 75 \cdot 8/3 = 240 \text{ мин.}$$

Учитывая, что все три фронта погрузки-выгрузки грузового пункта обслуживаются одним локомотивом, для оценки перерабатывающей способности каждого из них за расчетный должен быть принят цикл работы того грузового фронта, который имеет его наибольшую продолжительность. В данном примере наибольшую продолжительность составляет цикл третьего грузового фронта, который равен 240 мин.

При этом следует проверить, не будут ли суммарные затраты времени на маневровую работу по подаче (уборке) вагонов на грузовой пункт, $\sum t_{\text{ман}}$, превышать продолжительность максимального цикла, $T_{ц(\text{max})}^{\phi}$ i -го грузового фронта, т. е.

$$\sum t_{\text{ман}} > T_{ц(\text{max})}^{\phi}.$$

Если это произойдет, то за расчетный цикл грузового пункта следует принимать $\sum t_{\text{ман}}$.

В рассматриваемом примере

$$\sum t_{\text{ман}} = 12 + 24 + 40 = 76 \text{ мин,}$$

что не превышает $T_{ц(\text{max})}^{\phi} = 240$ мин.

Значение параметра $\rho_{\phi i}$ для первого грузового фронта, обслуживаемого одним механизмом, принимается равным 0,02. Для второго и третьего грузовых фронтов определяется по формуле

$$\rho_{\phi,i} = \frac{(1 - k_{\Gamma}^n) t_{\text{отк}}}{T_{\text{рц}}^{\phi}}. \quad (7.39)$$

где k_{Γ}^n – коэффициент готовности машин к работе, принимается равным 0,98;

n – количество машин, одновременно работающих на грузовом фронте;

$t_{\text{отк}}$ – продолжительность устранения одного отказа, в среднем составляет 2,4 часа.

Тогда

$$\rho_{\phi 2} = \frac{(1 - 0,98^2) \cdot 144}{240} = 0,024 ;$$

$$\rho_{\phi 3} = \frac{(1 - 0,98^3) \cdot 144}{240} = 0,036 .$$

Перерабатывающая способность грузового пункта по средствам механизации составит

$$N_{\text{гп}}^{\text{м}} = \frac{480 - 30}{240(1 + 0,036)} \cdot 2 + \frac{1440 - 60}{240(1 + 0,024)} \cdot 4 + \frac{1440 - 60}{240(1 + 0,036)} \cdot 8 =$$

$$= 3,7 + 22,5 + 44,4 = 70,6 \approx 70 \text{ вагонов.}$$

Пример 7.13. Емкость склада грузового фронта составляет $E_{\text{скл}} = 720$ т. На складе предусмотрено хранение груза в среднем в течение двух суток. Груз поступает на склад в вагонах грузоподъемностью 63 т. По результатам обработки статистических данных средний уровень использования грузоподъемности вагона составил 0,63. По прямому варианту (вагон-автомобиль и обратно) перегружается 30 % груза. Средства механизации и завоза-вывоза груза обеспечивают переработку грузопотока в заданном режиме. Определить перерабатывающую способность склада по его вместимости в вагонах.

Решение. Перерабатывающая способность по вместимости склада определяется формуле

$$N_{\text{скл}}^{\text{е}} = \frac{E_{\text{скл}}(1 + \varphi)(1 - \mu)}{q_{\text{в}} \varepsilon_{\text{в}} t_{\text{хр}}}. \quad (7.40)$$

где φ – доля груза, перерабатываемого по прямому варианту;

μ – коэффициент, учитывающий оперативный резерв емкости, необходимый для рациональной организации работы склада, принимается равным 0,1–0,15;

$q_{\text{в}}$ – грузоподъемность вагона;

$\varepsilon_{\text{в}}$ – коэффициент использования грузоподъемности вагона;

$t_{\text{хр}}$ – продолжительность хранения груза в складе.

Подставляя в выражение (7.40) исходные данные, получим

$$N_{\text{скл}}^{\text{е}} = \frac{720(1 + 0,3)(1 - 0,1)}{63 \cdot 0,6 \cdot 2} = 11,1 \text{ вагонов.}$$

Следовательно, по вместимости склад в течение суток при заданных условиях может переработать 11 вагонов.

7.3 Пассажирские устройства

Пример 7.14. Определить пропускную способность пассажирской станции сквозного типа, представленной на рисунке 7.8, в поездах за расчетный период $T_{\text{р}} = 180$ мин. Для обслуживания пассажирских поездов всех категорий станция имеет пять перронных путей и три пассажирские платформы. У основной пассажирской платформы расположен один перронный путь 3, у двух островных –

по два пути (соответственно I и 5 и II и 4). Между I и II главными путями уложен ходовой путь 6 для пропуска поездных и маневровых локомотивов и составов.

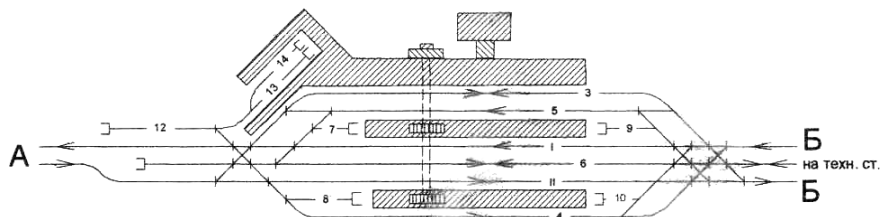


Рисунок 7.8 – Схема пассажирской станции сквозного типа

Станция обслуживает конечные и транзитные пассажирские поезда, а также региональные дизель-поезда. Доля поездов различных категорий, прибывающих и отправляющихся со станции, продолжительность занятия перронного пути обслуживанием одного поезда по технологическому процессу приведены в таблице 7.19.

Таблица 7.19 – Сведения о пассажирских поездах

Категория поезда	Доля поездов	Продолжительность занятия пути одним поездом, мин
Конечные пассажирские поезда:		
прибытие	0,15	25
отправление	0,15	40
Транзитные поезда	0,30	20
Региональные дизель-поезда:		
прибытие	0,20	15
отправление	0,20	20

Коэффициент вариации времени занятия перронного пути пассажирским поездом по графику движения составляет $\gamma_{\text{п}} = 0,3$.

Решение. Пропускная способность пассажирской станции в поездах определяется суммированием пропускной способности отдельных пассажирских платформ, которая рассчитывается по формуле

$$n_{\text{пл}} = \frac{T_{\text{р}} p_{\text{пер}}^{\text{пл}} - \sum t_{\text{пост}}}{\bar{t}_{\text{пер}}^{\text{зан}} (1 + t_{\beta} \gamma_{\text{п}}) (1 + \beta_{\text{т}})}, \quad (7.41)$$

где $T_{\text{р}}$ – расчетный период, за который определяется пропускная способность, мин;

$p_{\text{пер}}^{\text{пл}}$ – количество перронных путей, которые обслуживает платформа;

$\sum t_{\text{пост}}$ – суммарная продолжительность периода, в течение которого каждая пассажирская платформа не может быть использована за

рассмотренный период для обслуживания пассажиров из-за пропуска по перронным путям поездов других категорий, поездных локомотивов, маневровых передвижений, выполнения ремонтных, уборочных и других работ, $\sum t_{\text{пост}} = 10$ мин;

$\bar{t}_{\text{пер}}^{\text{зан}}$ – средневзвешенная продолжительность занятия перронного пути обслуживанием одного пассажирского регионального поезда;

t_{β} – количество нормированных отклонений, принимаемых в зависимости от уровня доверительной вероятности p . Для практических целей достаточно $p = 0,95 \dots 0,97$. По таблице Лапласа при $p = 0,95$ $t_{\beta} = 1,65$, а при $p = 0,97$ $t_{\beta} = 1,88$;

β_{T} – коэффициент, учитывающий отказы технических устройств, $\beta_{\text{T}} = 0,01$.

Средневзвешенная продолжительность занятия перронного пути одним поездом за период T_{p}

$$t_{\text{зан}}^{\text{пер}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i^{\text{пр}} t_{\text{зан}i}^{\text{пр}} + \sum_{i=1}^n \alpha_i^{\text{от}} t_{\text{зан}i}^{\text{от}} + \alpha_{\text{тр}} t_{\text{зан}}^{\text{тр}}, \quad (7.42)$$

где $\alpha_i^{\text{пр}}$, $\alpha_i^{\text{от}}$ – соответственно доля поездов i -й категории, прибывающих и отправляющихся с перронного пути;

$t_{\text{зан}i}^{\text{пр}}$, $t_{\text{зан}i}^{\text{от}}$ – соответственно продолжительность занятия пути одним поездом i -й категории выполнением операций по прибытию и отправлению;

$\alpha_{\text{тр}}$ – доля транзитных пассажирских поездов, обслуживаемых перронным путем;

$t_{\text{зан}}^{\text{тр}}$ – продолжительность занятия пути обслуживанием транзитного поезда.

При обезличенной специализации путей для приема, отправления и обслуживания поездов различных категорий

$$\bar{t}_{\text{пер}}^{\text{зан}} = 0,15 \cdot 25 + 0,15 \cdot 40 + 0,30 \cdot 20 + 0,20 \cdot 15 + 0,20 \cdot 20 = 22,75 \text{ мин.}$$

Тогда пропускная способность платформ при $t_{\beta} = 1,65$ составит:

– основной

$$n_{\text{пл}}^{\text{осн}} = \frac{180 - 10}{22,75 (1 + 1,65 \cdot 0,3)(1 + 0,01)} \approx 5 \text{ поездов;}$$

– каждой островной

$$n_{\text{пл}}^{\text{остр}} = \frac{180 \cdot 2 - 10}{22,75 (1 + 1,65 \cdot 0,3)(1 + 0,01)} \approx 10 \text{ поездов;}$$

Суммарная пропускная способность пассажирской станции за рассматриваемый период

$$n_{\text{ст}} = n_{\text{пл}}^{\text{очн}} + \sum n_{\text{пл}}^{\text{остр}} = 5 + 2 \cdot 10 = 25 \text{ поездов.}$$

Пример 7.15. Для условий примера 7.14 определить количество пассажиров, которое может обслужить станция, если вместимость конечных пассажирских поездов $N_{\text{к}} = 817$ чел., транзитных поездов $N_{\text{тр}} = 698$ чел. и региональных дизель-поездов $N_{\text{рег}} = 1008$ чел. Доля заполнения поездов пассажирами данной станции соответственно составляет $\eta_{\text{к}} = 0,7$; $\eta_{\text{тр}} = 0,2$; $\eta_{\text{рег}} = 0,8$.

Решение. Количество пассажиров, обслуживаемых станцией в течение расчетного периода

$$N_{\text{ст}} = n_{\text{ст}} \bar{N}_{\text{пас}}, \quad (7.43)$$

где $\bar{N}_{\text{пас}}$ – средневзвешенное количество пассажиров, перевозимых одним поездом,

$$\bar{N}_{\text{пас}} = \sum_{i=1}^{\text{к}} N_i \eta_i \alpha_i, \quad (7.44)$$

N_i – вместимость пассажирского поезда i -й категории;

η_i – коэффициент, учитывающий заполнение поезда i -й категории по прибытии и отправлении;

α_i – доля поездов i -й категории, осуществляющих перевозки данной станции.

Учитывая, что по условию примера доля поездов и уровень заполнения состава пассажирами по прибытии и отправлении одинаков, среднее количество пассажиров, перевозимых одним поездом (вышедших и зашедших) составит

$$\bar{N}_{\text{пас}} = 2(817 \cdot 0,15 \cdot 0,7 + 698 \cdot 0,3 \cdot 0,2 + 1008 \cdot 0,2 \cdot 0,8) = 578 \text{ чел.}$$

Тогда общее количество пассажиров, обслуживаемых станцией за период $T_{\text{р}}$

$$N_{\text{ст}} = 25 \cdot 578 = 14450 \text{ чел.}$$

Пример 7.16. Определить пропускную способность парка прибытия станции технического обслуживания пассажирского подвижного состава (СТОППС), состоящего из шести путей. В парке обслуживаются приписные и оборачивающиеся составы международных и межрегиональных пассажирских поездов. Доля приписных и оборачивающихся составов, поступающих в парк прибытия, и средняя продолжительность занятия пути одним поездом приведены в таблице 7.20. Суммарная продолжительность занятия путей выполнением постоянных операций (текущий ремонт, содержание и другие виды работ, когда пути не могут быть использованы по прямому назначению), $\sum T_{\text{пост}} = 60$ мин/сут.

Т а б л и ц а 7.20 – Характеристика потока составов, поступающих в парк прибытия

Категория состава	Доля составов за сутки	Средняя продолжительность занятия пути одним составом*, мин
Приписные:		
дальние	0,40	80
местные	0,20	55
Оборачивающиеся:		
дальние	0,30	50
местные	0,10	35
* С учетом затрат времени на переформирование состава.		

Р е ш е н и е. Так как парк прибытия СТОППС непосредственно взаимодействует с пассажирской станцией по выводу прибывших приписных и оборачивающихся составов с перронных путей, его пропускную способность следует рассматривать за период интенсивного поступления пассажирских поездов. В качестве расчетного в примере принимается период $T_p = 240$ мин.

Пропускная способность путей парка прибытия

$$n_{\Gamma} = \frac{T_p m_{\text{пр}} - t_{\text{пост}}^{\text{пр}}}{\bar{t}_{\text{зан}}^{\text{пр}} (1 + \rho)}, \quad (7.45)$$

где $m_{\text{пр}}$ – количество путей приема в парке прибытия технической станции;

$t_{\text{пост}}^{\text{пр}}$ – продолжительность занятия путей выполнением постоянных операций за расчетный период

$$t_{\text{пост}}^{\text{пр}} = \frac{T_p \sum T_{\text{пост}}}{1440}; \quad (7.46)$$

$\bar{t}_{\text{зан}}^{\text{пр}}$ – средневзвешенная продолжительность занятия пути одним составом

$$\bar{t}_{\text{зан}}^{\text{пр}} = \sum_{i=1}^k t_{\text{зан},i}^c \alpha_i^c; \quad (7.47)$$

$t_{\text{зан},i}^c$ – продолжительность занятия пути парка прибытия составом пассажирского поезда i -й категории;

α_i^c – доля составов пассажирских поездов i -й категории, поступающих на пути парка прибытия;

ρ – коэффициент, учитывающий неравномерность прибытия составов, влияние смежных элементов, отказы технических устройств и т. д., $\rho = 0,3$.

Используя исходные данные, находим

$$t_{\text{пост}}^{\Gamma} = \frac{240 \cdot 60}{1440} = 10 \text{ мин};$$

$$\bar{t}_{\text{зан}}^r = 80 \cdot 0,4 + 55 \cdot 0,20 + 50 \cdot 0,30 + 35 \cdot 0,1 = 61,5 \text{ мин.}$$

Тогда

$$n_{\text{т}} = \frac{240 \cdot 6 - 10}{61,5(1+3)} \approx 18 \text{ составов.}$$

Пример 7.17. Определить пропускную способность стационарной вагонмоечной машины (СВМ), состоящей из одной технологической линии. В течение суток наружной обмывке подлежат приписные составы соединенных международных поездов, международных поездов обычной длины и межрегиональных поездов, а также оборачивающиеся составы аналогичных категорий пассажирских поездов.

Доля составов различных категорий поездов, обслуживаемых СВМ за сутки, и средняя продолжительность обработки одного состава приведены в таблице 7.21.

Т а б л и ц а 7.21 – Продолжительность обработки составов пассажирских поездов различных категорий

Категория состава	Количество вагонов в составе	Доля составов	Средняя продолжительность обмывки одного состава
Приписные:			
международные длинносоставные	24	0,1	72
международные обычной длины	18	0,4	54
межрегиональные	12	0,2	36
Оборачивающиеся:			
международные	18	0,2	54
межрегиональные	12	0,1	36

Продолжительность перерывов в использовании СВМ для проведения планового ее технического обслуживания и ремонта враждебности маршрутов и по другим причинам составляет $T_{\text{пост}}^{\text{СВМ}} = 60$ мин/сут.

Р е ш е н и е. Пропускная способность СВМ

$$n_{\text{СВМ}} = \frac{(1440 - T_{\text{пост}}^{\text{СВМ}})P_{\text{тл}}}{\bar{t}_{\text{зан}}^{\text{СВМ}}(1 + \rho_{\text{СВМ}})}, \quad (7.48)$$

где $P_{\text{тл}}$ – количество технологических линий обмывки;

$\bar{t}_{\text{зан}}^{\text{СВМ}}$ – средневзвешенное значение продолжительности обмывки одного состава;

$\rho_{\text{СВМ}}$ – коэффициент, учитывающий возникновение отказов СВМ, $\rho_{\text{СВМ}} = 0,12$.

Находим величину

$$\bar{t}_{\text{зан}}^{\text{СВМ}} = 72 \cdot 0,1 + 54 \cdot 0,4 + 36 \cdot 0,2 + 54 \cdot 0,2 + 36 \cdot 0,1 = 50,4 \text{ мин.}$$

Пропускная способность СВМ

$$n_{\text{СВМ}} = \frac{1440 - 60}{50,4(1 + 0,12)} = 24 \text{ сост./сут.}$$

Пример 7.18. Вывоз и подвоз пассажиров к железнодорожной станции осуществляется тремя видами городского транспорта (автобусом, троллейбусом и трамваем). На привокзальной площади имеются три остановки автобуса, две – троллейбуса и одна – трамвая. Пропускная способность городских видов транспорта (Z_j) соответственно составляет 43, 34 и 30 транспортных единиц за расчетный период, равный 3 ч. В составе экипажа трамвая два вагона, автобуса и троллейбуса – по одному. Определить пропускную способность привокзальной площади.

Решение. Общее количество пассажиров, вывозимых (ввозимых) с привокзальной площади в расчетный период

$$N_{\text{гор}} = \sum_{j=1}^d \bar{N}_j m_j Z_j, \quad (7.49)$$

где \bar{N}_j – среднее количество пассажиров, вывозимых j -м видом городского транспорта, чел., принимается по таблице 7.22;

m_j – количество остановочных пунктов на привокзальной площади j -го вида транспорта.

Таблица 7.22 – Вместимость экипажей городского транспорта

Состав экипажей	Трамвай	Троллейбус	Автобус
Один	–	80	60
Два	200	–	–

После подстановки исходных данных получим

$$N_{\text{гор}} = 60 \cdot 3 \cdot 43 + 80 \cdot 2 \cdot 34 + 200 \cdot 30 = 19180 \text{ чел.}$$

7.4 Устройства локомотивного и вагонного предприятий

Пример 7.19. Определить наличную пропускную способность позиций: экипировки, технического обслуживания ТО-2, ТО-3 и текущего ремонта ТР-1 локомотивного предприятия специализированного для обеспечения грузового движения.

Среднесуточное количество поступающих на обслуживание поездных локомотивов по видам движения (грузовое – 2ТЭ10^У, 2М62, 2ТЭ10^М; пассажирское – ТЭП60; передаточное – ЧМЭЗ), а также локомотивов, выполняющих маневровую и хозяйственную работу, приведено в таблице 7.23.

Т а б л и ц а 7.23 – Среднесуточное количество локомотивов, обслуживаемых в локомотивном депо

Операция	Локомотив				
	2ТЭ10 ^У (экипировка, ТО-2, ТО-3, ТР-1)	2М62	2ТЭ10 ^М	ЧМЭЗ	ТЭП60
1 Обслуживание в депо локомотивов: поездных грузового парка	10	4	8	–	–
угловых передач	–	–	–	1	–
маневровых внутриузловых передач	–	–	–	3	–
выполняющих маневровую и хозяйственную работы	–	–	–	5	–
поездных пассажирского парка	–	–	–	–	7
2 Эксплуатируемый парк приписных локомотивов	48	8	–	20	–

Локомотивное предприятие производит экипировку и техническое обслуживание ТО-2 всех серий локомотивов, а также техническое обслуживание ТО-3 и текущий ремонт ТР-1 эксплуатируемых приписных локомотивов грузового парка серий 2ТЭ10^У, 2М62 и маневровых локомотивов серии ЧМЭЗ.

Количество путей, специализированных:

- для экипировки и ТО-2 – два с размещением на каждом двух позиций;
- обслуживания ТО-3 – два с размещением на каждом двух позиций;
- текущего ремонта ТР-1 – один с размещением на пути двух позиций.

Продолжительность работы цехов экипировки, ТО-3 и текущего ремонта 24 ч. Среднесуточный пробег одного приписного локомотива с учетом резервного пробега серии 2ТЭ10^У составляет 568 км, серии 2М62 – 490 км.

Р е ш е н и е. Наличная пропускная способность рассматриваемых устройств локомотивного предприятия определяется:

– в локомотивах

$$n_{\text{л}}^{\text{л}} = \frac{N_{\text{л}}^{\text{ГР}}}{K}; \quad (7.50)$$

– в парах грузовых поездов

$$n_{\text{л}}^{\text{п}} = \frac{N_{\text{л}}^{\text{ГР}}}{K} \alpha_{\text{л}}, \quad (7.51)$$

где $N_{\text{л}}^{\text{ГР}}$ – количество локомотивов, обслуживаемых на рассматриваемом устройстве, для обеспечения заданных размеров грузового движения;

K – коэффициент использования пропускной способности данного вида устройств, имеющихся в депо, пункте экипировки и др.;

$\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент, равный количеству пар грузовых поездов, проходящих на один поездной локомотив, обслуживаемый рассматриваемым устройством,

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{N_{\text{пар}}^{\text{ГР}}}{N_{\text{л}}^{\text{ГР}}}, \quad (7.52)$$

где $N_{\text{пар}}^{\text{ГР}}$ – размеры грузового движения на участках, для которых определяется потребность в обслуживающих устройствах, пар поездов.

Коэффициент использования пропускной способности депокских устройств локомотивного хозяйства (депо, пункта экипировки и др.)

$$K = \frac{\varphi_{\text{Г}}}{\varphi_{\text{н}} - \varphi_{\text{п}}}, \quad (7.53)$$

где $\varphi_{\text{Г}}$ – параметр, характеризующий суточную потребность в рассматриваемых устройствах для обслуживания локомотивов, обеспечивающих заданные размеры грузового движения;

$\varphi_{\text{н}}$ – параметр, характеризующий наличное количество рассматриваемых устройств, для выполнения соответствующего вида обслуживания;

$\varphi_{\text{п}}$ – параметр, характеризующий суточную потребность в рассматриваемых устройствах для обслуживания локомотивов негрузовых видов движения (пассажирского, пригородного, локомотивов вывозных и передаточных, маневровых, толкачей и др.).

Параметр $\varphi_{\text{Г}}$ вычисляется по формуле

$$\varphi_{\text{Г}} = \frac{\sum_{i=1}^R M_{\text{сут},i}^{\text{ГР}} T_i^{\text{ГР}} \alpha_{\text{н}}}{m\Phi}, \quad (7.54)$$

где $\sum_{i=1}^R M_{\text{сут},i}^{\text{ГР}}$ – количество локомотивов грузового парка i -й серии, поступающих для обслуживания на соответствующий вид устройства;

$i = 1, 2, \dots, R$ – серия локомотивов, обслуживаемых устройством;

$T_i^{\text{ГР}}$ – продолжительность занятия позиции рассматриваемого устройства обслуживанием грузового локомотива i -й серии, ч;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность постановки локомотивов на соответствующий вид обслуживания. Устанавливается по результатам обработки статистических данных. С допустимой погрешностью может быть принят равным 1,2–1,5;

m – количество позиций для обслуживания локомотивов, оборудованных на одном пути;

Φ – суточный фонд времени работы позиций, занятых выполнением рассматриваемого вида обслуживания локомотивов, ч (при круглосуточной работе, равен 24 часа).

Величина параметра, характеризующего его суточную потребность в рассматриваемых устройствах для обслуживания локомотивов негрузовых видов движения (пассажирского, регионального, локомотивов вывозных и передаточных, маневровых, толкачей и др.):

$$\varphi_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^R M_{\text{сут},i}^{\text{нгр}} T_i^{\text{нгр}} \alpha_{\Pi}}{m\Phi}, \quad (7.55)$$

где $M_{\text{сут},i}^{\text{нгр}}$ – количество локомотивов пассажирского парка, маневровых и прочих (не занятых обслуживанием грузового, пассажирского и маневрового движения, например, передаточного, вывозного и другого вида) i -й серии, поступающих на соответствующий вид обслуживания (на рассматриваемые позиции);

$T_i^{\text{нгр}}$ – продолжительность занятия позиции рассматриваемого устройства обслуживанием локомотива i -й серии негрузовых видов движения.

Величина, характеризующая наличное количество рассматриваемых устройств, принятая для выполнения соответствующего вида обслуживания

$$\varphi_{\Pi} = M \left(1 - \rho \right) \quad (7.56)$$

где M – наличное количество путей, специализированных для выполнения рассматриваемого вида обслуживания;

ρ – коэффициент, учитывающий перерывы в работе для обслуживания оборудования и непредвиденные отказы технических устройств (отказы компрессорной, поломки оборудования и др.),

$$\rho = \frac{\sum T_{\text{техн}}}{\Phi}, \quad (7.57)$$

$\sum T_{\text{техн}}$ – перерывы в работе рассматриваемых позиций для обслуживания и ремонта оборудования, а также связанные с непредвиденными отказами технических устройств, ч.

Продолжительность занятия позиций рассматриваемого устройства обслуживанием локомотива i -й серии для грузового и негрузовых видов движения определяется по формуле

$$T_i = (t_{\Pi,i} + t_{\text{подг}}) / 60, \quad (7.58)$$

где $t_{\Pi,i}$ – нормативная продолжительность занятия устройства обслуживанием локомотива i -й серии, мин. Принимается по нормам установленным для каждого вида обслуживания локомотива i -й серии, на рассматриваемых устройствах;

$t_{\text{подг}}$ – продолжительность подготовительных операций перед постановкой локомотива на соответствующий вид обслуживания. Определяется в зависимости от местных условий по результатам хронометражных наблюдений, мин.

Пропускная способность позиций экипировки и ТО-2

В соответствии с исходными данными (см. таблицу 7.23) на экипировку и ТО-2 поступает следующее количество локомотивов грузового парка: $M_{\text{сут},2\text{ТЭ}10^y}^{\text{е,ТО-2}} = 10$, $M_{\text{сут},2\text{М}62}^{\text{е,ТО-2}} = 4$ и $M_{\text{сут},2\text{ТЭ}10^M}^{\text{е,ТО-2}} = 8$. Продолжительность занятия позиции экипировки и ТО-2 (таблица 4.21) для перечисленных серий локомотивов составляет 72 мин, время на подготовительные операции – 6 мин, тогда $T_{\text{е,ТО-2}}^{\text{е,ТО-2}}$ для всех локомотивов составит $72 + 6 = 78$ мин, или 1,3 ч.

Подставляя исходные данные в формулу 7.54 при $\alpha_n = 1,3$, получим

$$\begin{aligned} \Phi_{\Gamma}^{\text{е,ТО-2}} &= \frac{\left(M_{\text{сут},2\text{ТЭ}10^y}^{\text{е,ТО-2}} T_{2\text{ТЭ}10^y}^{\text{е,ТО-2}} + M_{\text{сут},2\text{М}62}^{\text{е,ТО-2}} T_{2\text{М}62}^{\text{е,ТО-2}} + M_{\text{сут},2\text{ТЭ}10^M}^{\text{е,ТО-2}} T_{2\text{ТЭ}10^M}^{\text{е,ТО-2}} \right) \alpha_n}{m\Phi} = \\ &= \frac{(10 + 4 + 8) \cdot 1,3 \cdot 1,3}{2 \cdot 24} = 0,77 \text{ позиций.} \end{aligned}$$

Количество локомотивов негрузовых видов движения согласно таблице 7.23: $M_{\text{сут},\text{ТЭП}60}^{\text{е,ТО-2}} = 7$, $M_{\text{сут},\text{ЧМЭ}3}^{\text{е,ТО-2}} = 9$. Продолжительность занятия позиций экипировки и ТО-2 с учетом времени на подготовительные операции (см. таблицу 4.21) составит: $T_{\text{ТЭП}60}^{\text{е,ТО-2}} = 126$ мин = 2,1 ч; $T_{\text{ЧМЭ}3}^{\text{е,ТО-2}} = 78$ мин = 1,3 ч.

Тогда, используя формулу 7.55, получим

$$\begin{aligned} \Phi_{\Pi}^{\text{е,ТО-2}} &= \frac{\left(M_{\text{сут},\text{ТЭП}60}^{\text{е,ТО-2}} T_{2\text{ТЭП}60}^{\text{е,ТО-2}} + M_{\text{сут},\text{ЧМЭ}3}^{\text{е,ТО-2}} T_{\text{ЧМЭ}3}^{\text{е,ТО-2}} \right) \alpha_n}{m\Phi} = \\ &= \frac{(7 \cdot 2,1 + 9 \cdot 1,3) \cdot 1,3}{2 \cdot 24} = 0,67 \text{ позиций.} \end{aligned}$$

Величина, характеризующая наличное количество устройств экипировки и ТО-2, определяется по формуле (7.56).

По условию примера $M^{(\text{э,ТО-2})} = 2$ пути, $\rho^{(\text{э,ТО-2})}$ при $\sum T_{\text{техн}} = 2,0$ ч составит

$$\rho^{(\text{э,ТО-2})} = \frac{\sum T_{\text{техн}}}{\Phi} = \frac{2,0}{24} = 0,08, \text{ следовательно,}$$

$$\Phi_n^{\text{е,ТО-2}} = M^{\text{е,ТО-2}} \left(1 - \rho^{(\text{э,ТО-2})} \right) = 2 \left(1 - 0,08 \right) = 1,84 \text{ позиций.}$$

Коэффициент использования пропускной способности устройств экипировки и ТО-2 по формуле (7.53)

$$K_{\Phi, \text{ТО-2}} = \frac{\Phi_{\Gamma}^{\Phi, \text{ТО-2}}}{\Phi_{\Pi}^{\Phi, \text{ТО-2}} - \Phi_{\Pi}^{\Phi, \text{ТО-2}}} = \frac{0,77}{1,84 - 0,67} = 0,66.$$

Наличная пропускная способность устройств экипировки и ТО-2 по формуле (7.50)

$$n_{\text{м}}^{\Phi, \text{ТО-2}} = \frac{N_{\text{л,сут}}^{\text{Гр}(\Phi, \text{ТО-2})}}{K_{\Phi, \text{ТО-2}}} = \frac{22}{0,66} = 33 \text{ локомотива}$$

Пропускная способность позиций технического обслуживания ТО-3 и текущего ремонта ТР-1

Известно, что ТО-3 и ремонт ТР-1 производятся локомотивам, приписанным к данному депо. Количество локомотивов, подлежащих этим видам обслуживания, согласно данным таблицы 7.23 составляет:

– грузовое движение:

$$M_{\text{пр,2ТЭ10}}^{\text{ТО-3}} = 48, \quad M_{\text{пр,2М62}}^{\text{ТО-3}} = 8;$$

– негрузовое движение:

$$M_{\text{пр,ЧМЭЗ}}^{\text{ТО-3}} = 20.$$

Количество локомотивов i -й серии, поступающих для выполнения ТО-3, ТР-1 за сутки, определяется при следующих условиях:

– в случае задания наработки между ТО-3, ТР-1 и ТР-2 в пробеге локомотива, тыс. км, – по среднесуточному пробегу приписных локомотивов и пробегу между ремонтами:

– для ТО-3

$$M_{\text{сут},i}^{\text{ТО-3}} = \sum_{i=1}^R \left(\frac{S_{\text{сут},i}}{L_i^{\text{ТО-3}}} - \frac{S_{\text{сут},i}}{L_i^{\text{ТР-1}}} \right) \quad (7.59)$$

– для ТР-1

$$M_{\text{сут},i}^{\text{ТР-1}} = \sum_{i=1}^R \left(\frac{S_{\text{сут},i}}{L_i^{\text{ТР-1}}} - \frac{S_{\text{сут},i}}{L_i^{\text{ТР-2}}} \right) \quad (7.60)$$

где $i = 1, 2, \dots, R$ – серии локомотивов, обслуживаемых на позициях;

$S_{\text{сут},i}$ – среднесуточный пробег приписных локомотивов i -й серии, поступающих на ТО-3 или ТР-1, лок-км;

$L_i^{\text{ТО-3}}, L_i^{\text{ТР-1}}, L_i^{\text{ТР-2}}$ – нормы пробегов локомотивов i -й серии соответственно между ремонтами ТО-3, ТР-1 и ТР-2, км.

– в случае задания наработки приписных локомотивов между ТО-3, ТР-1 и ТР-2 по межремонтному периоду количество локомотивов, требующих:

– ТО-3

$$M_{\text{сут}}^{\text{ТО-3}} = \sum_{i=1}^R \left(\frac{M_{\text{пр},i}^{\text{ТО-3}}}{\tau_i^{\text{ТО-3}}} - \frac{M_{\text{пр},i}^{\text{ТО-3}}}{\tau_i^{\text{ТР-1}}} \right) \quad (7.61)$$

– ТР-1

$$M_{\text{сут}}^{\text{ТР-1}} = \sum_{i=1}^R \left(\frac{M_{\text{пр},i}^{\text{ТР-1}}}{\tau_i^{\text{ТР-1}}} - \frac{M_{\text{пр},i}^{\text{ТР-1}}}{\tau_i^{\text{ТР-2}}} \right) \quad (7.62)$$

где $M_{\text{пр},i}$ – количество приписных локомотивов i -й серии, поступающих на ТО-3 или ТР-1;

$\tau_i^{\text{ТО-3}}, \tau_i^{\text{ТР-1}}, \tau_i^{\text{ТР-2}}$ – межремонтный период между ремонтами ТО-3, ТР-1 и ТР-2, сут, установленный для приписных локомотивов i -й серии. При применении норм $\tau_i^{\text{ТО-3}}, \tau_i^{\text{ТР-1}}, \tau_i^{\text{ТР-2}}$ следует приводить их величину к одной единице измерения.

Нормы пробегов (локомотивов) между техническим обслуживанием ТО-3 и ремонтами ТР-1 и ТР-4 межремонтный период для локомотивов различных серий принимаются по нормам, приведенным в таблице 4.21.

Для дальнейших расчетов потребности в стойловой части депо используются большие из значений, полученных на основании расчетов по формулам (7.59)–(7.62).

Продолжительность занятия позиций технического обслуживания ТО-3 и текущего ремонта ТР-1 локомотивом i -й серии для грузового и негрузового видов движения (формула 7.58) принимается по нормам, установленным для каждого вида обслуживания и ремонта локомотива i -й серии по таблице 4.20.

Количество локомотивов, подлежащих техническому обслуживанию ТО-3 за сутки, находим (формула 7.61):

– грузового движения:

$$M_{\text{сут},2\text{ТЭ}10^y}^{\text{ТО-3}} = \frac{M_{\text{пр},2\text{ТЭ}10^y}^{\text{ТО-3}}}{\tau_{2\text{ТЭ}10^y}^{\text{ТО-3}}} - \frac{M_{\text{пр},2\text{ТЭ}10^y}^{\text{ТО-3}}}{\tau_{2\text{ТЭ}10^y}^{\text{ТР-1}}} = \frac{48}{20} - \frac{48}{2,5 \cdot 30} = 1,76 \text{ лок./сут,}$$

$$M_{\text{сут},2\text{М}62}^{\text{ТО-3}} = \frac{M_{\text{пр},2\text{М}62}^{\text{ТО-3}}}{\tau_{2\text{М}62}^{\text{ТО-3}}} - \frac{M_{\text{пр},2\text{М}62}^{\text{ТО-3}}}{\tau_{2\text{М}62}^{\text{ТР-1}}} = \frac{8}{20} - \frac{8}{2,5 \cdot 30} = 0,3 \text{ лок./сут,}$$

– негрузового направления:

$$M_{\text{сут},\text{ЧМЭ}3}^{\text{ТО-3}} = \frac{M_{\text{пр},\text{ЧМЭ}3}^{\text{ТО-3}}}{\tau_{\text{ЧМЭ}3}^{\text{ТО-3}}} - \frac{M_{\text{пр},\text{ЧМЭ}3}^{\text{ТО-3}}}{\tau_{\text{ЧМЭ}3}^{\text{ТР-1}}} = \frac{20}{30} - \frac{20}{7,5 \cdot 30} = 0,58 \text{ лок./сут}$$

Суточная потребность в устройствах для проведения ТО-3 определяется по формулам (7.54, 7.55) при условии, что $\alpha_n = 1,3$, $t_{\text{под}} = 0,3$ ч, а $T^{\text{ТО-3}}$ по таблице 4.20 с учетом $t_{\text{под}}$ для локомотивов 2ТЭ10У – 10,3 ч, 2М62 – 8,3 ч, ЧМЭЗ – 5,3 ч:

– для локомотивов грузового движения:

$$\begin{aligned} \varphi_{\Gamma}^{\text{ТО-3}} &= \frac{M_{\text{сут,2ТЭ10У}}^{\text{ТО-3}} T_{2ТЭ10У}^{\text{ТО-3}} + M_{\text{сут,2М62}}^{\text{ТО-3}} T_{2М62}^{\text{ТО-3}} \alpha_n}{m\Phi} = \\ &= \frac{1,76 \cdot 10,3 + 0,3 \cdot 8,3 \cdot 1,3}{2 \cdot 24} = 0,56 \text{ пути;} \end{aligned}$$

– для локомотивов негрузового движения:

$$\varphi_{\Pi}^{\text{ТО-3}} = \frac{M_{\text{сут,ЧМЭЗ}}^{\text{ТО-3}} T_{\text{ЧМЭЗ}}^{\text{ТО-3}} \alpha_n}{m\Phi} = \frac{0,58 \cdot 5,3 \cdot 1,3}{2 \cdot 24} = 0,08 \text{ пути.}$$

Наличное количество путей по условию примера составляет два, а с учетом перерывов в их работе при $\rho = 0,08$ по формуле 7.54

$$\varphi_n^{\text{ТО-3}} = M^{\text{ТО-3}} (1 - \rho^{\text{ТО-3}}) = 2(1 - 0,08) = 1,84 \text{ пути.}$$

Тогда (см. формулы 7.53, 7.50)

$$\begin{aligned} K^{\text{ТО-3}} &= \frac{\varphi_{\Gamma}^{\text{ТО-3}}}{\varphi_n^{\text{ТО-3}} - \varphi_{\Pi}^{\text{ТО-3}}} = \frac{0,56}{1,84 - 0,08} = 0,32; \\ M_m^{\text{ТО-3}} &= \frac{M_{\text{л,сут}}^{\text{ТО-3}}}{K^{\text{ТО-3}}} = \frac{1,76 + 0,3}{0,32} = 6,4 \text{ лок./сут,} \end{aligned}$$

где $M_{\text{л,сут}}^{\text{ТО-3}} = M_{\text{сут,2ТЭ10У}}^{\text{ТО-3}} + M_{\text{сут,2М62}}^{\text{ТО-3}}$

Среднесуточное количество локомотивов, подлежащих текущему ремонту ТР-1, определяем, применяя формулу (7.62) и данные таблицы 4.21:

– для грузового движения:

$$M_{\text{сут,2ТЭ10У}}^{\text{ТР-1}} = \frac{M_{\text{пр,2ТЭ10У}}^{\text{ТР-1}}}{\tau_{2ТЭ10У}^{\text{ТР-1}}} - \frac{M_{\text{пр,2ТЭ10У}}^{\text{ТР-2}}}{\tau_{2ТЭ10У}^{\text{ТР-2}}} = \frac{48}{2,5 \cdot 30} - \frac{48}{10 \cdot 30} = 0,48 \text{ лок./сут,}$$

$$M_{\text{сут,2М62}}^{\text{ТР-1}} = \frac{M_{\text{пр,2М62}}^{\text{ТР-1}}}{\tau_{2М62}^{\text{ТР-1}}} - \frac{M_{\text{пр,2М62}}^{\text{ТР-2}}}{\tau_{2М62}^{\text{ТР-2}}} = \frac{8}{2,5 \cdot 30} - \frac{8}{10 \cdot 30} = 0,07 \text{ лок./сут,}$$

– негрузового движения:

$$M_{\text{сут,ЧМЭЗ}}^{\text{ТР-1}} = \frac{M_{\text{пр,ЧМЭЗ}}^{\text{ТР-1}}}{\tau_{\text{ЧМЭЗ}}^{\text{ТР-1}}} - \frac{M_{\text{пр,ЧМЭЗ}}^{\text{ТР-1}}}{\tau_{\text{ЧМЭЗ}}^{\text{ТР-2}}} = \frac{20}{6 \cdot 30} - \frac{20}{18 \cdot 30} = 0,07 \text{ лок./сут.}$$

Потребность в устройствах для выполнения текущего ремонта ТР-1 в течение суток определяется аналогично ТО-3 по формулам (7.54, 7.55). При этом величина $T^{\text{ТР-1}}$, принимается по таблице 4.20 для рассматриваемых серий локомотивов, а с учетом продолжительности подготовительных операций $t_{\text{подг}} = 0,5$ ч, $T_{2\text{ТЭ10}}^{\text{ТР-1}} = 40,5$ ч, $T_{2\text{М62}}^{\text{ТР-1}} = 36,5$ ч и $T_{\text{ЧМЭЗ}}^{\text{ТР-1}} = 24,5$ ч.

Подставляя расчетные величины в формулы (7.54, 7.55), при $\alpha_n = 1,3$ получим

$$\begin{aligned} \varphi_{\Gamma}^{\text{ТР-1}} &= \frac{(M_{\text{сут,2ТЭ10}}^{\text{ТР-1}} T_{2\text{ТЭ10}}^{\text{ТР-1}} + M_{\text{сут,2М62}}^{\text{ТР-1}} T_{2\text{М62}}^{\text{ТР-1}}) \alpha_n}{m\Phi} = \\ &= \frac{(0,73 \cdot 40,5 + 0,10 \cdot 36,5) \cdot 1,3}{2 \cdot 24} = 0,90 \text{ пути,} \\ \varphi_{\Pi}^{\text{ТР-1}} &= \frac{M_{\text{сут,ЧМЭЗ}}^{\text{ТР-1}} T_{\text{ЧМЭЗ}}^{\text{ТР-1}} \alpha_n}{m\Phi} = \frac{0,07 \cdot 24,5 \cdot 1,3}{2 \cdot 24} = 0,05 \text{ пути.} \end{aligned}$$

Аналогично предыдущим расчетам:

– наличное количество путей (по условию примера один) с учетом технических и технологических перерывов равных 0,5 ч:

$$\varphi_n^{\text{ТР-1}} = M^{\text{ТР-1}} (1 - \rho^{\text{ТР-1}}) = 1(1 - 0,5/24) = 0,98 \text{ пути;}$$

– коэффициент использования пропускной способности устройств ТР-1

$$K^{\text{ТР-1}} = \frac{\varphi_{\Gamma}^{\text{ТР-1}}}{\varphi_n^{\text{ТР-1}} - \varphi_{\Pi}^{\text{ТР-1}}} = \frac{0,90}{0,98 - 0,05} = 0,97;$$

– наличная пропускная способность устройств ТР-1 локомотивов, обслуживающих грузовое движение,

$$M_m^{\text{ТР-1}} = \frac{N_{\text{л,сут}}^{\text{ТР-1}}}{K^{\text{ТР-1}}} = \frac{0,73 + 0,07}{0,97} = 0,82 \text{ лок./сут.}$$

Пример 7.20. Для условий примера 7.19 определить наличную пропускную способность устройств топливоснабжения. Производительность одной топливораздаточной колонки составляет 15 т/ч. Другие исходные данные, необходимые для расчета, принимаются из таблицы 7.24.

Решение. Для расчета коэффициента использования и величины пропускной способности устройств топливоснабжения необходимо определить:

- параметр, учитывающий среднесуточный потребный расход топлива для обеспечения поездных локомотивов грузового движения;
- параметр, учитывающий среднесуточный потребный расход топлива для обеспечения локомотивов i -й серии негрузовых видов движения (пассажирских, пригородных, вывозных, передаточных, маневровых хозяйственных и др.) и на проведение реостатных испытаний;
- параметр, характеризующий суточную наличную производительность устройств топливоснабжения.

Параметр, учитывающий среднесуточный расход топлива для обеспечения поездных локомотивов грузового движения в данном пункте экипировки,

$$\Phi_{\Gamma}^T = \left(\sum_{i=1}^R S_{\text{сут}i}^{\text{гр}} Q_i^{\text{гр}} q_{\Gamma,i}^{\text{гр}} 10^{-7} + \sum_{i=1}^R S_{\text{сут}i}^{\text{гр(рез)}} q_{\Gamma i}^{\text{гр(рез)}} \cdot 10^{-5} \right) - \Phi_{\Gamma,\text{пр}}^T + \Phi_{\Gamma,\text{об}}^T, \quad (7.63)$$

где $i = 1, 2, \dots, R$ – серии локомотивов, экипируемые топливом в данном пункте;

$S_{\text{сут}i}^{\text{гр}}$ – среднесуточный пробег с поездами локомотивов грузового парка i -й серии, приписанных к данному депо, лок·км;

$Q_i^{\text{гр}}$ – средневзвешенная масса поезда брутто, ведомого локомотивом грузового парка i -й серии, т;

$q_{\Gamma,i}^{\text{гр}}$ – норма расхода натурального топлива поездным локомотивом грузового парка на 10 тыс. т·км брутто, зависящая от i -й серии локомотива, массы поезда и профиля пути участка обращения, кг;

$S_{\text{сут}i}^{\text{гр(рез)}}$ – среднесуточный резервный пробег локомотивов грузового парка i -й серии, приписанных к данному депо, лок·км;

$q_{\Gamma i}^{\text{гр(рез)}}$ – норма расхода натурального топлива поездным локомотивом грузового парка i -й серии на 100 км резервного пробега, кг;

$\Phi_{\Gamma,\text{пр}}^T$, $\Phi_{\Gamma,\text{об}}^T$ – параметры, учитывающие набор топлива средним в сутки, т, соответственно приписными локомотивами грузового парка в пунктах оборота и в данном пункте экипировки локомотивами грузового парка, приписанными к другим депо. Величина параметров $\Phi_{\Gamma,\text{пр}}^T$, $\Phi_{\Gamma,\text{об}}^T$ устанавливается по статистическим данным.

Т а б л и ц а 7.24 – **Дополнительные исходные данные**

Операция	2ТЭ10У	2М62	2ТЭ10М	ЧМЭЗ	ТЭП60
Часовая норма расхода топлива маневровыми и прочими локомотивами (q_{Ti}^{np}), кг/ч				38	
Время работы маневрового и прочих локомотивов в течение суток (t_i^{np}), ч				21,0	
Нормы расхода дизельного топлива при реостатных испытаниях после текущего ремонта ТР-1 (q_T^H), кг	400	400			
Максимальная норма расхода песка ($q_{п}$), м ³ , на 1 млн т-км брутто, зависящий массы поезда (II тип профиля пути)	0,26	0,24	0,26		0,13
Расход песка маневровыми и прочими локомотивами ($q_{п}^{np}$), м ³ /ч				0,003	
Среднесуточный рабочий пробег локомотивов ($S_{сут}$), лок-км	4400	1680	3520		3360
Средневзвешенная масса поезда брутто (Q), т	3500	2800	3500		780
Норма расхода натурального топлива (q_T), кг, на 10 тыс. т-км брутто, зависящий массы поезда (II тип профиля пути)	36,88	26,34	36,88		60,1
Среднесуточный резервный пробег локомотивов ($S_{сут}^{рез}$), лок-км;	1280	280			
Норма расхода натурального топлива поездным локомотивом грузового парка на 100 км резервного пробега ($q_T^{рез}$), кг	115,5	115,5			

В соответствии с исходными данными (таблица 7.24) для набора топлива поступают локомотивы 2ТЭ10У, 2М62 и 2ТЭ10М – грузового движения и ТЭП60, ЧМЭЗ – негрузового движения.

Тогда после подстановки исходных данных в формулу (7.63) при условии, что $\varphi_{г,пр}^T \approx \varphi_{г,об}^T$ получим

$$\begin{aligned} \varphi_{г}^T &= \left(S_{сут,2ТЭ10У}^{гp} Q_{2ТЭ10У}^{гp} q_{Т,2ТЭ10У}^{гp} \cdot 10^{-7} + S_{сут,2М62}^{гp} Q_{2М62}^{гp} q_{Т,2М62}^{гp} \cdot 10^{-7} + \right. \\ &\quad \left. + S_{сут,2ТЭ10М}^{гp} Q_{2ТЭ10М}^{гp} q_{Т,2ТЭ10М}^{гp} \cdot 10^{-7} + S_{сут}^{(рез)} q_T^{(рез)} \cdot 10^{-5} \right) - \\ &\quad - \varphi_{г,пр}^T + \varphi_{г,об}^T = \\ &= \varphi_{г} = 4400 \cdot 3500 \cdot 36,88 \cdot 10^{-7} + 1680 \cdot 2800 \cdot 26,34 \cdot 10^{-7} + \\ &\quad + 3520 \cdot 3500 \cdot 36,88 \cdot 10^{-7} + 1280 \cdot 115,5 \cdot 10^{-5} = 116,1 \text{ т/сут.} \end{aligned}$$

Параметр, учитывающий среднесуточный расход топлива для обеспечения локомотивов i -й серии негрузовых видов движения (пассажирских, пригородных, локомотивов вывозных, передаточных, маневровых, хозяйственных и др.) и на проведение реостатных испытаний

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{п}}^{\text{T}} = & \left(\sum_{i=1}^R S_{\text{сут},i}^{\text{пасс}} Q_i^{\text{пасс}} q_{\text{T},i}^{\text{пасс}} \cdot 10^{-7} + \sum_{i=1}^R S_{\text{сут},i}^{\text{пасс(рез)}} q_{\text{T},i}^{\text{пасс(рез)}} \cdot 10^{-5} \right) + \\ & + \left(\sum_{i=1}^R M_{\text{T},i}^{\text{пп}} q_{\text{T},i}^{\text{пп}} t_i^{\text{пп}} + \sum_{i=1}^R (M_{\text{сут},i}^{\text{ТР-3}} + M_{\text{сут},i}^{\text{ТР-2}}) q'_{\text{T},i} + \sum_{i=1}^R M_{\text{сут},i}^{\text{ТР-1}} q''_{\text{T},i} \right) \cdot 10^{-3} - \\ & - (\Phi_{\text{п,пр}}^{\text{T}} + \Phi_{\text{п,об}}^{\text{T}}), \end{aligned} \quad (7.64)$$

- где
- $S_{\text{сут},i}^{\text{пасс}}$ – среднесуточный пробег с пассажирскими (пригородными) поездами локомотивов i -й серии, приписанных к данному депо, лок.·км;
 - $Q_i^{\text{пасс}}$ – средневзвешенная масса пассажирского (пригородного) поезда брутто, ведомого локомотивом i -й серии, т;
 - $q_{\text{T},i}^{\text{пасс}}$ – норма расхода натурального топлива локомотивом пассажирского парка i -й серии на 10 тыс. т·км брутто, кг;
 - $S_{\text{сут},i}^{\text{пасс(рез)}}$ – среднесуточный резервный пробег локомотивов пассажирского парка i -й серии, лок.·км;
 - $q_{\text{T},i}^{\text{пасс(рез)}}$ – норма расхода натурального топлива локомотивом i -й серии пассажирского парка на 100 км резервного пробега, кг;
 - $M_{\text{T},i}^{\text{пп}}$ – среднесуточное количество прочих (маневровых, передаточных, вывозных, хозяйственных и других видов) приписных локомотивов i -й серии, экипируемых топливом;
 - $q_{\text{T},i}^{\text{пп}}$ – часовая норма расхода топлива прочими локомотивами i -й серии, кг;
 - $t_i^{\text{пп}}$ – продолжительность работы соответственно прочих локомотивов i -й серии в течение суток, ч;
 - $M_{\text{сут},i}^{\text{ТР-1}}, M_{\text{сут},i}^{\text{ТР-2}}, M_{\text{сут},i}^{\text{ТР-3}}$ – среднесуточное количество приписных локомотивов i -й серии, поступающих на текущие ремонты ТР-1, ТР-2 и ТР-3 соответственно, после которых проводятся реостатные испытания;
 - $q'_{\text{T},i}, q''_{\text{T},i}$ – нормы расхода дизельного топлива при реостатных испытаниях соответственно после текущих ремонтов ТР-2 или ТР-3 и ТР-1, кг;

$\varphi_{п,пр}^T, \varphi_{п,об}^T$ – параметры, учитывающие набор топлива в среднем в сутки, т, соответственно приписными локомотивами пассажирского парка в пунктах оборота и в данном пункте экипировки локомотивами пассажирского парка, приписанными к другим депо. Величина параметров $\varphi_{п,пр}^T, \varphi_{п,об}^T$ определяется, как для локомотивов грузового парка.

В примере суточный расход топлива для обеспечения локомотивов негрузовых видов движения и на проведение реостатных испытаний при условии, что $\varphi_{п,пр}^T \approx \varphi_{п,об}^T$,

$$\begin{aligned} \varphi_{п}^T &= S_{сут,ТЭП60}^{пас} Q_{ТЭП60}^{ГР} q_{Т,ТЭП60}^{ГР} \cdot 10^{-7} + \\ &+ (M_{Т,ЧМЭЗ}^{пр} Q_{Т,ЧМЭЗ}^{пр} t_{ЧМЭЗ}^{пр} + M_{сут}^{ТР-1} q'_T) \cdot 10^{-3} = \\ &= 3360 \cdot 780 \cdot 60,1 \cdot 10^{-7} + (9 \cdot 38 \cdot 21 + 0,62 \cdot 400) \cdot 10^{-3} = 23,2 \text{ т/сут.} \end{aligned}$$

Величину параметра, характеризующего суточную производительность топливораздаточных устройств, с учетом перерывов в их работе для обслуживания и ремонта $\sum t_{техн}^T = 1,0$ ч, учитывая, что их число на двух путях экипировки при двух позициях на каждом составляет $m_T = 8$ (на каждую секцию тепловоза по одному), а часовая производительность колонки $P_{Тч} = 15$ т/ч, получим

$$\varphi_{п}^T = P_{Тч} m_T (24 - \sum t_{техн}^T) = 15 \cdot 8 (24 - 1) = 2760 \text{ т/сут.} \quad (7.65)$$

Коэффициент использования пропускной способности топливораздаточных устройств (см. формулу 7.53) составляет

$$K_T = \frac{116,1}{2760 - 23,2} = 0,04.$$

Пропускная способность топливораздаточных устройств в локомотивах (см. формулу 7.50) при условии, что две секции тепловоза заправляются одновременно, равна

$$n_T = \frac{N_{л}^{ГР}}{K_T \cdot 2} = \frac{22}{0,08} = 275 \text{ лок./сут.}$$

Пример 7.21. Для условий примера 7.19 определить пропускную способность устройств пескоснабжения. Производительность одной пескораздаточной колонки составляет 1,0 м³/ч. Данные о норме расхода песка локомотивами *i*-й серии принять из таблицы 7.24. Двухсекционный тепловоз одновременно заправляется из четырех раздаточных колонок.

Решение. Аналогично примеру 7.20 для расчета коэффициента использования и наличной пропускной способности устройств пескоснабжения необходимо определить:

- параметр, учитывающий среднесуточный потребный расход песка для обеспечения поездных локомотивов грузового движения;
- параметр, учитывающий среднесуточный потребный расход песка для обеспечения локомотивов i -й серии негрузовых видов движения (пассажирских, пригородных, вывозных, передаточных, хозяйственных, маневровых и др.);
- параметр, характеризующий суточную наличную производительность пескораздаточных устройств.

Параметр, учитывающий среднесуточный потребный расход песка для обеспечения поездных локомотивов грузового движения

$$\Phi_{\Gamma}^{\Pi} = \sum_{i=1}^R S_{\text{сут},i}^{\Gamma\text{П}} Q_i^{\Gamma\text{П}} q_{\Pi,i}^{\Gamma\text{П}} \cdot 10^{-6} - \Phi_{\Gamma,\text{лр}}^{\Pi} + \Phi_{\Gamma,\text{об}}^{\Pi}, \quad (7.66)$$

- где $i = 1, 2, \dots, R$ – серии локомотивов, экипируемые песком в данном пункте;
- $S_{\text{сут},i}^{\Gamma\text{П}}$ – среднесуточный пробег с поездами локомотивов грузового парка i -й серии, приписанных к данному депо, лок.·км;
- $Q_i^{\Gamma\text{П}}$ – средневзвешенная масса поезда брутто, ведомого локомотивом грузового парка i -й серии, т;
- $q_{\Pi,i}^{\Gamma\text{П}}$ – норма расхода песка поездным локомотивом грузового парка на 1 млн т·км брутто, зависящая от i -й серии локомотива, массы поезда и профиля пути участка, м³;
- $\Phi_{\Pi,\text{лр}}^{\Gamma}, \Phi_{\Pi,\text{об}}^{\Gamma}$ – параметры, учитывающие набор песка в среднем в сутки, м³, соответственно приписными локомотивами грузового парка в пунктах оборота и в данном пункте экипировки локомотивами грузового парка, приписанными к другим депо. Величина $\Phi_{\Gamma,\text{лр}}^{\Pi}, \Phi_{\Gamma,\text{об}}^{\Pi}$ устанавливается по статистическим данным.

По данным таблицы 7.24, при условии, что $\Phi_{\Gamma,\text{лр}}^{\Pi} = \Phi_{\Gamma,\text{об}}^{\Pi}$,

$$\begin{aligned} \Phi_{\Gamma}^{\Pi} &= S_{\text{сут},2\Gamma\text{Э}10^{\text{В}}}^{\Gamma\text{П}} Q_{2\Gamma\text{Э}10^{\text{В}}}^{\Gamma\text{П}} q_{\Pi,2\Gamma\text{Э}10^{\text{В}}}^{\Gamma\text{П}} \cdot 10^{-6} + S_{\text{сут},2\text{М}62}^{\Gamma\text{П}} Q_{2\text{М}62}^{\Gamma\text{П}} q_{\Pi,2\text{М}62}^{\Gamma\text{П}} \cdot 10^{-6} + \\ &+ S_{\text{сут},2\Gamma\text{Э}10^{\text{М}}}^{\Gamma\text{П}} Q_{2\Gamma\text{Э}10^{\text{М}}}^{\Gamma\text{П}} q_{\Pi,2\Gamma\text{Э}10^{\text{М}}}^{\Gamma\text{П}} \cdot 10^{-6} = 4400 \cdot 3500 \cdot 0,26 \cdot 10^{-7} + \\ &+ 1680 \cdot 2800 \cdot 0,24 \cdot 10^{-7} + 3520 \cdot 35200 \cdot 0,26 \cdot 10^{-7} = 8,3 \text{ м}^3/\text{сут}. \end{aligned}$$

Параметр, учитывающий среднесуточный потребный расход песка для обеспечения локомотивов i -й серии негрузовых видов движения (пассажирских, пригородных, вывозных, передаточных, хозяйственных, маневровых и др.)

$$\Phi_{\Pi}^{\Pi} = \sum_{i=1}^R S_{\text{сут},i}^{\text{Пас}} Q_i^{\text{Пас}} q_{\Pi,i}^{\text{Пас}} \cdot 10^{-6} + \sum_{i=1}^R M_{\Pi,i}^{\text{лр}} q_{\Pi,i}^{\text{лр}} t_i^{\text{лр}} - \Phi_{\Pi,\text{лр}}^{\Pi} + \Phi_{\Pi,\text{об}}^{\Pi}, \quad (7.67)$$

- где $S_{сут,i}^{пас}$ – среднесуточный пробег с пассажирскими (пригородными) поездами локомотивов i -й серии, приписанных к данному депо, лок·км;
- $Q_i^{пас}$ – средневзвешенная масса пассажирского (пригородного) поезда брутто, ведомого локомотивом i -й серии, т;
- $q_{п,i}^{пас}$ – норма расхода песка локомотивом пассажирского парка i -й серии на 1 млн т·км брутто, м³;
- $M_{пi}^{пр}$ – среднесуточное количество прочих (маневровых, передаточных, вывозных, хозяйственных и других видов) приписных локомотивов i -й серии, экипируемых песком;
- $q_{пi}^{пр}$ – норма расхода песка маневровыми и прочими локомотивами i -й серии за один час работы, м³;
- $t_{пi}^{пр}$ – продолжительность работы маневровых и прочих локомотивов i -й серии в течение суток, ч;
- $\Phi_{п,пр}^{п}$, $\Phi_{п,об}^{п}$ – параметры, учитывающие набор песка в среднем в сутки, м³, соответственно приписными локомотивами пассажирского парка в пунктах оборота и в данном пункте экипировки локомотивами пассажирского парка, приписанными к другим депо. Величина параметров $\Phi_{п,пр}^{п}$ и $\Phi_{п,об}^{п}$ определяется по результатам обработки статистических данных.

Среднесуточный расход песка для обеспечения локомотивов негрузовых видов движения при тех же условиях получим

$$\begin{aligned}\Phi_{п}^{п} &= S_{сут,ТЭП60}^{пас} Q_{ТЭП60}^{пас} q_{п,ТЭП60}^{пас} \cdot 10^{-6} + M_{п,ЧМЭЗ}^{пр} q_{п,ЧМЭЗ}^{пр} t_{п,ЧМЭЗ}^{пр} \cdot 10^{-3} = \\ &= 3360 \cdot 780 \cdot 0,13 \cdot 10^{-6} + 9 \cdot 0,003 \cdot 21 = 0,91 \text{ м}^3.\end{aligned}$$

Параметр, характеризующий наличную пропускную способность пескораздаточных устройств (см. формулу (7.65)) при $\sum t_{техн}^{п} = 1,0$ ч,

$$\Phi_{п}^{п} = P_{пч} m_{п} (24 - \sum t_{техн}^{п}) = 1,0 \cdot 16(24 - 1) = 368 \text{ м}^3/\text{сут},$$

где $P_{пч}$ – суммарная часовая производительность пескораздаточных устройств;

$m_{п}$ – количество пескораздаточных устройств, обслуживающих локомотивы.

Коэффициент использования пропускной способности пескораздаточных устройств (см. формулу (7.53))

$$K_{п} = \frac{8,3}{368 - 0,91} = 0,02.$$

Пропускная способность пескораздаточных устройств (локомотивов) определяется исходя из того (как определено условием примера), что заправка тепловоза, состоящего из двух секций, производится одновременно с помощью четырех раздаточных колонок. Тогда, используя формулу (7.50), получим

$$n_{\text{л}}^{\text{п}} = \frac{N_{\text{л}}^{\text{гп}}}{K_{\text{л}} \cdot 4} = \frac{22}{0,08} = 275 \text{ лок./сут.}$$

Пример 7.22. Рассчитаем количество комплексных бригад в приемо-отправочном парке станции Б, который обрабатывает поезда, поступающие с трех направлений. Рассматриваемый парк производит пропуск пассажирских поездов; прием и отправление транзитных поездов без переработки; прием транзитных поездов с переработкой с направлений А, В, Г. Перегоны, примыкающие к станции Б со стороны участков А–Б и Г–Б, двухпутные, участок В–Б, по которому в парк поступают транзитные поезда с переработкой и местные, а также проходят пассажирские и региональные поезда, однопутный (рисунок 7.9). Часть необходимых для расчёта исходных данных, включающая интервалы движения поездов и другие характеристики примыкающих участков, приведена в таблице 7.25. Размеры движения пассажирских и региональных поездов по направлениям сведены в таблицу 7.26, размеры движения грузовых поездов и средневзвешенная продолжительность времени обработки поезда каждой категории в парке – в таблицу 7.27.

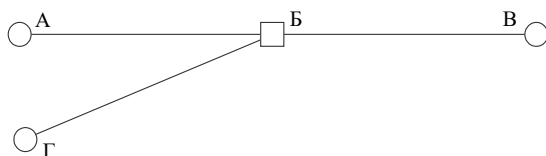


Рисунок 7.9 – Схема подходов к станции

Таблица 7.25 – Интервал движения поездов и другие характеристики подходов

Данные	Обозначение	Величина	Размерность
Минимальный интервал прибытия пассажирских и региональных поездов	$I_{\text{мин}}$	8	мин
прибытия грузовых поездов		20	
отправления грузовых поездов		20	
Коэффициент съема пассажирскими поездами	$\epsilon_{\text{пас}}$	1,2–1,4	
съема региональными поездами	$\epsilon_{\text{рег}}$	1,1–1,3	
резерва для двухпутных линий	$\alpha_{\text{рез}}$	1,15	
резерва для однопутных линий	$\alpha_{\text{рез}}$	1,2	
Максимальная пропускная способность линии			
двухпутной	N_{max}	144	пар/сут
однопутной		38	

Таблица 7.26 – Размеры движения пассажирских и региональных поездов

Из	Категория поезда	На				
		Б	В	А	Г	Итого
Б	пассажирские	–	4	1	–	5
	региональные	–	6	6	5	17
В	пассажирские	4	–	2	4	10
	региональные	5	–	–	–	5
А	пассажирские	1	2	–	1	4
	региональные	6	–	–	–	6
Г	пассажирские	–	7	1	–	8
	региональные	5	–	–	–	5
Итого	пассажирские	5	13	4	5	27
	региональные	16	6	6	5	33

Таблица 7.27 – Размеры движения грузовых поездов

Направление	Прибытие					Отправление								
	среднесуточное количество поездов					средневзвешенная продолжительность обработки поезда в парке бригадами ПТО, мин		среднесуточное количество поездов				средневзвешенная продолжительность обработки поезда в парке бригадами ПТО, мин		
	тр. б/п	тр. с/п	местн.	всего		тр. б/п	тр. с/п	тр. б/п	тр. с/п	местн.	всего	тр. б/п	тр. с/п	
В	12,4	8,8	0	26,1	68	61	10,2	6,7	0	22,9	62	39		
А	10,2	7,1	0	17,3	40	40	12,4	6,5	0	18,9	40	30		
Г	0,6	0,9	0,8	2,3	70	80	0,6	1,4	0,4	2,4	70	56		
Всего	23,2	16,8	5,7	45,7			25,7	14,6	3,9	44,2				

Решение. Для нахождения расчетных интервалов прибытия поездов различных категорий нужно определить следующее.

1 Средневзвешенный интервал прибытия поездов в парк с i -го направления находим по [38, (8.5)], мин:

$$I_{\text{пр(отпр)}} = \frac{1440 \left(\frac{1}{\alpha_{\text{рез}}} - \frac{1}{N_{\text{max}}} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n N_{\text{пост}ij} \varepsilon_j \right)}{N_{ij}}; \quad (7.68)$$

– транзитных без переработки:

$$I_{\text{трА}} = \frac{1440 \left(\frac{1}{1,15} - \frac{1}{144} \cdot (7,1 + 4 \cdot 1,3 + 6 \cdot 1,2) \right)}{10,2} = 103,6;$$

$$I_{\text{прГ}} = \frac{1440 \left(\frac{1}{1,15} - \frac{1}{144} (1,7 + 8 \cdot 1,3 + 5 \cdot 1,2) \right)}{0,6} = 1785,3;$$

– с переработкой:

$$I_{\text{прВ}} = \frac{1440 \left(\frac{1}{1,20} - \frac{1}{38} (12,4 + 10 \cdot 1,3 + 5 \cdot 1,2) \right)}{8,8} = 54,5;$$

$$I_{\text{прА}} = \frac{1440 \left(\frac{1}{1,15} - \frac{1}{144} (10,2 + 4 \cdot 1,3 + 6 \cdot 1,2) \right)}{7,1} = 144,5;$$

$$I_{\text{прГ}} = \frac{1440 \left(\frac{1}{1,15} - \frac{1}{144} (0,6 + 8 \cdot 1,3 + 5 \cdot 1,2) \right)}{1,7} = 636,6.$$

2 Средневзвешенный интервал прибытия поездов в парк по формуле [38, (8.4)], мин:

$$I_{\text{пр(отпр)}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{I_{\text{пр(отпр)}}}}$$

– транзитных без переработки:

$$I_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{103,6} + \frac{1}{1785,3}}$$

– с переработкой:

$$I_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{144,5} + \frac{1}{636,6} + \frac{1}{54,5}} = 37,3.$$

Расчетный интервал прибытия поездов в парк находим по формуле (8.3) [38], мин,

$$I_p = \frac{I_{\text{пр(отпр)}}^{\min} + I_{\text{пр(отпр)}}}{2};$$

– транзитных без переработки:

$$I_p = \frac{20 + 97,9}{2} = 59,0 \text{ мин};$$

– с переработкой:

$$I_p = \frac{20 + 37,3}{2} = 28,7 \text{ мин.}$$

Тогда количество бригад для обработки поездов по прибытию (с учетом средневзвешенной продолжительности обработки) по формуле (8.2) [38], мин:

$$B = \frac{t_{\text{обр}}}{I_p},$$

где I_p – расчетный интервал прибытия (отправления) поездов, мин;

– транзитных без переработки:

$$B^{\text{тр}} = \frac{(40 \cdot 10,2 + 70 \cdot 0,6)/(10,2 + 0,6)}{59,0} = 0,7;$$

– с переработкой:

$$B^{\text{с/п}} = \frac{(61 \cdot 8,8 + 40 \cdot 7,1 + 80 \cdot 1,7)/(8,8 + 7,1 + 1,7)}{28,7} = 1,9.$$

Таким образом, для заданных условий требуется иметь одну бригаду для обработки транзитных без переработки поездов и две бригады для поездов, прибывающих в расформирование.

8 ПЕРЕУСТРОЙСТВО СТАНЦИЙ

8.1 Выполнение инженерно-геодезической съемки путевого развития железнодорожных станций

Пример 8.1. Изучить особенности организации и порядок выполнения инженерно-геодезической съемки железнодорожной станции с использованием электронного тахеометра. На основании результатов съемки разработать масштабный план станции.

Решение. *На подготовительном этапе* разрабатывается техническое задание, включающее информацию об исследуемой территории, систему координат, высотную схему и др.; договор, с указанием объемов, сроков, стоимости работ, ответственности сторон и других условий. Также при подготовке к работам осуществляется сбор результатов предыдущих изысканий и подготовка имеющихся картографических материалов. Завершается подготовительный этап разработкой программы изысканий, составленной по техническому заданию и отражающей строительные нормы и правила.

На полевом этапе важным условием успешного проведения инженерно-геодезической съемки путевого развития, технических устройств, зданий и сооружений на территории станции является предварительная разметка предполагаемого участка съемки на немасштабной схеме либо на копии последней съемки территории станции, исполненной на листе формата А4 для использования соответствующего планшета. При съемке станционной территории нескольких парков или станции в целом желательно подготовить ряд таких планшетов. Опытными пользователями может применяться съемка без использования планшетов (абрисов), заключающаяся в кодировании точек съемки. Такая функция предусмотрена у всех электронных приборов (варианты кодирования рассмотрены далее по тексту). Перед началом работ обязательно выполняется сверка имеющейся схемы путевого развития станции с реальной ситуацией и выявляются принципиальные отличия. Кроме того, сверяется с «натурой» ведомость стрелочных переводов и кривых участков путей. Все выявленные изменения необходимо нанести на имеющуюся схему, а при большом их количестве – начертить новую. Кроме того, в процессе выполнения рекогносцировки местности на схеме отмечаются красным цветом негабаритные места и другие объекты с особыми условиями эксплуатации, на которые следует обратить внимание при выполнении съемки. При отсутствии или недостаточности данных об объекте съемки рекогносцировка объектов может выполняться с использованием современных геоинформационных сервисов (Яндекс Карты, Google Maps, OpenStreetMap и прочие).

Организация работы исполнителей съемки на территории станции.
При съемке должны быть применены методы и технические средства, максимально сокращающие время пребывания на железнодорожном полотне, станционных путях и в других местах повышенной опасности. При съемке объектов железнодорожного транспорта следует помнить, что работа выполняется в зоне повышенной опасности. Поэтому из состава бригады выделяют сигналиста для наблюдения за движением подвижного состава (двоих при работе в непосредственной близости с погрузочно-разгрузочными механизмами, при использовании на станции более одного локомотива, в кривых участках путей с плохой видимостью и в других потенциально опасных ситуациях). Все работающие в зоне железнодорожных путей должны быть одеты в демаскирующую спецодежду (сигнальные жилеты) со светоотражающими элементами.

Непосредственно к геодезической съемке железнодорожной инфраструктуры можно приступать только после согласования с руководством и оперативными работниками железнодорожного предприятия (на станции – ДС, ДСП, ДСПП, ДСПГ) при работе на путях необщего пользования (руководством предприятия и оперативными работниками) о времени и месте проведения работ. На станции в журнале ДУ-46 делается соответствующая запись. Непосредственно перед началом работ на железнодорожном предприятии ответственным проводится инструктаж по охране труда с записью в журнале прохождения инструктажа. Все передвижения съемочной бригады в пределах железнодорожной станции должны осуществляться с учетом требований местных инструкций по охране труда.

Полевые работы выполняют не менее трех человек. Связь между собой они осуществляют по радиии на волне, отличной от связи работников станции. Для дополнительного обеспечения техники безопасности проведения полевых работ на станции ДСП оповещает съемочную группу по громкой связи о предстоящих маневрах.

Порядок проведения геодезической съемки элементов железнодорожных станций с использованием электронных тахеометров.

Рекогносцировка ситуации и выбор опорной точки геодезического обоснования съемки путевого развития выполняется заранее. Выбор опорной точки производится с учетом максимальной видимости предполагаемых контрольных (пикетных) точек и безопасности проведения работ. Следует учитывать, что на станционной площадке грунт имеет высокую плотность и хорошо передает вибрацию, поэтому прибор следует устанавливать как можно дальше от путей, по которым производятся маневровые и поездные передвижения. Иначе точность съемки может быть неудовлетворительной. Для контроля положения прибора во время съемки следует постоянно обращать внимание на пузырьковый уровень. Выбранная опорная точка фиксируется с помощью колышка и сторожка с обозначением точки.

Привязка опорной точки осуществляется к объекту, уже нанесенному на схему станции, или к какой-либо другой точке, которую можно привязать к обозначенной ранее ситуации.

Для получения в итоге корректной и полной электронной модели путевого развития станции на масштабном плане необходимо выполнить геодезическую съемку всех контрольных точек участков путей (пикетов), стрелочных переводов и других характерных точек:

1) оси главных и станционных путей (обозначаемые как ОС1, ОС5 и т. д.). Если отсчетов по оси данного пути (например, пути № 5) несколько, то данные точки обозначаются как ОС5-1, ОС5-2, ОС5-3. Съемка оси осуществляется при помощи специального шаблона, укладываемого на головки рельсов. Веха с отражателем устанавливается в специальное углубление по центру шаблона. При отсутствии шаблона положение оси можно установить, снимая характерные точки в створе по обоим рельсовым нитям.

На прямых участках пути частота съемки составляет не менее 50 м. Для круговых кривых, располагаемых в пределах одного рельсового звена (12,5 и 25 м) с радиусом $R > 200$ м, привязку достаточно осуществлять по трем точкам (начало – НК, середина – СК и конец кривой – КК), либо одним из способов, приведенных в разделе 2 [25]. Если круговая кривая располагается на нескольких рельсовых звеньях или имеет радиус $R < 200$ м, то дополнительно через каждые 10 м фиксируются промежуточные точки (обозначаются как середина кривой – СК1, СК2, СК3, ...);

2) стрелочные переводы. В качестве видимых и физически фиксируемых точек стрелочного перевода следует обеспечить привязку переднего стыка (ПРС), начала остряка (НО), математического центра крестовины (МЦ) и задних стыков крестовины (ЗСК). Координаты начала остряка определяются по оси стрелочной тяги перевода (рисунок 8.1). На крестовине геодезическая веха устанавливается в точке пересечения ее рабочих граней (математический центр крестовины). В случае их значительного износа и невозможности установки вехи размер крестовины можно установить с помощью рулетки;

3) сигналы (с указанием их номеров (Н, Ч, Н7, М5) типа и особенностей конструкции: мачтовые либо карликовые; количество линз; наличие и конструкция лестницы и другие особенности);

4) предельные столбики;

5) изолирующие стыки;

6) сбрасывающие стрелки и сбрасывающие остряки (передний стык, начало остряков и положение переводного механизма), сбрасывающие башмаки;

7) переезды (начало и конец настила);

8) весы (начало и конец весовой платформы);

9) упоры (контур балластной призмы, положение упора);

10) грузовые устройства (начало и конец грузового фронта, положение грузовых устройств и механизмов);

11) пассажирские платформы. Фиксируются точки контура (торцы платформы ТЦ1-1, ТЦ1-2), начала и концы пешеходных переходов (настилов, пешеходных мостов и тоннелей) и пассажирское здание;

12) осветительные мачты и столбы (ОМ1, ОМ2, ОМ3, ...);

13) опоры с парковой громкоговорящей связью;

14) опоры контактной сети (КС1, КС2, КС3 – с последовательной или произвольной нумерацией);

15) мосты и путепроводы (начало и конец искусственных сооружений, высота и положение откосов, опор и т. д.);

16) ситуация (здания, сооружения, ЛЭП, заборы и т. п. в непосредственной близости от путей, подлежащих съемке).

Условные обозначения элементов масштабного плана должны соответствовать [26].

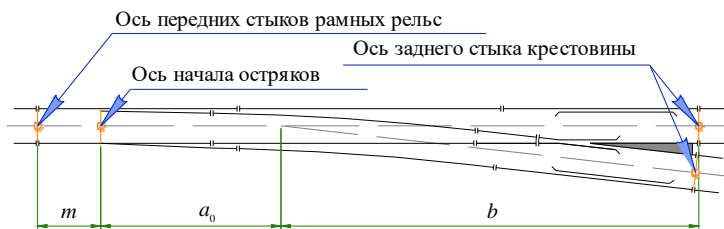


Рисунок 8.1 – Основные контрольные точки на стрелочном переводе

Съемку необходимо выполнять на свободных от подвижного состава путях, поэтому спланировать последовательность объектов съемки необходимо совместно с оперативными работниками предприятия.

Геодезист обеспечивает последовательную съемку пикетов в соответствии с предварительно разработанным планом. В состав полевой бригады входит не менее двух человек: один при помощи отражателя и шаблона, устанавливаемого на рельсы в контрольной точке, обеспечивает их последовательную съемку; второй – с размеченной схемой участка станции, находится рядом и записывает последовательность точек и соответствующие им наименования объектов путевого развития в абрис по форме, приведенной в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Пример заполнения формы отсчетов на контрольных (пикетных) точках путевого развития

Номер точки по отсчетам	Наименование точек	Примечания
1	НО23	
2	МЦ23	
3	НО25	

Тахеометр использует для измерения расстояния световой луч, но скорость его распространения зависит от показателя преломления света в атмосфере. Показатель преломления света в атмосфере изменяется при изменении температуры и давления. При нормальных значениях температуры и давления поправка за атмосферу меняется на 1 *ppm* при следующих условиях: при изменении температуры на 1°С, когда давление постоянно; при изменении давления на 3,6 ГПа, когда температура постоянна. Для достижения максимальной точности при измерениях расстояния необходимо тщательно измерить температуру и давление соответствующим оборудованием и скорректировать влияние атмосферы.

Геодезическую съемку производят способом электронно-блочной тахеометрии. Сущность заключается в том, что весь объект, подлежащий съемке, разделяют на отдельные участки-блоки. В пределах блока съемку выполняют с одного пункта установки электронного тахеометра. Положение отдельных элементов определяют полярным методом. Ориентирование лимба производят с помощью ориентир-буссоли. Съемка осуществляется электронным тахеометром с установкой отражателя по выбранным фиксированным точкам (НО, МЦ, НК, СК, КК, ОС, ТЦ, Н, М, ОМ и др.). При переходе с одного пункта установки (геодезической станции А) на другой (геодезической станции В) производят координирование так называемых «связующих» точек А1, А2, А3, А4 и т. д. (рисунок 8.2).

Следующий пункт установки (В) выбирается таким образом, чтобы была обеспечена видимость не менее чем на три связующие точки. Это необходимо для обеспечения общей координатной системы для всех съемочных точек, так как пространственные координаты следующей станции определяются с помощью обратной координатной засечки.

С одной опорной точки можно провести съемку 40–70 съемочных пикетов на расстоянии до 200–300 м. Возможности прибора намного больше, однако практика показывает, что увеличение съемочной сети горизонтальных проложений более указанного расстояния приводит к снижению эффективности работы: увеличивается вероятность покрытия снимаемых точек близлежащими объектами (осветительными опорами или опорами контактной сети, подвижным составом), усиливаются электромагнитные и тепловые помехи и др.

В ситуациях, когда с базовой станции не видны некоторые точки и перестановка прибора невозможна вследствие ограниченного пространства (на территории производственных объектов, внутри цехов и др.) допускается снятие измерений со смещением. Измерения со смещением используются для определения местоположения точки, на которой невозможно установить отражатель, либо для определения расстояния и угла на точку, на которую нельзя непосредственно навестись. Можно определить расстояние и угол на точку (называемую далее измеряемой точкой), установив отража-

тель на некоторую точку (смещенную точку), расположенную на небольшом расстоянии от измеряемой точки, и измерив расстояние и угол между смещенной и измеряемой точками (например, рулеткой). Положение измеряемой точки можно определить одним из трех способов, описанных ниже.

Смещение по расстоянию. Положение точки можно определить, введя горизонтальное проложение между измеряемой и смещенной точками. Необходимо выбрать смещенную точку так, чтобы угол между линиями, соединяющими смещенную точку с измеряемой и с точкой стояния инструмента, был близок к 90° . Когда смещенная точка находится спереди или позади измеряемой точки, следует установить ее на линии визирования между точкой установки прибора и измеряемой точкой.

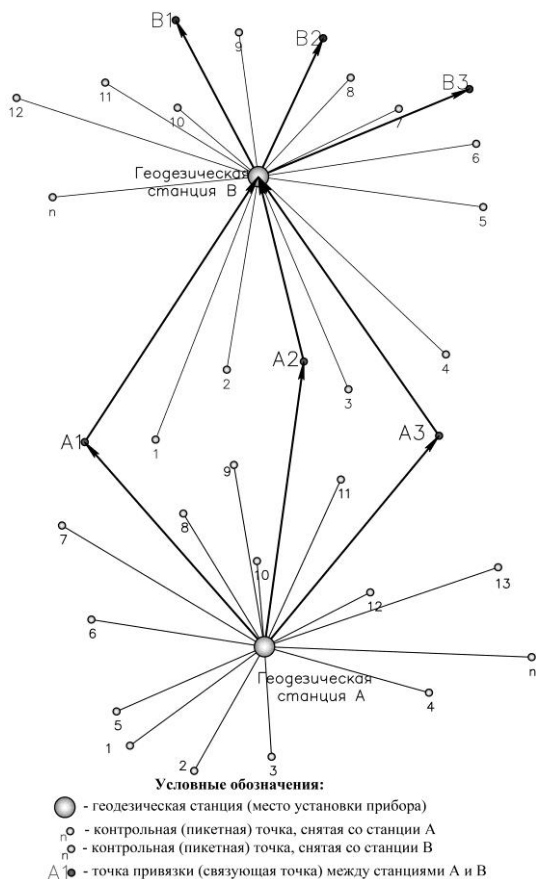


Рисунок 8.2 – Схема координирования связующих точек и определения координат станции методом обратной засечки

Смещение по углу. Можно найти положение точки, измерив угол между смещенной и определяемой точками. Для этого необходимо установить вежу с отражателем в смещенную точку, расположенную как можно ближе к измеряемой точке, затем измерить расстояние до смещенной точки и горизонтальный угол на измеряемую точку.

Смещение по двум расстояниям. Установить положение определяемой точки можно также измерив расстояние между этой точкой и двумя смещенными точками. Следует установить две смещенные точки (1-й и 2-й отражатели) на прямой линии, проходящей через определяемую точку, выполнить измерения на 1-й и 2-й отражатели, затем ввести в прибор расстояние между вторым отражателем и измеряемой точкой, чтобы определить ее местоположение. Это измерение можно легко выполнить, используя двойную визирную цель 2RT500-К. В этом случае установите значение константы призмы равным 0.

При невозможности съемки точки путевого развития (даже со смещением) данная точка на размеченной схеме помечается красным цветом с символом «К» и подлежит съемке с другой опорной точки. В таблице 8.1 напротив такой точки в графе «Примечания» указывается причина невозможности съемки.

С переходом к новой базовой точке геодезист и полевая бригада производят сверку абриса и размеченной схемы, проверяют полноту соответствия всех записей, а также подсчитывают общее количество съемочных пикетов, которое должно совпадать с данными электронного тахеометра.

Основная цель проводимой съемки заключается в формировании связанной сети координатных привязок отдельных элементов, которые можно будет впоследствии адекватно преобразовать с помощью разрабатываемых таблиц и программных средств в точечную графическую структуру положений объектов на масштабном плане. Данная графическая структура впоследствии трансформируется в адекватный электронный аналог существующего путевого развития.

Обработка результатов съемки объектов путевого развития на ПЭВМ. После проведения полевых работ бригада приступает к камеральной обработке полученных данных по съемке. С помощью программного обеспечения электронного тахеометра полученные при съемке данные из внутренней памяти прибора передаются на компьютер в виде файлов различных форматов (в зависимости от марки и модели прибора). Как правило, представление координат снятых точек выполняется в виде таблиц, графического пространственного изображения или текстовых файлов (рисунок 8.3).

Табличные и графические данные электронного тахеометра распечатываются. Таблицы сопоставляются с результатами аналогичных таблиц, полученных на этапе съемки (таблица 8.1). Выявляются возможные разночтения. По таким пикетам необходимо провести повторную привязку при вы-

полнении новых полевых измерений. Указанные точки исключаются из дальнейшего анализа, а на размеченной схеме помечаются буквой «К» (конфликт).

00NMSDR33 V04-04.02	01-iNB-02 00:00	111121			
10NMVIT	121111				
06NM1.00000000					
01NM:SET630R V31-10	028832SET630R V31-10	02883231	0.000		
02TP	A130.888	291.939	-0.398	0.000	
03NM0.000					
08TP	1 365.3778	503.6270	-0.6756		
08TP	2 155.2519	392.4287	-0.6180		
08TP	3 319.7212	466.0894	-0.6836		
08TP	4 145.7669	375.6866	-0.6042		
08TP	5 294.4329	445.2467	-0.6777		
08TP	6 136.9511	356.0500	-0.5829		
08TP	7 288.0899	433.8021	-0.7772		
08TP	8 128.8835	334.7337	-0.5521		
08TP	9 246.9185	400.0427	-0.7113		
08TP	10 114.8125	295.2933	-0.3512		
08TP	11 239.1946	399.8893	-0.6794		
08TP	12 106.2790	271.4088	-0.3251		
08TP	13 239.2004	406.3208	-0.6420		
08TP	14 109.5208	272.6935	-0.4956		

Рисунок 8.3 – Пример фрагмента текстового файла по съемке

Точки в таблице 8.1 можно группировать в массивы в соответствии с объектами съемки (элементами путевого развития) в связанной последовательности. Пример абриса упорядоченного по объектам съемки представлен в таблице 8.2.

Т а б л и ц а 8.2 – Фрагмент объектно-упорядоченного абриса

Номер точки по отсчетам	Наименование точек	Примечания
1	ПРС 16	Точки, расположенные на стрелочном переводе №16
2	НО 16	
3	ИС 16	
4	ЗСК 16	
5	НК7	Точки, характеризующие кривой участок №7
6	СК7-1	
7	СК7-2	
8	КК7	

После сверки полученных данных, информация с прибора (координаты точек) экспортируются на компьютер при помощи программного обеспече-

ния SOKKIA Link (либо аналогичной в зависимости от марки применяемого прибора) в виде текстовых (*.txt, *.csv) или графических файлов различных форматов (*.dwg, *.dxf). При открытии графического файла в программе AutoCAD отображается совокупность точек, расположенных в соответствии с их координатами (рисунок 8.4), которая является основой для получения масштабного плана путевого развития. Восстановление элементов путевого развития производится на основании сопоставления каждой полученной на графическом поле точке с именем ее элемента в соответствии с составленным ранее абрисом. Не менее трех точек должно быть получено по каждому стрелочному переводу (ПРС, НО и МЦ (ЗСК)) с указанием номера перевода и по каждой кривой (НК, СК, КК) с номером кривой на плане.

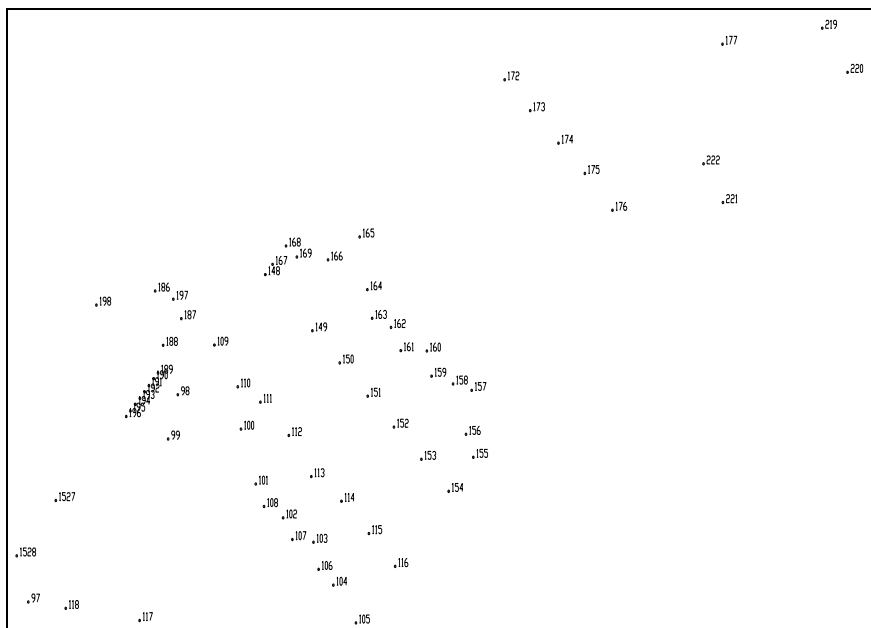


Рисунок 8.4 – Фрагмент графического представления данных съемки в среде AutoCAD

Далее все точки сортируются в соответствии с группировкой точек по объектам съемки (рисунок 8.5). При использовании программного продукта AutoCAD на этом этапе целесообразно графические данные разнести по различным слоям, переключая которые можно добиться необходимой степени детализации плана. Пример созданных слоев приведен на рисунке 8.6.

Условные обозначения точек съемки:

- 760 Точки пути
- 760 Точки стрелочных переводов (остряк, задний стык, предельный столбик, переводной механизм)
- 760 Точки сигналов
- 760 Точки столбов с парковой (громкоговорящей) связью
- 760 Точки ситуации (здания, сооружения, проезды, проходы, столбы, коммуникации, осветительные вышки и т.п.)
- 760 Высотные точки ситуации

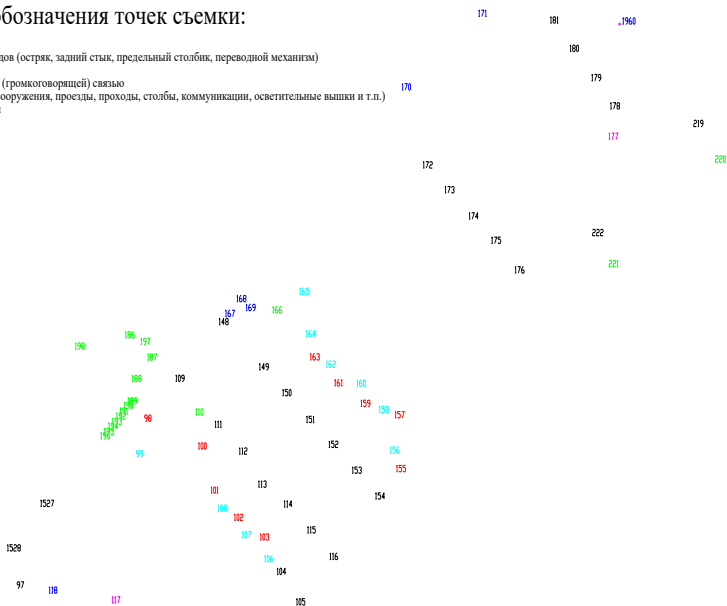


Рисунок 8.5 – Фрагмент дифференцированной совокупности точек

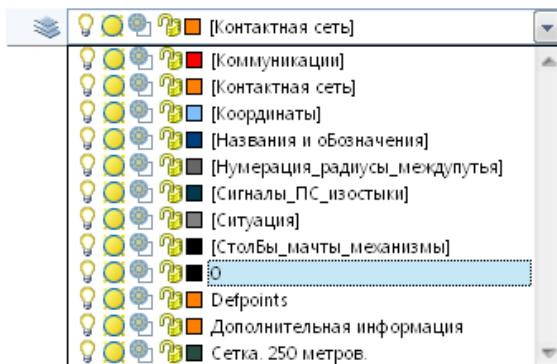


Рисунок 8.6 – Перечень слоев, используемых в электронном масштабном плане

Стрелочные переводы, сигналы, изолирующие стыки, столбы парковой громкоговорящей связи предварительно могут быть выполнены в виде блоков (рисунок 8.7) в соответствии со справочными данными, характеризующими конкретный элемент инфраструктуры, снизить трудоемкость процесса восстановления плана путевого развития, повысить точность отображения объектов, структурировать электронный план по элементам.

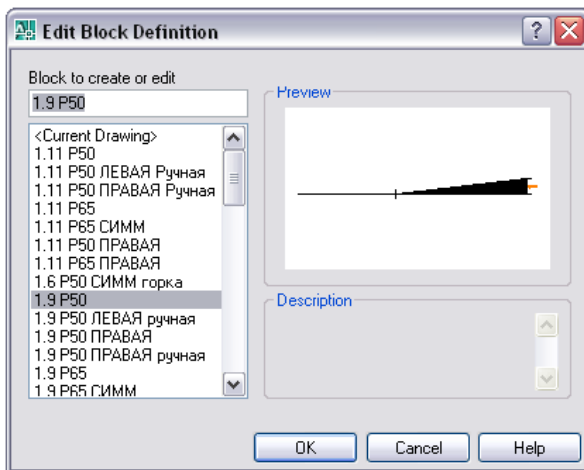


Рисунок 8.7 – Блок, отображающий стрелочный перевод

Масштабное изображение положения станционных путей, стрелочных переводов, сооружений, механизмов, прочих устройств и элементов ситуации формируется интеграцией данных абриса, ведомостей стрелочных переводов, ТРА станции и геометрических характеристик элементов (с применением справочных материалов) в масштабный план путевого развития объекта съемки. Фрагмент построенного плана представлен на рисунке 8.8.

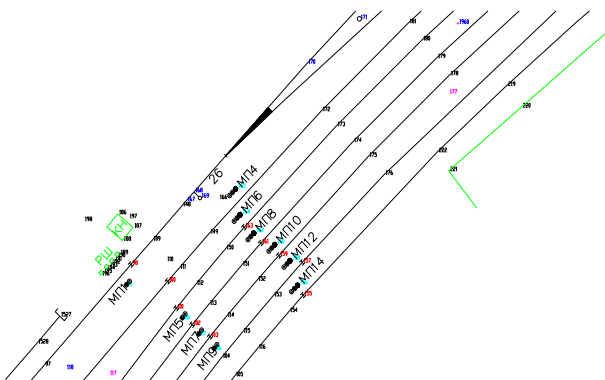


Рисунок 8.8 – Фрагмент построенного плана станции

Обязательно выполняется сопоставление полученных контуров масштабного электронного плана с размеченной схемой и другими документами (данные предыдущей съемки, аэрофотосъемка, спутниковые снимки) всеми участниками полевых измерений и корректировка результатов.

Современные электронные приборы позволяют задавать имена любым точкам в процессе съемки в соответствии с приведенным ранее описанием. Это несколько замедляет процесс съемки, но позволяет в большей степени автоматизировать процесс преобразования данных съемки в электронный масштабный план путевого развития станции (рисунок 8.9).

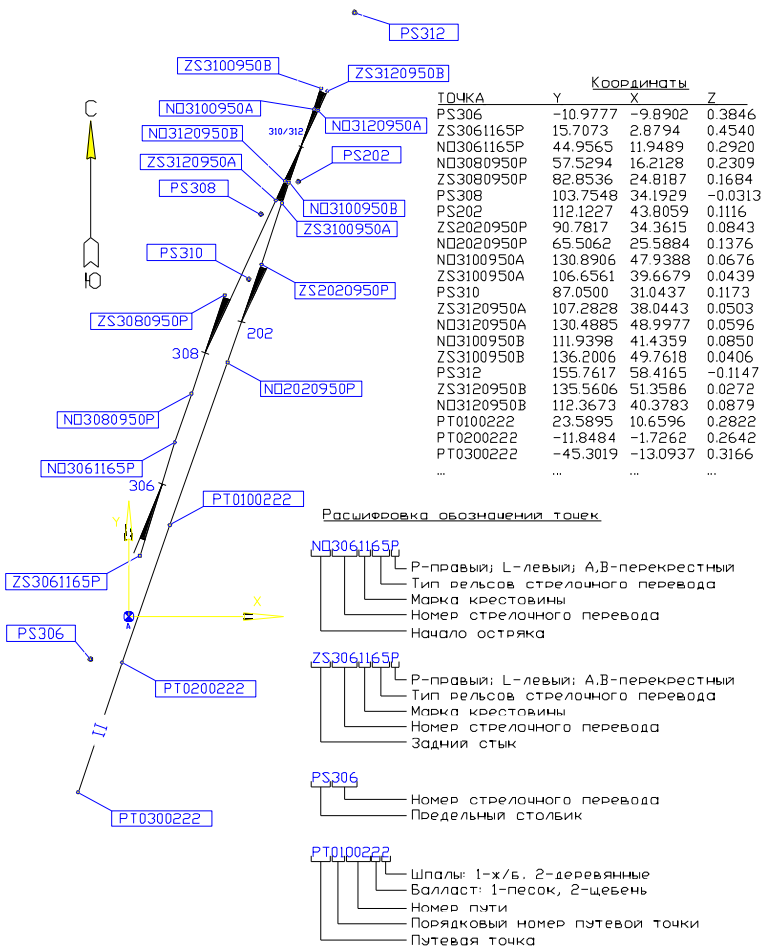


Рисунок 8.9 – Фрагмент построенного плана станции с нумерацией точек

Разработанный электронный план обеспечивает следующие возможности:

- актуализация масштабных планов и профилей объектов железнодорожной инфраструктуры для использования в качестве нормативного документа (обязательное приложение к ТРА);

- использование как основы при разработке проектной документации на реконструкцию элементов станции. Значительное сокращение трудозатрат на создание масштабных планов в будущем (в том числе при разработке проектов переустройства);

- возможность дальнейшей детализации – нанесение новых устройств, изменений параметров путевого развития при реконструкции, линий подземных и надземных коммуникаций;

- возможность компоновки планов отдельных станций в схему узла, а в перспективе – в электронную схему отделения, дороги. При соблюдении определенных правил группировки и обозначения объектов при создании масштабных планов – создание графической основы для ГИС на железнодорожном транспорте [16–26];

- проведение анализа пространственных геометрических параметров по созданному электронному плану с высокой точностью. Выявление элементов сооружений и устройств с отклонениями от требований нормативных документов и с особыми условиями эксплуатации. Расчет длин безстрелочных участков, определение площадей;

- использование как документа для оперативной работы в бумажном и электронном виде. Просмотр и распечатка любого фрагмента станции в масштабе, обеспечивающем удобство пользования.

Для инженерно-геодезических съемок станционных площадок крупных станций и узлов возможно использование современных методов аэрофото съемки [25] с применением различных аэрофотосъемочных систем, оснащенных устройствами компенсации сдвига изображения. Оснащение аэро съемочных систем компьютерами, обрабатывающими сигналы, которые получают спутниковые приёмники [16–26], и фиксирующими данные о времени экспонирования и данные углов наклона аэрофотосъемочных аппаратов, позволяют значительно повысить качество и уровень автоматизации проектирования и самолётовождения при аэрофотосъемке. Кроме того, применение GPS позволяет с высокой точностью определять координаты центров проектирования аэрофотоснимков, которые используются в качестве опорных точек при фотограмметрическом сгущении геодезического съёмочного обоснования. Применение цифровых фотокамер при аэрофото съемке ещё более упрощает и ускоряет процесс обработки данных. Применение спутниковых измерительных систем будет подробно рассмотрено в примере 8.4.

Пример 8.2. Изучить особенности организации и выполнения инженерно-геодезической съемки горочной горловины железнодорожной станции с использованием электронного тахеометра. На основании результатов съемки разработать масштабный план горочной горловины сортировочного парка станции и продольные профили подгорочных путей.

Решение. Организация работы исполнителей съемки на территории станции для получения масштабного плана горочной горловины сортировочного парка в целом аналогична съемке других станционных объектов (см. пример 8.1). Однако есть и некоторые особенности, вытекающие из характера работы сортировочной горки.

В этой зоне, как правило, наблюдается наибольшая концентрация стрелочных переводов и кривых участков путей на станции. А при наличии большого количества путей в сортировочном парке параметры этих кривых часто граничат с допустимыми в трудных условиях [7]. То же в полной мере касается и продольного профиля путей: применяемые величины уклонов близки к граничным значениям [7]. Кроме того, в горочной горловине расположены тормозные позиции, установлены различные напольные устройства контроля занятости участков путей и стрелочных переводов, автоматизации сортировочных процессов и др. Здесь сконцентрирована наиболее интенсивная часть работы станции. Всё это требует применения самых точных приборов и наиболее прогрессивных методов инженерно-геодезической съемки. Учитывая наличие значительного количества объектов съемки и необходимость свободной читаемости плана и профиля, применяется более крупный масштаб (как правило, 1:1000 и крупнее).

При организации съемки следует учесть, что, вследствие высокой загрузки горочных горловин, в начале смены перед выполнением предстоящей съемки необходимо согласовать с оперативными работниками горочно-маневрового района план работ в зависимости от свободности путей сортировочного парка путей роспуска, надвига и вытяжных путей.

Перед съемкой тщательно сверяется «в натуре» ведомость стрелочных переводов и кривых участков путей. На схеме отмечаются красным цветом негабаритные места и другие объекты с особыми условиями эксплуатации, на которые следует обратить внимание при выполнении съемки.

Непосредственно перед началом работ ответственным проводится инструктаж по охране труда с записью в журнале прохождения инструктажа. Все передвижения съемочной бригады в пределах станции должны осуществляться с учетом требований местных инструкций по охране труда. Для дополнительного обеспечения техники безопасности проведения полевых работ на станции ДСПП, ДСПГ оповещает группы по громкой связи о предстоящих маневрах.

Восстановление путевого развития и вертикальной планировки сортировочного комплекса достигается съемкой следующих характерных точек:

- 1) осей вытяжных, надвижных, спускных и сортировочных станционных путей не менее чем на 100 м в глубину сортировочного парка, а при необходимости комплексного анализа вертикальной планировки подсистемы «Вытяжные пути – Сортировочная горка – Сортировочный парк» – включая выходящую горловину сортировочного парка.

На прямых участках вытяжных, надвижных, спускных и сортировочных путей, имеющих небольшие уклоны, частота съемки составляет не менее 50 м. Частота съемки участков путей, располагающихся на кривых участках в профиле и плане выше. Для профиля частота съемки определяется необходимостью выявления ключевых точек конструкции профиля. Наибольшее количество участков вертикальных кривых расположено на надвижной, перевальной и спускной частях сортировочной горки. Поэтому на прямых участках пути в этих зонах частота съемки составляет не менее 12,5 м, на перевальной части – 1–2 м (для более точного определения местоположения вершины горки и радиусов вертикальных сопрягающих кривых), на скоростном участке – с частотой 2–3 м, в стрелочной зоне – 4–5 м. В плане кривые участки сконцентрированы непосредственно в горочной горловине. Съемка кривых выполняется с частотой съемки 5 м, а при $R < 200$ м – 2–3 м;

2) ключевых точек стрелочных переводов (рисунок 8.2). Особое внимание уделяется положению изолирующих стыков и других устройств контроля занятости элементов стрелочных переводов;

3) предельных столбиков, сигналов и специальных указателей;

4) изолирующих стыков (в соответствии со схемой размещения изолированных участков в пределах горочной горловины);

5) положения тормозных позиций и удерживающих устройств. Для механизированных: изолирующие стыки, концы тормозных шин по каждому вагонному замедлителю. Для башмачных: точки начала башмачного торможения, положение усовиков башмакосбрасывателей, размещение стеллажей для башмаков, используемых во время торможения;

6) переездов и пешеходных переходов (начало и конец настила);

7) осветительных мачт и столбов, опор с громкоговорящей связью, опор контактной сети;

8) положения напольных устройств механизации и автоматизации сортировочных процессов, автоматики и телемеханики, централизации, блокировки, контроля занятости участков путей и других устройств, положение которых может оказывать влияние на технологические параметры работы объектов станции;

9) ситуации (здания, сооружения, ЛЭП, заборы и т. п. в непосредственной близости от путей, подлежащих съемке).

Обозначение ключевых точек съемки и порядок камеральных работ выполняется аналогично примеру 8.1.

Пример выполненного масштабного плана горочной горловины представлен на рисунке 8.10. Продольный профиль надвижной и спускной частей сортировочной горки представлен на рисунках 8.11, 8.12.

Разработанная электронная объектная модель осуществляет (кроме названных в примере 8.1) следующее:

– анализ пространственных геометрических параметров по созданному электронному плану и профилю с высокой точностью; расчет длин участ-

ков, определение объемов земляных работ при реконструкции, выполнение комплекса горочных технологических расчетов;

- выявление отклонений измеряемых технических параметров инфраструктуры от нормативных требований;
- оценка качества и энергоэффективности конструкции продольного профиля сортировочного комплекса.

Пример 8.3. На основании масштабного плана и продольного профиля сортировочного комплекса (пример 8.2) выявить отклонения от требований нормативных документов. Определить степень влияния выявленных дефектов конструкции на технологические режимы работы сортировочного комплекса.

Решение. Выявление элементов сооружений и устройств станций с отклонениями от требований нормативных документов производится, как правило, в три этапа: анализ нормативной документации; выявление потенциально опасных мест в ходе натурной съемки (определяются визуально, отмечаются в абрисе и сразу же производятся необходимые измерения); выявление несоответствий и потенциально опасных элементов на плане и продольном профиле, построенном по результатам натурной съемки (уточняются данные предыдущих двух этапов, выявляются элементы, не соответствующие существующей нормативной документации или отсутствующие в ней, не выявленные визуально при съемке, уточняются отклонения параметров плана и профиля от проектных значений).

Анализ параметров плана и профиля сортировочного комплекса станции производится по результатам инженерно-геодезической съемки вытяжного пути, надвижной и спускной частей сортировочной горки, а также головных участков путей сортировочно-отправочного парка (рисунки 8.11, 8.12). Схема горочной горловины, разработанная по данным инженерно-геодезических изысканий, представлена на рисунке 8.10. Анализ конструкции плана горочной горловины позволяет выявить ряд особенностей, существенно влияющих на работу всего сортировочного комплекса.

На спускной части сортировочной горки располагается стрелочный перевод № 234, обеспечивающий возможность отправления поездов и передач из сортировочного парка с путей № 39–49 (ропуск вагонов с горки прекращается).

Горловина сортировочного парка разбита на два пучка и имеет близкое к симметричному расположение путей (без учета путей № 48 и 49). Верхний и нижний пучок включают по пять путей (на пути № 48 и 49 ропуск в настоящее время не производится).

Для соединения путей в конструкции горочной горловины сортировочного парка используются два симметричных стрелочных перевода № 210 и 220 марки крестовины 1/6, а также шесть обыкновенных марки 1/9 (№ 234, 216, 218, 208, 204 и 202) и два марки 1/11 (№ 206 и 200).

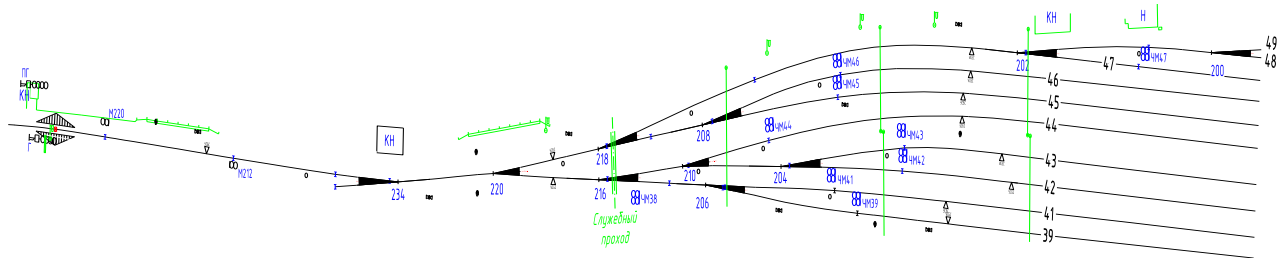


Рисунок 8.10 – Схема горочной горловины сортировочно-отправочного парка

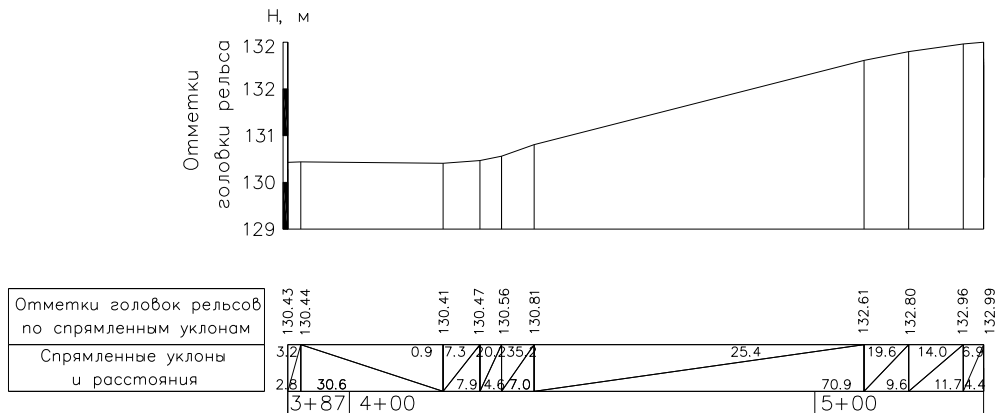
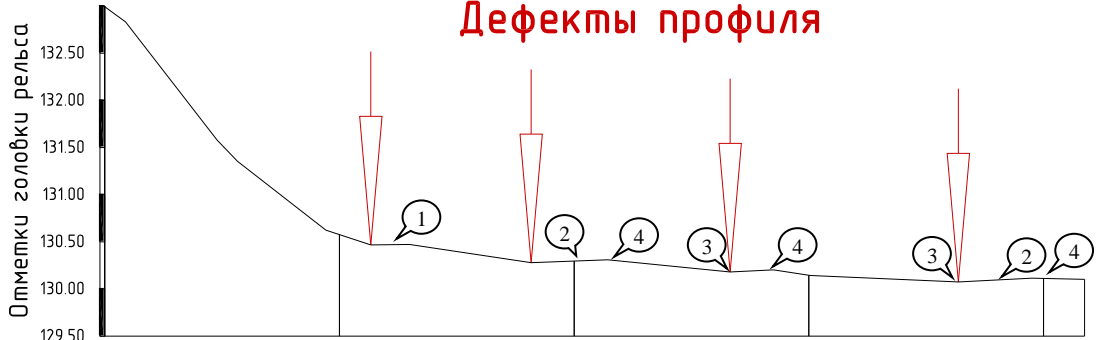


Рисунок 8.11 – Конструкция продольного профиля надвигной части сортировочной горки

Дефекты профиля



Ситуация																																							
Отметки головок рельсов по спрямленным уклонам	132.99	132.83		131.58	131.35		130.62	130.47	130.47	130.47	130.28	130.31	130.31	130.18	130.20	130.14		130.07	130.12	130.10																			
Спрямленные уклоны и расстояния	8.1	32.16	7.7	19.4	8.2	10.2	16.5	51.8	3.7	0.9	32.6	52.1	2.5	1.2	3.8	1.1	1.3	31.3	22.5	0.6																			
Существующие отметки головок рельсов	132.99	132.83	132.56	132.32	132.09	131.84	131.58	131.35	131.19	131.00	130.62	130.52	130.47	130.44	130.44	130.41	130.38	130.35	130.28	130.29	130.31	130.31	130.25	130.26	130.23	130.18	130.19	130.20	130.18	130.14	130.13	130.10	130.08	130.07	130.12	130.10			
Существующие уклоны и расстояния	8.3	8.8	7.4	7.3	8.5	8.7	8.7	9.0	9.5	10.4	10.2	8.9	16.5	7.4	8.3	10.4	7.8	18.5	7.8	8.9	15.9	12.6	9.7	18.5	1.6	4.0	1.3	1.1	8.5	2.2	1.5	0.1	3.6	8.2	0.5	1.3	31.3	22.5	0.6
Пикеты	0+00				1+00				2+00				3+00				4+00		4+17																				
План линии																																							

Рисунок 8.12 – Конструкция продольного профиля спускной части сортировочной горки и начала пути № 43

Первая тормозная позиция оборудована башмакосбрасывателем, усовик которого располагается на расстоянии 59 м от вершины горки. Усовики двух башмакосбрасывателей пучковой тормозной позиции размещаются на расстоянии чуть более 23 м от центра стрелочного перевода № 220, т. е. в части длины его конструкции, что создает неблагоприятные условия эксплуатации стрелочного перевода и башмачной тормозной позиции. Парковые тормозные позиции (восемь комплектов), расположенные на путях верхнего пучка сортировочно-отправочного парка (пути № 44, 45, 46 и 47) располагаются в кривых участках путей, что существенно ухудшает условия торможения отцепов и безопасность роспуска составов. Наиболее удалены вглубь сортировочно-отправочного парка тормозные позиции, расположенные вначале путей № 42 и № 43 нижнего пучка, что увеличивает их расчетную длину.

Согласно проведенной инженерно-геодезической съемке высота горки $H_c = 2,89$ м (разность отметок уровня головок рельсов вершины горки и расчетной точки «трудного» пути № 43).

Надвижная часть горки общей длиной около 150 м (см. рисунок 8.11) включает девять основных элементов с уклонами, изменяющимися в пределах от $-0,9$ до $+35,2$ ‰, причем наибольшая крутизна элементов наблюдается в начале подъемной части, что приводит к неравномерной вогнутости конструкции продольного профиля надвижной части горки.

В конструкции спускной части горки можно выделить скоростной участок протяженностью около 44 м с общим понижением высоты на 1,28 м и уклонами элементов от 34,7 до 18,1 ‰; участок первой тормозной позиции, расположенной на трех элементах со средним уклоном 25 ‰; промежуточный участок, расположенный на элементах с уклонами в пределах от $-0,2$ до 21,3 ‰ и протяженностью более 100 м; стрелочную зону и участок пучковой тормозной позиции с уклонами элементов от $-1,3$ до 5,2 ‰ длиной более 105 м и участок сортировочных путей с парковой тормозной позицией, имеющий небольшие уклоны элементов ($-1,3 - 3$ ‰) и общим понижением около 2 см.

В результате анализа параметров продольного профиля горки можно выделить следующие недостатки, существенно влияющие на режимы ее работы.

1 Уклоны некоторых элементов продольного профиля надвижной и спускной частей сортировочной горки не соответствуют нормативным требованиям [7]. На схеме продольного профиля (см. рисунок 8.12) отмечены основные дефекты и деформации земляного полотна в форме уступов 1, противоклонов 2, ям 3, горбов 4.

Дефекты являются следствием недоработок при проектировании земляного полотна, его защитных и укрепительных сооружений, нарушении технологии строительства и эксплуатации путей, неудовлетворительного текущего содержания и ремонтов железнодорожного пути. Отсутствует равномерно вогнутое очертание продольного профиля надвижной и спускной частей горки. Более того, отдельные элементы располагаются на горизонтальных участках и элементах с обратными уклонами. Деформации земляного полотна могут возникать при недостаточной несущей способности используемых грунтов, несоответствия мощности ВСП динамическим нагрузкам от движения подвижного состава, недостаточной защите от неблагоприятных климатических и инженерно-геологических факторов [27]. Классификация наиболее распространенных дефектов и деформаций земляного полотна приведена в [27, приложения Ж и К].

2 Продольный профиль путей в местах расположения тормозных позиций (перед башмакосбрасывателями) имеет заметное волнообразное очертание, что обусловлено значительными нагрузками, возникающими во время торможения отцепов в этих зонах.

3 Нагрузки на земляное полотно повышаются из-за неравномерно вогнутого продольного профиля спускной части и негладкого сопряжения его элементов, усугубляя уже имеющиеся дефекты.

4 Увеличивается износ рельсов и колесных пар подвижного состава вследствие применения для торможения немеханизированных средств (тормозных башмаков) с учетом превышения допустимой скорости входа на них тяжелогруженных вагонов.

5 Наличие горизонтальных участков и элементов с обратными уклонами при неблагоприятных условиях скатывания затрудняет проход легковесных отцепов до разделительного стрелочного перевода, что может снизить безопасность роспуска и перерабатывающую способность сортировочной горки.

Отклонения, выявленные в конструкции продольного профиля сортировочной горки не только не способствуют оптимальным режимам ее работы, но и могут повлечь нежелательные последствия, приводящие к ухудшению безопасности сортировочного процесса. Для оценки ненормированных отклонений технологических режимов работы горки и проверки ее работоспособности выполняется моделирование процесса роспуска составов по «трудному» пути № 43 при помощи САПР (см. пример 6.13), на основании которого можно сделать окончательные выводы о качестве и безопасности конструкции плана и профиля сортировочной горки (рисунок 8.13).

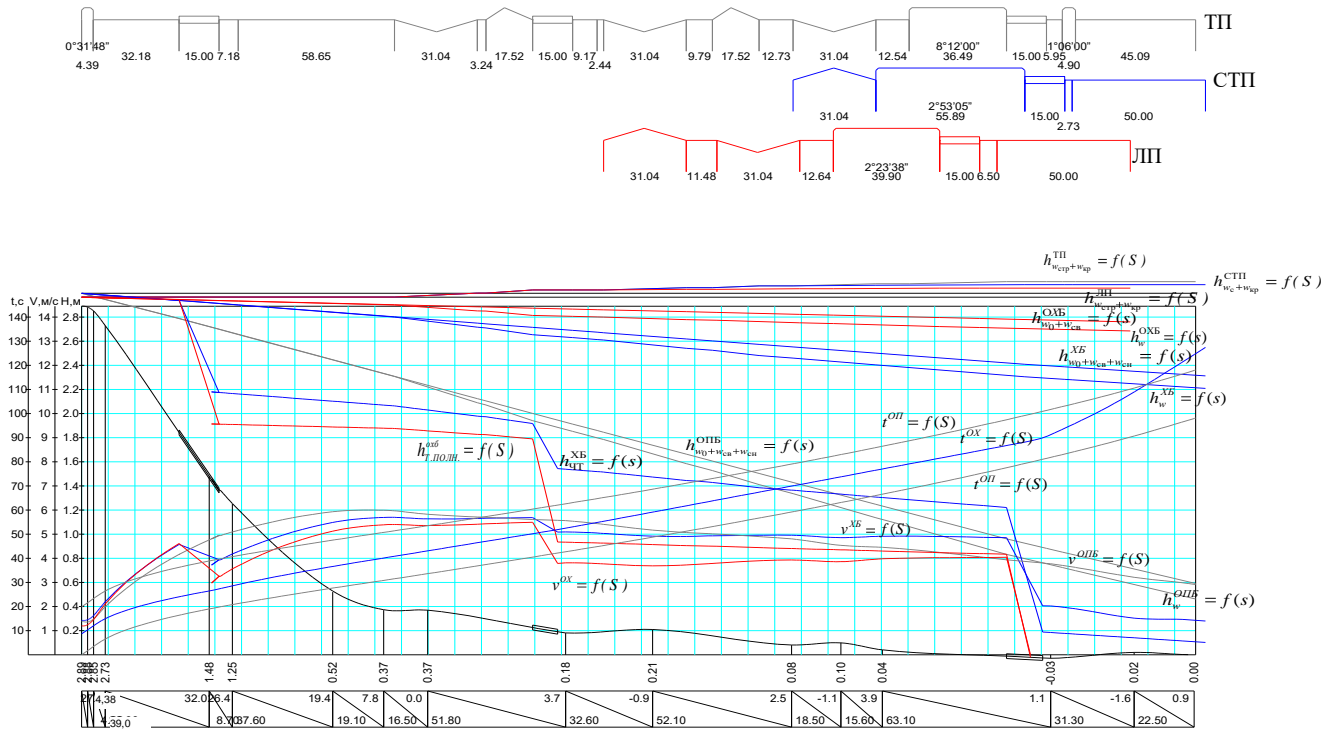


Рисунок 8.13 – Моделирование работы сортировочной горки в существующих условиях (профиль пути № 43):
 $v_0 = 1,4$ м/с; климат января, встречный ветер северо-западного румба; $H_c = 2,89$ м; $w_0(ОПБ) = 4,16$ Н/кН; $w_0(ХБ) = 1,02$ Н/кН;
 $h_{Пн} = 1,024$ м эн. в.; $h_{Пн} = 0,85$ м эн. в.; $h_{Пн} = 1,28$ м эн. в.; $P_{Пн} = 35$ %; $P_{Пн} = 17$ %; $P_{Пн} = 48$ %)

Возможность реализации расчетной и определение потенциально реализуемой максимальной скорости роспуска составов для проектируемых горок проверяется наличием достаточных интервалов для разделения ОП (П) и ОХ (Х) бегунов на всех разделительных элементах спускной части горки, сочетание которых устанавливается в зависимости от мощности сортировочных устройств, их технического оснащения, структуры перерабатываемого вагонопотока [15, таблица 4.12]. Кроме того, необходимо предусматривать резерв времени на каждом разделительном элементе не менее 1 с из расчета продолжительности перевода остряжков, приведения в рабочее положение балок современных замедлителей, равной 0,6 и 0,2–0,8 с соответственно. Например, оценку качества продольного профиля горок малой мощности с немеханизированными тормозными позициями выполняют при моделировании скатывания в неблагоприятных условиях расчетных бегунов в наиболее трудном сочетании ОП–Х–ОП и $v_0 = 1,0$ м/с.

Для проверки возможности перевода стрелочных переводов, тормозных балок замедлителей в интервале времени между отцепами и расчета потенциально реализуемой максимальной скорости роспуска составов с горки определим и сопоставим фактические и минимально необходимые интервалы на первом и последнем разделительных стрелочных переводах и тормозных позициях (первой и пучковой) на общем пути следования отцепов в их неблагоприятных сочетаниях.

Минимально необходимый интервал между отцепами на стрелочных переводах определяется аналогично примеру 6.13. С учетом того, что для стрелочных переводов марки 1/9 предстрелочный участок $l_{пр}$ имеет длину не менее 8 м, длина остряжков стрелочного перевода $l_{ост} = 6,52$ м, а длина выступа $l_{выст}$ от корня остряжков до изолирующих стыков перед крестовиной 7,68 м, $l_{изол} = 8 + 6,52 + 7,68 = 22,2$ м.

С учетом величин $l_{изол}$ и колесной базы, полувагона, $l_6^{ох} = l_6^{оп} = 10,45$ м

$$l_{расч}^{стр} = 10,45 / 2 + 22,2 + 10,45 / 2 = 32,65 \text{ м.}$$

На башмачных тормозных позициях минимальный интервал времени между отцепами должен быть не менее времени на подготовку регулировщика скорости к торможению отцепа с учетом дополнительного резерва времени не менее 1 с:

$$t_{тп} = t_{подг} + t_{рез} + \frac{(l_6^{ох} + l_6^{оп}) / 2}{v_{зам}}, \quad (8.1)$$

где $t_{подг}$ – запас времени, необходимый регулировщику скорости для подготовки к торможению отцепа башмаками (принимается равным 2 с);

$t_{рез}$ – резерв времени, предусматриваемый на всех разделительных элементах горки, в том числе и на башмачных тормозных позициях;

$v_{зам}$ – средняя скорость прохода ТП впереди идущим бегуном, м/с.

Приведем пример расчета минимально необходимых интервалов времени на разделительных элементах плана горочной горловины горки средней мощности. В качестве ОП бегуна принимаем четырехосный полувагон массой 23,9 т (основное удельное сопротивление $w_0 = 4,16$ Н/кН), а в качестве Х/ОХ бегуна – четырехосный полувагон массой 63,4 т (основное удельное сопротивление $w_0 = 1,02$ Н/кН). Кривые энергетических высот, потерь на преодоление сил сопротивления движению принятых расчетных бегунов, кривые скорости и времени хода, построенные с помощью программы «PP_SG» (см. рисунок 8.13).

Вариантным путем установлено, что на первой тормозной позиции погашается 35 % энергии ХБ/ОХБ, на второй – 17 % и на третьей – 48 % (см. рисунок 8.13). В этом случае устанавливаются примерно равные интервалы следования отцепов в неблагоприятном сочетании ОП–Х–ОП. Среднюю скорость прохождения бегуном расчетного участка определяют на основе данных аналитического расчета скоростей движения отцепов в начале и в конце разделительных элементов плана расчетных путей, получаемых при моделировании процесса роспуска в автоматизированном режиме. Результаты такого моделирования представлены в таблице 8.3.

Т а б л и ц а 8.3 – Результаты моделирования скатывания отцепов с горки при w_0 (ОПБ) = 4,16 Н/кН и w_0 (ХБ/ОХБ) = 1,02 Н/кН

Расчетные бегуны	Скорость в контрольных точках, м/с									
	Вершина горки	I ТП*		Первый СП*		II ТП		Последний СП		Расчетная точка
		Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход	
ОП (23,9 т)	1,4	4,2	4,9	5,7	5,6	5,6	5,5	4,8	4,5	2,9
Х (63,4 т)	1,4	4,6	3,9	5,7	5,7	5,7	5,1	5,0	4,8	2,0
ОХ (100 т)	1,2	4,6	3,3	5,4	5,5	5,5	3,8	3,8	3,9	–

* СП – разделительный стрелочный перевод; ТП – тормозная позиция.

Скорость входа ОП бегуна на расчетную точку составляет 2,9 м/с, что соответствует 0,46 м эн. в. В случае занятости путей сортировочного парка избыточная кинетическая энергия ОП бегуна (0,35 м эн. в.) может быть погашена на парковой башмачной тормозной позиции. Энергетическая высота, погашаемая одним тормозным башмаком [15, (4.74)]

$$h_T = f \Sigma P l_{юз} / \Sigma m, \quad (8.2)$$

где f – коэффициент тормозного действия башмака, принимается 0,17 (с возможным его изменением в реальных условиях в пределах +0,03);

P – нагрузка на ось, колесо которой тормозится башмаком, кН (принимается для ОХБ 25 кН);

$l_{юз}$ – длина тормозного пути (длина юза), принимается равным 15 м по условию обеспечения сохранности подвижного состава;

Σm – масса отцепа, кН (принимается для ОХБ 100 кН).

Произведем расчет

$$h_T = 0,17 \cdot 25 \cdot 15 / 100 = 0,64 \text{ м эн. в.}$$

Таким образом, погашаемая одним башмаком на тормозной позиции энергетическая высота составляет 0,64 м эн. в., а при условии торможения двумя башмаками под двумя осями вагона – 1,28 м эн. в., что больше остаточной энергетической высоты, достигаемой ОП бегуном в расчетной точке и позволит обеспечить допустимую скорость соударения вагонов (1,4 м/с или 5 км/ч).

Начальный интервал на вершине горки между очень «плохим» и «хорошим» бегунами, определяемой по [28, (121)]

$$t_0^{\text{оп-х}} = \left[\left(\frac{l_{\text{в}}^{\text{оп}}}{2} + \frac{l_{\text{в}}^{\text{х}}}{2} \right) - \Delta l_{\text{отр}} \right] / v_0, \text{ т. е. } t_0^{\text{оп-х}} = \left[\left(\frac{13,92}{2} + \frac{13,92}{2} \right) - 1,8 \right] / 1,4 = 8,7 \text{ с,}$$

интервал на вершине горки между «хорошим» и «плохим» бегунами

$$t_0^{\text{х-оп}} = \left[\left(\frac{l_{\text{в}}^{\text{оп}}}{2} + \frac{l_{\text{в}}^{\text{х}}}{2} \right) + \Delta l_{\text{отр}} \right] / v_0, \text{ т. е. } t_0^{\text{х-оп}} = \left[\left(\frac{13,92}{2} + \frac{13,92}{2} \right) + 1,8 \right] / 1,4 = 11,2 \text{ с.}$$

Произведем расчет минимально необходимых интервалов времени следования отцепов на разделительных элементах.

Минимально необходимые интервалы между отцепами на первом и последнем разделительных стрелочных переводах составят:

• при чередовании ОП–Х:

– первый разделительный стрелочный перевод –

$$t_{\text{min}}^{\text{стр}} = \frac{32,65}{(5,7 + 5,6) / 2} = 5,78 \text{ с;}$$

– последний разделительный стрелочный перевод –

$$t_{\text{min}}^{\text{стр}} = \frac{32,65}{(4,8 + 4,5) / 2} = 7,02 \text{ с;}$$

• при чередовании Х–ОП:

– первый разделительный стрелочный перевод –

$$t_{\min}^{\text{стр}} = \frac{32,65}{(5,7 + 5,7) / 2} = 5,73 \text{ с};$$

– последний разделительный стрелочный перевод –

$$t_{\min}^{\text{стр}} = \frac{32,65}{(5,0 + 4,8) / 2} = 6,66 \text{ с}.$$

Минимально необходимые интервалы между отцепами на первой и второй тормозных позициях составят:

• при чередовании ОП–Х:

– на первой тормозной позиции –

$$t_{\text{тп}} = 1 + 2 + \frac{(10,45 + 10,45) / 2}{(4,2 + 4,9) / 2} = 5,30;$$

– на второй тормозной позиции –

$$t_{\text{тп}} = 1 + 2 + \frac{(10,45 + 10,45) / 2}{(5,6 + 5,5) / 2} = 4,88;$$

• при чередовании Х–ОП:

– на первой тормозной позиции –

$$t_{\text{тп}} = 1 + 2 + \frac{(10,45 + 10,45) / 2}{(4,6 + 3,9) / 2} = 5,46;$$

– на второй тормозной позиции –

$$t_{\text{тп}} = 1 + 2 + \frac{(10,45 + 10,45) / 2}{(5,7 + 5,1) / 2} = 4,94.$$

Используя рассчитанные выше минимально необходимые интервалы времени между отцепами, а также фактические интервалы, полученные моделированием процесса роспуска, выполним расчет резерва времени на разделительных элементах сортировочной горки. Результаты расчета сведены в таблицу 8.4.

Таблица 8.4 – Определение резерва времени на разделительных элементах плана горочной горловины

Разделительный элемент	Интервалы времени при чередовании бегунов, с					
	ОП–Х			Х–ОП		
	$t_{\text{ф}}$	$t_{\text{мин}}$	Δt	$t_{\text{ф}}$	$t_{\text{мин}}$	Δt
Вершина горки	8,7			11,2		
Первая тормозная позиция	10,78	5,3	5,48	17,06	5,46	11,6

Окончание таблицы 8.4

Разделительный элемент	Интервалы времени при чередовании бегунов, с					
	ОП–Х			Х–ОП		
	t_{ϕ}	t_{\min}	Δt	t_{ϕ}	t_{\min}	Δt
Первый стрелочный перевод	12,90	5,78	7,12	14,94	5,73	9,21
Вторая тормозная позиция	13,38	4,88	8,5	14,46	4,94	9,52
Последний стрелочный перевод	14,94	7,02	7,92	12,90	6,66	6,24

Данные таблицы 8.4 показывают, что на первой тормозной позиции при чередовании отцепов ОП–Х резерв времени наименьший (5,48 с) и с запасом превышает минимально необходимое значение, равное 1 с. Это означает, что проверка конструкции проектируемого продольного профиля на возможность реализации установленной скорости роспуска v_0 выполняется и расчетные отцепы при скатывании в неблагоприятном, наиболее трудном сочетании ОП–Х/Х–ОП могут быть своевременно разделены. При величине начального интервала на вершине горки между очень «плохим» и «хорошим» бегунами в сочетании ОП–Х, равном 8,7, с скорость роспуска можно повысить до величины [15, формула (4.98)]

$$v_0^{\max} = \frac{l_b^{\text{оп}} + l_b^x - 2\Delta l_{\text{отр}}}{2(t_0^{\text{оп-x}} - \Delta t_{\text{рез}})}, \text{ или } v_0^{\max} = \frac{13,92 + 13,92 - 2 \cdot 1,8}{2(8,7 - 5,48)} = 3,76 \text{ м/с.} \quad (8.3)$$

Таким образом, результаты моделирования процесса роспуска в выбранном режиме показали, что условия проверки выполняются, а динамические качества являются удовлетворительными для горки средней мощности. Скорость роспуска может быть повышена с 1,4 м/с до максимально допустимой 2,0–2,2 м/с.

По результатам моделирования работы сортировочной горки на основе результатов работы программы выполняется **анализ продольного профиля спускной части сортировочной горки и оценка его качества** в соответствии с методикой и примером, приведенными в пункте 6.5 (пример 6.13).

1 Существенное превышение существующей высоты сортировочной горки $H_c = 2,89$ м минимально необходимой величины (см. пример 6.7) на величину $\Delta H = 0,40$ м эн. в.). В условиях резкой дифференциации параметров перерабатываемого на сортировочной горке вагонопотока на легковесные и тяжеловесные это приводит к необходимости излишнего торможения тяжелых отцепов ($\approx 30\%$), особенно скатывающихся на центральные пути сортировочного парка.

2 Расположение второй (пучковой) тормозной позиции в части симметричного стрелочного перевода № 220 марки 1/6. Данный перевод, как и стрелочный перевод № 234, входит в маршрут отправления сформированных поездов с сортировочно-отправочных путей и их пропуск производится

через башмакосбрасыватели тормозных позиций. При необходимости работы в одно лицо регулировщикам скоростей движения отцепов необходимо пересекать железнодорожный путь перед движущимся неуправляемым подвижным составом для укладки тормозных башмаков на внешние (крайне левую или крайне правую) рельсовые нити стрелочного перевода № 220.

3 Конструктивные особенности горочной горловины ухудшают ее эксплуатационные качества из-за недостаточно рациональной увязки крайних путей парка, выхода из парка на главные пути, применения стрелочных переводов марки 1/9 и 1/11, расположения горба горки и тормозных позиций в кривых участках путей и наличия узких междупутий менее 4,8 м.

4 Результаты моделирования работы сортировочной горки в существующих условиях (рисунок 8.13):

4.1 Скорости входа отцепов ХБ и ОХБ на башмак, укладываемый на первой тормозной позиции (I ТП), несколько выше допустимой $v_{вх}=4,6$ м/с (4,5 м/с); на второй тормозной позиции (II ТП) значительно выше допустимой $v_{вх}=5,5\dots5,7$ м/с; на парковой (ПТП) – $v_{вх}=4,0\dots4,9$ м/с, что превышает и допустимую конструкционную скорость входа на башмак, и нормативную (3,5 м/с).

4.2 Минимально необходимые интервалы между скатывающимися отцепами в неблагоприятных сочетаниях ОП–Х–ОП достаточны для их разделения на СП № 204 и обеспечиваются лишь при погашении энергии ХБ на I ТП не более 35 %, на II ТП – не более 17 %, однако это приводит к увеличению скорости входа ХБ на башмак на ПТП до $v_{вх}=4,9$ м/с, что выше допустимой.

4.3 Наличной мощности тормозных средств достаточно для остановки ОХБ в конце парковой тормозной позиции, однако не обеспечивается требуемый резерв мощности (20 %), необходимый для погашения погрешностей торможения в системе регулирования скоростей скатывания отцепов с горки.

4.4 Плохой бегун имеет остаточную энергию в расчетной точке пути № 43, соответствующую скорости 2,2 м/с, которая может быть погашена тормозными средствами до допустимой величины 1,4 м/с.

5 Конструкция продольного профиля спускной части горки и начала сортировочного «трудного» пути № 43 имеет волнообразный (пилообразный) характер, с явно выраженными дефектами (рисунки 8.11, 8.12). Основная профильная высота горки сконцентрирована на участке между вершиной горки и стрелочным переводом № 234. При этом крутизна отдельных участков I ТП превышает допустимую (30 ‰) в соответствии с [7] крутизну немеханизированных тормозных позиций. Остальная часть горки имеет элементы с пологими уклонами в диапазоне от 0 до 3,9 ‰, содержание которой в соответствии с нормами весьма трудоемка. Вследствие этого допущены противоуклоны крутизной – 1–2 ‰, уровень парковой тормозной по-

зиции ниже уровня начала сортировочных путей, что может способствовать самопроизвольному движению отцепов с выходом на маршруты отправляющихся поездов с сортировочно-отправочных путей Южного парка. Вторая тормозная позиция размещена на элементе с недостаточной крутизной 3,7 ‰, т. е. требуемая нормативная величина этого уклона составляет 7 ‰ [7].

Пример 8.4. Изучить технические средства и порядок выполнения инженерно-геодезической съемки местности для размещения станционной площадки проектируемой станции или элементов технического оснащения существующих железнодорожных станций с использованием спутниковых навигационно-измерительных систем (на примере одночастотной GPS-системы Trimble R3). Полученные данные предназначены для использования в геоинформационных системах (ГИС ИЖДТ, «Паспорт ОЖИ») при разработке электронных планов станций, их элементов для поддержки принятия решений в проектах развития инфраструктуры железнодорожного транспорта, при паспортизации транспортных объектов.

Р е ш е н и е. Система Trimble R3 представляет собой спутниковую навигационно-измерительную трехкомпонентную GPS-систему (комплекс) американской фирмы TDS Trimble Navigation Limited (США), предназначенную для навигации и инженерно-геодезических измерений на местности с сантиметровой точностью, для сбора ГИС-данных [25, подразд. 22.2, 22.3]. Внешний вид спутникового оборудования GPS-системы Trimble R3 показан на рисунке 8.14.

GPS-система Trimble R3 широко использовалась для инженерно-геодезической съемки местности в районе строительства первой атомной электростанции в Республике Беларусь. Технические характеристики GPS-системы Trimble R3 представлены в таблице 8.5. Рассмотрим основные части и устройства 12-канальной аппаратуры спутниковой навигационно-измерительной системы, функционирующей на базе одночастотного фазового GPS-приемника Trimble R3 (рисунок 8.14). Она включает антенно-фидерное устройство 1 (антенна), высокочастотный блок 2, совмещенный с контроллером Recon 3, устройства оперативной памяти для хранения данных объемом 64 Мб и встроенной флэш-памяти объемом 128 Мб, объединенные в одну систему. При необходимости этот объем может быть увеличен с помощью дополнительных карт памяти.

Аппаратные и программные компоненты системы предназначены для совместной работы. Контроллер аппаратуры 3 представляет собой карманный компьютер КПК на процессоре Intel XScale частотой 400 МГц, специально разработанном для работы в сложных полевых условиях. КПК выдерживает многочисленные падения, экстремальные температуры и погружения в воду. В карманный компьютер устанавливаются операционные системы, например, Microsoft Windows Mobile 5.0 для Pocket PC, ставшая ми-

ровым стандартом для КПК. Она позволяет использовать специализированные программы, предназначенные для Pocket PC, например Pocket Word или Pocket Excel. Это делает систему Trimble R3 гибкой для использования различными группами пользователей.



Рисунок 8.14 – КПК Recon (а) и интегрированная одночастотная GPS-система определения координат на местности Trimble R3 в сборе (б)

Для реализации технологий спутниковых измерений, управления системой разработана полевая программа Trimble Digital Fieldbook, в которой применяется технология Maxwell. Она позволяет быстро, удобно и эффективно выполнять статическую, быстростатическую, кинематическую и непрерывную кинематическую съемки на коротких и средних базовых линиях. Программа имеет простую структуру и дружелюбный интерфейс. Trimble Digital Fieldbook работает на основе активного экрана карты, изменяющегося в реальном времени. Для ускорения навигации или получения доступа к данным используются возможности цветного сенсорного дисплея контроллера Trimble Recon. Результаты измерений сохраняются на КПК в отдельный файл проекта для упрощения передачи данных, а затем передаются для обработки в стационарный компьютер или ноутбук. Передача данных в компьютер осуществляется со скоростью свыше 1 Мб в секунду. Данные можно передать по электронной почте.

Т а б л и ц а 8.5 – Основные характеристики спутниковой интегрированной одночастотной GPS-системы TRIMBLE R3

Параметр		Характеристика
Измерения на 12 каналах, каждый из которых удерживает контакт с одним спутником системы GPS (США)		Одночастотные измерения L1 с C/A кодом и полным циклом несущей частоты L1, возможность учитывать поправки системы WAAS/EGNOS
Режим обработки измерений		Постобработка L1 GPS-данных с помощью Trimble Business Center
Размеры (Ш × В × Д), см		9,5 × 4,4 × 24,2
Масса с внутренней батареей и масса батареи, кг		0,620; 0,200
Корпус		Легкий, полностью герметичный, усиленный промышленный пластик
Защита от пыли и песка		Соответствует стандарту IP6X
Водонепроницаемость		Соответствует стандарту IPX7
Ударо- и вибропрочность:	удар	MIL-STD-810F, выдерживает падение на бетон с высоты 1 м
	вибрация	MIL-STD-810F по каждой оси
Электрическое питание, В		Вход 5,0 DC
Мощность потребления приемника с антенной, Вт		0,6
Емкость батареи, ч		До 8 часов при полной зарядке
Зарядка батареи		Внутренняя с помощью внешнего AC-адаптера
Точность измерений при GPS-съемке относительно длины базовой линии <i>D</i>	статическая и быструстатическая	±(5 мм + 0,5·10 ⁻⁶ <i>D</i>) СКО* в плане; ±(5 мм + 1,0·10 ⁻⁶ <i>D</i>) СКО по высоте
	кинематическая	±(10 мм + 1,0·10 ⁻⁶ <i>D</i>) СКО в плане; ±(20 мм + 1,0·10 ⁻⁶ <i>D</i>) СКО по высоте
	дифференциальная WAAS/EGNOS в реальном времени	Обычно <3 м СКО
Рабочая температура, °С, и влажность		От –30 до +60; влажность 100 %, конденсированная
Связь		Порт внешнего DC питания; COM-порт RS232; встроенный USB-порт для передачи данных со скоростью 1 Мб/с; SMB разъем для подключения внешней GPS антенны; два порта CompactFlash при установленном Trimble R3
Запись данных с интервалом 15 с (объем памяти 64 Мб)		Более 900 часов непрерывной записи L1 данных от 6 спутников
* СКО – среднеквадратическое отклонение определения координат точек относительно их среднего значения.		

В камеральных условиях для быстрой обработки базовых линий и получения результатов сантиметровой точности используется мощная офисная программа Trimble Business Center (рисунок 8.15). Она выполняет преобразование данных, различные вычисления, контроль качества и уравнивание сетей. Программа имеет также средства поиска и исправления полевых ошибок. С ее помощью можно экспортировать пункты опорного обоснования и карты-подложки в полевую программу Trimble Digital Fieldbook, установленную в контроллере. Кроме данной программы для работы могут устанавливаться дополнительные программы: GPS Configurator, TerraSync (Trimble Navigation), Survey Pro (TDS), а также программное обеспечение Credo (СП «Кредо-Диалог») и др. Они используются для управления информацией, полученной с помощью большинства геодезических инструментов, таких как электронные тахеометры, спутниковые приемники.

Рассмотрим порядок выполнения GPS-съемки для сбора ГИС-данных различными методами относительного позиционирования с помощью спутниковой измерительной GPS-системы Trimble R3. Подробная характеристика спутниковых методов измерений на местности приведена в [25]. Для съемки используются два идентичных комплекта Trimble R3. КПК Recon имеет сенсорный экран, поэтому все команды системе вводятся специальным указателем – стилусом 4 (см. рисунок 8.14). Производство измерительных работ на местности для определения координат точек и длин базовых линий разбивается на следующие этапы.

1 Предварительная подготовка. В комплекс работ по подготовке к GPS-съемке входит проверка оптического центрира, с помощью которого антенна устанавливается над точкой (визирная ось центрира должна совпадать с отвесной линией при выведенном на середину пузырьке уровня), проверка исправности приемника, проверка доступного объема памяти КПК, зарядка аккумулятора, а также проверка комплектности оборудования. Для проверки исправности приемника выполняют измерение двумя приемниками нулевой базовой линии, подсоединяя их к одной антенне.

2 Оценка возможности проведения наблюдений на точке местности. Проверяется наличие деревьев, зданий, транспорта, людей, которые могут повлиять на качество сигналов или даже заблокировать их. Рекомендуемое удаление объектов от антенны составляет 15 м. Если есть возможность выбора места для установки антенны, то предпочтительнее самое высокое и надежное место.

3 Установка антенны над точкой. Вначале над базовой точкой примерно устанавливается штатив, а затем на нем закрепляется трегер с центриром. Далее производится регулирование уровня верха штатива путем изменения длины ножек штатива. При необходимости становой винт штатива ослабляется и трегер предварительно передвигается в такое положение, чтобы перекрестие сетки нитей центрира находилось на марке или рядом. Окончательное приведение пузырька в нуль-пункт выполняют подъемными винтами трегера. После этого на штатив устанавливается антенна приемника.

Установка подвижного приемника с антенной над определяемой точкой производится с помощью штанги-биноги (бипода) по уровню.

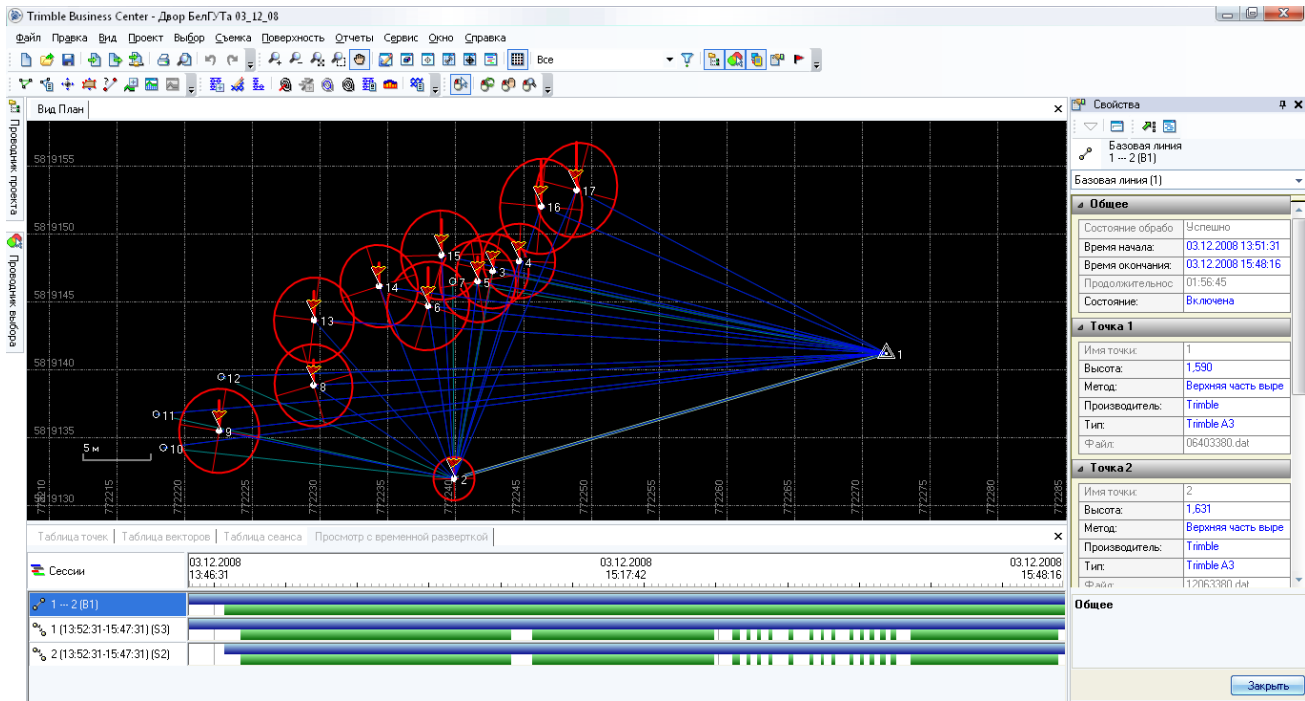


Рисунок 8.15 – Постобработка спутниковых наблюдений, выполненных с помощью системы Trimble R3 с использованием программного обеспечения Trimble Business Center

4 Установка аппаратуры. Располагать приемник с КПК Recon на штативе (биподе) с помощью специального крепления следует так, чтобы был обеспечен свободный доступ к штативу для контроля постоянства расположения антенны и возможности измерения ее высоты без нарушения отслеживания спутников, что предварительно устанавливается по альманаху. Антенна соединяется специальным кабелем с приемником.

5 Измерение высоты антенны (фазового центра антенны F). Без точного указания высоты антенны невозможно получить точные измерения. Опыт показывает, что при измерении высоты антенны совершается наибольшее количество ошибок, поэтому эту операцию тщательно выполняют до начала и после окончания наблюдений, а также в их процессе. Над маркой точки измеряется высота некоторой характерной точки антенны, а не истинное положение фазового центра антенны F (рисунок 8.16). Этой точкой может быть точка на оси (bottom of mount или низ монтировки) или на краю антенны (corner – угол, notch – выемка, hook – крюк). Тогда истинная высота фазового центра F антенны.

$$h = h_1 + \Delta h = \sqrt{h'^2 - l^2} + \Delta h, \quad (8.4)$$

где Δh – смещение по вертикали точки, от которой измеряется высота антенны, относительно ее фазового центра F , м; h' – неисправленная или наклонная высота антенны в некоторой характерной точке, м; l – расстояние от фазового центра F до края антенны, м. Значения l , Δh являются заводскими параметрами и известны для конкретного типа антенны.

В процессе работы пользователю не нужно делать какие-либо вычисления, достаточно указать в полевой программе, установленной в КПК, какая высота измерена, и ее значение h' .

6 Начало измерений на базовой станции. Включить приемник на базовой станции и задать дату и время, если аккумулятор приемника был полностью разряжен. Загрузить полевую программу Trimble Digital Fieldbook v5.01. Главный экран КПК Recon и запуск программы показаны на рисунке 8.17. В верхней части экрана размещается панель состояния программы Digital Fieldbook, иконки которой характеризуют оборудование, подключенное к контроллеру, и режимы работы программы (таблица 8.6).

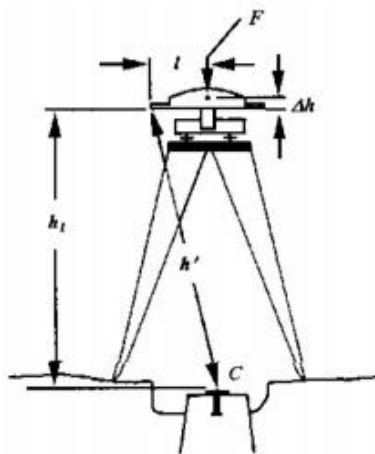


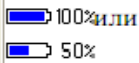











Рисунок 8.16 – Определение высоты спутниковой антенны

Таблица 8.6 – Смысловая интерпретация графических знаков (иконок) на панели состояния программы Trimble Digital Fieldbook v5.01

Значок	Что обозначает
	Контроллер присоединён к внешнему источнику электропитания и работает от него.
	Контроллер присоединён к внешнему источнику электропитания и его аккумуляторные батареи заряжаются.
	Заряд батареи составляет 100% или 50%. Если эта иконка отображается сверху, она показывает уровень заряда батареи контроллера. Если иконка ниже батареи контроллера, то она относится к уровню заряда внешнего устройства.
	Используется приемник 5800.
	Используется приемник Trimble R3.
	Совместно с контроллером используется приёмник 5700 L1.
	Используется антенна Trimble A3 или Zephyr. Высота антенны показана справа от значка.
	Происходит измерение статической точки.
	Радиосигнал будет принят.
	Будут приниматься сигналы WAAS/EGNOS.
	Происходит непрерывное измерение точек
	Если съёмка не запущена, справа от этой иконки будет показано число отслеживаемых спутников. При запущенной съёмке будет отображаться количество спутников, сигналы которых принимают участие в решении.

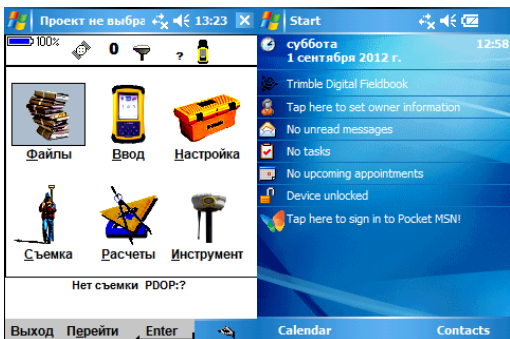


Рисунок 8.17 – Запуск полевой программы Trimble Digital Fieldbook

В главном меню программы (команда меню «Настройка») в подменю «Стили съемки» выполнить настройки различных стилей съемки (быстростатическая, кинематическая или кинематическая в реальном масштабе времени RTK), одинаковые для всех используемых в съемке приемников (рисунки 8.18–8.21).

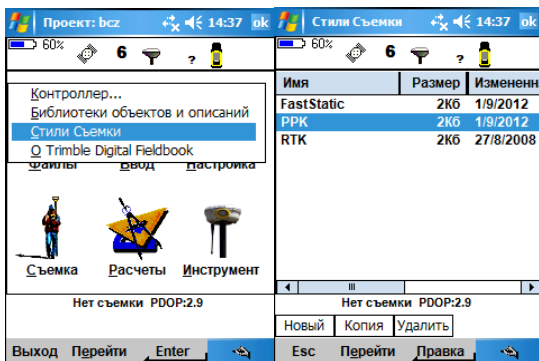


Рисунок 8.18 – Вход в подменю «Настройки параметров стилей съемки» и выбор режима «РРК»

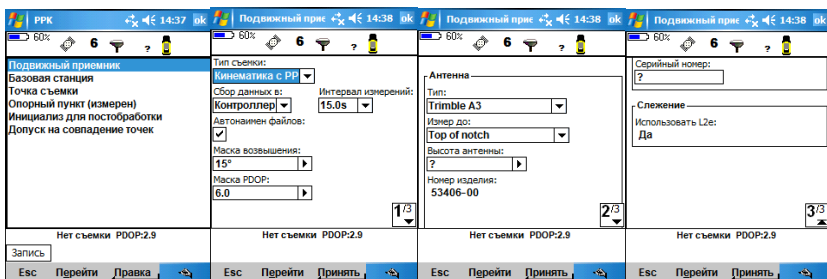


Рисунок 8.19 – Настройка параметров подвижного приемника режима «РРК» в подменю «Настройки параметров стилей съемки»

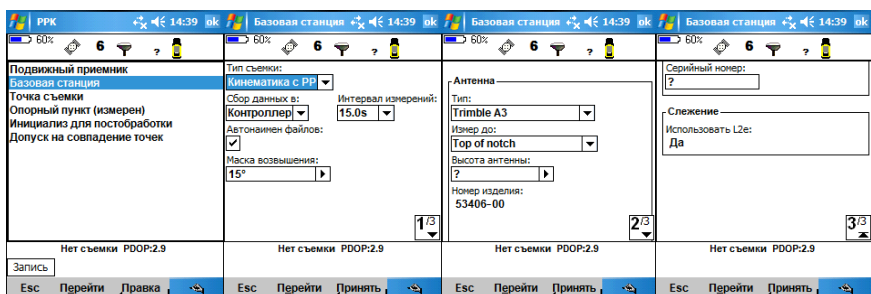


Рисунок 8.20 – Настройка параметров базовой станции режима «PPK» в подменю «Настройки параметров стилей съемки»

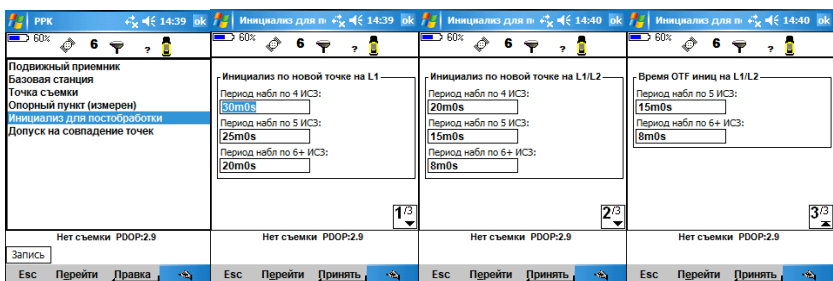


Рисунок 8.21 – Настройка параметров инициализации режима «PPK» в подменю «Настройки параметров стилей съемки»

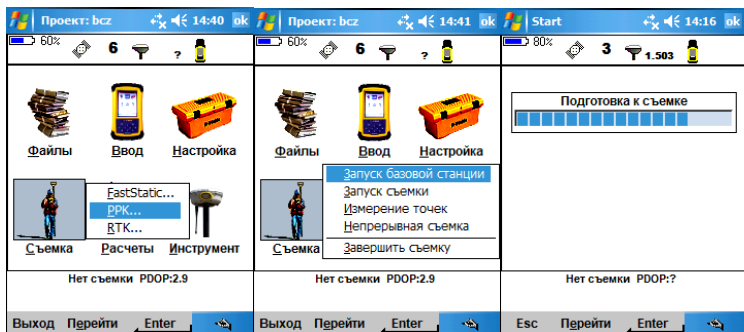
В подменю «Файлы» ввести параметры нового проекта. Задать координаты базовой точки в системе координат WGS-84 (GPS-приемники работают только в системе координат WGS-84, однако в процессе постобработки возможно преобразование координат в другие системы). Каждые 10 м ошибки в координатах приводят к масштабной ошибке в 1 мм/км длины базовой линии. Если координаты базовой точки неизвестны, выбрать использование автономных координат.

В подменю «Съемка» выбрать режим съемки «Быстрая статика» или «PPK» и запустить базовую станцию (рисунок 8.22).

Дождаться начала позиционирования, затем задать номер станции, высоту спутниковой антенны и ее характерной точки, до которой произведено измерение высоты. Подтвердить ввод командой «Запуск».

Иногда необходим продолжительный период (до 15 мин), пока приемник соберет альманах и вычислит свое положение. Если приемник долго не может вычислить свое положение, необходимо вручную ввести его грубые координаты. Рекомендуется проверять базовый приемник каждые 15 минут и записывать комментарии в полевой журнал. Контролируется состояние приемника, объем оставшейся памяти, энергоресурс, наличие срывов циклов, текущие геометрические факторы и др. При необходимости аналогичные действия выполняются на второй базовой станции.

а)



б)

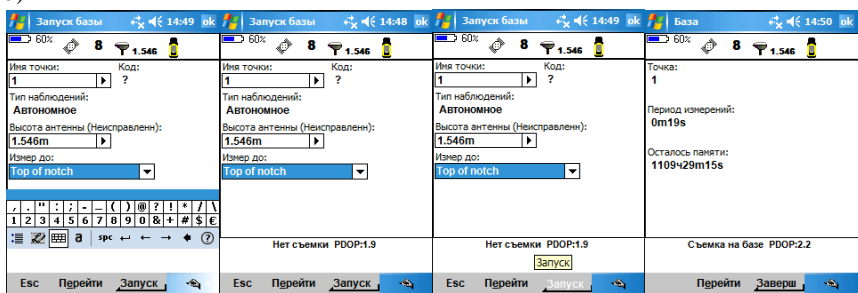


Рисунок 8.22 – Запуск базовой станции в режиме «РПК» (а) и указание ее номера, высоты антенны (б)

В системе Trimble R3 качество измерений контролируется с помощью коэффициента PDOP, характеризующего меру строгости спутниковой геометрии, связанной с расположением спутников на небесной сфере [25]. При съемке с высоким значением PDOP может усиливаться воздействие ошибок определения координат спутника.

7 Измерения на определяемых точках. Установить подвижный приемник на определяемой точке, которая должна быть закреплена на местности для быстрой повторной инициализации приемника по измеренной точке. Включить приемник и выполнить его настройки. Установить параметры нового проекта, аналогичные базовому приемнику. В подменю «Съемка» выбрать режим съемки «Быстрая статика» для независимого определения координат точек быстростатическим методом, а также методом «Реокупация» или режим кинематической съемки с постобработкой «РПК» для производства квазинепрерывной или топографической съемки. Параметр съемки «Поправка WAAS/EGNOS» должен быть отключен и включен параметр «L1». В случае кинематической съемки выбрать режим инициализации «По новой точке» и начать инициирование приемника командой «Запуск», пред-

варительно задав номер пункта, высоту антенны и точку ее измерения на антенне (рисунок 8.23). Зафиксировать инициализацию командой «Запись».

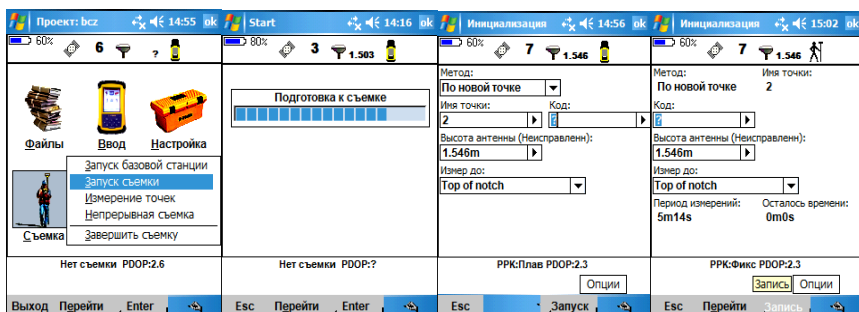


Рисунок 8.23 – Инициализация подвижного приемника методом «По новой точке» в режиме съемки «РРК»

В зависимости от условий съемки для инициализации потребуется 10–20 минут. В этом случае будет достигнута сантиметровая точность измерений при постобработке их результатов. Имеется возможность отменить инициализацию (в подменю «Инициализация»), однако в этом случае система будет работать в «грубом» (неточном) режиме. После принятия результатов инициализации командой «Начать» произвести измерение координат точки, на которой установлен подвижный приемник, и сохранить полученные результаты (рисунок 8.24).

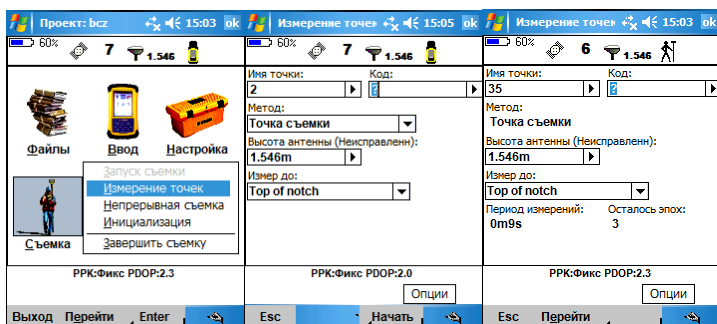


Рисунок 8.24 – Измерение координат точки в режиме «РРК»

При выполнении измерений критерий точности PDOP должен иметь фиксированное значение и не превышать заранее заданное значение (обычно 4–6). О недопустимо высоком значении PDOP приемник автоматически предупреждает пользователя голосовым сообщением. В этом случае целесообразно дождаться улучшения геометрии спутников или повторно инициализировать приемник и повторить измерения. В режиме «Быстрая статика»

можно начать съемку немедленно, не проводя инициализации приемника, однако необходимо следить за тем, что приемник собрал достаточное количество данных от спутников для получения однозначных точных решений: при четырех наблюдаемых спутниках – более 20 мин; при пяти спутниках – 10–20 мин; при шести и более спутниках – 5–10 мин. При этом должен быть установлен интервал времени между эпохами, равный 5 с, угол отсечки – 13°.

8 Измерения на пикетах. Не прерывая режим съемки «РРК», задают режим непрерывной кинематической съемки с фиксированным интервалом (для съемки с постобработкой). Минимальное значение интервала времени составляет 1 с. Номер пикета увеличивается автоматически в соответствии с заданным приращением. Непрерывные измерения координат новых точек начинают командой «Запуск» (рисунок 8.25).

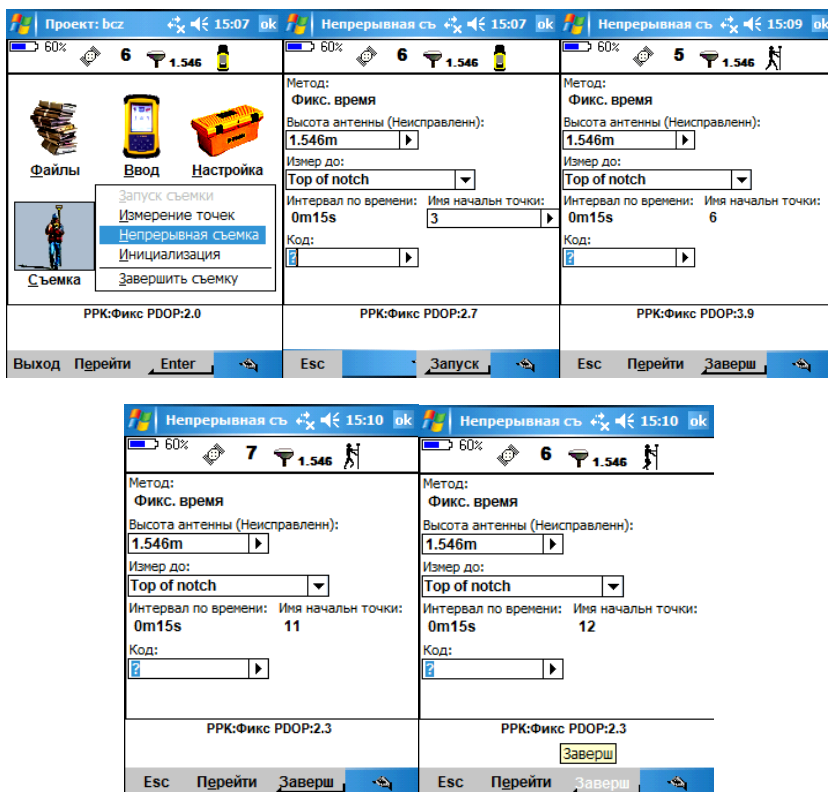


Рисунок 8.25 – Измерение координат пикетов № 3–12 методом непрерывной съемки в режиме «РРК»

Предварительно на пикете антенну приемника, закрепленную на биподе, приводят в вертикальное неподвижное положение с помощью уровня. Аналогичные действия выполняются на всех определяемых точках. При малом интервале времени между измерениями получают координаты траектории движения подвижного приемника. В случае срыва инициализации необходимо вернуться с подвижным приемником на закрепленную точку (точку инициализации приемника) и произвести повторную инициализацию в режиме «РРК» методом «По известной точке». Перед каждой повторной инициализации необходимо изменять высоту антенны. Продолжительность такой инициализации составляет около одной минуты (рисунок 8.26).

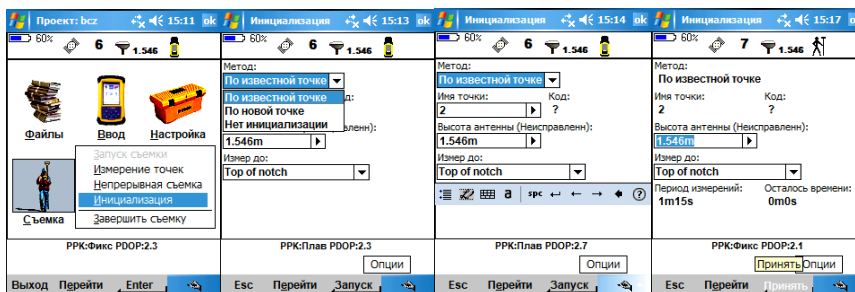


Рисунок 8.26 – Повторная инициализация спутникового приемника методом «По известной точке»

9 Убедившись, что все измерения произведены и данные наблюдений собраны в достаточном количестве, съемку завершают специальной командой в подменю «Съемка» (рисунок 8.27).

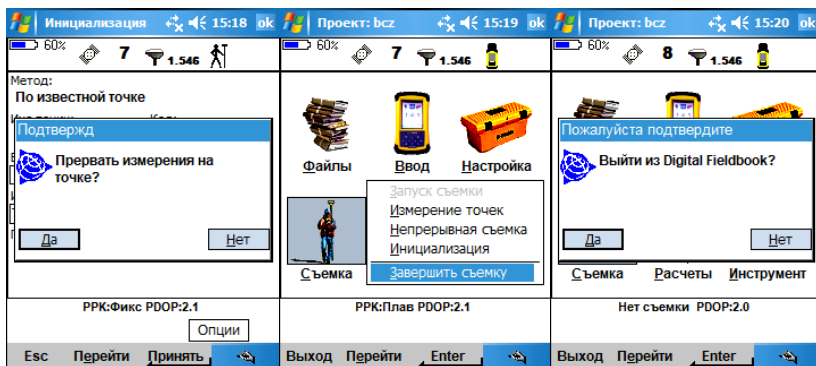


Рисунок 8.27 – Ввод команды «Завершить съемку» и выход из программы Digital Fieldbook

В процессе работы все данные записываются в файлы проекта. В камеральных условиях эти файлы передаются в программу Trimble Business Center (рисунок 8.15) для выполнения камеральной обработки данных и вычисления координат измеренных точек с сантиметровой точностью. Трехмерные координаты точек местности используются в дальнейшем для построения цифрового топографического плана участка местности, на котором будет располагаться станционная площадка проектируемой железнодорожной станции (парка или группы путей) [25]. Полученная таким образом топооснова необходима для расчета объемов земляных работ при сооружении железнодорожной станции и выбора оптимального варианта места ее расположения. С помощью топоосновы решаются вопросы водоотведения, прокладки инженерных коммуникаций, отведения дорог, сооружения путепроводных развязок, строительства крупных мостов и другие. Сравнение вариантов проектных решений выполняется на основе технико-экономических расчетов. Построение электронного плана и продольных профилей элементов технического оснащения железнодорожных станций производится по вычисленным трехмерным координатам точек аналогично рассмотренному ранее порядку (см. примеры 8.1–8.3).

8.2 Промежуточные станции

Пример 8.5. На промежуточной станции поперечного типа в связи с увеличением массы и длины поездов необходимо произвести удлинение приемо-отправочных путей от 850 до 1050 м. Расположение основных устройств на станции и характеристика станционной площадки и подходов к ней показаны на рисунке 8.28, *а, б*.

Решение. При удлинении станционных путей с целью сокращения объема строительных работ необходимо учитывать следующие факторы: резервы длины станционной площадки; план и продольный профиль главных путей на подходах к станции; конструкцию горловин станции и другие особенности (местные условия, результаты инженерно-геодезической съемки и т. п.). При разработке проекта удлинения приемо-отправочных путей следует руководствоваться требованиями, изложенными в [4] и другими нормативными документами.

Анализ рассматриваемой схемы станции (см. рисунок 8.28, *а*) показывает, что удлинять приемо-отправочные пути целесообразнее со стороны четной горловины, так как уклон на подходе из Б равен 5,1 ‰, а с подхода А – 6,0 ‰, и по конструкции четная горловина более простая по сравнению с нечетной. Профиль подхода в этом случае изменяется за пределами станционной площадки. При задании перейти от существующей полезной длины, равной 850 м, к новой – 1050 м величина удлинения путей определяется как разница между заданной (1050 м) и существующей (850 м) полезными длинами путей. В нашем случае она составляет 200 м. Уклон на участке удлинения следует принять 1,5 ‰.

Результаты расчетов отмечены на уклоноуказателях.

Объем земляных работ уменьшится, если на части существующей площадки (l_1) производить земляные работы, включив ее в участок удлинения ($l_{уд} + l_1$) (см. рисунок 8.28, в). Так, если $l_1 = 200$ м, то участок удлинения составит

$$l_{уд} + l_1 = 200 + 200 = 400 \text{ м}.$$

В этом случае отметка пути в точке перелома профиля составит

$$14,50 \cdot \frac{400 \cdot 1,5}{1000} = 13,90 \text{ м}.$$

Проектируемый уклон на перегоне

$$i_{пр} = 1000 \cdot \frac{5,1 - (4,50 - 13,90)}{800} = 5,6 \text{ ‰}.$$

Отметка точки Р, равная 9,40 м, в этом случае находится из выражения

$$14,50 - i_{уд} \cdot l_{уд} + l_{пр} \cdot i_{пр} = 14,50 - i_{ст} - i_{уд} \cdot l_{пр} \quad (8.5)$$

Проект удлинения приемо-отправочных путей разрабатывается следующим образом. Так как удлинение путей предусматривается на измененной в профиле части станционной площадки с уклоном 1,5 ‰ в сторону подхода Б, следует на продолжении приемо-отправочного пути 3 обозначить местоположения предохранительного тупика 10. Удлинение начинаем с приемо-отправочного пути 5 ($l_{полезн}^{сущ} = 850$ м), отложив от выходного сигнала (Н5) 200 м и получив новое его положение Н5. Затем от сигнала Н5 устанавливаем место расположения вершины угла поворота ВУ5, предельного столбика и центра стрелочного перевода 10. Под углом крестовины марки 1/9 соединяем ВУ 5 с осью приемо-отправочного пути 3, получив таким образом новое положение стрелочного перевода 8. От центра стрелочного перевода 8 по соответствующим схемам взаимного расположения укладываем съезд 6–4 марки 1/11 и находим центр стрелочного перевода 2, который под углом крестовины марки 1/11 соединяем с ВУ6. От предельного столбика стрелочного перевода 6 через 50 м находим положение упора тупикового пути 10.

Пример 8.6. На промежуточной станции полупродольного типа, представленной на рисунке 8.29, в связи с увеличением массы и длины обращающихся грузовых поездов необходимо выполнить переустройство, связанное с удлинением приемо-отправочных путей от полезной длины 1050 до 1250 м.

Решение. Руководствуясь подходом к решению задачи увеличения полезной длины приемо-отправочных путей, изложенным в примере 8.5, удлинение приемо-отправочных путей для такого типа станции предусматривается в направлении обоих подходов А и Б.

При переустройстве в четной горловине удлиняется приемо-отправочный путь 4. При этом переносится предельный столбик (ПС6) стрелочного перевода 6 на 200 м в сторону подхода Б. На аналогичное расстояние переносятся стрелочный перевод 6 и съезд 4–2 марки 1/11, а также сигнал Ч. От центра стрелочного перевода 6 по соответствующим схемам взаимного расположения укладываем съезд 24–22 марки 1/11.

В нечетной горловине удлинению подлежат пути 3 и 5 пути. При этом в сторону подхода А на расстояние 200 м переносим выходной сигнал с приемо-отправочного пути 3 (Ч3) и стрелочную улицу ЦП9–ЦП11–ВУП1. Затем на такое же расстояние переносятся съезд 1–3 и входной сигнал Н.

Пример 8.7. В связи с увеличением размеров грузового движения на направлении А–Б, а также объемов местной работы в грузовом районе на промежуточной станции, представленной на рисунке 8.30, необходимо уложить дополнительный приемо-отправочный путь, а также предусмотреть удлинение всех приемо-отправочных путей с 850 до 1050 м.

Решение. На рассматриваемой схеме промежуточной станции полупродольного типа (см. рисунок 8.30) укладку дополнительного приемо-отправочного пути 4 целесообразнее производить с той стороны, где располагается грузовой район, т. е. по другую сторону от пассажирского здания. Таким образом, новый приемо-отправочный путь 4 проектируется на расстоянии 5,3 м от оси приемо-отправочного пути 3 в сторону грузового района.

Укладка нового пути начинается с укладки нового съезда 5–7 марки 1/9 от центра стрелочного перевода 3 по соответствующей схеме взаимного расположения. От центра стрелочного перевода 5 по соответствующим схемам взаимного расположения укладываем съезд 9–11 марки 1/11 и находим новое место расположения выходного сигнала Ч1. От центра стрелочного перевода 9 на расстоянии $l_{\text{сигн}}$ согласно [1, таблицы 40, 41] устанавливаем на новом месте выходной сигнал Ч3 с приемо-отправочного пути 3.

От центра стрелочного перевода 7 на расстоянии a [1, таблица 19] устанавливаем сигнал Ч4. От предельного столбика стрелочного перевода 9 откладываем новую полезную длину 1050 м и получаем новое место положение сигнала Н3, от которого согласно [1, таблицы 40, 41] на расстоянии $l_{\text{сигн}}$ получаем центр стрелочного перевода 8. От центра стрелочного перевода 8 находим вершину угла поворота 2, предельный столбик ПС8 и сигнал Н4. По схеме взаимной укладки стрелочных переводов определяем расположение центра стрелочного перевода 6, от которого откладываем съезд 6–4 марки 1/11. От предельного столбика стрелочного перевода 6 через 50 м находим положение упора тупикового пути 6. От центра стрелочного перевода 4 определяем новое место выходного сигнала Н1.

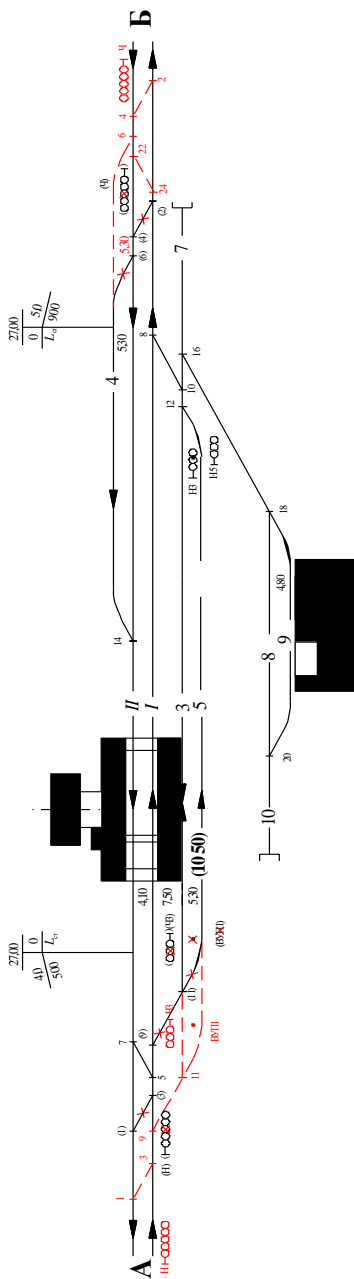


Рисунок 8.29 – Удлинение прямо-отправочных путей на станции полупроходного типа

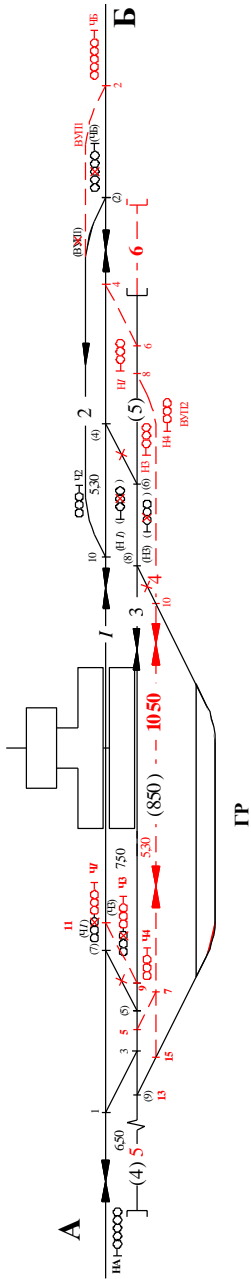


Рисунок 8.30 – Укладка дополнительного прямо-отправочного пути и удлинение прямо-отправочных путей на станции полупроходного типа

Приемо-отправочный путь 2 удлиняем в сторону перегона Б, переложив на 200 м центр стрелочного перевода 2, его предельный столбик, ВУП I и входной сигнал ЧБ.

Пример 8.8. Для организации обращения на направлении А–Б длинно-составных и соединенных грузовых поездов необходимо переустроить промежуточную станцию поперечного типа, представленную на рисунке 8.31.

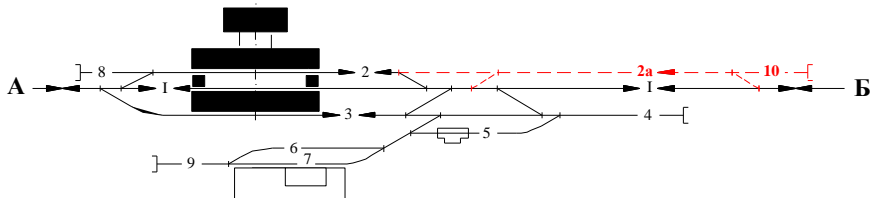


Рисунок 8.31 – Переустройство станции поперечного типа в связи с обращением длинносоставных и соединенных поездов

Решение. Согласно [4] и другим нормативным документам организация постоянного движения на направлении длинносоставных и соединенных грузовых поездов должна осуществлять на станции операции их скрещения или обгона. Для этого надо иметь приемо-отправочные пути соответствующей длины. Наилучшие условия для обслуживания этих поездов создаются при проектировании приемо-отправочных путей полезной длиной, кратной стандартной, установленной величины [4]. Для обеспечения требуемой пропускной способности и безопасных условий работы как с длинносоставными и соединенными поездами, так и с поездами унифицированной длины целесообразно новый приемо-отправочный путь располагать последовательно существующим, что позволяет в случае необходимости, соединять и разъединять сдвоенные поезда. Анализ схемы станции (см. рисунок 8.31) показывает, что укладку дополнительного приемо-отправочного пути 2а целесообразнее производить последовательно пути 2 в нечетной горловине станции. Кроме этого на станции предусматривается укладка двух съездов (см. пунктир на рисунке 8.31) и тупикового пути 10 последовательно пути 2а.

Пример 8.9. В связи со значительным ростом объемов перевозок на однопутной линии возникла необходимость укладки второго главного пути с переустройством промежуточных раздельных пунктов. Рассмотрим в этой связи возможный вариант переустройства промежуточной станции продольного типа, представленной на рисунке 8.32, с сохранением типа станции. Второй главный путь укладывается со стороны пассажирского здания на месте приемо-отправочного пути 2. Со стороны I главного пути требуется разместить дополнительный приемо-отправочный путь.

Решение. Место расположения второго главного пути в пределах промежуточной станции определяется проектом его укладки на всём протяжении участка, т. е. в данном случае со стороны пассажирского здания на расстоянии 5,30 м от оси I главного пути.

При этом I (главный путь) будет иметь одностороннюю специализацию для движения поездов с направления А на Б. Пассажирская платформа, расположенная у I главного пути, разбирается и укладывается рядом со вторым главным путем.

Поскольку тип промежуточной станции сохраняется, то замещающий приемо-отправочный путь 4 укладывается параллельно II главному пути по последовательной схеме. На месте (ВУП2) располагается центр стрелочного перевода 22 марки 1/9. От него по схеме взаимной укладки стрелочных переводов находим центр стрелочного перевода 20, от которого откладываем соединение двух параллельных путей ЦП20–ВУП2 марки 1/11 и определяем место расположения ВУП2. От центра стрелочного перевода 20 устанавливаем предельный столбик этого стрелочного перевода, а также сигнал Ч4, который располагается на расстоянии 3,50 м от предельного столбика стрелочного перевода 20 по правую сторону на расстоянии 3,10 м в полевую сторону от оси приемо-отправочного пути 4. От сигнала Ч4 откладываем требуемую минимальную полезную длину приемо-отправочного пути и находим положение предельного столбика стрелочного перевода 2. На расстоянии $l_{пс}$, согласно [1] располагаем на новом месте стрелочный перевод 2, от центра которого по взаимному расположению определяем место укладки центра нового стрелочного перевода 16, от которого откладываем съезд 16–18 марки 1/11. На расстоянии $50+a_0$ от центра стрелочного перевода 2 устанавливаем входной сигнал ЧБ.

Дополнительный приемо-отправочный путь 5 для обеспечения роста размеров движения размещаем со стороны грузового района на расстоянии 5,30 м от оси приемо-отправочного пути 3. От центра стрелочного перевода 12 по схеме взаимной укладки располагаем стрелочный перевод 28, от которого на расстоянии $l_{пс}$ [1] устанавливаем его предельный столбик, а на расстоянии $l_{сигн}$ – выходной сигнал НЗ с пути 3. От центра стрелочного перевода 28 откладываем съезд 28–30 марки 1/9. На расстоянии a от центра стрелочного перевода 30 устанавливаем новый выходной сигнал Н5, а на расстоянии $l_{пс}$ – предельные столбики стрелочных переводов 28 и 30. На расстоянии $l_{сигн}$ от центра стрелочного перевода 28 устанавливаем выходной сигнал НЗ. От центра стрелочного перевода 14 на расстоянии $5,30 \cdot 9 = 47,7$ м получаем положение нового стрелочного перевода 32 марки 1/9.

От центра стрелочного перевода 10 по схеме взаимной укладки размещаем стрелочный перевод 24, от которого на расстоянии $l_{пс}$ устанавливаем предельный столбик этого стрелочного перевода, а на расстоянии $l_{сигн}$ – выходной сигнал Н1 с главного пути I. От центра стрелочного перевода 24 откладываем съезд 24–26 марки 1/11 и на расстоянии $l_{пс}$ предельный столбик этого стрелочного перевода.

Переход к нечетной горловине производится через полезную длину самого короткого приемо-отправочного пути 5 в четном направлении (от вы-

ходного сигнала Н5 до выходного сигнала Ч5) с установкой нового выходного сигнала Ч5 с пути 5, от которого на расстоянии $l_{\text{сигн}}$ определяется положение центра стрелочного перевода 13 и его предельный столбик на расстоянии $l_{\text{пс}}$. По схеме взаимного расположения стрелочных переводов от центра стрелочного перевода 13 находим центр стрелочного перевода 17 и предельный столбик этого стрелочного перевода. Дальнейшее переустройство нечетной горловины выполняется аналогичным образом, описанным ранее в примерах 8.5–8.8.

Пример 8.10. Требуется переустроить промежуточную станцию продольного типа, представленную на рисунке 8.33, с переходом к поперечному типу. Второй главный путь укладывается со стороны пассажирского здания на месте приемо-отправочного пути 2, дополнительный приемо-отправочный путь – между 3 приемо-отправочным путем и грузовым районом (ГР).

Решение. В отличие от предыдущего примера замещающий приемо-отправочный путь 4 укладывается со стороны пассажирского здания на расстоянии 5,30 м от оси приемо-отправочного пути 2. В данном случае сокращается длина станционной площадки и количество стрелочных горловин. Удлинение новых приемо-отправочных путей осуществляется в сторону подхода А. Пассажирская платформа у I главного пути со стороны пассажирского здания демонтируется, и сооружается новая у приемо-отправочного пути 4.

Переустройство станции в поперечный тип и укладка дополнительного приемо-отправочного пути 5 со стороны грузового района выполняется согласно последовательности, приведенной в примерах 8.5–8.9.

Пример 8.11. В связи с примыканием новой магистральной линии В–Н со стороны направления Б–Н необходимо переустроить промежуточную станцию «Н» поперечного типа, представленную на рисунке 8.34. На станции требуется разместить новый (III) главный и два дополнительных приемо-отправочных пути.

Решение. Примыкание новой магистральной линии В–Н к промежуточной станции изменяет ее назначение. Вместо линейной она становится узловой. Особенностью проектирования такой станции наряду с появлением нового главного пути III является изменение конструкции нечетной горловины, предусматривающей возможность одновременного приема поездов, как с основной линии Б–Н, так и вновь строящейся однопутной линии В–Н, а также изменение ее типа схемы с поперечного на полупродольный (продольный).

На рисунке 8.34 новая магистральная железнодорожная линия В–Н примыкает к станции главным путем III, который укладывается на расстоянии 10,60 м от оси существующего главного пути I с учетом расположения в этом же междупутье пассажирской платформы.

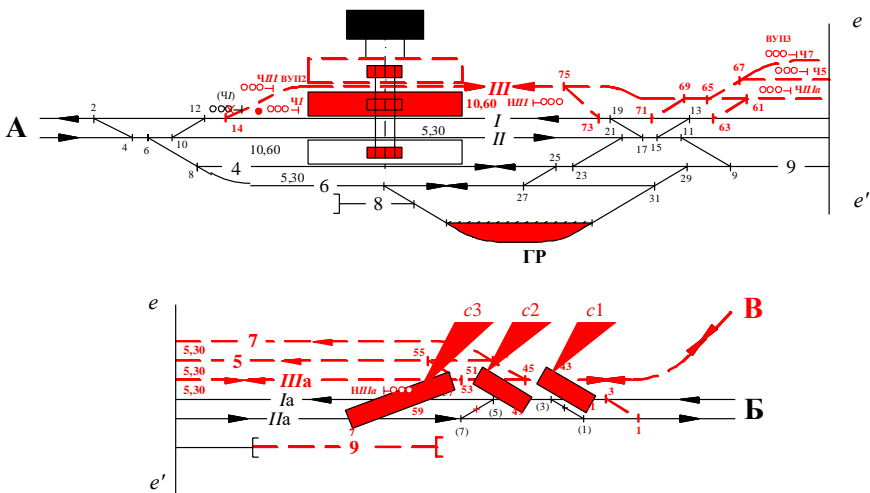


Рисунок 8.34 – Переустройство промежуточной станции при примыкании новой магистральной линии

Около пассажирского здания размещается новая основная пассажирская платформа, ширина которой зависит от расстояния до пассажирского здания, а длина равна длине существующей пассажирской платформы. Новый главный путь III примыкает ко II главному пути посредством стрелочного перевода 14, который откладывается по схеме I взаимной укладки от стрелочного перевода 12. От центра стрелочного перевода 14 на расстоянии $l_{пс}$ располагаем предельный столбик этого стрелочного перевода, а на расстоянии $l_{сигн}$ от центра стрелочного перевода устанавливается выходной сигнал Ч с главного пути I.

От центра стрелочного перевода 14 откладываем соединение двух параллельных путей ЦП14–ВУП2 марки 1/11 и определяем место расположения ВУП2. От предельного столбика стрелочного перевода 14 на расстоянии 3,50 м устанавливаем выходной сигнал ЧШ, который располагается по правую сторону от оси нового главного пути III на расстоянии 3,10 м в левую сторону.

По схеме взаимной укладки I от центра стрелочного перевода 19 укладывается стрелочный перевод 73, от которого на расстоянии $l_{пс}$ предельный столбик этого стрелочного перевода. От центра стрелочного перевода 73 на расстоянии $10,60 \cdot 11 = 116,6$ м получаем положение нового стрелочного перевода 75 марки 1/11, от которого на расстоянии $l_{пс}$ располагаем предельный столбик этого стрелочного перевода. Выходной сигнал НШ с нового главного пути III устанавливаем на расстоянии a от стрелочного перевода 75.

Новые приемо-отправочные пути 5 и 7, а также главный путь Ша укладываются на расстоянии 5,30 м от оси главного пути I. По схеме взаимной укладки от стрелочного перевода 13 укладываем стрелочный перевод 71 марки 1/11 и его предельный столбик на расстоянии $l_{пс}$. От центра стрелочного перевода 71 на расстоянии $5,30 \cdot 11 = 58,3$ м получаем положение нового стрелочного перевода 69 марки 1/11, от которого на расстоянии $l_{пс}$ располагаем предельный столбик этого стрелочного перевода. По схеме взаимной укладки от центра стрелочного перевода 69 получаем место расположения стрелочного перевода 65 и его предельного столбика на расстоянии $l_{пс}$.

От центра стрелочного перевода 65 откладываем стрелочную улицу ЦП65–ЦП67–ВУПЗ под маркой крестовины 1/9 и получаем центр стрелочного перевода 67 и месторасположение ВУПЗ. На расстоянии $l_{пс}$ располагаем предельные столбики стрелочных переводов 65 и 67, а также на соответствующем расстоянии – выходные сигналы с приемо-отправочных путей 5 и 7 соответственно Ч5 и Ч7. Сигнал Ч5 устанавливаем на расстоянии $l_{сигн}$ от центра стрелочного перевода 67, а сигнал Ч7 – на расстоянии 3,5 м от предельного столбика стрелочного перевода 67 в полевую сторону от оси приемо-отправочного пути 7. Далее от центра стрелочного перевода 13 по схеме взаимного расположения укладываем стрелочный перевод 63 марки 1/11, а также предельный столбик этого стрелочного перевода. От центра стрелочного перевода 63 на расстоянии $5,30 \cdot 11 = 58,3$ м получаем положение нового стрелочного перевода 61 марки 1/11, от которого на расстоянии $l_{пс}$ располагаем предельный столбик этого стрелочного перевода и на расстоянии a от его центра выходной сигнал ЧШа.

От выходного сигнала ЧШа откладываем минимальную полезную длину приемо-отправочных путей, равную 850 м, и определяем место положения выходного сигнала НШа, от которого на расстоянии $l_{сигн}$ устанавливается новый стрелочный перевод 57 марки 1/11 и его предельный столбик на расстоянии $l_{пс}$. От центра стрелочного перевода 57 на расстоянии $5,30 \cdot 11 = 58,3$ м получаем положение нового стрелочного перевода 59 марки 1/11, от которого на расстоянии $l_{пс}$ располагаем предельный столбик этого стрелочного перевода. По схеме взаимного расположения стрелочных переводов устанавливаем новое место расположения съезда 5–7 марки 1/11 и соответственно предельных столбиков этих стрелочных переводов. По схеме взаимной укладки стрелочных переводов от центра стрелочного перевода 57 устанавливаем место расположения стрелочного перевода 53 марки 1/9, а на расстоянии $l_{пс}$ – его предельного столбика. От центра стрелочного перевода 53 на расстоянии $5,30 \cdot 9 = 47,7$ м откладываем съезд 53–55 марки 1/9, от которого на расстоянии $l_{пс}$ располагаем предельный столбик стрелочного перевода 55. Аналогичным образом определяются места расположения всех остальных элементов горловины станции.

Пример 8.12. Необходимо переустроить промежуточную станцию поперечного типа, представленную на рисунке 8.35 ввиду увеличения объемов местной работы на железнодорожном направлении.

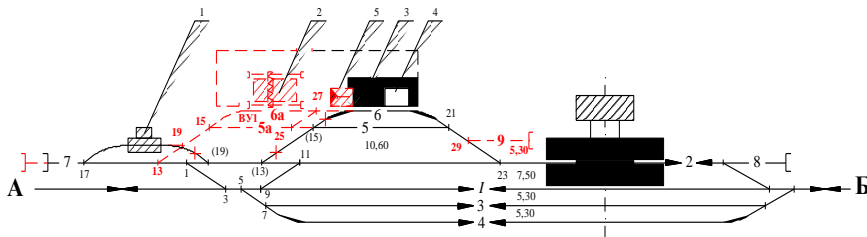


Рисунок 8.35 – Переустройство промежуточной станции поперечного типа при расположении грузового района параллельно станционным путям и развитии устройств грузового района:

- 1 – весы; 2 – площадка для контейнерных и тяжеловесных грузов; 3 – крытый склад; 4 – навалочная площадка; 5 – удлиняемая часть крытого склада

В связи с увеличением объемов местной работы на направлении, а, следовательно, и количества сборных поездов, с которыми поступают вагоны на промежуточную станцию под грузовые операции, следует предусмотреть удлинение существующего крытого склада и строительство новой площадки для контейнерных и тяжеловесных грузов.

Решение. Переустройство заключается в удлинении погрузочно-выгрузочного 6 и выставочного 5 путей и увеличению параметров крытого склада и сооружения новой открытой площадки (см. рисунок 8.35). Для изоляции маневровой работы по подаче (уборке) вагонов к крытому складу и навалочной площадке, в обход контейнерной, между путями 5 и 6 укладывается съезд 25–27, позволяющий секционировать пути 5 и 6. При этом изменяется схема подключения весового пути в правой его части. Для организации маневровой работы на станции дополнительно укладывается тупиковый путь 9 со стороны пассажирского здания на расстоянии 5,30 м от оси приемо-отправочного пути 2, а также предусматривается удлинение вытяжного пути 7.

Пример 8.13. В связи с введением на двухпутной линии скоростного движения пассажирских поездов (до 160 км/ч) необходимо произвести переустройство промежуточной станции поперечного типа, представленной на рисунке 8.36, с учетом технических требований, удовлетворяющих устанавливаемому режиму движения поездов.

Для обеспечения грузового и пассажирского движения на станции имеются два главных (I и II) и три приемо-отправочных (3, 4 и 6) пути. Пути I, II, 3 и 4 специализируются для приема и отправления пассажирских и региональных поездов, а путь 6 – грузовых поездов. Расстояние между осями I и II главных путей в пределах станции составляет 5,30 м, а на примыкающих перегонах – 4,10 м. В связи с этим на подходах к станции предусмотрено параллельное смещение главных путей.

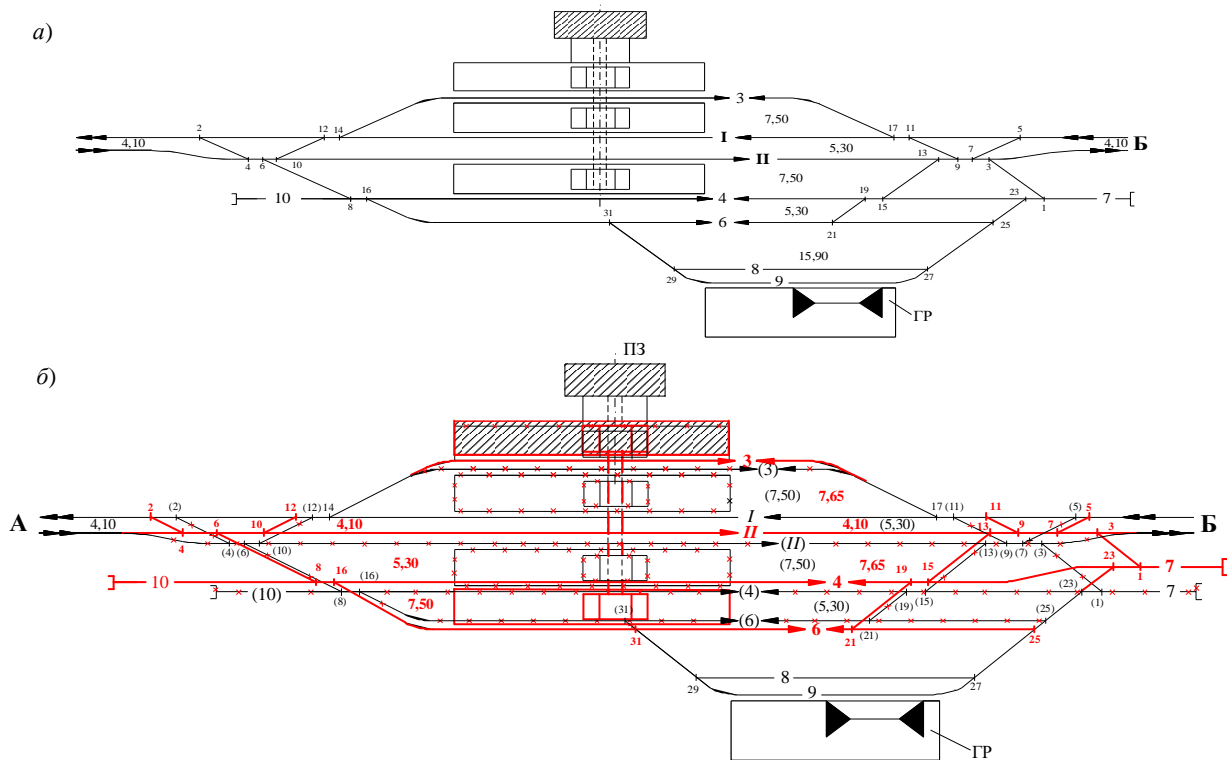


Рисунок 8.36 – Развитие промежуточной станции поперечного типа для обеспечения скоростного движения пассажирских поездов:

a – существующее положение станции; *б* – переустройство станции

Для посадки-высадки пассажиров на станции расположены: основная платформа у 3-го приемо-отправочного пути; а промежуточные платформы шириной 4 м – между 3-м и I главным и II главным и 4-м приемо-отправочным путями. В связи с этим расстояние между осями 3 и I и II и 4 путями составляет 7,50 м, а между 4 и 6 – 5,30 м. Для перспективного развития станции между 6-м путем и грузовым районом (ГР) предусмотрено уширенное междупутье, равное 15,90 м. В нечетной горловине станции имеется вытяжной путь 7, в четной – предохранительный тупик 10. Связь пассажирских платформ осуществляется с помощью тоннеля.

Решение. При развитии промежуточной станции для обеспечения скоростного движения пассажирских поездов со скоростью до 160 км/ч необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

- план главных путей в пределах отдельных пунктов (радиусы кривых, возвышение наружного рельса, длины переходных кривых и прямые вставки между смежными кривыми) должен удовлетворять тем же требованиям, что и к главным путям на перегонах [4];

- верхнее строение главных путей на станциях должно быть таким же, как и на подходах;

- на главных путях для каждого устанавливаемого уровня максимальных скоростей необходимо иметь стрелочные переводы не круче марки $1/11$ соответствующих конструкций: обыкновенные (v до 140 км/ч), скоростные усиленные с подуклонкой и жесткой крестовиной (v до 160 км/ч) и скоростные с непрерывной поверхностью катания в крестовине (v до 200 км/ч);

- между смежными стрелочными переводами при скоростях движения 140–200 км/ч должна размещаться прямая вставка длиной не менее 25 м для смягчения возникающих вертикальных возмущений при прохождении поезда из-за неровностей в плане в зонах остряков и крестовин смежных стрелочных переводов;

- стрелочные переводы необходимо размещать вне пределов вертикальных и круговых кривых;

- на главных путях в пределах станций с целью ликвидации обратных кривых, предназначенных для уширения междупутья на подходах к ним, расстояние между осями должно быть таким же, как и на перегонах (не менее 4,10 м), между главными и смежными приемо-отправочными путями – не менее 7,65 м;

- пассажирские устройства следует проектировать с учетом обеспечения полной безопасности пассажиров и создания для них наиболее комфортных условий. В связи с этим пассажирские платформы рекомендуется размещать с внешней стороны главных путей. Ширина этих платформ определяется в зависимости от их места положения с учетом воздействия воздушной среды при проследовании скоростного поезда и сооружением на них входов в тоннель или сходов с пешеходного моста и других устройств;

– пешеходные переходы через станционные пути должны устраиваться в разных уровнях, при этом преимущество следует отдавать тоннелям. При проектировании пассажирских устройств необходимо руководствоваться нормативами, изложенными в [29] и [30].

Наряду с этим требуют соответствующей реконструкции устройства электрической централизации стрелок и сигналов, контактной сети, водоотведения, снегозащиты и др.

Территория станции для исключения внезапного появления посторонних людей, животных, транспортных средств на всём протяжении должна быть ограждена сплошным забором.

В связи с вышеизложенными требованиями на заданной промежуточной станции для обеспечения пропуска скоростных пассажирских поездов и выполнения других видов работ, возложенных на нее, необходимо провести следующие мероприятия (см. рисунок 8.36, б):

– спрямить II главный путь, обеспечив между главными путями ширину междупутья 4,10 м;

– демонтировать промежуточные пассажирские платформы между путями I–3 и II–4, частично реконструировать основную платформу для обеспечения сдвижки 3-го пути;

– произвести сдвижку 3-го и перекладку 4-го приемо-отправочных путей для создания, согласно требованиям, между главными и смежными приемо-отправочными путями междупутного расстояния 7,65 м;

– уложить между 4-м и 6-м приемо-отправочными путями промежуточную пассажирскую платформу шириной 4 м, реконструировать тоннель;

– в четной и нечетной горловинах переложить на главных путях стрелочные переводы, обеспечив по принятым схемам взаимной укладки прямую вставку 25 м и связи с другими путями станции;

– переложить пути 7-й и 10-й.

Переустройство станции может быть комплексным, при котором решаются вопросы по развитию не только устройств для обслуживания пассажирского движения, но и грузового, включая удлинение существующих и укладку дополнительных приемо-отправочных путей и др.

8.3 Грузовые и участковые станции

Пример 8.14. В связи с увеличением объема местной работы на грузовой станции необходимо переустроить грузовой район (рисунок 8.37): удлинить крытый склад с внешним расположением железнодорожных путей, запроектировать новую открытую площадку для выполнения грузовых операций с контейнерами и тяжеловесными грузами и уложить дополнительные выставочные пути.

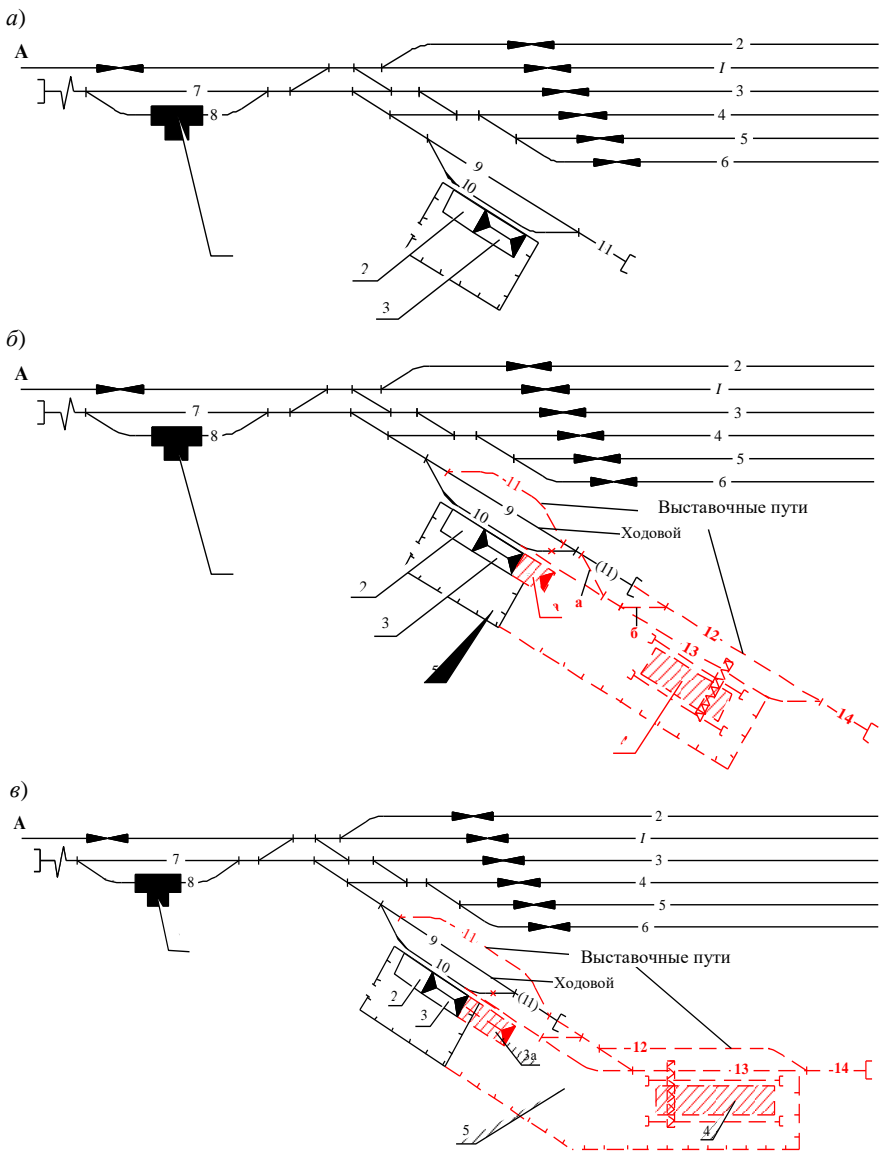


Рисунок 8.37 – Схемы развития грузового района:

a – существующее положение; *б* – I вариант развития; *в* – II вариант развития
 1 – вагонные весы; 2 – открытая площадка; 3 – крытый склад; 3а – пристраиваемая часть
 крытого склада; 4 – площадка для переработки контейнерных и тяжеловесных грузов;
 5 – территория грузового района

Решение. В рассматриваемом случае развитие грузового района наиболее приемлемо по двум вариантам. Первый, когда удлинение крытого склада и проектирование площадки для переработки контейнерных и тяжеловесных грузов осуществляется последовательно на продолжении существующих устройств под углом их примыкания к станции. Второй – проектируемая площадка для контейнерных и тяжеловесных грузов располагается параллельно путевому развитию станции на достаточном по нормам проектирования расстоянии (перспектива развития станционных путей, удаления объектов переработки грузов от станции).

По первому варианту (см. рисунок 8.37, б) переустройство грузового района осуществляется следующим образом. На продолжении путей 9 (11) и 10 проектируем новые – соответственно 12 (выставочный) и 14 (предохранительный тупик), а также путь 13 (погрузочно-выгрузочный). Затем, соблюдая нормы проектирования грузовых устройств, на требуемую длину удлиняем крытый склад (позиция 3а на рисунке 8.37, б). Для соединения между собой путей 9 и 13, а также 10 и 12 укладываем, как показано на рисунке, съезды *а* и *б*. После этого с учетом норм проектирования и оборудования средствами механизации, вдоль пути 13 размещаем новую площадку для контейнерных и тяжеловесных грузов. Выполнив эту процедуру, определяем требуемую полезную длину путей 12 и 13 и стрелочным переводом (см. рисунок 8.37, б) соединяем их между собой, а также проектируем предохранительный тупик 14. Для сокращения временных затрат и удобства обслуживания грузовых фронтов параллельно пути 9 укладываем дополнительный выставочный (ходовой) путь 11. Наличие путей 9 и 11 позволяет беспрепятственно обслуживать площадку для контейнерных и тяжеловесных грузов.

По второму варианту, в отличие от первого, площадка для контейнерных и тяжеловесных грузов располагается параллельно станционным путям. Для этого пути 12 и 13 соединяются с путями 9 и 10 под углом крестовины (см. рисунок 8.37, в). Возможны и другие схемы развития грузового района.

Выбор окончательного варианта развития грузового района производится на основе технико-экономических расчетов.

Пример 8.15. На грузовой станции, обслуживающей значительное количество путей необщего пользования различных промышленных предприятий и грузовой район (рисунок 8.38), необходимо запроектировать сортировочно-группировочный парк из пяти путей для расформирования передач и подборки вагонов на пути необщего пользования и грузовой район. Со стороны подхода Б примыкают пути необщего пользования № 1–3, со стороны подхода А – № 4–6. Между станционным путем 8 и грузовым районом имеется широкое междупутье, в котором возможна укладка дополнительных путей.

Р е ш е н и е. Анализируя схему станции на предмет выбора места расположения сортировочно-группировочного парка, следует, что наиболее приемлемым является участок территории, примыкающий к вытяжному пути 11 (в сторону примыкания путей необщего пользования № 4–6). Здесь обеспечивается удобная связь проектируемого парка с приемо-отправочными путями станции и грузовым районом (см. рисунок 8.38).

Пути сортировочно-группировочного парка располагаются следующим образом: между II главным и вытяжным путем (14 – по новой нумерации) укладывается один путь 13 со стороны ходового пути 15, связывающего пути необщего пользования со станционными, размещаются три новых пути 16–18. Путь 14а входит в состав названного парка. С помощью перекрестного съезда, уложенного в левой горловине парка, обеспечивается связь всех сортировочно-группировочных путей с вытяжным, который удлиняется до нужной величины, и путями необщего пользования № 4–6. Полезная длина сортировочно-группировочных путей согласно [4] рекомендуется 250–300 м.

Для обеспечения подачи вагонов на пути необщего пользования № 1–3 с минимальным количеством враждебных маршрутов между 8-м приемо-отправочным путем и грузовым районом укладывается ходовой путь 12. В связи с этим изменяется конструкция горловины станции со стороны подхода Б.

Пример 8.16. В связи с ростом объемов местной работы и с целью совершенствования технологии по обслуживанию путей необщего пользования на грузовой станции, представленной на рисунке 8.39, необходимо выполнить ряд реконструктивных мероприятий: запроектировать передаточный парк для обслуживания путей необщего пользования № 1–3; уложить выставочные пути для подачи-уборки вагонов на пути необщего пользования 4 и 5; разместить на станции новый грузовой район.

Р е ш е н и е. На грузовой станции для обслуживания примыкающих путей необщего пользования № 1–3 передаточный парк (см. рисунок 8.39) располагается непосредственно на пути их примыкания.

Для обслуживания путей необщего пользования № 4 и 5 в пределах станции параллельно приемо-отправочным путям 4, 6 и 8 укладываются выставочные пути 16 и 17, предназначенные для передачи вагонов на эти пути необщего пользования.

Ввиду невозможности развития существующего грузового района из-за отсутствия свободных территорий, на станции проектируется новый грузовой район параллельно приемо-отправочным путям 11 и 13. Для обслуживания этого грузового района дополнительно сооружается на расстоянии 5,30 м от оси приемо-отправочного пути 13 приемо-отправочный путь 15 и обеспечивается его связь с выставочными путями 16 и 17. Наряду с этим изменяется конструкция центральной и входной горловин со стороны Б, как показано на рисунке 8.39.

Пример 8.17. В связи со значительным увеличением размеров транзитного поездопотока на прилегающих железнодорожных направлениях А, Б и В на узловой участковой станции поперечного типа, представленной на рисунке 8.40, а, необходимо запроектировать дополнительный приемо-отправочный парк для обслуживания транзитных поездов без переработки, поступающих с направлений Б и В. Параметры станционной площадки позволяют разместить парки по схеме с продольным расположением.

Р е ш е н и е. На рассматриваемой узловой участковой станции (см. рисунок 8.40, б) с учетом существующей станционной площадки согласно [4] целесообразно проектировать дополнительный приемо-отправочный парк ПО-I для обработки нечетных транзитных поездов без переработки со стороны пассажирского здания смещенно в сторону примыкающих железнодорожных направлений Б и В.

Существующий нечетный приемо-отправочный парк ПО-I, специализированный ранее для обслуживания транзитных поездов без переработки с направлений Б и В, меняет свою специализацию для обслуживания четных транзитных поездов без переработки, прибывающих на станцию с направления А, и становится четным приемо-отправочным парком ПО-II. Приемо-отправочные пути 7, 9, 11 и ходовой 13 меняют свою специализацию для приема четных поездов из А соответственно на 8, 10, 12 и 14. Из существующего парка ПО-II приемо-отправочный путь 8 включается в новый приемо-отправочный парк ПО-II под номером 16. Остальные три пути приемо-отправочного парка ПО-II становятся приемо-отправочным парком ПО-III для приема-отправления сборных и участковых поездов со всех примыкающих направлений с изменением нумерации (10 – на 18, 12 – на 20, 14 – на 22).

В четной горловине станции выполняются следующие элементы переустройства (см. рисунок 8.40, б):

- приемо-отправочный путь 14 увязывается комбинированной стрелочной улицей с путем 16 и главным путем II;
- изменяется увязка путей 18, 20 и 22;
- разбирается тупиковый путь 17;
- вытяжной путь M_1 связывается с приемо-отправочным путем 18;

В нечетной горловине парков ПО-II и ПО-III:

- удлиняется приемо-отправочный путь 8;
- предусматривается одновременное отправление транзитных поездов без переработки на направления Б и В путем перевязки пути 16;
- разбираются ненужные группы съездов, предназначенные ранее для приема транзитных поездов без переработки с направлений Б и В.

Для разделения потоков четного и нечетного направлений, а также уменьшения количества враждебных передвижений на станции проектируется новый приемо-отправочный парк ПО-I, предназначенный для приема транзитных поездов без переработки с направлений Б и В и отправления их на А.

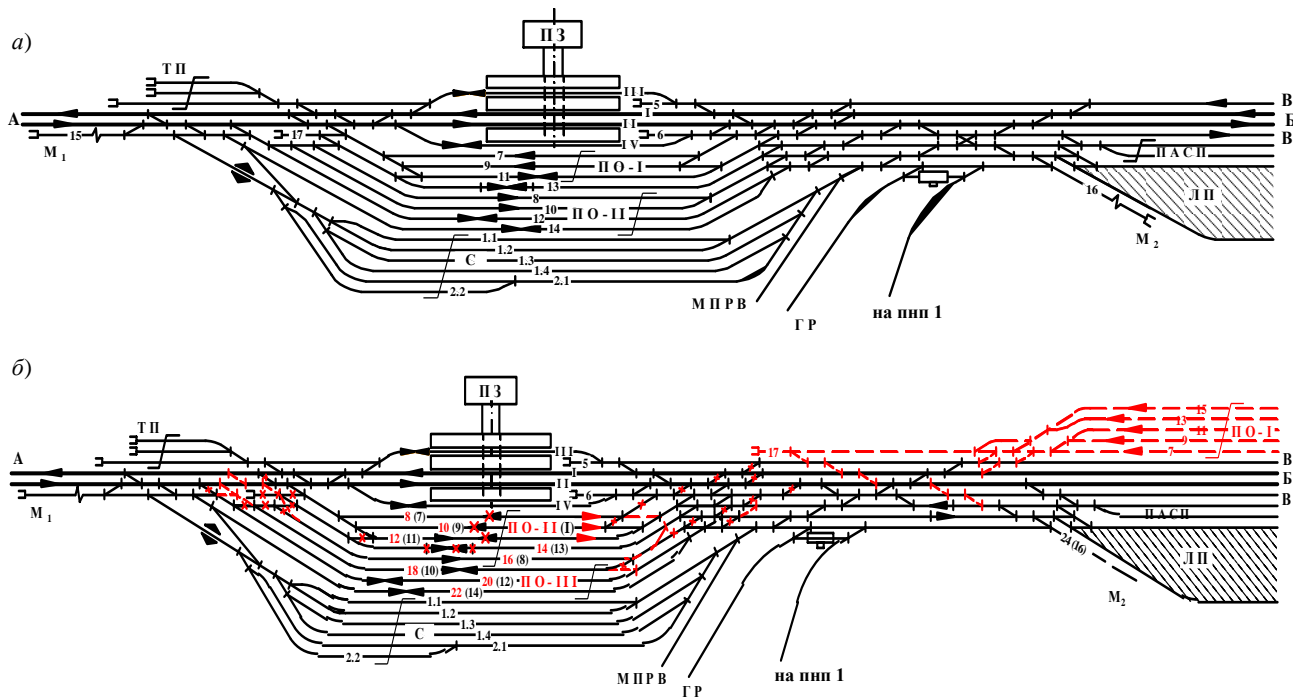


Рисунок 8.40 – Развитие участковой станции поперечного типа:
а – существующее положение станции; *б* – переустройство в станцию продольного типа

В парке проектируется пять приемо-отправочных путей (7, 9, 11, 13 и 15). Так как парк проектируется смещенно относительно оси пассажирского здания в сторону примыкающих направлений Б и В, в центральной горловине укладывается группа съездов, обеспечивающих связь сортировочного парка С и ПО-I для перестановки группы вагонов с сортировочных на приемо-отправочные пути. Для смены поездных локомотивов от составов нечетных транзитных поездов (с направлений Б и В) укладывается тупиковый путь 17, который при помощи группы съездов связывается с локомотивным предприятием (ЛП). Из парка путем укладки параллельных ходов предусматривается одновременное отправление поездов на А (с путей 7, 9 и 11) и смена поездных локомотивов у транзитных поездов (с путей 13 и 15).

Пример 8.18. В условиях увеличения размеров транзитного поездопотока без и с переработкой на прилегающих направлениях, а также объемов местной работы на узловой участковой станции продольного типа, представленной на рисунке 8.41, необходимо в приемо-отправочных парках ПО-I, ПО-II и ПО-III, имеющих соответственно 5, 5 и 3 пути, уложить по одному дополнительному приемо-отправочному пути, в сортировочном парке количество путей увеличить также на один.

Решение. В связи с увеличением размеров транзитного поездопотока на примыкающих к станции железнодорожных направлениях (А, Б и В), а также местной работы, связанной с увеличением объемов работы на грузовом терминале и примыкающем пути необщего пользования 1, в процессе эксплуатации возникла необходимость в усилении путевого развития станции продольного типа (см. рисунок 8.41).

В приемо-отправочном парке ПО-I дополнительный приемо-отправочный путь 19 укладывается на расстоянии 5,30 м в полевую сторону от оси приемо-отправочного пути 15. Для обеспечения возможности одновременного отправления транзитных поездов без переработки на направление А с верхней части путей парка (13, 15 и 19) и подачи-уборки поездных локомотивов на нижнюю часть путей (7, 9 и 11) укладывается обходной путь из парка.

С целью минимизации земляных работ по переустройству станции приемо-отправочный путь 16 из ПО-III переключается в ПО-II, а сортировочные пути 1.1 и 1.2 становятся приемо-отправочными 24 и 26 в ПО-III для приема и отправления участковых и сборных поездов со всех примыкающих направлений. Таким образом, в парке становится четыре приемо-отправочных пути. При этом выполняется реконструкция обоих горловин парка ПО-III (см. рисунок 8.41).

8.4 Сортировочные станции

Пример 8.19. В связи с ростом размеров перевозок, массы и длины поездов представим проектные разработки по переустройству односторонней сортировочной станции (рисунок 8.42) по схеме с последовательным расположением парков и объемлющими главными путями. Количество путей в ее парках: приема – 6, сортировочном – 18 и транзитном – 3. Минимальная полезная длина приемо-отправочных путей составляет 850 м. Требуется на всех подходах к станции уложить второй главный путь; удлинить приемо-отправочные и сортировочные пути до 1050 м; дополнительно уложить в предгорочном парке 3 и сортировочном 14 путей; вновь уложить объединенный парк отправления, в котором предусмотреть по 3 пути для приема и отправления четных и нечетных транзитных поездов и по 5 путей для отправления поездов своего формирования; уложить 3 вытяжных пути для маневровой работы – окончания формирования поездов; запроектировать пункт сортировки контейнеров и погрузо-выгрузочную платформу. Направление сортировки вагонов остается прежним.

Р е ш е н и е. 1 Выбираем направление, в котором следует удлинить пути, чтобы это не повлекло за собой неоправданных капитальных вложений. Целесообразно парк приема удлинить реконструкцией входной горловины, а сортировочный – выходной. Это позволит сохранить на прежнем месте сортировочную горку и уменьшить объем работ в выходной горловине парка приема.

2 Разрабатываем схему переустройства парков, определяя места укладки дополнительных путей и разрабатываем конструкции горловин. В парке приема (рисунок 8.43) возможен только один вариант размещения трех дополнительных путей – со стороны, противоположной локомотивному предприятию. Включаем в парк приема существующий I главный путь и укладываем два новых пути. При перекладке входной горловины на продолжении пути 6 устраиваем локомотивный тупик 10 для горочных локомотивов. Из-за нерационального расположения локомотивного предприятия (рисунки 8.44, 8.45) маршруты уборки поездных локомотивов нечетного направления пересекаются с маршрутами приема поездов из А и Б. Поэтому рядом с путем 1 парка приема укладываем ходовой путь 33а, который подключаем к локомотивному тупику 11 (с противоположной стороны к пути 33а подключаем соединительный путь из локомотивного предприятия, проходящий через путепровод под сортировочной горкой, как показано на рисунке 8.44). Затем укладываем соединения* для выполнения необходимых операций. Переустройство выходной горловины состоит в подключении вновь укладываемых путей 1 и 2.

* Горловину укладывают, начиная с пути 1 и наименьшей полезной длины.

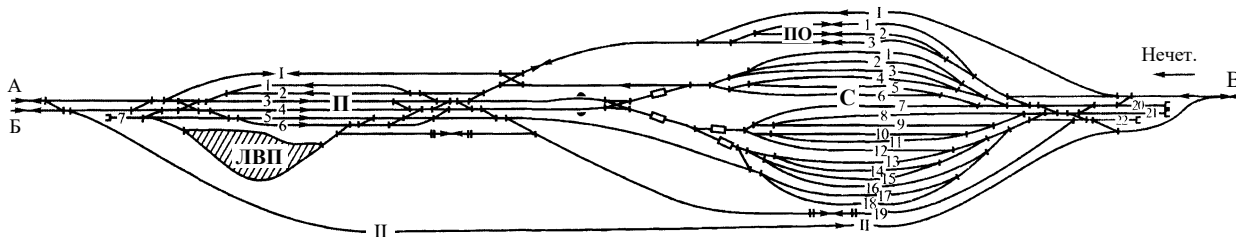


Рисунок 8.42 – Схема односторонней сортировочной станции с комбинированным расположением парков и объемлющими главными путями

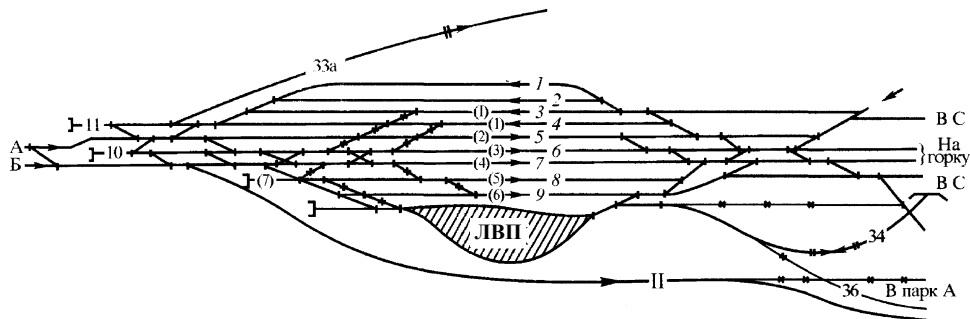


Рисунок 8.43 – Переустройство парка приема

Путевое развитие сортировочного парка (рисунок 8.46) укладываем симметрично его оси. В верхнюю половину включаем три существующих пути транзитного парка и I главный путь и укладываем шесть новых путей; в нижнюю половину включаем бывший ходовой и II главный пути и укладываем вновь два пути. Горочную горловину проектируем симметричной из четырех пучков (по восемь путей). С двух крайних путей каждой половины парка предусматриваем выход в обход горки. Начальный участок горловины (между вершиной горки и стрелочным переводом за второй тормозной позицией) проектируем так, чтобы обеспечить параллельный роспуск составов, а укладка стрелочных переводов (симметричных марки 1/6) позволяет разместить вагонные замедлители и устройства горочной автоматики.

Выходную горловину для удлинения путей парка полностью перекладываем. Два существующих вытяжных пути сохраняем, а в качестве нового вытяжного используем участок I главного пути. Горловину по количеству вытяжных путей делим на три маневровых района. К первому относим вытяжной путь 1 и пучок путей 1–11, ко второму – вытяжной путь 2 и пути 12–21, к третьему – вытяжной путь 3 и пути 22–32. К пучку путей 1–11 подключаем площадку для сортировки контейнеров и погрузо-выгрузочную платформу. Часть коротких путей этого пучка 1–5, 6–11 специализируем для накопления местных вагонов и других целей. Для изоляции подачи (уборки) вагонов на пункт сортировки от маневровой работы на основных вытяжных путях укладываем дополнительный вытяжной путь 4 полезной длиной, равной суммарной длине погрузочно-выгрузочных фронтов. Пункт сортировки контейнеров и погрузо-выгрузочную платформу можно разместить в нижней части парка.

Объединенный парк отправления (рисунок 8.47) укладываем на новом месте последовательно с сортировочным так, чтобы расстояние между ними было около 400 м. Это необходимо для маневровой работы в хвосте сортировочного парка и возможности удлинения в перспективе путей в сортировочном и отправочном парках. Кроме требуемого заданием количества путей в парке укладываем дополнительный ходовой путь для пропуска поездных локомотивов под четные поезда и путь для уборки маневровых локомотивов в сортировочный парк после вывода составов на пути отправления. Конструкции горловин разрабатываем с учетом требований, изложенных в разделе 5.

Проектируем главные, ходовые и соединительные пути (см. рисунок 8.44). Для приема поездов из А и Б в транзитный парк ТР₂ используем часть существующего II главного пути, а в обход сортировочного парка укладываем новый участок пути. Отправление нечетных поездов на эти направления обеспечиваем укладкой I главного пути в обход сортировочного и предгорочного парков. В месте соединения I и II главных путей с подходами к станции со стороны А и Б укладываем вторые главные пути и диспетчерские съезды, чтобы обеспечить маневренность станции и взаимозаменяемость парков. Для приема поездов из Б в парк приема проектируем III главный путь, а в месте пересечения его с I главным устраиваем путепроводную развязку.

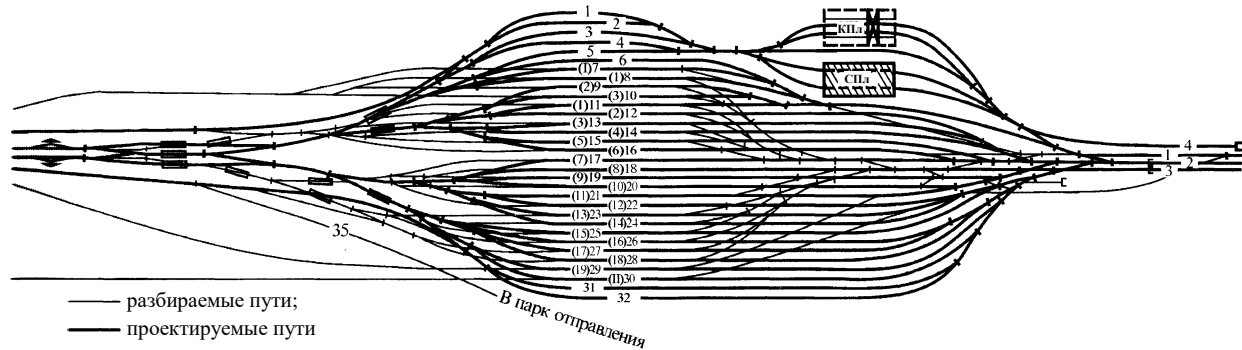


Рисунок 8.46 – Переустройство сортировочного парка

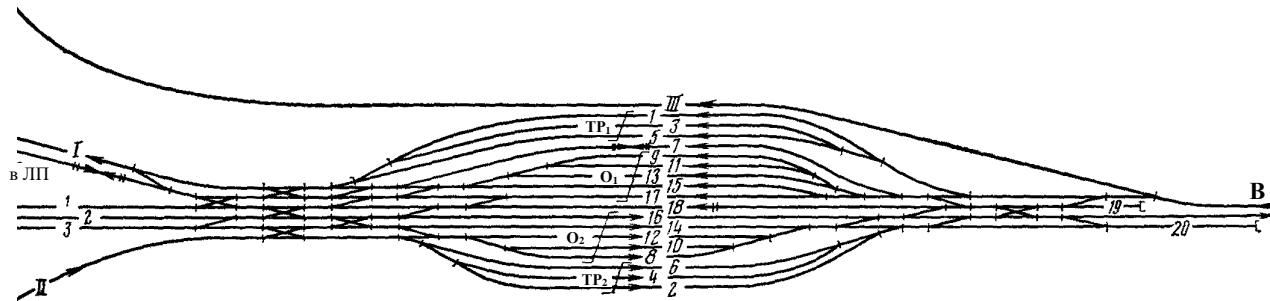


Рисунок 8.47 – Объединенный парк отправления и транзитный

Для пропуска поездных локомотивов рядом с I главным путем укладываем ходовые пути 33а и 33б (от локомотивного тупика 10 до входной горловины объединенного парка отправления). Для связи этих путей с локомотивным предприятием устраиваем путепровод под сортировочной горкой и укладываем соединительный путь 34. Кроме того, обходной путь в нижней части сортировочного парка со II главным соединяем путем 35, а последний – с соединительным путем 34 (через путь 36). Укладкой этих соединений предусматриваем связь локомотивного предприятия и предгорочного парка (через II главный путь) с объединенным парком отправления и перегоном в сторону В.

Пример 8.20. В соответствии с условиями примера 8.19 переустроим одностороннюю сортировочную станцию по схеме с комбинированным расположением парков и объемлющими главными путями.

Решение. Удлиняем и добавляем пути в предгорочном и сортировочном парках так же, как в примере 8.19 (рисунки 8.45–8.49). Из-за параллельного размещения отправочного и сортировочного парков невозможно примкнуть главный путь III к выходной горловине предгорочного парка. Поэтому для приема поездов из В проектируем петлевой обход и примыкаем его к входной горловине. Конструкция ее при этом изменяется незначительно. Конструкции других переустраиваемых горловин станции ничем не отличаются от разработанных в примере 8.19.

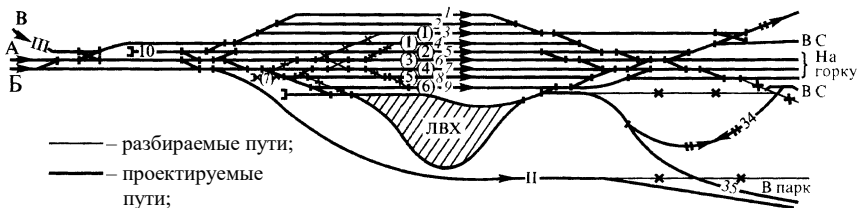


Рисунок 8.48 – Переустройство предгорочного парка

Переустройство станции по комбинированной схеме заключается в укладке транзитных и отправочных парков параллельно сортировочному парку (по обе стороны). Поэтому значительно увеличивается длина вытяжных путей для окончания формирования поездов в хвосте сортировочного парка, а пути парков располагаются на кривых. В конструкции горловин этих парков предусматриваем соединения, обеспечивающие перестановку составов из сортировочного в отправочные парки, а также подачу и уборку поездных локомотивов. Так, между четными транзитным и отправочным парками укладываем ходовой путь 8. В выходных горловинах отправочных парков укладываем вытяжные пути для обработки транзитных поездов; полезная длина их – 425 м.

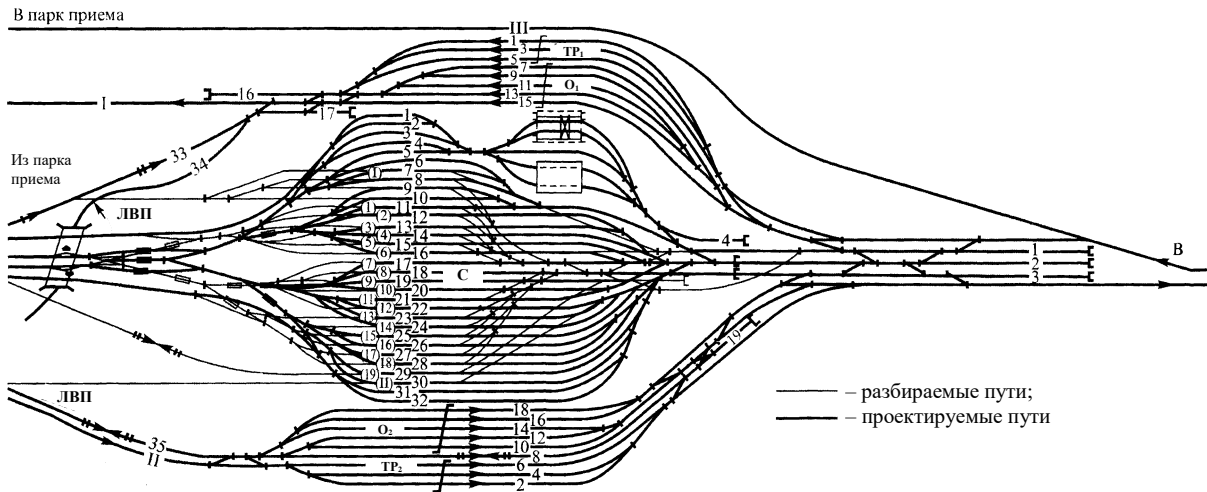


Рисунок 8.49 – Горловины сортировочного и отправочного парков

Из-за примыкания к предгорочному парку главного пути III и размещения отправочных парков параллельно сортировочному изменяется и схема укладки главных и соединительных путей. Длина I и II главных путей значительно сокращается, однако увеличивается длина пути III. Место примыкания I и II главных путей к главным путям магистральных линий переносится на впереди лежащий раздельный пункт. Для подачи (уборки) локомотивов в парки TP₁ и O₁ под сортировочной горкой устраиваем путепровод для соединительного пути 34. В качестве соединительного используем участок бывшего I главного пути (см. рисунок 8.45, путь 33). Это позволит убирать поездные локомотивы с путей 1–5 парка приема без пересечения путей надвига. Подачу (уборку) локомотивов в парки TP₂ и O₂ обеспечиваем укладкой соединения 35.

Пример 8.21. Генеральная схема развития железнодорожного узла в перспективе предусматривает переустройство сортировочного парка (рисунок 8.50, а) нечетной системы станции Б. Необходимо удлинить три существующих и уложить четыре новых сортировочных пути полезной длиной 1150 м. Разработаем принципиальную схему реконструкции сортировочного парка и установим очередность переустройства с наименьшими перерывами в эксплуатационной работе.

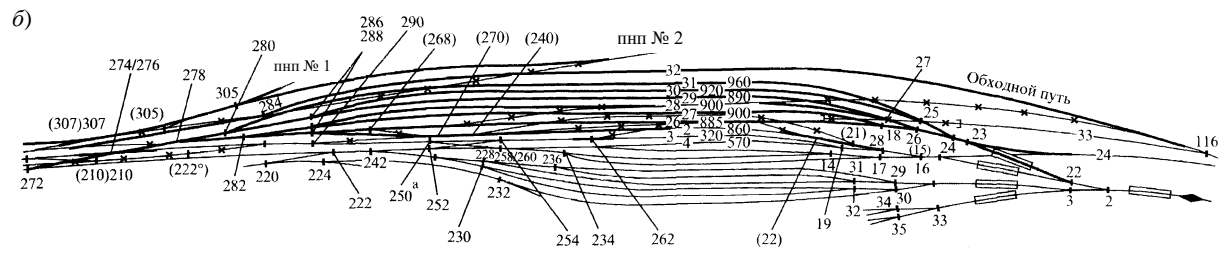
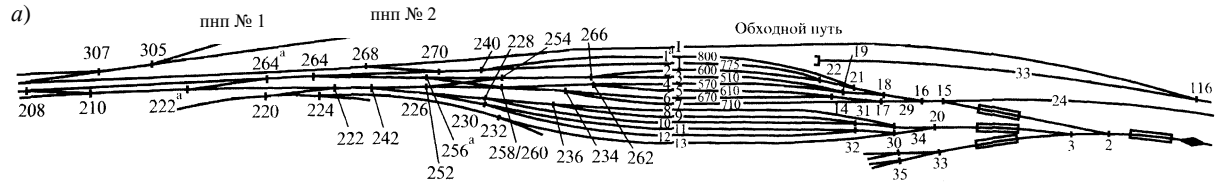
Решение. Принципиальная схема реконструкции (рисунок 8.50, б) обеспечивает:

- рациональное размещение сигналов и изолирующих стыков;
- изоляцию маневровой работы от движения организованных поездов;
- требуемую параллельность операций в горловинах;
- максимальное сокращение количества враждебных маршрутов;
- взаимодействие сортировочного парка с парками приема и отправления.

Общий объем и стоимость основных путевых работ определены на основании сметно-финансового расчета (таблица 8.7).

Т а б л и ц а 8.7 – Сметно-финансовый расчет

Вид работ	Объем работ	Стоимость работ*, у. е.
Земляные работы, м ³	35000	35000
Разборка:		
стрелочных переводов, перевод	13	780
пути, км	1,533	795
Передвижка пути, км	1,230	615
Укладка:		
стрелочных переводов, перевод	20	50107
пути, км	6,166	63847
замедлителя, типа ЗВУ (ЗВУМ) восстановленного после ремонта, компл.	1	34100
<i>Всего</i>	–	185244
* Уточняется по действующим нормам и расценкам.		



— существующие пути *-* - разбираемые пути
 — проектируемые пути (264) - разбираемые стрелочные переводы

Рисунок 8.50 – Схема сортировочного парка:
 а – до переустройства; б – после переустройства

Учитывая большой объем строительных работ для развития парка до проектной мощности, для скорейшего получения наибольшего эксплуатационного эффекта их целесообразно выполнять в несколько этапов. Рациональное их количество и объем работы на каждом из них устанавливают, учитывая необходимость непрерывности эксплуатации, капиталоемкость и срочность строительства. Определяя этапность переустройства, необходимо:

- обеспечить по возможности сохранность существующих устройств;
- выбрать такие варианты (если это экономически целесообразно), в которых строительную площадку можно подготовить в максимально большом объеме до начала основных строительных работ;
- если из эксплуатации будет выключена часть станционных устройств, обеспечить на период работ перенос их загрузки на не затрагиваемые развитием устройства;
- позволить по возможности вносить изменения в технологический процесс работы станции или отдельной ее системы, чтобы получить «окна» большой продолжительности для выполнения строительных работ.

Последовательность реконструкции сортировочного парка (рисунок 8.51) предусматривает переустройство сортировочного парка в пять этапов (таблица 8.8).

Т а б л и ц а 8.8 – Объем работ при переустройстве станции

Вид работ	Этап					Всего
	I	II	III	IV	V	
Земляные работы, м ³	35000	–	–	–	–	35000
Разборка:						
стрелочных переводов,						
перевод	–	4	–	4	5	13
пути, км	0,105	0,870	–	0,172	0,386	1,533
Передвижка пути, км	–	0,300	–	0,250	0,680	1,230
Укладка:						
стрелочных переводов,						
перевод	5	3	6	4	2	20
пути, км	3,585	0,866	0,860	0,488	0,367	6,166
замедлителей типа ЗВУ (ЗВУМ), компл.	–	–	–	1	–	1

Полная сметная стоимость и доля в общих капиталовложениях на каждом этапе реконструкции составит:

Показатель	Этап					Всего
	I	II	III	IV	V	
Стоимость, у.е.	196741	46704	46045	81305	20844	391639
Доля, %	50	12	12	21	5	100

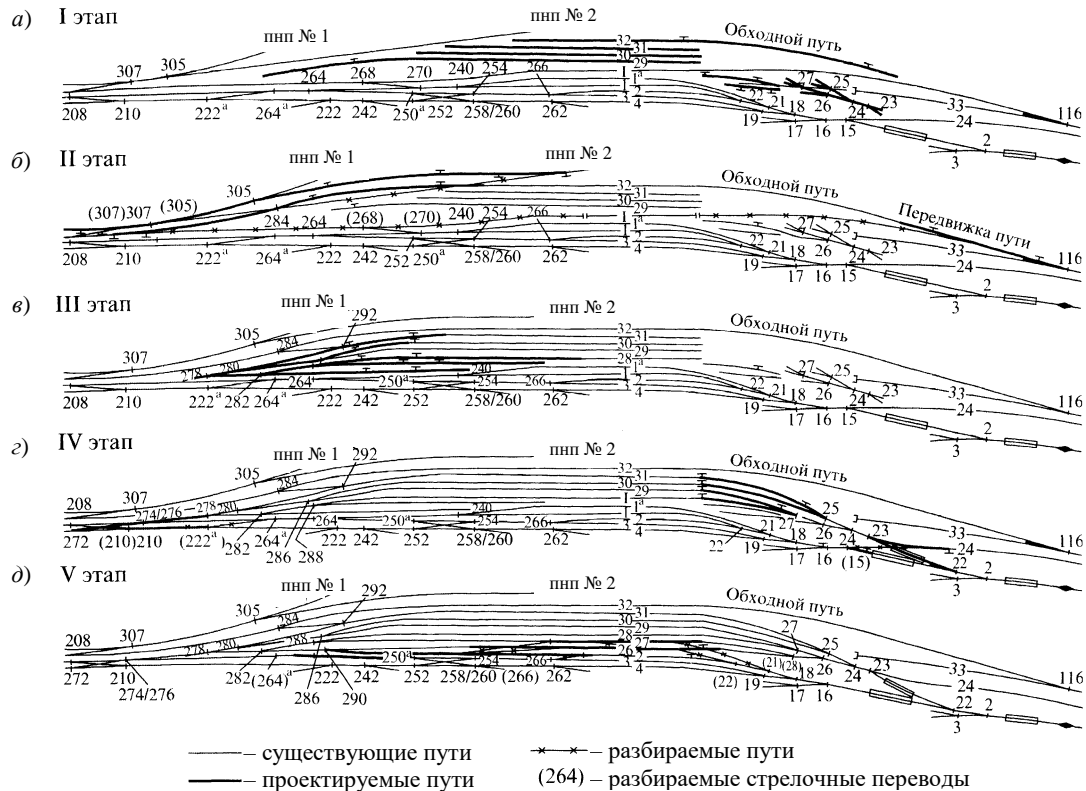


Рисунок 8.51 – Этапность переустройства сортировочного парка

Основной объем капитальных вложений (50 %) приходится на **этап I** (*подготовительный*). Особых затруднений в работе сортировочного парка при этом нет. Способ производства работ и их последовательность в пределах этапа устанавливают так, чтобы обеспечить минимальные перерывы в движении поездов. В первую очередь выполняют путевые работы в тех элементах парка, ввод в эксплуатацию которых позволяет значительно увеличить его техническую мощность и качественно улучшить эксплуатационную работу всей сортировочной системы. На этапе I (рисунок 8.51, а) предусмотрено сооружение земляного полотна и планировка территории для укладки четырех путей и пяти стрелочных переводов (23–27). Затем без перерывов в движении поездов разбирают часть пути 33, сооружают новый упор, укладывают сортировочные пути 29–31, обходной 32 и пять симметричных стрелочных переводов марки 1/6. Эти работы не влияют на эксплуатационную деятельность парка и сортировочной системы в целом.

На **этапе II** (рисунок 8.51, б) осваивается сравнительно незначительный объем капитальных вложений. Однако выполнение комплекса работ требует строго определенной последовательности (чтобы перерывы в движении были наименьшими): разборка путей необщего пользования № 1 и 2 в пределах станции; перекладка стрелочных переводов 305, 307; укладка путей необщего пользования № 1 и 2 на новом месте и подключение их к стрелочным переводам 305, 307. Этим восстанавливается возможность подачи местных вагонов на пути необщего пользования № 1 и 2. Затем укладывают стрелочный перевод 284 и от него в обе стороны – обходной путь 32, передвигают путь 32 во входной горловине. Транзитные поезда теперь можно пропускать по обходному пути 32. Далее разбирают стрелочный перевод 270 и укладывают на его месте путь, что позволяет после незначительного перерыва восстановить движение поездов по пути 1; без перерыва в движении поездов разбирают стрелочный перевод 268 и бывший обходной путь I во входной и выходной горловинах.

На **этапе III** (см. рисунок 8.51, в) укладывают стрелочные переводы 278, 280, 286, 282, 288, 292 и часть путей 31, 30, 29, 28, 1а и 1 в выходной горловине, что особо не влияет на эксплуатационную работу парка. Комплекс работ этого этапа предопределяет наиболее быстрое выполнение этапов IV и V.

На **этапе IV** (рисунок 8.51, г) так же, как и на этапе II, объем работ невелик, но сроки ввода в эксплуатацию четырех сортировочных путей (31, 30, 29, 28) должны быть минимальными. Наиболее рационален следующий порядок путевых работ: соединение стрелочных переводов 25, 27 с путями 31, 30, 29, 28; подключение пути 24 к стрелочному переводу 23; укладка стрелочного перевода 22 и соединение его с переводом 23. Затем необходимо уложить перекрестный стрелочный перевод 274/276 в выходной горловине и соединить его со стрелочными переводами 278 и 208.

Таким образом, четыре вновь уложенных пути (31, 30, 29, 28) будут подключены в общую систему сортировочного парка. После этого следует разобрать стрелочный перевод 15, уложить путь от стрелочного перевода 16 в направлении стрелочного перевода 22, разобрать часть пути 24.

В выходной горловине парка оставшиеся работы необходимо выполнить в такой последовательности: разобрать стрелочные переводы 210, 222а; сдвинуть путь между стрелочными переводами 272 и 222а; уложить стрелочные переводы 272, 210; разобрать стрелочный перевод 264а и уложить на его месте путь; разобрать съезд 222а–264а.

Работы **этапа V** (см. рисунок 8.51, д) наименее капиталоемки (5 % общей сметной стоимости переустройства): подключение к сортировочному парку путей 27 и 26 и удлинение пути 2; переключение путей 27, 26 во входной горловине с одного пучка на другой (к стрелочному переводу 28). Учитывая, что эти работы связаны с некоторыми осложнениями в эксплуатационной работе парка, целесообразно их выполнять в такой последовательности: разборка стрелочного перевода 240; разборка и передвижка пути между стрелочными переводами 264, 240 и от стрелочных переводов 240, 266 в сторону путей 27, 26, 2; укладка стрелочного перевода 290 и части путей 27, 26, 2. Затем во входной горловине следует переключить пути 27, 26 с одного пучка на другой, для чего уложить стрелочный перевод 28; разобрать часть путей 27, 26 от стрелочных переводов 21, 22 и уложить их на новом месте. В заключение требуется разобрать стрелочные переводы 21, 22, 266, 264 и уложить на их месте пути.

Предлагаемая этапность позволяет наиболее рационально распределить и эффективно использовать большой объем капитальных вложений.

8.5 Пассажи́рские комплексы

Пример 8.22. В связи со строительством нового пассажирского комплекса для обслуживания пассажиров и сооружением станции технического обслуживания пассажирского подвижного состава (СТОППС) на обособленной площадке необходимо выполнить переустройство пассажирской станции сквозного типа (рисунок 8.52).

Решение. Существующая пассажирская станция характеризуется недостатком количества путей для поездов региональных линий. Пассажирские платформы не соответствуют техническим нормам проектирования, как по ширине, так и по длине. Ширина платформ колеблется в пределах от 1,8 до 3 м (в зависимости от ширины междупутий). Длина платформ не позволяет осуществлять установку составов пассажирских и региональных поездов с обеспечением безопасной посадки-высадки пассажиров. Связь пассажирских платформ осуществляется в одном уровне. С одной стороны ближе к пешеходному мосту между путями 2–3 и 3–4 имеются переезды для проезда почтовых и багажных тележек к поездам дальнего следования. Здания основного вокзала и вокзала региональных линий располагаются на удаленном расстоянии друг от друга, между ними нет прямой связи, что создает неудобства для пассажиров. Кроме того, не обеспечивается прием и отправление поездов региональных линий со всех примыкающих к станции направлений на пути, расположенные непосредственно у вокзала региональных линий.

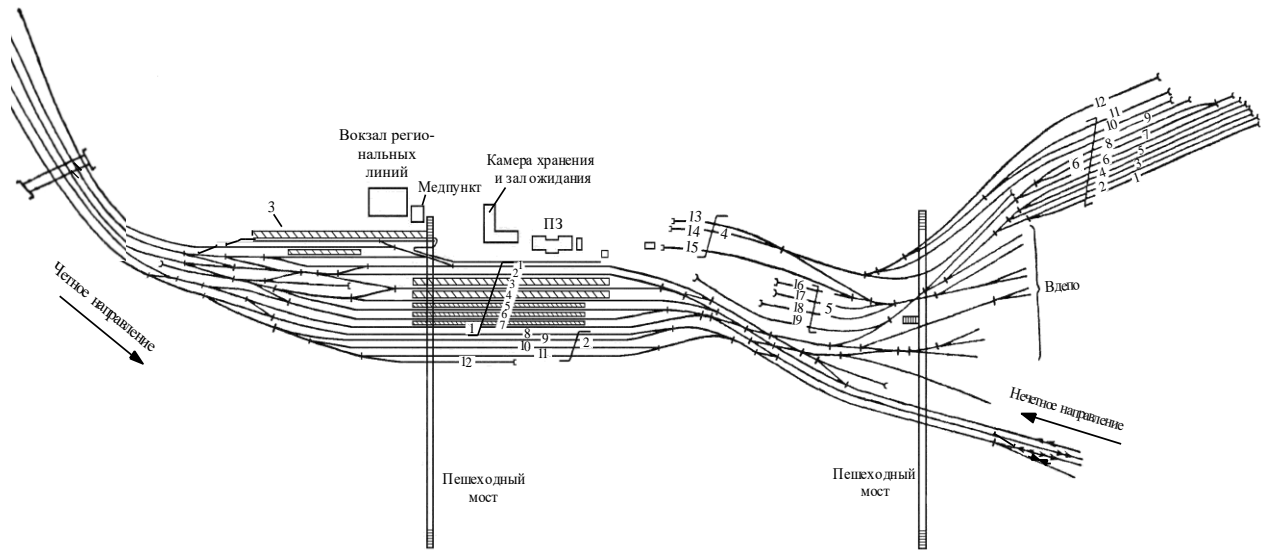


Рисунок 8.52 – Схема пассажирской станции *A* до реконструкции:

1 – перронные пути; 2 – пути для пропуска грузовых поездов; 3 – посадочная платформа для пассажиров на поезда региональных линий;
 4 – пути для почтовых вагонов; 5 – пути для багажных вагонов; 6 – парк стоянки пассажирских составов

Существующий технический парк располагается рядом с перронными путями. Маршруты подачи-уборки пассажирских составов (вагонов) в технический парк пересекаются с маршрутами приема-отправления поездов, что приводит к наибольшей загрузке горловин и уменьшает пропускную способность станции.

В четной горловине имеются дублирующие съезды, которые не обеспечивают достаточной параллельности операций. Параллельно парку перронных путей с обеих сторон располагаются пути для грузового движения, что в какой-то степени сковывает работу пассажирской станции. На данной станции отсутствует станция технического обслуживания пассажирского подвижного состава (СТОПС). Имеющиеся для этой цели пути сковывают работу пассажирской станции.

Проект переустройства станции предусматривает устранение выявленных недостатков существующей схемы станции, возможность выноса станции технического обслуживания пассажирского подвижного состава на отдельную площадку, размещенную последовательно с пассажирской станцией, и сооружение нового пассажирского комплекса.

Переустройство станции осуществляется с переходом на комбинированный тип. Сооружение нового пассажирского комплекса с конкорсом, тоннелем и пешеходным мостом, связывающим островные пассажирские платформы между собой, с пассажирским зданием и другими его элементами (вокзалом региональных линий, багажными и почтовыми устройствами), вызывает необходимость перепланировки размещения путевого развития, пассажирских платформ, изменение конструкции горловин станции и других устройств. Пути существующего технического парка демонтируются.

По проекту сохраняется общее количество сквозных перронных путей для обслуживания местных и дальних поездов (равно 6), между которыми располагаются пассажирские платформы длиной, соответствующей наибольшей длине обращающихся на примыкающих линиях пассажирских поездов. Пассажирские платформы располагаются по схеме: одна платформа на два перронных пути с шириной междупутья 10,2 м. На рисунке 8.53 платформы показаны между путями 3–4, 5–6 и 7–8. Расстояние между осями сквозных путей, где отсутствуют пассажирские платформы, проектируются величиной 5,3 м, а между путями 9 и 10 – 6,5 м.

Наряду с этим предусматривается реконструкция устройств для обслуживания поездов региональных линий. Количество путей для поездов региональных линий увеличено за счет реконструкции путей технического парка. Пути для поездов региональных линий вынесены в отдельную группу и обеспечивают возможность организации маятниковой схемы движения поездов.

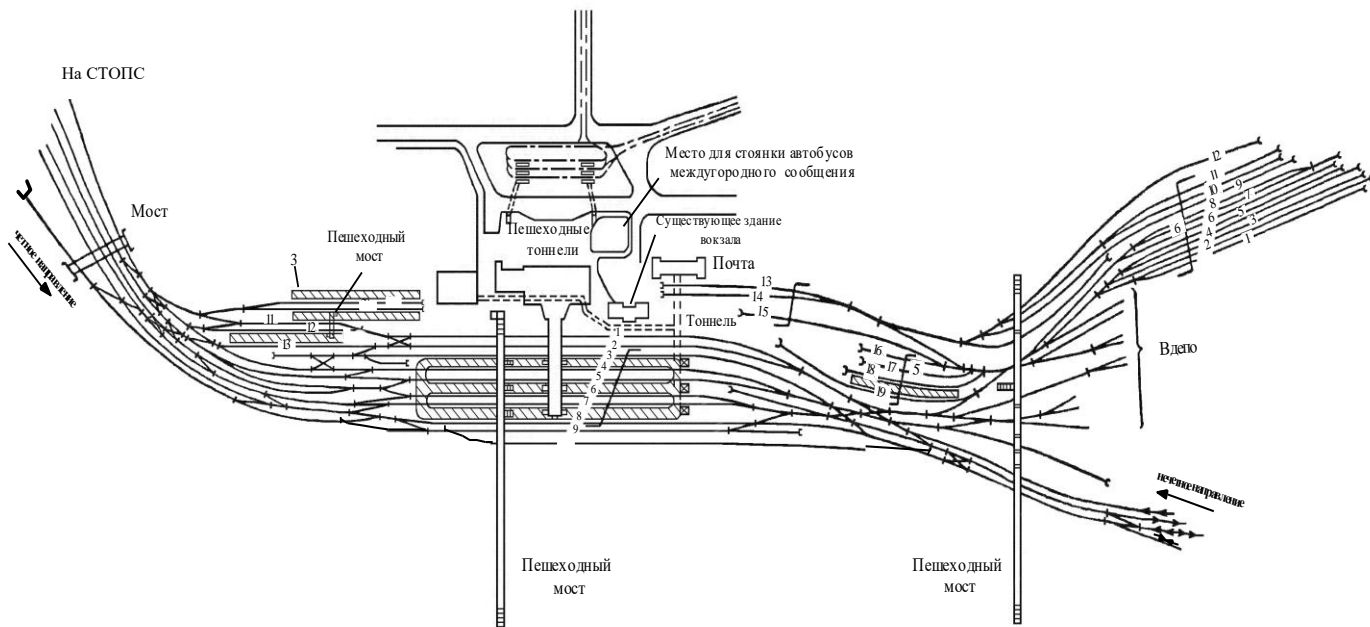


Рисунок 8.53 – Схема пассажирской станции *A* после реконструкции:

1 – перронные пути и пассажирские платформы; 2 – новое здание вокзала; 3 – пути и платформы для поездов региональных линий; 4 – пути для почтовых вагонов; 5 – пути для багажных вагонов; 6 – пути отстоя составов поездов региональных линий; 7 – новый вокзал региональных линий

В четной горловине со стороны пассажирского здания проектируются два тупиковых пути для конечных поездов региональных линий (20, 21), к которым примыкают отдельные платформы, и два сквозных пути (12, 13) с общей платформой между ними. Связь с платформой обеспечивается с помощью пешеходного моста. Указанные пути предназначены, в основном, для приема и отправления поездов региональных линий с подходов четного направления. Кроме того, пути 12 и 13 могут быть также использованы для приема и отправления поездов региональных линий в противоположном направлении.

Между путями 10 и 20 и 11 и 12 запроектированы высокие пассажирские платформы достаточной ширины, которые соединены пешеходным мостом с выходом на привокзальную площадь. Ширина платформ у тупиковых путей равна 3 м, между сквозными – 4 м. Их длина соответствует длине обращающихся региональных поездов.

Для местных поездов и поездов региональных линий на станции используются сквозные пути 4 и 5. Кроме этого, сквозные перронные пути разделены на секции.

Было запроектировано новое здание основного вокзала с конкорсом, обеспечивающим хорошую связь с тремя пассажирскими платформами достаточной ширины 2. Кроме того, предусмотрены сходы с пешеходного моста на посадочные платформы. По краям пассажирских платформ запроектированы в уровне головок рельсов проезды шириной 4 м для транспортировки почты и багажа.

Значительную реконструкцию претерпели горловины станции. В четной горловине примкнут соединительный путь на новую станцию технического обслуживания пассажирского подвижного состава и вытяжной путь для перецепки групп пассажирских вагонов. В конструкции горловин для сокращения их длины и обеспечения связей входных участков со станционными путями исключены дублирующие съезды и использованы перекрестные съезды и стрелочные переводы.

После реконструкции станции предусмотрена удобная тоннельная связь устройств багажа и почты с посадочными платформами и зданиями основного вокзала и вокзала региональных линий.

Пропуск грузовых поездов будет осуществляться через пассажирскую станцию по пути 2 в четном направлении и по пути 9 в нечетном направлении. Данная схема пропуска грузовых поездов не будет затруднять работу пассажирской станции по обслуживанию пассажирского движения.

Станция технического обслуживания пассажирского подвижного состава построена с западной стороны на отдельной площадке последовательно пассажирской станции.

Данные решения позволяют уменьшить загрузку горловин станции и увеличить ее пропускную способность.

9 ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

9.1 Реконструкция станций

Пример 9.1. Выбрать оптимальный вариант реконструкции горки и парка прибытия сортировочной станции в результате примыкания новой линии.

Исходные данные:

– станция будет расформировывать в среднем за сутки $N = 72$ поезда, средняя продолжительность обработки состава перед роспуском $t_{об} = 0,5$ ч;

– коэффициент вариации: горочного технологического интервала $\gamma_r = 0,3$, интервалов входящего потока $\gamma_{вх} = 0,7$;

– коэффициент, учитывающий влияние суточных колебаний размеров движения на простой составов в ожидании окончания формирования β . Для средних условий на 10-й год эксплуатации $\beta = 0,10 \dots 0,18$, на 20-й год $\beta = 0,18 \dots 0,30$;

– доля приведенной стоимости одного поезда-ч, учитываемая при задержке поезда, $\Delta e_{п-ч} = 15$ у. е., затраты, связанные с остановкой поезда, $e_o = 4$ у. е.; стоимость одного составо-ч $e_{с-ч} = 15$ у. е.;

– до реконструкции в парке приема было пять путей, на горке – два пути надвига, один роспуска, один обходной и два маневровых локомотива, горочный технологический интервал $t_r = 0,28$ ч. После реконструкции к парку будут примыкать два подхода.

Решение. Оптимальный вариант реконструкции определяем по минимуму приведенных расходов:

$$E_{ij} = E_{ij}^p + E_{ij}^3 + E_{ij}^o + E_{ij}^{yч} + E_{ij}^{пп} \rightarrow \min,$$

где E_{ij}^p – годовые расходы на расформирование составов при развитии парка приема по варианту i , а горки по варианту j ;

E_{ij}^3 – расходы, связанные с задержкой поездов на подходах;

E_{ij}^o – затраты на остановки поездов из-за неприема сортировочной станции;

$E_{ij}^{yч}$ – годовые расходы, вызванные потерей пропускной способности участка;

$E_{ij}^{пп}$ – годовые расходы на строительство и эксплуатацию дополнительных устройств.

В соответствии с [36, 37], раскрывая отдельные составляющие расходов, получим

$$E_{ij} = 365N \left\{ e_{с-ч} \gamma_{п} \left[t_r + \frac{\lambda \bar{t}_r^2 (\gamma_{вх}^2 + \gamma_r^2)(1+\beta)}{2(1-\lambda \bar{t}_r)} + t_{об} \right] + \frac{(\lambda \bar{t}_r)^{m_0+1} (\gamma_{вх}^2 + \gamma_r^2)(1+\beta)}{2\lambda(1-\lambda \bar{t}_r)} \times \right. \\ \left. \times \Delta e_{п-ч} \gamma_{п} b + \frac{(\lambda \bar{t}_r)^{m_0+1} (\gamma_{вх}^2 + \gamma_r^2)}{2} (e_o k_o + P_c e_{yч}) \right\} + E_{ij}^{пп}, \quad (9.1)$$

где λ – плотность потока прибывающих поездов, равная $N/24$;
 λ' – плотность потока поездов с замыкающими группами, $\lambda' = \lambda\phi$;
 γ – доля составов с замыкающими группами, для условий примера $\gamma = 0,8$;
 b – коэффициент, учитывающий число дополнительных путей в парке отправления из-за задержки поездов на подходах к станции. Для средних условий $b = 1,05 \dots 1,15$;
 $\gamma_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий неопределенность состояния элементов станции и влияющий на реальную экономию от сокращения простоя в парке приема и на подходах к станции, равный $0,7-0,8$;
 k_0 – количество остановок на одну задержку поезда из-за неприема, ($k_0 = 1,3 \dots 1,8$);
 P_c – вероятность того, что задержанный поезд будет снят с графика. Для двухпутных линий, оборудованных автоблокировкой, $P_c = 0,8 \dots 0,9$; для линий с полуавтоблокировкой $P_c = 0,6$; для однопутных линий $P_c = 0,2 \dots 0,4$;
 $e_{\text{уч}}$ – удельная расходная ставка, приходящаяся на один снятый с графика поезд. Для ориентировочных расчетов $e_{\text{уч}} = 3 \dots 4,5$ у. е.;
 m_0 – количество дополнительных путей для погашения неравномерности движения,

$$m_0 = m_{\text{п}} - m_{\text{т}} - m_{\text{д}}, \quad (9.2)$$

$m_{\text{п}}$ – общее количество путей в парке приема;

$m_{\text{т}}$ – количество для выполнения технологических операций,

$$m_{\text{т}} = \lambda t_{06};$$

$m_{\text{д}}$ – количество дополнительных путей (ходовых, соединительных и др.).

Чтобы найти минимум функции (9.1), необходимо предварительно разработать возможные варианты развития парка приема и сортировочной горки. Горочный технологический интервал (с учетом надежности работы устройств) в зависимости от технического оснащения горки можно принимать по таблице 9.1. Приведенные расходы на укладку путей при развитии парка по варианту i и сооружение дополнительных устройств на горке

$$E_{ij}^{\text{пп}} = E_{\text{н}} (K_i^{\text{пп}} + K_j^{\text{г}}) + E_i^{\text{пп}} + E_j^{\text{г}},$$

где $K_i^{\text{пп}}$, $K_j^{\text{г}}$ – капитальные вложения в реконструкцию соответственно парка приема и горки;

$E_i^{\text{пп}}$, $E_j^{\text{г}}$ – расходы на текущее содержание путей соответственно парка приема и горки.

Например, если в парке приема уложить один дополнительный путь длиной 850 м (что требует укладки двух стрелочных переводов), а на горке ввести АЗСР и ТГЛ, то

$$E_{ij}^{\text{пп}} = 0,12 \cdot (105\,000 + 25\,000 + 10\,000 \cdot 2) + 7\,900 + 19\,000 = 44\,900 \text{ у. е.}$$

Таблица 9.1 – Техническое оснащение сортировочной горки

Количество путей			Устройства				Количество горочных локомотивов	Горочный технологический интервал t_r , мин
надвига	ропуска	обходных	АЗСР и ТГЛ	АРС	Путепровод под горкой	Петлевой ввод для поездов негрузового направления		
2	1	1	Нет	Нет	Нет	Нет	2	16,8
2	1	1	Есть	»	»	»	2	16,5
2	1	2	Нет	»	»	»	2	16,0
2	1	2	Есть	»	»	»	2	15,7
2	1	2	Нет	»	»	»	3	14,1
2	1	2	Есть	»	»	»	3	13,8
2	2	2	Нет	»	»	»	3	13,5
2	2	2	Есть	»	»	»	3	13,2
2	2	2	Нет	»	Есть	»	3	12,8
2	2	2	Есть	»	»	»	3	12,5
3	2	2	Нет	»	»	»	4	11,2
3	2	2	Есть	Есть	»	»	4	10,5
3	3	2	Есть	»	»	»	5	9,7
4	3	2	Есть	»	»	»	5	9,2
4	3	2	Есть	»	»	Есть	5	8,6

Таблица 9.2 – Приведенные расходы $E_{ij}^{пр}$

В условных единицах

Варианты развития парка приема*	Вариант развития сортировочной горки					
	Исходный $t_{i0} = 0,28$	$t_{i1} = 0,27$	$t_{i2} = 0,26$	$t_{i3} = 0,23$	$t_{i4} = 0,22$	$t_{i5} = 0,19$
Исходный						
$m_0 = 1,5$	0	22 000	46 400	114 400	130 900	217 900
$m_{01} = 2,5$	20 500	42 500	66 900	134 900	151 400	238 400
$m_{02} = 3,5$	56 000	78 000	102 400	170 400	186 900	273 900
$m_{03} = 4,5$	96 000	118 000	142 400	210 400	226 900	313 900
$m_{04} = 5,5$	141 000	163 000	187 400	255 400	271 900	358 900

* При $m_n = 9$ появляются затраты на снос сооружений.

Аналогично рассчитывают значения $E_{ij}^{пр}$ при других исходных параметрах, причем учитывается, что добавление двух, трех и т. д. путей вызывает нелинейное увеличение затрат.

Проект предусматривает следующую систему возможных мер повышения перерабатывающей способности горки:

- строительство обходного пути, $\bar{t}_r = 16,0$ мин;
- ввод АЗСР и ТГЛ, $\bar{t}_r = 15,7$ мин;
- использование на горке трех маневровых локомотивов, $\bar{t}_r = 13,8$ мин;

- строительство второго пути роспуска, $\bar{t}_r = 13,2$ мин;
- строительство третьего пути надвига и ввод четвертого горочного локомотива, $\bar{t}_r = 11,3$ мин.

Т а б л и ц а 9.3 – Приведенные расходы $E_{ij}^{пр}$ в вариантах

В условных единицах

Вариант развития парка приема	Вариант развития сортировочной горки				
	Исходный ($t_{r0} = 0,28$)	1 ($t_{r1} = 0,27$)	2 ($t_{r2} = 0,26$)	3 ($t_{r3} = 0,23$)	4 ($t_{r4} = 0,22$)
Исходный ($m_0 = 1,5$)	0	120 000	155 000	282 000	336 000
1 – ($m_{01} = 2,5$)	105 000	225 000	260 000	387 000	441 000
2 – ($m_{02} = 3,5$)	260 000	380 000	415 000	542 000	596 000
3 – ($m_{03} = 4,5$)	712 000	832 000	867 000	994 000	1 048 000

Количество путей в парке приема по местным территориальным ограничениям можно довести до девяти. Варианты развития станции и приведенные расходы в них $E_{ij}^{пр}$ в условных единицах приведены в таблицах 9.2, 9.3.

Плотность потока прибывающих поездов $\lambda = 72/24 = 3$ поезда/ч. Плотность потока поездов с замыкающими группами $\lambda' = 0,8 \cdot 3 = 2,4$ поезда/ч.

Минимальное количество дополнительных путей, которое можно использовать для погашения неравномерности без реконструкции парка [см. формулу (9.2)],

$$m_0 = 5 - 3 \cdot 0,5 - 2 = 1,5.$$

Подставляя в формулу (9.1) данные для исходного варианта, получим

$$E_{00} = 365 \cdot 72 \cdot \left\{ 15 \cdot 0,8 \cdot \left[0,28 + \frac{3 \cdot 0,28^2 \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1 + 0,14)}{2 \cdot (1 - 2,4 \cdot 0,28)} + 0,5 \right] + \right. \\ \left. + \frac{(3 \cdot 0,28)^{1,5+1} \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1 + 0,14)}{2 \cdot 3 \cdot (1 - 3 \cdot 0,28)} \cdot 15 \cdot 1,1 \cdot 0,8 + \right. \\ \left. + \frac{(3 \cdot 0,28)^{1,5+1} \cdot (0,7^2 + 0,3^2)}{2} \cdot (4,0 \cdot 1,3 + 0,9 \cdot 3,5) \right\} + 0 = 516 500 \text{ у. е.};$$

$$E_{01} = 365 \cdot 72 \cdot \left\{ 15 \cdot 0,8 \cdot \left[0,27 + \frac{3 \cdot 0,27^2 \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1 + 0,14)}{2 \cdot (1 - 2,4 \cdot 0,27)} + 0,5 \right] + \right. \\ \left. + \frac{(3 \cdot 0,27)^{1,5+1} \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1 + 0,14)}{2 \cdot 3 \cdot (1 - 3 \cdot 0,27)} \cdot 15 \cdot 1,1 \cdot 0,8 + \right. \\ \left. + \frac{(3 \cdot 0,27)^{1,5+1} \cdot (0,7^2 + 0,3^2)}{2} \cdot (4,0 \cdot 1,3 + 0,9 \cdot 3,5) \right\} + 22 000 = 486 100 \text{ у. е.}$$

Продолжая оптимизацию по переменной t_r находим $E_{02} = 469\,900$; $E_{03} = 455\,500$; $E_{04} = 452\,400$; $E_{05} = 493\,700$. Так как расходы при развитии горки по варианту 4 увеличились, то фиксируем $\bar{t}_r = 0,22$, а оптимизируем функцию (9.1) по переменной m_0 . Увеличив m_0 на 1, находим приведенные расходы:

$$E_{14} = 365 \cdot 72 \cdot \left\{ 15 \cdot 0,8 \cdot \left[0,22 + \frac{3 \cdot 0,22^2 \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1 + 0,14)}{2 \cdot (1 - 2,4 \cdot 0,22)} + 0,5 \right] + \right. \\ \left. + \frac{(3 \cdot 0,22)^{2,5+1} \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1 + 0,14)}{2 \cdot 3 \cdot (1 - 3 \cdot 0,22)} \cdot 15 \cdot 1,1 \cdot 0,8 + \right. \\ \left. + \frac{(3 \cdot 0,22)^{2,5+1} \cdot (0,7^2 + 0,3^2)}{2} \cdot (4,0 \cdot 1,3 + 0,9 \cdot 3,5) \right\} + 151\,400 = 451\,700 \text{ у.е.}$$

Сравнение E_{14} с E_{04} показывает, что расходы уменьшились ($451\,700 < 452\,400$) и процесс оптимизации по m_0 следует продолжить. Выполнив расчет при $\bar{t}_r = 0,22$; $m_0 = 3,5$, получим $E_{24} = 473\,200$ у.е. Расходы увеличились ($473\,200 > 451\,700$), поэтому проектное решение с $\bar{t}_r = 0,22$ и $m_0 = 2,5$ – условный оптимум. Для проверки того, что полученное решение оптимально, выполняются дополнительные расчеты. В соответствии с общим алгоритмом увеличиваем m_0 на 1 по сравнению со значением, полученным для условного оптимума, и продолжаем оптимизацию по переменной \bar{t}_r :

$$E_{23} = 365 \cdot 72 \cdot \left\{ 15 \cdot 0,8 \cdot \left[0,23 + \frac{3 \cdot 0,23^2 \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1 + 0,14)}{2 \cdot (1 - 2,4 \cdot 0,23)} + 0,5 \right] + \right. \\ \left. + \frac{(3 \cdot 0,23)^{3,5+1} \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1 + 0,14)}{2 \cdot 3 \cdot (1 - 3 \cdot 0,23)} \cdot 15 \cdot 1,1 \cdot 0,8 + \right. \\ \left. + \frac{(3 \cdot 0,23)^{3,5+1} \cdot (0,7^2 + 0,3^2)}{2} \cdot (4,0 \cdot 1,3 + 0,9 \cdot 3,5) \right\} + 170\,400 = 472\,800 \text{ у.е.};$$

$$E_{25} = 524\,400 \text{ у.е.}$$

Учитывая, что на добавочных шагах расходы увеличились, оптимальное решение – строительство обходного пути, ввод АЗСР и ТГЛ, третьего маневрового локомотива, а также строительство второго пути респуска. В парке приема следует дополнительно уложить 1 путь, так как $m_0^{\text{онт}} = 2,5$, что на единицу больше, чем $m_0^{\text{мин}} = 1,5$. В этом случае приведенные расходы будут минимальны и составят 451 700 у. е. Оптимальный уровень загрузки сортировочной горки при таком решении 0,66, а общее количество путей в парке приема – 6. Для реализации этого варианта необходимо израсходо-

вать 441 000 у. е. Если не осуществлять реконструкцию горки, а количество путей принять в соответствии с [4] (загрузка горки 85 %), то приведенные расходы будут равны 523 800 у. е. Это приведет к потере ($523\,800 - 451\,700 = 72\,100$ у. е.) приведенных расходов, что при сроке окупаемости $t_{ок} = 8$ лет эквивалентно 578 800 у. е. капитальных вложений.

Пример 9.2. Для условий примера 9.1 определить оптимальный вариант проектного решения, если известно, что на реконструкцию можно израсходовать 260 000 у. е., потребные капитальные затраты на развитие парка и горки по вариантам приведены в таблице 9.3.

Решение. Возможные варианты развития парка приема и сортировочной горки при заданном ограничении капитальных вложений (260 000 у. е.) показаны в таблице 9.3 выше жирной линии. Учитывая, что количество их небольшое, методом сплошного перебора определяем оптимальный вариант. Используя результаты примера 9.1, принимаем приведенные расходы, у. е.:

$$\begin{array}{lll} E_{00} = 516\,500; & E_{01} = 486\,100; & E_{02} = 469\,900; \\ E_{10} = 505\,700; & E_{11} = 476\,800; & E_{12} = 462\,400; \\ & E_{20} = 514\,900. \end{array}$$

Расходы E_{ij} минимальны при развитии парка приема по варианту 1, а горки – по варианту 2 ($E_{12} = 462\,400$ у. е.), т. е. в парке надо уложить один дополнительный приемо-отправочный, а на горке построить обходной путь, ввести АЗСР и оборудовать два локомотива устройствами ТГЛ. Если ассигнования на развитие станции увеличить до 282 000 у. е., то целесообразнее вариант с приобретением третьего маневрового локомотива и сохранением существующего числа путей в парке приема ($E_{12} > E_{03}$; $462\,400 > 455\,500$).

Пример 9.3. Найти оптимальное проектное решение для условий предыдущего примера, если из-за территориальных ограничений в парке приема нельзя уложить дополнительные пути.

Решение. В данном случае необходимо определить оптимальное техническое оснащение сортировочной горки при $m_0 = 1,5$. Используя результаты расчетов в примере 9.1, находим, что приведенные расходы минимальны (452 400 у. е.), если на сортировочной горке уложить второй путь роспуска и обходной, оборудовать ее АЗСР и ТГЛ и ввести третий локомотив ($\bar{t}_r = 13,2$ мин).

9.2. Проектирование станций

Пример 9.4. Определить оптимальную длину погрузочно-разгрузочного пути на грузовом фронте. Исходные данные: вагоны со строительными инертными материалами на грузовой фронт поступают отдельными группами; фронт работает в детерминированном режиме; объем работы $m_c = 50$ ваг./сут; коэффициент вариации интервалов поступающего вагонопотока $\gamma_{вх} = 0,4$; масса груза в вагоне $g = 60$ т; продолжительность занятия

фронта одной подачей или уборкой – 0,8 ч; стоимость лок.ч $e_{л-ч} = 6,5$ у. е.; стоимость 1 ваг.ч $e_{в-ч} = 0,3$ у. е.; стоимость сооружения 1 м разгрузочного пути $K_{п} = 46$ у. е.; годовые отчисления на амортизацию, ремонт и содержание разгрузочного пути $\alpha_{п} = 0,06$; стоимость машины БРМ-80 $K_{м} = 40\,000$ у. е.; техническая производительность машины $\Pi = 80$ т/ч; система оплаты труда – сдельная.

Решение. Длина разгрузочного пути со стационарными разгрузочными машинами

$$L_{п} = l_{л} + 2l_{п},$$

где $l_{л}, l_{п}$ – длина соответственно локомотива и фронта подачи, м;

$$l_{п} = \frac{m_{с} l_{ваг}}{X}, \quad (9.3)$$

$l_{ваг}$ – средняя длина вагона, $l_{ваг} = 14$ м;

X – оптимальное количество подач-уборок.

Чтобы определить оптимальную длину разгрузочного пути, необходимо минимизировать суммарные приведенные затраты, зависящие от количества механизмов и подач:

$$E = E_{а} + E_{в-ч} + E_{м} + E_{0} + E_{п}, \quad (9.4)$$

где $E_{а}$ – годовые отчисления на амортизацию и ремонт погрузочно-разгрузочных машин,

$$E_{а} = K_{м} (\alpha + E_{н}) z,$$

$K_{м}$ – стоимость погрузочно-разгрузочной машины, у. е.;

α – годовые отчисления на амортизацию, доли единицы;

$E_{н}$ – коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_{н} = 0,12$;

z – количество погрузочно-разгрузочных машин;

$E_{в-ч}$ – расходы, связанные с простоем вагонов при погрузке и выгрузке,

$$E_{в-ч} = 365 m_{с} e_{в-ч} \left(\frac{m_{с} g}{X z \Pi} + t_{м} X \right)$$

$E_{м}$ – затраты на маневровую работу,

$$E_{м} = 365 X t_{м} e_{л-ч};$$

E_{0} – затраты, связанные с накоплением вагонов,

$$E_{0} = m_{с} \left(\gamma_{вх}^2 + 4380 \right) e_{в-ч} / X;$$

$E_{п}$ – приведенные расходы на содержание и ремонт пути,

$$E_{п} = \left(\frac{2 m_{с} l_{ваг}}{X} + l_{л} \right) K_{п} (\alpha_{п} + E_{н}).$$

После подстановки всех этих выражений в уравнение (9.4) и преобразования его получим

$$E = a_1 z + \frac{a_2}{X z} + a_3 X + \frac{a_4}{X} + a_5; \quad (9.5)$$

$$a_1 = K_M(\alpha + E_H); \quad a_2 = \frac{365 m_c^2 g e_{B-ч}}{\Pi};$$

$$a_3 = 365 t_M(e_{Л-ч} + m e_{B-ч});$$

$$a_4 = m_c \left(\gamma_{ВХ}^2 \cdot 4380 e_{B-ч} + 2 m_c l_{Вар} K_{\Pi} (\alpha_{\Pi} + E_H) \right);$$

$$a_5 = K_{\Pi} l_{\Pi} (\alpha_{\Pi} + E_H).$$

Найти минимум функции (9.5), предварительно определив расчетные коэффициенты:

$$a_1 = 40\,000 \cdot (0,10 + 0,12) = 8\,800;$$

$$a_2 = 365 \cdot 502 \cdot 60 \cdot 0,3 / 80 = 205\,312;$$

$$a_3 = 365 \cdot 0,8 \cdot (6,5 + 50 \cdot 0,3) = 6\,278;$$

$$a_4 = 50 \cdot (1 + 0,42) \cdot 4\,380 \cdot 0,3 + 2 \cdot 50 \cdot 14 \cdot 46 \cdot (0,06 + 0,12) = 87\,804;$$

$$a_5 = 46 \cdot 16,97 \cdot (0,06 + 0,12) = 140,5;$$

$$E = 8\,800 z + \frac{205\,312}{X z} + 6\,278 X + \frac{87\,804}{X} + 140,5.$$

Для упрощения расчетов разделим коэффициенты при неизвестных на 8800 и получим

$$E' = z + \frac{23,33}{X z} + 0,71 X + \frac{9,98}{X} + 0,02. \quad (9.6)$$

Составить матрицу дискретных переменных, приняв $X_{11}^{\min} = 3$ (по условиям технологии работы грузового пункта) и рассчитав

$$z_{21}^{\min} = \frac{m_c g}{(T_p - t_M X) \Pi} = \frac{50 \cdot 60}{(24 - 0,8 \cdot 3) \cdot 80} = 1,7 \approx 2;$$

$$X_{1n}^{\max} = 8; \quad z_{2n}^{\max} = 6;$$

$$A = \left\| \begin{array}{cccccc} 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 6 \end{array} \right\| \begin{array}{l} X \\ z \end{array}.$$

Фиксируется значение переменной $X = 3$ и изменяется z (покоординатный спуск).

Шаг 1. $X = 3; z = 2$ (см. формулу (9.6));

$$E_{32} = 2 + \frac{23,33}{3 \cdot 2} + 0,71 \cdot 3 + \frac{9,98}{3} + 0,02 = 11,37.$$

Шаг 2. $X = 3; z = 3; E_{33} = 11,07$.

Шаг 3. E уменьшается, поэтому увеличиваем z до 4; $E_{34} = 11,42$. Так как расходы увеличились, фиксируем $z = 3$, а оптимизацию осуществляем по переменной X :

X	3	4	5	6
E	11,07	10,30	10,3	10,24

Оптимальное значение X после второго шага – 5. Исследуем точку с координатами $X = 5, z = 3$ на оптимум.

Добавочный шаг – увеличить переменную X до шести и оптимизировать функцию по переменной $z = 4$. Тогда $E_{64} = 10,91$. Расходы увеличились, поэтому точка $X = 5; z = 3$ – глобальный оптимум функции (9.4). Принимая $X = 5$, получим оптимальную длину выгрузочного пути:

$$L_{\text{п}} = 2 \cdot 50 \cdot 14/5 + 16,97 = 297 \text{ м.}$$

Пример 9.5. В узле необходимо запроектировать новую сортировочную станцию, рассчитанную на переработку $N = 72$ поездов в сутки при загрузке каналов отправления $\rho_0 = 0,8$. Определить параметры станции для обслуживания транзита с переработкой, если:

– среднее количество вагонов в составе $\bar{m}_c = 56$;

– коэффициент вариации горочного технологического интервала $\gamma_{\Gamma} = 0,3$, интервалов входящего потока – $\gamma_{\text{вх}} = 0,7$, интервалов окончания накопления в парке сортировки – $\gamma_{\text{н}} = 1$, времени обработки состава на вытяжных путях – $\gamma_{\text{оф}} = 0,4$, интервалов вывода в парк отправления – $\gamma = 0,8$, интервалов отправления – $\gamma_{\text{от}} = 0,7$. Количество назначений плана формирования $k_{\text{п}} = 18$;

– средняя продолжительность обработки состава: перед роспуском $t_{\text{об}} = 0,5$ ч; на вытяжном пути с учетом вывода в парк отправления и возвращения локомотива $t_{\text{ф}} = 0,5$ ч; средняя продолжительность выполнения технологических операций в парке отправления $t_{\text{от}} = 1,0$ ч (с учетом занятия пути при выводе состава и отправления поезда);

– доля приведенной стоимости одного поезда-часа, учитываемая при задержке поезда, $\Delta e_{\text{п-ч}} = 15$ у. е.; затраты, связанные с остановкой поезда, $e_0 = 4$ у. е.; стоимость одного составо-часа $e_{\text{с-ч}} = 15$ у. е.; стоимость повторной сортировки одного вагона $e_{\text{пс}} = 0,3$ у. е.; приведенные расходы на строительство и содержание: пути в парке приема и отправления – 28 000 у. е., в парке сортировки – 24 000 у. е., вытяжного пути вместе с локомотивом – 70 000 у. е.* Затраты на развитие горки и другие показатели работы подсистемы расформирования принять из примера 9.1;

* Для упрощения расчетов принято, что приведенные расходы на строительство путей не зависят от их количества.

– к станции примыкают два подхода «к». В парке приема и отправления следует уложить по одному ходовому пути m_x .

Решение. Оптимальные параметры проектируемой сортировочной станции следует определять по минимуму приведенных расходов на выполнение заданных объемов работы. В разных вариантах проектных решений они складываются из затрат:

– на развитие и функционирование подсистемы расформирования (см. формулу (9.1));

– на ожидание накопленными составами окончания формирования на вытяжных путях, их развитие, а также развитие сортировочного парка:

$$E_{es}^{o\phi} = m_b E_b + m_k E_c + 365 N e_{c-ч} \gamma_{\phi} \left(\frac{N t_{\phi}^2 (\gamma_n^2 + \gamma_{o\phi}^2)(1 + \beta)}{48 m_b - 2 N t_{\phi}} + t_{\phi} \right),$$

где E_b, E_c – приведенные расходы соответственно на строительство и содержание вытяжного пути с локомотивом и укладку пути в сортировочном парке;

m_b, m_k – количество вытяжных и дополнительных путей в сортировочном парке для погашения неравномерности накопления составов;

γ_{ϕ} – коэффициент, учитывающий влияние неопределенности состояния сортировочной станции на реальную экономию ваг·ч в ожидании формирования на вытяжных путях, $\gamma_{\phi} = 0,7 \dots 0,8$;

– на повторную сортировку вагонов

$$E_{se}^{пс} = 365 e_{пс} \frac{\bar{m}_c N}{k_n} \sum_{s=1}^{s=a-m_k} S P_{m_k+s}, \quad (9.7)$$

где $e_{пс}$ – стоимость повторной сортировки одного вагона, у. е.;

k_n – количество назначений плана формирования;

S – максимальное количество составов, которые могут накопиться за период времени T_s ;

T_s – продолжительность занятия пути после накопления состава,

$$T_s = t_{\phi} + t_e^{ож.о\phi} + t_k^{ож.выст};$$

$t_e^{ож.о\phi}$ – продолжительность ожидания операций по окончании формирования,

$$t_e^{ож.о\phi} = \frac{N t_{\phi}^2 (\gamma_n^2 + \gamma_{o\phi}^2)(1 + \beta)}{48 m_b - 2 N t_{\phi}};$$

$t_k^{ож.выст}$ – продолжительность ожидания вывоза состава из-за занятости путей парка отправления при развитии его по варианту k ,

$$t_k^{ож.выст} = \frac{\rho_o^{m+1} (\gamma_{выст}^2 + \gamma_{от}^2)(1 + \beta)}{\frac{N}{12} (1 - \rho_o)};$$

P_{m_k+s} – вероятность накопления $m_k + s$ составов за период занятия состава сортировочного пути после окончания накопления T_s .

Вероятность накопления $m_k + s$ составов

$$P_{m_k+s} = \frac{(\lambda T_s)^{m_k+s}}{(m_k + s)!} e^{-(\lambda T_s)}$$

– на развитие парка отправления и связанных с простоем поездов в ожидании вывода и отправления

$$E_k = 365 N e_{c-ч} \gamma_o \left[\frac{\rho_o^{m_{оп}+1} (\gamma_{выст}^2 + \gamma_{от}^2) (1 + \beta)}{\frac{N}{12} (1 - \rho_o)} + t_{от} \right] + m_{оп} E_{оп},$$

где γ_o – коэффициент, отражающий реальную экономию от сокращения простоя и времени обработки в парке отправления, $\gamma_o = 0,9 \dots 0,95$;

$m_{оп}$ – количество дополнительных путей в парке отправления для погашения неравномерности движения;

$E_{оп}$ – приведенные расходы на строительство и содержание пути в парке отправления.

Из анализа отдельных статей расходов следует, что в качестве оптимизируемых переменных следует принять m_o , \bar{t}_r , m_k , m_b , $m_{оп}$. В соответствии с общим алгоритмом их минимальные значения по технологии работы следует принять: $m_o^{\min} = 1,5$; $\bar{t}_r = 0,28$; $m_k = 1$; $m_b = 2$; $m_{оп} = 1$. Подставляя их в выражения для расчета отдельных статей расходов, получим

$$E_k = 365 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 0,95 \cdot \left[\frac{0,8^{1+1} \cdot (0,8^2 + 0,7^2) \cdot (1 + 0,14)}{\frac{72}{12} \cdot (1 - 0,8)} + 1,0 \right] + 1 \cdot 28\,000 = 659\,800 \text{ у.е.}$$

Для расчета расходов, вызванных повторной сортировкой, предварительно рассчитывается при $m_k = 1$:

$$t_k^{\text{ож.выст}} = \frac{0,8^2 \cdot (0,8^2 + 0,7^2) \cdot (1 + 0,14)}{72 \cdot (1 - 0,8) / 12} = 0,69 \text{ ч;}$$

$$t_e^{\text{ож.оф}} = \frac{72 \cdot 0,5^2 \cdot (1 + 0,4^2) \cdot (1 + 0,14)}{48 \cdot 2 - 2 \cdot 72 \cdot 0,5} = 0,99 \text{ ч;}$$

$$T_s = 0,50 + 0,99 + 0,69 = 2,18 \text{ ч.}$$

При $T_s = 2,18$ ч значение $\sum SP_{m_k+s}$ приведено в таблице 9.4. Величины P_{m_k+s} целесообразно взять из таблиц распределения Пуассона [31]. В данном случае значение λT_s можно округлить до 6,5.

Подставляя значения $\sum SP_{m_k+s}$ в формулу (9.7), получим

$$E_{es}^{nc} = 365 \cdot 0,3 \left(\frac{56 \cdot 72}{18} \right) \cdot 5,421 = 133\,000 \text{ у.е.}$$

$$E_{es}^{of} = 2 \cdot 70\,000 + 1 \cdot 24\,000 + 365 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 0,8 \times$$

$$\times \left[\frac{72 \cdot 0,5^2 \cdot (1+0,4^2) \cdot (1+0,14)}{48 \cdot 2 - 2 \cdot 72 \cdot 0,5} + 0,5 \right] = 633\,900 \text{ у.е.}$$

Расходы на функционирование подсистемы расформирования

$$E_{00} = 365 \cdot 72 \cdot \left\{ 15 \cdot 0,8 \cdot \left[0,28 + \frac{3 \cdot 0,28^2 \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1+0,14)}{2 \cdot (1-2,4 \cdot 0,28)} + 0,5 \right] + \right.$$

$$\left. + \frac{(3 \cdot 0,28)^{1,5+1} \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1+0,14)}{2 \cdot 3 \cdot (1-3 \cdot 0,28)} \cdot 15 \cdot 1,1 \cdot 0,8 + \right.$$

$$\left. + \frac{(3 \cdot 0,28)^{1,5+1} \cdot (0,7^2 + 0,3^2)}{2} \cdot (4,0 \cdot 1,3 + 0,9 \cdot 3,5) \right\} + 1,5 \cdot 28\,000 = 558\,500 \text{ у.е.}$$

Для упрощения расчета расходы на развитие и эксплуатацию сортировочной горки для варианта с $\bar{t}_r = 0,28$ ч приняты равными нулю. Для остальных вариантов учтены только дополнительные расходы.

Таблица 9.4 – Расчет $\sum SP_{m_k+s}$

S	1	2	3	4	5	6	7	8
m_{k+s}	2	3	4	5	6	7	8	9
P_{m_k+s}	0,031	0,068	0,111	0,145	0,157	0,146	0,118	0,085
SP_{m_k+s}	0,031	0,136	0,333	0,580	0,785	0,876	0,826	0,680

Окончание таблицы 9.4

S	9	10	11	12	13	14	$\sum SP_{m_k+s} = 5,421$
m_{k+s}	10	11	12	13	14	15	
P_{m_k+s}	0,055	0,033	0,017	0,008	0,004	0,001	
SP_{m_k+s}	0,495	0,330	0,187	0,096	0,052	0,014	

Далее при $m_0 = 1,5$, $m_k = 1$, $m_b = 2$, $m_{оп} = 4$

$$\sum_{m_{оп}=4} E = 558\,500 + 633\,900 + 120\,500 + 617\,600 = 1\,930\,500 \text{ у.е.,}$$

а для $m_{оп} = 5$

$$\sum_{m_{оп}=5} E = 558\,500 + 633\,900 + 120\,400 + 619\,300 = 1\,932\,000 \text{ у.е.}$$

Расходы увеличились, поэтому $m_{оп} = 4$ фиксируется и оптимизация продолжается по переменной m_b :

$$E_{00} = 558\,500 \text{ у. е.}; \quad t_k^{ож.выст} = 0,35 \text{ ч};$$

$$t_e^{ож.оф} = \frac{72 \cdot 0,5^2 \cdot (1+0,4^2) \cdot (1+0,14)}{(48 \cdot 3 - 2 \cdot 72 \cdot 0,5)} = 0,33 \text{ ч};$$

$$T_s = 0,50 + 0,33 + 0,35 = 1,18 \text{ ч}; \quad \lambda T_s = 3,5; \quad \sum SP_{m_k+s} = 2,5;$$

$$E_{es}^{оф} = 495\,700 \text{ у. е.}; \quad E_{es}^{пс} = 61\,300 \text{ у. е.}; \quad E_k = 617\,600 \text{ у. е.};$$

$$\sum_{\substack{m_{оп}=4 \\ m_b=3}} E = 558\,500 + 495\,700 + 61\,300 + 617\,600 = 1\,733\,100 \text{ у. е.}$$

Расходы при увеличении количества вытяжных путей сократились, поэтому необходимо увеличить m_b до 4:

$$E_{00} = 558\,500 \text{ у. е.}; \quad t_k^{ож.выст} = 0,35 \text{ ч}; \quad t_e^{ож.оф} = 0,20 \text{ ч};$$

$$T_s = 0,50 + 0,20 + 0,35 = 1,05 \text{ ч}; \quad \lambda T_s \approx 3; \quad \sum SP_{m_k+s} = 2,02;$$

$$E_{es}^{оф} = 524\,800 \text{ у.е.}; \quad E_{es}^{пс} = 49\,500 \text{ у.е.}; \quad E_k = 617\,600 \text{ у. е.};$$

$$\sum_{\substack{m_{оп}=4 \\ m_b=4}} E = 558\,500 + 524\,800 + 49\,500 + 617\,600 = 1\,750\,400 \text{ у.е.}$$

Так как $1\,750\,400 > 1\,733\,100$, процесс оптимизации по переменной m_b заканчивается. Фиксируя $m_{оп} = 4$; $m_b = 3$, изменяем m_k . При $m_k = 2$:

$$E_{00} = 558\,500 \text{ у. е.}; \quad t_k^{ож.выст} = 0,35 \text{ ч}; \quad t_e^{ож.оф} = 0,33 \text{ ч};$$

$$T_s = 1,18 \text{ ч}; \quad \lambda T_s = 3,3; \quad \sum SP_{m_k+s} = 1,64;$$

$$E_{es}^{оф} = 548\,800 \text{ у.е.}; \quad E_{es}^{пс} = 40\,200 \text{ у.е.}; \quad E_k = 617\,600 \text{ у. е.};$$

$$\sum_{\substack{m_{оп}=4 \\ m_b=4 \\ m_k=2}} E = 558\,500 + 548\,800 + 40\,200 + 617\,600 = 1\,765\,100 \text{ у.е.}$$

Оптимизация расходов по переменным \bar{t}_T и m_0 показана в таблице 9.5.

Полученное проектное решение 1 669 000 у. е. – наилучшее, при этом на станции следует:

- в парке приема уложить $m_{п} = t_{ос}\lambda + m_0 + (k-1) + m_k = 0,5 \cdot 3 + 1,5 + 2 = 5$ путей;
- построить механизированную сортировочную горку, оборудованную АЗСР, с двумя путями роспуска, эксплуатировать на ней три маневровых локомотива;

- в сортировочном парке при $k_n = 18$ иметь $m_c = 25 + 4 + 1 = 30$ путей [7];
- количество вытяжных путей принять равным $m_b = 3$;
- количество путей в парке отправления $m_{от} = \lambda t_{от} + m_{ол} + m_x = 3 \cdot 1 + 4 + 1 = 8$.

Таблица 9.5 – Приведенные расходы

В условных единицах

m_o	\bar{t}_r	E_{ij}	E_{es}^{nc}	E_{es}^{of}	E_k	ΣE
1,5	0,28	558 500*	61 300	495 700	617 600	1 733 100
	0,27	528 100	61 300	495 700	617 600	1 702 700
	0,26	511 900	61 300	495 700	617 600	1 686 500
	0,23	497 500	61 300	495 700	617 600	1 672 100
	0,22	494 400	61 300	495 700	617 600	1 669 000
	0,19	535 700	61 300	495 700	617 600	1 710 300
2,5	0,22	501 200	61 300	495 700	617 600	1 675 800

Простой транзитного вагона с переработкой при оптимальных параметрах развития сортировочной станции

$$t_{тр.сп}^{OPT} = t_{об} + t_{ож}^p + \bar{t}_r + t_{нак} + T_s + t_{от} + t_{ож}^o, \quad (9.8)$$

где $t_{ож}^p$ – средняя продолжительность ожидания расформирования на горке, ч;

$$t_{ож}^p = \frac{\lambda t_r^2 (\gamma_{вх}^2 + \gamma_r^2)(1 + \beta)}{2(1 - \lambda \bar{t}_r)}$$

$t_{нак}$ – средняя продолжительность простоя вагонов под накоплением, ч;

$$t_{нак} = \frac{c k_n}{N},$$

c – параметр накопления, равный для средних условий 10–11,3;

$t_{ож}^o$ – средняя продолжительность ожидания отправления, ч;

$$t_{ож}^o = \frac{\rho_o^2 (\gamma_{выст}^2 + \gamma_{от}^2)(1 + \beta)}{2\lambda(1 - \rho_o)}$$

Подставляя исходные данные, получим

$$t_{ож}^p = \frac{3 \cdot 0,22^2 \cdot (0,7^2 + 0,3^2) \cdot (1 + 0,14)}{2 \cdot (1 - 3 \cdot 0,22)} = 0,14 \text{ ч};$$

$$t_{нак} = \frac{10,3 \cdot 18}{72} = 2,57 \text{ ч};$$

$$t_{\text{ож}}^{\circ} = \frac{0,8^2 \cdot (0,8^2 + 0,7^2) \cdot (1 + 0,14)}{2 \cdot 3 \cdot (1 - 0,8)} = 0,69 \text{ ч.}$$

Подставим в формулу (9.8) расчетные и исходные данные:

$$t_{\text{тр.сп}}^{\text{опт}} = 0,5 + 0,14 + 0,22 + 2,57 + 1,18 + 1,0 + 0,69 = 6,3 \text{ ч.}$$

9.3 Развитие сортировочных горок

Пример 9.6. Для оптимизации параметров технического оснащения и высоты немеханизированной сортировочной горки малой мощности на восемь путей (рисунок 9.1, а) разработать конкурентоспособные варианты развития сортировочной горки с учетом доступного уровня механизации и автоматизации ее устройств. Согласно инженерно-геодезической съемки (см. пример 8.2) высота существующей горки составляет $H_c = 2,89$ м (разность отметок уровня головок рельсов вершины горки и расчетной точки «трудного» пути № 43). Для регулирования скорости скатывания отцепов горочная горловина оборудована башмачными тормозными позициями.

Решение. Существующие методики оптимизации по критерию экономической эффективности инвестиций ориентированы, в первую очередь, на пошаговый поиск оптимальной конструкции сортировочной горки. В соответствии с рассматриваемой методикой предварительно по каждому разрабатываемому варианту выполняются горочные конструктивные расчеты по требованиям и проверяется работоспособность полученной конструкции горки исследуемого технического оснащения с помощью имитационного моделирования. Определяющим фактором является степень механизации и автоматизации сортировочной горки. В рассматриваемом варианте конструкция горки разрабатывается в соответствии с уровнем технического оснащения, но может потребоваться его корректировка из-за наличия технологических ограничений применения технических средств. Такая нацеленность на конкурентоспособный вариант и детальный анализ режимов работы горки позволяет в большинстве случаев в несколько раз сократить количество рассматриваемых вариантов (до 3–4): немеханизированная горка; с частичной механизацией; полной механизацией; механизацией и автоматизацией.

За исходные при решении примера приняты следующие параметры перерабатываемого вагонопотока (см. пример 3.5): в качестве плохого бегуна – полувагон на роликовых подшипниках массой 24 т; хорошего – полувагон на роликовых подшипниках массой 60,4 т; очень хорошего – полувагон на роликовых подшипниках массой 84,51 т и основным удельным сопротивлением 0,5 Н/кН.

На основании расчетных климатических параметров (см. пример 3.6) установлены параметры неблагоприятных и благоприятных условий скатывания отцепов с сортировочной горки (таблица 9.6). В соответствии с исходными данными для рассматриваемой горочной горловины (см. пример 6.6) определен «трудный» путь, для которого суммарная удельная работа по преодолению сил сопротивления максимальна и составляет $A_{\max} = 1,563$ кДж/кН (путь № 43), соседний с «трудным» – путь № 42 ($A_{42} = 1,546$ кДж/кН) и «легкий» – путь № 41 ($A_{\min} = 1,414$ кДж/кН).

Таблица 9.6 – Данные о климатических условиях, необходимые для оценки конструкции горочной горловины и расчёта параметров горки

Параметры	Значение
Направление и угол между направлением ветра и осью спускного пути сортировочной горки при неблагоприятных условиях, град	44,4
Направление и угол между направлением ветра и осью пути при благоприятных условиях, град	0,6
Абсолютный минимум температуры воздуха, °С	-36
Средняя температура воздуха расчетного холодного месяца, °С	-7
Расчетная температура наружного воздуха холодного месяца, °С	-24,4
Румб и скорость ветра в холодный период года, м/с	СЗ – 2,72
Румб и скорость ветра в тёплый период года, м/с	В – 1,79
Абсолютный максимум температуры воздуха, °С	+34,2
Средняя температура воздуха расчетного теплого месяца, °С	+16,9
Расчетная температура наружного воздуха теплого месяца, °С	+27,28

С учетом принятых исходных параметров на основе данных и результатов расчетов примера 8.3 разрабатываются принципиальные варианты конструкции сортировочной горки при различном уровне ее технического оснащения. Эффективность и безопасность функционирования горок по вариантам конструкции определяется моделированием их работы.

1 Так как полученной минимальной расчетной высоты горки $H_p = 2,19$ м для рассматриваемых условий может быть недостаточно для докатывания ОП бегуна при самых неблагоприятных условиях до расчетной точки трудного пути № 43, то разработана конструкция продольного профиля расчетной части горки при конструктивной высоте $H_k = 2,48$ м (рисунок 9.1, б), обеспечивающая это условие.

В результате моделирования процесса роспуска выявлено, что для обеспечения интервалов времени между скатывающимися отцепами в расчетных сочетаниях допустимая скорость входа ХБ на башмачную вторую тормозную позицию может быть превышена. Возможно образование термомеханических повреждений на поверхности катания колесной пары и ползунков. В связи с этим необходимо увеличивать интервал между отцепами, следующими в неблагоприятных сочетаниях за счет снижения скорости роспуска с 1,0 м/с до 0,8 м/с (рисунок 9.3).

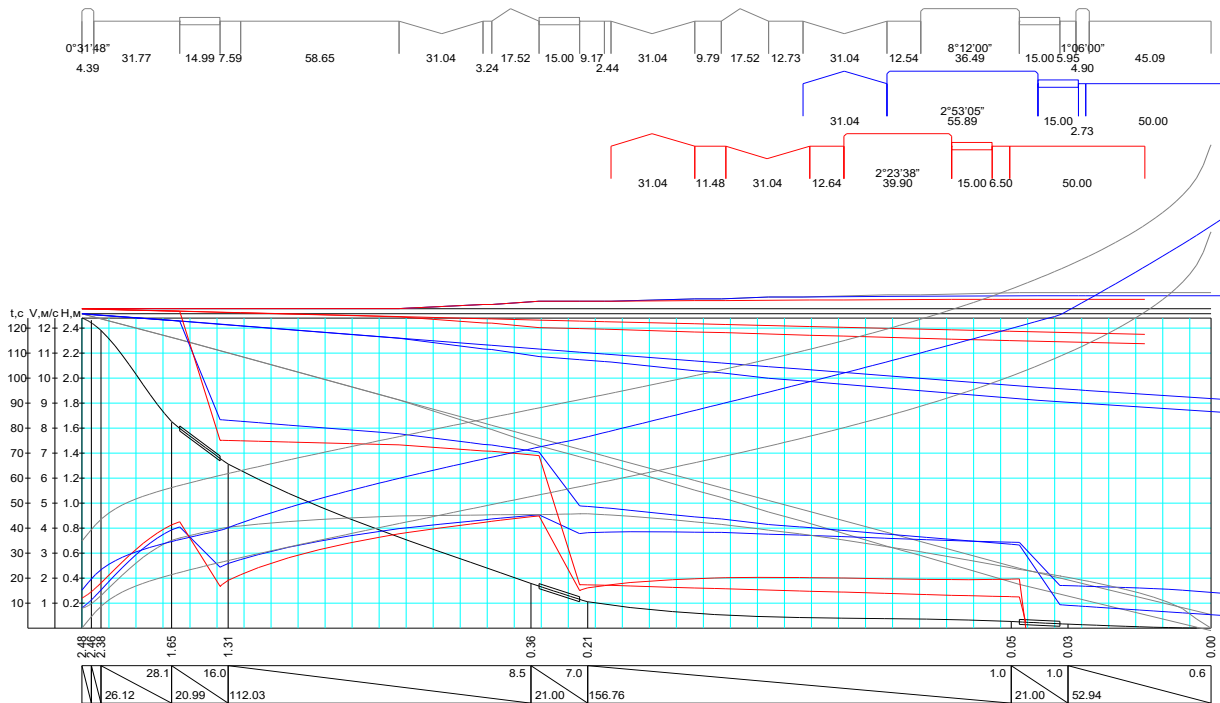


Рисунок 9.2 – Проектный продольный профиль немеханизированной сортировочной горки для пути № 43 при $v_0 = 0,8$ м/с (климат января, встречный ветер северо-западного румба; $H_k = 2,48$ м; один скоростной элемент; $i_{ск1} = 40$ ‰; $i_{пром} = 8,5$ ‰; $w_0(ОПБ) = 4,14$ Н/кН; $w_0(ХБ) = 1,12$ Н/кН; $P_{Птп} = 47$ ‰; $P_{Птп} = 25$ ‰; $P_{Птп} = 28$ ‰)

2 Сортировочная горка с механизированной горочной и немеханизированной парковой тормозными позициями при высоте горки $H_k = 2,41$ м (рисунок 9.3), обеспечивающей докатывание ОП бегуна в самых неблагоприятных условиях скатывания до расчетной точки пути № 43.

Моделирование режимов роспуска показало, что скорость входа ХБ на парковую тормозную позицию несколько выше допустимой и для предотвращения образования термомеханических повреждений на поверхности катания колес вагонов необходимо увеличивать интервал между отцепами на вершине горки за счет уменьшения скорости роспуска с 1,0 м/с до 0,8 м/с (рисунок 9.3).

3 Механизированная сортировочная горка с двумя тормозными позициями (на спускной части и в начале сортировочных путей) при высоте горки $H_k = 2,55$ м (рисунки 9.1, б; 9.4). Продольный профиль построен для «трудного» пути № 46. Соседним с трудным является путь № 45, а «легким» – путь № 41. Данная конструкция обеспечивает эффективность использования мощности проектируемых тормозных средств горочной и парковой тормозных позиций.

Моделирование в САПР показало, что скорости входа ОХ и Х бегунов на парковую тормозную позицию в различных режимах работы горки не превышают допустимую по конструкции замедлителя и ее мощности исходя из возможности останова отцепов на ПТП. Применение механизированных средств регулирования скоростей движения отцепов, скатывающихся с горки, позволяет реализовать минимальные интервалы следования отцепов в их неблагоприятных сочетаниях. Между вершиной горки и началом ГТП проектируется прямой участок достаточной длины для размещения напольных устройств АРС (рисунок 9.4).

Основой оптимизации технического оснащения сортировочных комплексов по приведенным затратам и оценки эффективности инвестиций являются результаты детализированного расчета капитальных вложений, эксплуатационных расходов и экономии по вариантам конструкции сортировочной горки при различном уровне её технического оснащения с учетом технологических особенностей. Причем при усилении технического оснащения горки значительны капитальные вложения в технические средства, но сокращаются эксплуатационные расходы на переработку вагонопотока и появляется их экономия по сравнению с базовым вариантом. Базовым вариантом может являться проектная нормативная конструкция и техническое оснащение сортировочной горки либо существующая конструкция горки и её техническое оснащение.

Пример 9.7. Для условий примера 9.6 определить капитальные вложения по вариантам развития сортировочной горки при рассмотренных уровнях её технического оснащения. Стоимостные показатели приведены в ценах 2011 г.

Решение. Выбор оптимального варианта конструкции и технического оснащения сортировочной горки начинается с определения **капитальных вложений** по вариантам её конструкции при различном уровне технического оснащения.

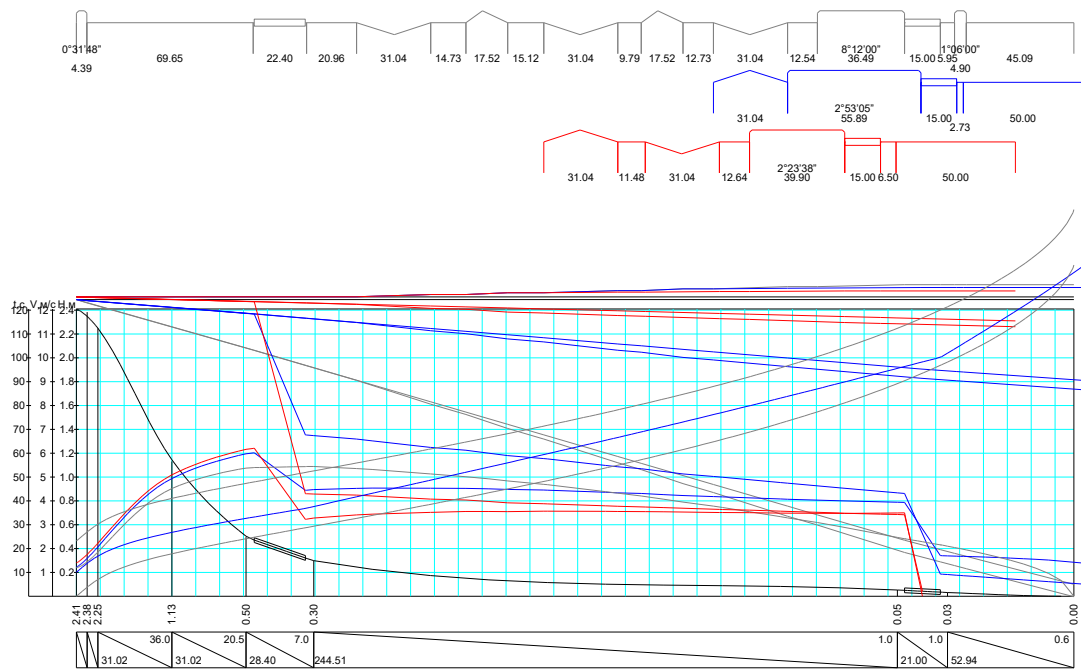


Рисунок 9.3 – Гладко сопряженный проектный продольный профиль частично механизированной сортировочной горки для пути № 43 (климат января, встречный ветер северо-западного румба; $H_k = 2,41$ м; два скоростных элемента; $i_{ск1} = 36$ %; $i_{ГП1} = 7,0$ %; $w_{0(ОПБ)} = 4,14$ Н/кН; $w_{0(ХБ)} = 1,12$ Н/кН; $P_{ГП1} = 63$ %; $P_{ПП1} = 37$ %)

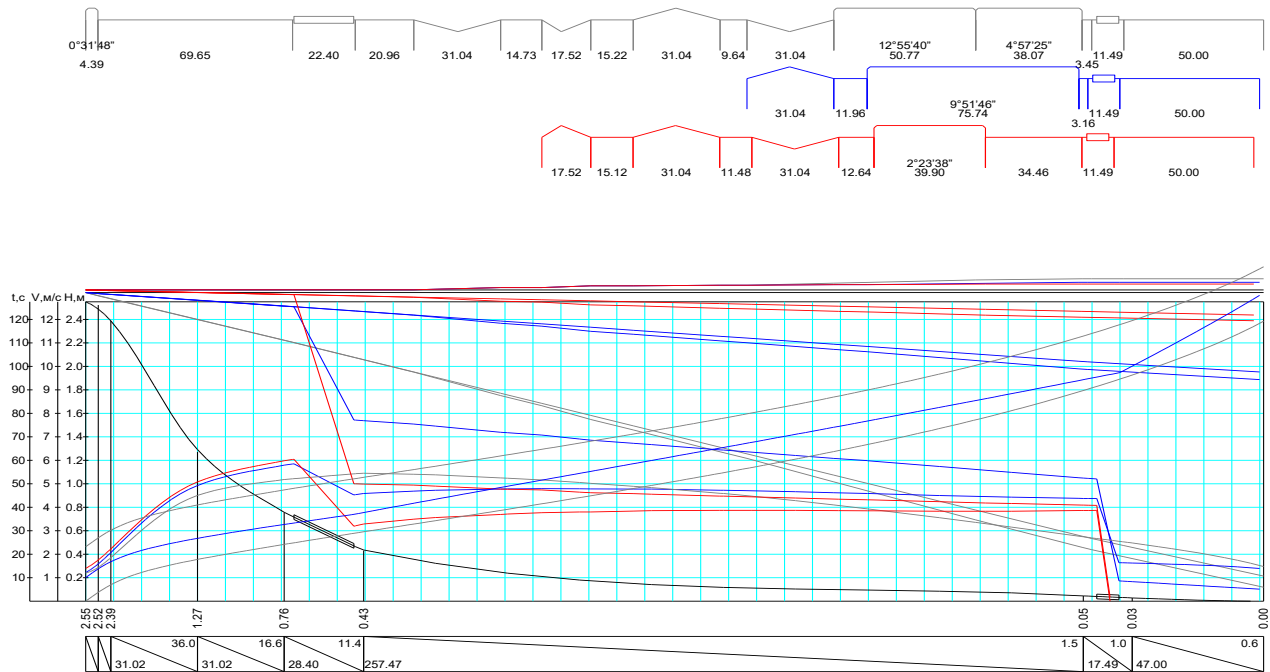


Рисунок 9.4 – Гладко сопряженный проектный продольный профиль механизированной сортировочной горки для пути № 46 (климат января, встречный ветер северо-западного румба; $H_k = 2,55$ м; два скоростных элемента;

$i_{стр} = 1,5$ ‰; $w_{0(ОПБ)} = 4,14$ Н/кН; $w_{0(ХБ)} = 1,12$ Н/кН; $P_{гтп} = 52$ ‰; $P_{птп} = 48$ ‰)

Капитальные вложения включают следующие статьи расходов: приведение параметров нижнего и верхнего строения сортировочной горки и сортировочно-отправочных путей к проектному положению; механизация тормозных позиций; автоматизация технологических процессов работы горки; приобретение дополнительного тягового подвижного состава для обеспечения осаживания вагонов в сортировочно-отправочном парке и др.

Расчет затрат на приведение параметров земляного полотна сортировочной горки и сортировочно-отправочных путей к проектному очертанию определяются по следующей формуле:

$$A_3 = c_{зр} V_3, \quad (9.9)$$

где $c_{зр}$ – стоимость выполнения земляных работ, $c_{зр} = 19540$ руб./м³;

V_3 – объем перемещаемых земляных масс, м³.

При разработке проектов сооружений железнодорожного транспорта основным методом определения объемов земляных масс и расчета геометрических параметров поперечного очертания земляного полотна в необходимых сечениях является метод поперечных профилей. При проектировании поперечных профилей необходимо учитывать множество факторов, наиболее значимыми из которых являются: рельеф местности; инженерно-геологические данные; метеорологические особенности района; условия заносимости железнодорожных путей снегом или песком. Расчет площади всего поперечного очертания земляного полотна производится для точного расчета по графической схеме поперечника, выполняемого на стадиях ТЭО и рабочей документации.

Использование указанного метода объясняется высокой точностью расчетов. В то же время это наиболее трудоемкие расчеты, поэтому для их автоматизации целесообразно использовать прикладное программное обеспечение, позволяющее получить высокую точность вычислений.

Расчет площади очертания поперечного профиля земляного полотна в сечении («поперечник») производится по формуле Гаусса

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}), \quad (9.10)$$

где x_i, y_i – прямоугольные координаты узловых точек поперечного профиля;

n – количество узловых (характерных) точек поперечного профиля.

Поперечники строятся в каждой точке перелома профиля по вариантам конструкции продольного профиля сортировочной горки с учетом ширины междупутья между крайними путями в точках сечения. Очертание сливной призмы надвижной и спускной частей горки задаётся в виде трапеции, а стрелочной горловины и начала сортировочных путей – в виде треугольной призмы с основанием изменяющейся ширины по величине междупутья между крайними путями. Причем в узловые точки поперечного профиля земляного полотна включаются и точки поперечного профиля земли, оказавшиеся под насыпью или над выемкой и влияющие на очертания поперечного профиля.

Аналогично рассчитывается площадь срезки растительного слоя.

В процессе решения данной задачи построено 65 поперечных профилей земляного полотна сортировочной горки от начала надвигной части до расчетной точки по четырем вариантам, включая существующий (пример 8.3). Общая длина расчетной части сортировочной горки составила около 520 м.

По рассчитанным значениям площадей очертаний поперечных профилей земляного полотна в необходимых сечениях производится расчет объемов земляных масс для всей длины проектируемого сооружения по формуле

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} (F_i + F_{i+1}) \Delta L_i, \quad (9.11)$$

где N – количество сечений земляного полотна, в которых выполнен расчет его площади;

ΔL_i – длина i -го участка работ, м;

F_i, F_{i+1} – площади очертаний поперечного сечения земляного полотна соответственно в начале и в конце i -го участка земляных работ, м².

Площадь очертания определяется в каждом поперечном сечении, затем рассчитывается объем земляных масс. Расчет ведется для каждого участка работ отдельно с разделением на выемку и насыпь и с нарастающим итогом. Производится расчет балансового объема. В необходимых случаях выполняется расчет положения точки нулевых работ с применением линейной интерполяции.

Результаты расчетов объемов земляных масс, требующих перемещения, по вариантам конструкции сортировочной горки приведены в таблицах 9.7–9.10.

Т а б л и ц а 9.7 – Расчет объёма тела насыпи сортировочной горки при существующем положении

Рабочие отметки, м	Длина участка, м	Средняя площадь, м ²		Объёмы земли на участках, м ³		С нарастающим итогом, м ³	
		выемки	насыпи	выемка	насыпь	выемка	насыпь
0,61	7,00	–	4,20	–	9,40	–	29,40
2,21	70,90	–	13,80	–	978,42	–	1007,82
2,31	9,60	–	23,05	–	221,28	–	1229,10
2,47	11,70	–	24,80	–	290,16	–	1519,26
2,43	4,40	–	25,60	–	112,64	–	1631,90
2,30	8,90	–	24,40	–	217,16	–	1849,06
1,16	39,00	–	16,85	–	657,15	–	2506,21
0,96	8,70	–	9,25	–	80,48	–	2586,69
0,33	37,60	–	5,65	–	212,44	–	2799,13
0,23	19,10	–	2,60	–	49,66	–	2848,79
0,26	16,50	–	2,30	–	37,95	–	2886,74
0,11	51,80	–	2,10	–	108,78	–	2995,52
0,24	32,60	–	3,40	–	110,84	–	3106,36
0,36	52,10	–	9,50	–	494,95	–	3601,31
0,22	18,50	–	12,80	–	236,80	–	3838,11

Окончание таблицы 9.7

Рабочие отметки, м	Длина участка, м	Средняя площадь, м ²		Объёмы земли на участках, м ³		С нарастающим итогом, м ³	
		выемки	насыпи	выемка	насыпь	выемка	насыпь
0,14	15,60	–	10,55	–	164,58	–	4002,69
0,00	36,47	–	4,75	–	173,23	–	4175,92
–0,10	26,63	–0,95	–	–25,30	–	–25,30	–
0,00	19,68	–0,95	–	–18,70	–	–43,99	–
0,17	11,62	–	6,60	–	76,69	–	4252,61
0,46	22,50	–	20,70	–	465,75	–	4718,36

Таблица 9.8 – Расчет объёмов земляных работ по I варианту реконструкции сортировочной горки (немеханизированная при $H_k = 2,48$ м)

Рабочие отметки, м	Длина участка, м	Средняя площадь, м ²		Объёмы земли на участках, м ³		С нарастающим итогом, м ³	
		выемки	насыпи	выемка	насыпь	выемка	насыпь
0,36	–	–	–	–	–	–	–
2,03	95,20	–	11,65	–	1109,08	–	1109,08
2,09	4,18	–	20,40	–	85,27	–	1194,35
2,02	4,20	–	20,30	–	85,26	–	1279,61
2,01	3,51	–	19,85	–	69,67	–	1349,29
1,94	3,51	–	19,35	–	67,92	–	1417,20
1,29	26,12	–	15,20	–	397,02	–	1814,23
1,01	20,99	–	10,15	–	213,05	–	2027,28
0,24	112,03	–	5,70	–	638,57	–	2665,85
0,16	21,00	–	2,65	–	55,65	–	2721,50
0,02	156,76	–	4,00	–	627,04	–	3348,54
0,00	3,44	–	2,65	–	9,12	–	3357,65
–0,04	17,56	–	–	–9,66	–	–9,66	–
0,00	17,19	0,55	–	–9,45	–	–19,11	–
0,46	35,75	–0,55	14,10	–	504,12	–	3861,77

Таблица 9.9 – Расчет объёмов земляных работ по II варианту реконструкции сортировочной горки (частично механизированная при $H_k = 2,41$ м)

Рабочие отметки, м	Длина участка, м	Средняя площадь, м ²		Объёмы земли на участках, м ³		С нарастающим итогом, м ³	
		выемки	насыпи	выемка	насыпь	выемка	насыпь
0,36	–	–	–	–	–	–	–
1,97	95,60	–	11,25	–	1075,50	–	1075,50
2,01	3,98	–	19,55	–	77,81	–	1153,31
1,95	4,00	–	19,40	–	77,60	–	1230,91
1,93	4,50	–	18,90	–	85,05	–	1315,96
1,82	4,50	–	18,10	–	81,45	–	1397,41
0,79	31,02	–	12,05	–	373,79	–	1771,20
0,25	31,02	–	4,55	–	141,14	–	1912,34
0,13	28,40	–	1,95	–	55,38	–	1967,72

Окончание таблицы 9.9.

Рабочие отметки, м	Длина участка, м	Средняя площадь, м ²		Объёмы земли на участках, м ³		С нарастающим итогом, м ³	
		выемки	насыпи	выемка	насыпь	выемка	насыпь
0,02	244,51	–	3,45	–	843,56	–	2811,28
0,00	3,41	–	2,70	–	9,21	–	2820,49
–0,04	17,59	–0,55	–	–9,67	–	–9,67	–
0,00	17,48	–0,55	–	–9,62	–	–19,29	–
0,46	35,46	–	14,10	–	499,94	–	3320,43

Таблица 9.10 – Расчет объёмов земляных работ по III варианту реконструкции сортировочной горки (полностью механизированная и автоматизированная при $H_k = 2,55$ м)

Рабочие отметки, м	Длина участка, м	Средняя площадь, м ²		Объёмы земли на участках, м ³		С нарастающим итогом, м ³	
		выемки	насыпи	выемка	насыпь	выемка	насыпь
0,36							
2,09	94,80	–	12,00	–	1137,60	–	1137,60
2,16	4,38	–	21,25	–	93,08	–	1230,67
2,09	4,40	–	21,25	–	93,50	–	1324,17
2,07	4,50	–	20,70	–	93,15	–	1417,33
1,96	4,50	–	19,85	–	89,33	–	1506,65
0,93	31,02	–	13,55	–	420,32	–	1926,97
0,51	31,02	–	6,20	–	192,32	–	2119,30
0,26	28,40	–	3,40	–	96,56	–	2215,86
0,00	250,91	–	1,20	–	301,09	–	2516,95
–0,01	6,56	–1,15	–	–7,54	–	–7,54	–
–0,04	17,49	–1,60	–	–27,98	–	–35,53	–
0,00	7,64	–0,45	–	–3,44	–	–38,96	–
0,46	39,36	–	13,95	–	549,13	–	3066,07

Итоговые значения объёмов земляных масс, а также расходы на сооружение земляного полотна по вариантам конструкции горки и технического оснащения с различной конструктивной высотой представлены в таблице 9.11.

Таблица 9.11 – Капитальные вложения на реконструкцию земляного полотна

Высота горки	$V_{нас}, \text{м}^3$	$V_{выем}, \text{м}^3$	$\Sigma V, \text{м}^3$	Баланс, м ³	$\Delta V = V_c - V_0, \text{м}^3$	Расходы A_t , руб.
Существующая $H_c = 2,89$ м	4718	–44	4762	4674	–	–
I вариант $H_k = 2,48$ м	3862	–19	3881	3843	831	16 237 740
II вариант $H_k = 2,41$ м	3320	–19	3340	3301	1373	26 828 420
III вариант $H_k = 2,55$ м	3066	–39	3105	3027	1647	32 182 380

Примечание – Знак минус показывает срезку земляного полотна, а плюс – досыпку.

Расходы на техническое оснащение при механизации тормозных позиций сортировочной горки могут включать расходы на приобретение и укладку вагонных замедлителей в необходимом количестве A_t , сооружение (модернизацию) компрессорной установки A_k и воздухопроводной сети, внедрение

систем ГАЦ (МПЦ) и АРС $A_{авт}$, устройств системы принудительной очистки стрелочных переводов и др. Ориентировочная стоимость переоборудования ЭЦ станции системами МПЦ в пересчёте на один стрелочный перевод составляет 60–70 тыс. у. е. Стоимость замедлителей колеблется от 70 до 190 тыс. у. е. за один комплект в зависимости от типа.

Данные расходы оказывают наибольшее влияние на капиталоемкость вариантов с полной или частичной механизацией сортировочной горки из-за высокой стоимости оборудования. Это делает актуальным вопрос рационального применения средств механизации исходя из их стоимости и мощности.

Таким образом, расходы на техническое оснащение при механизации тормозных позиций сортировочной горки определяются как

$$A_M = A_T + A_K + A_{авт}.$$

Расходы на механизацию тормозных позиций

$$A_T = \sum c_3 n_3,$$

где c_3 – стоимость одного замедлителя (например, стоимость пятизвенного замедлителя типа ЗВУПК-00 $c_3 = 995$ млн руб., трехзвенного замедлителя типа ЗВУПК-02 $c_3 = 597$ млн руб.);

n_3 – количество укладываемых замедлителей принятого типа.

Согласно выполненным расчетам, при механизации сортировочной горки предусматривается укладка двух вагонных замедлителей на горочной тормозной позиции мощностью не менее 1,6 м. эн. в. в двух вариантах (с частичной и полной механизацией сортировочной горки) при ее высоте $H_k = 2,41$ м и 2,55 м соответственно. Вариант с полной механизацией тормозных позиций предусматривает также укладку восьми трехзвенных однорельсовых замедлителей мощностью не менее 1,3 м. эн. в. Количество и стоимость укладываемых замедлителей на расчетной части горки по вариантам ее технического оснащения представлены в таблице 9.12. Сооружение (модернизация) компрессорной установки не требуется и расходы $A_K = 0$.

Для условий примера стоимость внедрения систем ГАЦ и АРС, совместимых с ЭЦ (МПЦ) станции, по экспертным оценкам при сравнении с аналогичными работами, принимается $A_{авт} \approx 3150,0$ млн руб. с учетом НДС.

Расходы на локомотивы для осаживания в сортировочно-отправочном парке определяются по формуле

$$A_L = c_L \frac{\sum T_{ос}}{T_L},$$

где c_L – стоимость локомотива, руб. Учитывая значительный износ большинства маневровых локомотивов, работающих на станции, в расчетах принимается остаточная стоимость приписного локомотива ЧМЭ-3, составляющая $c_L = 8,35$ млн руб.;

ΣT_{oc} – годовые затраты локомотиво-часов на осаживание вагонов;
 $T_{л}$ – продолжительность работы локомотива в течение одного года,
 $T_{л} = 7300$ ч.

Таблица 9.12 – Расходы на техническое оснащение сортировочной горки

Вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки	Количество и тип укладываемых замедлителей	Стоимость с НДС, млн руб.		
		замедлителей	компрессорной установки	ГАЦ и АРС
Немеханизованная горка при $H_k = 2,48$ м	Укладка замедлителей не предусматривается	–	потребность в сжатом воздухе для включения замедлителей обеспечивается работой основной и резервной компрессорной установкой	–
Частично механизированная сортировочная горка при $H_k = 2,41$ м	2 компл. ЗВУМ-900-4-2 (четырёхзвенные) на горочной ТП мощностью 1,9 м. э.н. в.	2 275,5	производительностью 26,6 и 20,9 м ³ /мин соответственно	–
Механизованная сортировочная горка при $H_k = 2,55$ м	2 компл. ЗВУМ-900-3-2 (трехзвенные) на горочной ТП и 8 компл. ЗВУМ-600-3-1 (трехзвенные) на парковой ТП	5 328		–
Механизованная сортировочная горка при $H_k = 2,55$ м (полная механизация с автоматизацией)	2 компл. ЗВУМ-900-3-2 (трехзвенные) на горочной ТП и 8 компл. ЗВУМ-600-3-1 (трехзвенные) на парковой ТП (мощность всех по 1,7 м. э.н. в.)	5 328		3 150

В реальных условиях удельный вес этих затрат часто существенно снижен из-за низкой остаточной стоимости эксплуатируемых маневровых локомотивов вследствие высокой степени их амортизации.

Годовые затраты локомотиво-часов на осаживание вагонов связаны с выполнением осаживания в сортировочном парке со стороны горки для ликвидации окон между вагонами. Объёмы этой работы зависят, главным образом, от среднего количества вагонов в осаживаемой группе, дальности пробега отцепов и порядка их скатывания с горки. Появление отцепа с тем или иным сопротивлением движению и, следовательно, с той или иной дальностью пробега, является случайным явлением, поэтому и длина осаживаемой группы $L_{ог}$ является средней случайных величин:

$$L_{ог} = l_{п} + l_{от} \left[\frac{1 - \alpha_{п}}{\alpha_{п}} - (1 - \alpha_{п})^{n_{м}} \left(\frac{1}{\alpha_{п}} - \frac{1}{\alpha_{х}} \right) \right],$$

где $l_{п}$ – дальность пробега «плохих» бегунов, м;

$l_{от}$ – средняя длина отцепов, $l_{от} = 41,66$ м;

$\alpha_{п}$, $\alpha_{х}$ – вероятность появления соответственно «плохих» и «хороших» бегунов, $\alpha_{п} = 0,588$, $\alpha_{х} = 0,1128$ (см. пример 3.5);

$n_{м}$ – количество отцепов, которые могут разместиться на сортировочном пути между отцепами с сопротивлением $w_{х}$ и $w_{п}$.

Параметр $L_{ог}$ может определяться на основе теории вероятностей по данным анализа натурно-сортировочных листов за период максимальных объёмов работы сортировочного комплекса либо принимается на основе требований заказчика проекта и результатов имитационного моделирования работы горки.

Количество отцепов

$$n_m = (l_x - l_n) / l_{ог},$$

где l_x – дальность пробега «хороших» бегунов.

Дальность пробега в сортировочный парк расчетных бегунов l_x и l_n может быть оценена по данным имитационного моделирования в зависимости от высоты горки и остаточной энергетической высоты Δh при климатических условиях различных периодов года:

$$l_{дп} = l_{тп-рт} + \frac{\Delta h \cdot 10^3}{(w_o + w_{св} + w_{ск} + w_{сн} \pm i_c)},$$

где $l_{тп-рт}$ – длина участка пути от конца парковой ТП до расчетной точки, м;

Δh – остаточная энергетическая высота, эквивалентная скорости движения бегунов в расчетной точке, полученная имитационным моделированием с помощью средств САПР (pp_sg.exe);

w_o – основное удельное сопротивление движению расчетного бегуна, Н/кН;

$w_{св}$ – дополнительное сопротивление от воздушной среды и ветра при движении отцепа на сортировочном пути, Н/кН;

$w_{ск}$ – дополнительное удельное сопротивление движению вагонов в кривых участках сортировочного пути, Н/кН;

$w_{сн}$ – удельное сопротивление от снега и инея, Н/кН;

i_c – средний уклон сортировочных путей, %.

При работе на горке одного локомотива средняя продолжительность осаживания вагонов

$$t_{ос} = \frac{1}{k_{л}} \left[\frac{L_{п}}{L_{ог}} - 1 \right] (a_{г} + b_{г} \Delta l),$$

при $L_{ог} \leq 0,5L_c$ $\Delta l = L_{ог}$, иначе $\Delta l = (L_c - L_{ог})$,

где $k_{л}$ – количество локомотивов, одновременно работающих на осаживании вагонов в сортировочном парке, $k_{л} = 1$;

$L_{п}$ – средняя длина расформировываемых составов, определяемая статистическим путем при $m = 64,11$ вагонов;

$a_{г}$ – продолжительность заезда локомотива для осаживания вагонов, мин;

$b_{г}$ – продолжительность осаживания вагонов и возвращения локомотива, отнесенная на 1 м пути, мин.

L_c – средняя длина сортировочных путей, м;

Годовые затраты локомотиво-часов на осаживание вагонов при работе сортировочной горки

$$\sum T_{\text{ос}} = \frac{n l_{\text{усл}}}{L_{\text{ц}} 60} \sum t_{\text{ос}} \lambda_t,$$

где n – количество условных вагонов, перерабатываемых горкой в сутки, $n = 710$ (2010 год);

$l_{\text{усл}}$ – длина условного вагона, $l_{\text{усл}} = 14$ м;

λ_t – количество дней в году при установленной температуре наружного воздуха.

Результаты расчетов по определению дальности пробега бегунов по месяцам года приведены в таблице 9.13. Результаты расчета локомотиво-часов и затрат на тяговый подвижной состав для осаживания вагонов на путях сортировочно-отправочного парка приведены в таблице 9.14 и 9.15.

После расчета капитальных вложений определяются эксплуатационные расходы на переработку вагонопотока по вариантам реконструкции сортировочной горки.

Пример 9.8. Для условий примера 9.6 и с учетом результатов расчетов примера 9.7 определить эксплуатационные расходы на переработку вагонопотока по рассматриваемым вариантам конструкции сортировочной горки.

Решение. **Эксплуатационные расходы** на переработку вагонопотока по вариантам конструкции сортировочной горки включают следующие основные статьи расходов: на осаживание вагонов в сортировочном парке; содержание тормозных позиций; расход топлива на надвиг и роспуск составов с горки; заработная плата причастным работникам; дополнительные расходы, связанные с амортизацией и содержанием технических средств. При увеличении высоты горки возрастают эксплуатационные расходы на надвиг и роспуск составов поездов, затраты на производство сжатого воздуха для работы замедлителей, но значительно снижаются расходы на осаживание вагонов в сортировочном парке.

Расходы на осаживание вагонов в сортировочном парке

$$\mathcal{E}_{\text{ос}} = C_{\text{ос}} \sum T_{\text{ос}},$$

где $C_{\text{ос}}$ – стоимость одного локомотиво-часа маневровой работы, $C_{\text{ос}} = 110177$ руб.

Результаты расчетов затрат на осаживание вагонов в сортировочно-отправочном парке приведены в таблице 9.16.

Наибольшее влияние на затраты, связанные с регулированием скоростей движения вагонов, оказывает степень их торможения, определяемая, в первую очередь, высотой (дальностью пробега) и профилем сортировочной горки.

Таблица 9.13 – Дальность пробега расчетных бегунов по месяцам года

В метрах

Высота горки	Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
	Δh	Δl	l_x, l_n	Δh	Δl	l_x, l_n	Δh	Δl	l_x, l_n	Δh	Δl	l_x, l_n	Δh	Δl	l_x, l_n	Δh	Δl	l_x, l_n
«Плохой» бегун																		
2,41	-0,058	-11,78	406,11	-0,030	-6,20	411,69	-0,018	-3,74	414,15	0,142	31,20	449,09	0,200	44,20	462,09	0,204	43,00	460,89
2,48	-0,031	-6,35	411,54	0,006	-1,25	416,64	0,009	1,88	419,77	0,137	30,14	448,03	0,199	43,98	461,87	0,206	43,42	461,31
2,55	0,135	26,99	478,69	0,164	32,94	484,64	0,175	35,19	486,89	0,336	71,80	523,50	0,396	85,56	537,26	0,400	86,82	538,52
2,89	0,377	72,72	524,42	0,401	78,01	529,71	0,416	81,01	532,71	0,544	113,76	565,46	0,605	128,32	580,02	0,611	130,38	582,08
«Хороший» бегун																		
2,41	1,697	357,15	775,04	1,709	333,21	751,10	1,713	341,26	759,15	1,771	484,90	902,79	1,791	558,93	976,82	1,793	567,52	985,41
2,48	1,731	363,22	781,11	1,741	338,83	756,72	1,746	347,19	765,08	1,790	489,52	907,41	1,813	565,09	982,98	1,815	573,05	990,94
2,55	1,907	394,97	846,67	1,926	370,07	821,77	1,923	377,35	829,05	1,983	531,82	983,52	2,005	614,07	1065,77	2,004	622,48	1074,18
2,89	2,127	433,21	884,91	2,136	404,57	856,27	2,142	414,06	865,76	2,189	577,25	1028,95	2,210	665,31	1117,01	2,213	675,65	1127,35
Высота горки	Июль			Август			Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь		
	Δh	Δl	l_x, l_n	Δh	Δl	l_x, l_n	Δh	Δl	l_x, l_n	Δh	Δl	l_x, l_n	Δh	Δl	l_x, l_n	Δh	Δl	l_x, l_n
«Плохой» бегун																		
2,41	0,211	44,50	462,39	0,200	43,01	460,90	0,157	33,30	451,19	0,157	32,76	450,65	0,037	7,44	425,33	-0,017	-3,37	414,52
2,48	0,210	44,29	462,18	0,250	55,12	473,01	0,155	32,90	450,79	0,155	32,34	450,23	0,052	10,41	428,30	0,005	1,00	418,89
2,55	0,407	88,44	540,14	0,444	97,44	549,14	0,352	76,51	528,21	0,352	75,49	527,19	0,231	47,28	498,98	0,178	35,89	487,59
2,89	0,616	131,69	583,39	0,654	141,38	593,08	0,605	128,77	580,47	0,562	118,24	569,94	0,458	91,45	543,15	0,410	80,42	532,12
«Хороший» бегун																		
2,41	1,795	573,45	991,34	1,791	625,96	1043,85	1,786	520,18	938,07	1,770	502,56	920,45	1,745	401,51	819,40	1,711	332,62	750,51
2,48	1,818	579,36	997,25	1,831	637,46	1055,35	1,813	527,62	945,51	1,796	508,72	926,61	1,714	395,19	813,08	1,746	338,50	756,39
2,55	2,007	629,54	1081,24	2,020	691,71	1143,41	2,001	572,84	1024,54	1,985	553,44	1005,14	1,961	443,78	895,48	1,925	368,81	820,51
2,89	2,216	682,93	1134,63	2,229	748,36	1200,06	2,210	664,53	1116,23	2,195	601,88	1053,58	2,170	482,63	934,23	2,142	404,17	855,87

* «Плохой» бегун не докатывается до расчетной точки сортировочного пути.

Таблица 9.14 – Расчет временных затрат локомотиво-часов на осаживание вагонов с горки

Высота горки, м	Январь				Февраль				Март				Апрель			
	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$
2,41	8,86	435,4	13,65	75,36	8,15	441,1	13,46	67,14	8,28	443,5	13,38	73,90	10,89	478,3	11,64	62,20
2,48	8,87	440,8	13,47	74,38	8,16	446,0	13,30	66,34	8,29	449,2	13,20	72,90	11,03	477,2	11,72	62,61
2,55	8,83	508,0	9,67	53,41	8,09	514,1	9,31	46,42	8,21	516,3	9,18	50,67	11,04	552,7	7,25	38,72
2,89	8,65	553,8	7,19	39,73	7,84	559,2	6,94	34,61	7,99	562,1	6,80	37,57	11,13	594,7	5,44	29,08
Высота горки, м	Май				Июнь				Июль				Август			
	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$
2,41	12,36	491,3	10,74	59,30	12,59	490,1	10,82	57,82	12,70	491,6	10,72	59,19	13,99	490,1	10,82	59,75
2,48	12,51	491,1	10,75	59,38	12,71	490,5	10,79	57,67	12,84	491,4	10,73	59,27	13,98	502,2	10,03	55,39
2,55	12,69	566,5	6,61	36,49	12,86	567,7	6,55	35,02	12,99	569,3	6,48	35,79	14,26	578,3	6,10	33,66
2,89	12,89	609,2	4,90	27,08	13,09	611,3	4,83	25,82	13,23	612,6	4,79	26,43	14,57	622,3	4,46	24,62
Высота горки, м	Сентябрь				Октябрь				Ноябрь				Декабрь			
	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$	n_m	$L_{ог}, М$	$T_{ос}, Ч$	$\Sigma T_{ос}, ЛОК Ч$
2,41	12,35	489,0	10,89	58,22	11,28	479,8	11,53	63,66	9,46	454,6	13,03	69,61	8,06	443,9	13,37	73,83
2,48	12,54	489,0	10,89	58,22	11,43	479,4	11,56	63,83	9,24	457,6	12,93	69,10	8,10	448,3	13,23	73,05
2,55	12,64	566,5	6,61	35,32	11,47	556,4	7,07	39,04	9,52	528,2	8,50	45,43	7,99	517,0	9,13	50,43
2,89	12,35	489,0	10,89	26,12	11,61	599,1	5,27	29,11	9,39	572,4	6,35	33,92	7,77	561,6	6,83	37,70

Таблица 9.15 – Расчет затрат на дополнительный тяговый подвижной состав для осаживания вагонов с сортировочной горки

Вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки	Временные затраты локомотиво-часов на осаживание вагонов	Расходы на локомотивы $A_{л}$, млн руб. в год
Существующая конструкция (немеханизованная) при $H_k = 2,89$ м	371,79	425 267
Немеханизованная горка с тремя тормозными позициями при $H_k = 2,48$ м	772,14	883 201
Частично механизированная с двумя тормозными позициями при $H_k = 2,41$ м	779,99	892 180
Механизованная и автоматизированная с двумя тормозными позициями при $H_k = 2,55$ м	500,40	572 375

Таблица 9.16 – Годовые затраты на осаживание вагонов в сортировочном парке

Вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки	Временные затраты на осаживание $\Sigma T_{ос}$, лок-ч	Расходы на осаживание вагонов $\mathcal{E}_{ос}$, руб./год
Существующая конструкция (немеханизованная) при $H_k = 2,89$ м	371,79	40 962 707
Немеханизованная горка при $H_k = 2,48$ м	772,14	85 072 069
Частично механизированная сортировочная горка при $H_k = 2,41$ м	779,99	85 936 958
Механизованная (автоматизированная) сортировочная горка при $H_k = 2,55$ м	500,40	55 132 571

Затраты на содержание механизированных и немеханизованных **тормозных позиций** рассчитываются отдельно.

Расходы на содержание **немеханизованных (башмачных) тормозных позиций** \mathcal{E}_T определяются интенсивностью износа тормозных башмаков:

$$\mathcal{E}_T = c_{тб} N_{тб},$$

где $c_{тб}$ – стоимость одного тормозного башмака, руб., $c_{тб} = 149\ 600$;

$N_{тб}$ – среднее количество тормозных башмаков, изнашиваемых на сортировочной горке в процессе эксплуатации за год.

Средний износ тормозных башмаков по вариантам конструкции сортировочной горки можно принять конгруэнтно среднему износу тормозных башмаков на сортировочной горке при существующем положении (196 штук в среднем в месяц). Кроме того, при наличии данных следует учесть расходы на ремонт подвижного состава, замену рельсов и башмакосбрасывателей, изнашиваемых в процессе движения вагонов юзом при башмачном торможении.

Результаты расчета расходов на замену тормозных башмаков при различных вариантах конструкции и уровня технического оснащения сортировочной горки представлены в таблице 9.17.

Таблица 9.17 – Расчет затрат на замену изношенных тормозных башмаков

Вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки	Средний износ тормозных башмаков в месяц	Средний износ тормозных башмаков за год	Годовые затраты на замену изношенных тормозных башмаков Э, руб. в год
Существующая (немеханизированная) при $H_k = 2,89$ м	196	2352	351 859 200
Немеханизированная при $H_k = 2,48$ м	168	2016	301 593 600
Частично механизированная при $H_k = 2,41$ м	59	708	105 916 800

Затраты на производство сжатого воздуха для работы замедлителей механизированных тормозных позиций сортировочной горки можно определить по формуле

$$\mathcal{E}_B = 365 c_B N_{\text{расф}} V_B,$$

где c_B – стоимость производства 1 м³ сжатого воздуха компрессорной установкой, 19,12 рублей, а с учетом затрат на техническое обслуживание компрессорной установки $c_B = 115,6$ руб./м³;

$N_{\text{расф}}$ – среднее количество расформировываемых составов в сутки на сортировочной горке, $N_{\text{расф}} = 20,1$ сост./сут (при средней длине расформировываемого состава 35,3 вагона);

V_B – объем сжатого воздуха, расходуемого на включение замедлителей в течение отпуска одного состава, м³.

Общий расход сжатого воздуха на работу замедлителей всех тормозных позиций горки при выпуске одного состава [26–28] определяется по формуле:

$$V_B = \Pi_k t_p,$$

где Π_k – производительность компрессорной станции, м³/мин,

$$\Pi_k = \varphi P_3,$$

φ – коэффициент, учитывающий изменение расхода воздуха на горке, который зависит от величины погашаемой энергетической высоты замедлителями при изменении скорости отпуска. Устанавливается с учетом высоты сортировочной горки и скорости отпуска, т. е. $\varphi = f(H_r, v_p)$. При общем расходе воздуха менее 60 м³/мин $\varphi = 1,15$;

P_3 – интенсивность расхода воздуха при работе замедлителей, м³/мин;

t_p – продолжительность отпуска состава, мин,

$$t_p = 0,06(1 - 1/2g_o)l_c / v_p,$$

g_o – среднее количество отцепов в составе поезда. По результатам обработки статистических данных $g_o = 13$;

l_c – средняя длина отпускаемого состава. Определяется произведением условной длины вагона $L_b = 14$ м на среднее количество вагонов в расформировываемом составе (по результатам обработки статистических данных $m_c = 35,3$ ваг);

v_p – расчетная скорость роспуска состава, равная 3 и 5 км/ч соответственно для вариантов при $H_k = 2,41$ и $H_k = 2,55$ м.

Нормативная продолжительность роспуска, мин, составит:

– при $v_0 = 3$ км/ч и $H_k = 2,41$ м

$$t_p = \frac{0,06 \cdot 14 \cdot 35,3}{3} \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 13}\right) = 9,5;$$

– при $v_0 = 5$ км/ч и $H_k = 2,55$ м

$$t_p = \frac{0,06 \cdot 14 \cdot 35,3}{5} \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 13}\right) = 5,7.$$

Расход воздуха замедлителями определяется частотой их включения в одну минуту. Расход воздуха при последовательном роспуске, м³/мин:

$$P_3 = P_1 b_1 + P_2 b_2,$$

где $P_{1(2)}$ – расход воздуха на одно включение замедлителей, установленных на первой и второй тормозных позициях. Определяется в зависимости от величины погашаемой энергетической высоты замедлителем. Так, для замедлителей типа ЗВУ (НК-114) расход воздуха на один метр энергетической высоты составляет $P = 0,5$ м³/м эн. в. и при реализуемой мощности двухрельсового замедлителя, например, 1,7 м эн. в. $P_{1(2)} = 0,85$ м³/мин, однорельсового – $P_{1(2)} = 0,43$ м³/мин;

$b_{1(2)}$ – количество включений замедлителей в течение одной минуты на горочной (парковой) тормозной позиции. Средняя частота включений всех замедлителей тормозных позиций горки В,

$$B = b_1 + b_2 = \chi_{от} (k_{вк1} + k_{вк2}),$$

$\chi_{от}$ – среднее количество отцепов, скатывающихся с горки в течение одной минуты;

$k_{вк1(2)}$ – коэффициент включений (среднее количество включений каждого замедлителя на соответствующей тормозной позиции, приходящихся на один отцеп) [33, таблица П-6.1; 35, таблица 4.3].

Среднее количество отцепов $\chi_{от}$ зависит от среднего количества вагонов в отцепе n_v и средней скорости роспуска v_p на горке. Определяется согласно [26, рисунок П-6.1]. Если фактическое среднее количество вагонов в отцепе $n_{в.ф.}$ отличается от $n_v = 2$, то $k_{вк1(2)}$ необходимо умножить на коэффициент пропорциональности $k_{пр} = 0,7 + 0,15n_{в.ф.}$ В соответствии с результатами статистической обработки данных о количестве вагонов в отцепках, скатывающихся при роспуске составов с сортировочной горки, $n_{в.ф.} = 2,98$ ваг./отцеп.

Произведем расчет количества включений замедлителей в течение одной минуты на горочной (парковой) тормозной позиции по следующим вариантам.

1 *Вариант с частичной механизацией сортировочной горки* (горочная механизированная тормозная позиция). Среднее количество отцепов, скатывающихся с горки в течение одной минуты $\chi_{от} = 1,2$ отцепа/мин при $v_0 = 3$ км/ч (в соответствии с [33, рисунок П-6.1]). Коэффициент включений $k_{вк1} = 1,0$ при $v_0 = 3$ км/ч (в соответствии с [35, таблица 4.3]). Коэффициент пропорциональности $k_{пр} = 0,7 + 0,15 \cdot 2,98 = 1,147$; количество включений замедлителей на горочной тормозной позиции с учетом коэффициента $k_{пр} = 1,147$, $b_1 = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,147 = 1,38$ вкл./мин.

2 *Вариант с полной механизацией сортировочной горки* (горочная и парковая механизированные тормозные позиции). Среднее количество отцепов, скатывающихся с горки в течение одной минуты $\chi_{от} = 2,0$ отцепа/мин при $v_0 = 5$ км/ч (в соответствии с [33, рисунок П-6.1]). Коэффициенты включений $k_{вк1} = 1,1$ и $k_{вк2} = 1,3$ при $v_0 = 5$ км/ч (в соответствии с [35, таблица 4.3]). Коэффициент пропорциональности $k_{пр} = 0,7 + 0,15 \cdot 2,98 = 1,147$; количество включений замедлителей на горочной b_1 и парковой b_2 тормозных позициях с учетом коэффициента пропорциональности $k_{пр} = 1,147$ $b_1 = 2,0 \cdot 1,1 \cdot 1,147 = 2,52$ вкл./мин и $b_2 = 2,0 \cdot 1,3 \cdot 1,147 = 2,98$ вкл./мин.

3 *Вариант с механизацией и автоматизацией сортировочной горки* (горочная и парковая механизированные тормозные позиции). Если включение замедлителей полностью автоматизировано и ручное вмешательство не превышает 10 %, то $k_{вк}$ для всех позиций по сравнению с данными таблицы 4.3 [35] уменьшается на 10–15 % или примерно в 1,2 раза. В этом случае количество включений замедлителей на горочной b_1 и парковой b_2 тормозных позициях $b_1 = 2,52/1,2 = 2,10$ вкл./мин и $b_2 = 2,98/1,2 = 2,48$ вкл./мин.

Результаты расчета расхода сжатого воздуха по вариантам конструкции горки с частичной и полной механизацией тормозных позиций и механизацией с автоматизацией горки представлены в таблице 9.18.

Таблица 9.18 – Расчет затрат на расход сжатого воздуха для работы замедлителей

Параметр	Вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки		
	Частичная механизация при $H_k = 2,41$ м	Полная механизация при $H_k = 2,55$ м	Механизация с автоматизацией при $H_k = 2,55$ м
Расход воздуха на одно включение $P_{1(2)}$, м ³ /вкл.	ГТП: $0,5 \cdot 1,9 = 0,95$	ГТП: $0,5 \cdot 1,7 = 0,85$; ПТП: $0,5 \cdot 0,85 = 0,43$	ГТП: $0,5 \cdot 1,7 = 0,85$; ПТП: $0,5 \cdot 0,85 = 0,43$
Количество включений $b_{1(2)}$, вкл./мин ¹⁾	1,38/–	2,52/2,98	2,10/2,48
Расход воздуха P_3 , м ³ /мин	1,31/–	2,14/1,28	1,79/1,07
Продолжительность роспуска без учета вагонов ЗСГ, мин	9,5	5,7	4,28 ²⁾
Годовой расход воздуха ³⁾ с учетом $\phi = 1,15$, м ³	73499 73499	102914+61556 164470	64637+38638 103275

Окончание таблицы 9.18

Параметр	Вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки		
	Частичная механизация при $H_k = 2,41$ м	Полная механизация при $H_k = 2,55$ м	Механизация с автоматизацией при $H_k = 2,55$ м
Годовые затраты на расход воздуха $\mathcal{E}_в$, руб.	12 137 787	19 012 732	11 938 590
<p>¹⁾ Числитель – для первой (горочной) тормозной позиции; знаменатель – для второй (парковой) тормозной позиции;</p> <p>²⁾ Внедрение систем автоматизации роспуска составов позволяет сократить продолжительность роспуска на 20–25 %;</p> <p>³⁾ Оборудование компрессорной установки системой автоматизированного управления позволяет снизить до 30 % расход воздуха.</p>			

Изменение **расходов, связанных с надвигом составов на горку**, определяется расходом условного топлива по следующей зависимости:

$$\mathcal{E}_{\text{пд}} = 365 c_{\text{т}} \frac{2,35 Q_{\text{п}} H_{\text{к}}}{7000 \cdot 10^3 \eta} \cdot \frac{n_{\text{ваг}} l_{\text{yc}}}{L_{\text{п}}},$$

где $c_{\text{т}}$ – стоимость одной тонны топлива, $c_{\text{т}} = 4\,116\,000$ руб./т;

2,35 – количество килокалорий, соответствующее работе в 10 Н·м;

$Q_{\text{п}}$ – масса поезда, 1806 т;

$H_{\text{к}}$ – высота горки по варианту конструкции и технического оснащения;

7000 – теплотворная способность условного топлива в ккал/кг;

η – результирующий коэффициент полезного действия (КПД) механизмов локомотива. КПД тепловоза ЧМЭ-3 $\eta = 0,4$;

$n_{\text{ваг}}$ – среднесуточная переработка вагонов на горке, $n_{\text{ваг}} = 710$ ваг./сут;

$L_{\text{п}}$ – средняя длина состава, надвигаемого на горку, 494,2 м (35,3·14 м).

Результаты расчета количества топлива, затрачиваемого на подачу составов на горку в процессе надвига и роспуска, представлены в таблице 9.19.

Таблица 9.19 – Затраты на топливо для надвига и роспуска составов на горке

Вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки	Расход топлива, т/год	Годовые затраты $\mathcal{E}_{\text{пд}}$, руб.
Существующая с тремя тормозными позициями (немеханизированной) при $H_k = 2,89$ м	32,16	132 370 560
Немеханизированная с тремя тормозными позициями при $H_k = 2,48$ м	27,60	113 587 655
Частично механизированная с двумя тормозными позициями при $H_k = 2,41$ м	26,82	110 391 120
Механизированная (автоматизированная) с двумя тормозными позициями при $H_k = 2,55$ м	28,38	116 793 758

Расходы на **заработную плату причастным работникам** сортировочного комплекса определяются их численностью и квалификацией

$$\mathcal{E}_{\text{зп}} = c_{\text{зп}} N_{\text{р}},$$

где $c_{\text{зп}}$ – средняя зарплата одного работника в месяц с учетом коэффициента замещения и норм отчисления на социальное страхование в месяц, равна 2 096 000 руб. (в ценах 2011 г.);

$N_{\text{р}}$ – количество штатных работников, $N_{\text{р}} = 26$ чел.

При сохранении башмачных средств регулирования скоростей скатывания отцепов с горки на трех тормозных позициях (вариант конструкции немеханизированной сортировочной горки с высотой 2,48 м) расходы на заработную плату регулировщикам скоростей скатывания отцепов с горки в количестве 26 человек сохраняются в полном объеме по сравнению с существующим положением (таблица 9.20).

Вариант с частичной механизацией сортировочной горки предусматривает дополнительное привлечение одного специалиста, работающего в дневную смену для обслуживания тормозного оборудования, а также сокращение штата регулировщиков скорости движения отцепов на тормозных позициях – до 19 человек.

Количество причастных работников в варианте с полной механизацией сортировочной горки принято пять человек (штат операторов торможения вагонов и специалист по обслуживанию оборудования).

При оборудовании сортировочной горки микропроцессорной системой автоматизации расформирования составов дополнительно необходимо привлечение одного специалиста в дневную смену.

Расходы на заработную плату одного специалиста с окладом в размере 2 096 000 руб.

$$C_{\text{зп}} = 2\,096\,000 \cdot 12 \cdot 1,385 \cdot 1,07 = 37\,274\,006 \text{ руб./год},$$

где 1,385 – норма отчислений на социальное страхование;

1,07 – коэффициент замещения. Результаты расчетов сведены в таблицу 9.20.

Т а б л и ц а 9.20 – Расчет затрат на заработную плату причастным работникам

Вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки	Количество штатных работников $N_{\text{р}}$, чел.	Годовые расходы на заработную плату $\mathcal{E}_{\text{зп}}$, руб.	Примечание
Существующая конструкция при $H_{\text{к}} = 2,89$ м	26	969 124 156	–
Немеханизированная при $H_{\text{к}} = 2,48$ м	26	969 124 156	Соответствует существующему положению
Частично механизированная при $H_{\text{к}} = 2,41$ м	19	708 206 114	Дополнительный работник для обслуживания тормозного оборудования
Механизированная при $H_{\text{к}} = 2,55$ м	5	186 370 030	
Механизированная и автоматизированная при $H_{\text{к}} = 2,55$ м	6	223 644 036	Дополнительный работник для обслуживания оборудования

Дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с амортизацией и содержанием технических средств $\Sigma C_{\text{доп(эксп)}}$ включают амортизационные отчисления на технические средства и затраты на материалы, запчасти и электроэнергию, связанные с обеспечением функционирования системы. Амортизационные отчисления C_A по проектируемым техническим устройствам определяются на основании величин капитальных вложений A_M (таблицы 1.6, 1.7, 1.11) и норм амортизации. Норма амортизационных отчислений, исходя из срока службы замедлителей, который при правильной эксплуатации и установившихся объемах работы сортировочной горки может составить не менее 25 лет, принята в размере 4 % от общей стоимости тормозного оборудования. Тогда величина амортизационных отчислений

$$C_A = A_M \cdot 0,04, \text{ руб./год.}$$

Расходы на материалы, запасные части и электроэнергию $C_{\text{МЗЭ}}$ принимаются в размере 1,5 % от суммарной стоимости внедряемого оборудования

$$C_{\text{МЗЭ}} = A_M \cdot 0,015, \text{ руб./год.}$$

Величина дополнительных эксплуатационных расходов на амортизацию и содержание горочных технических средств $\Sigma C_{\text{доп(эксп)}}$ приведена в таблице 9.21.

Наибольшие годовые дополнительные расходы, связанные с амортизацией и содержанием проектируемых технических средств, возможны при реализации варианта переустройства сортировочной горки с полной механизацией и автоматизацией процесса расформирования составов грузовых поездов как наиболее капиталоемкого варианта. Эти расходы более чем в два раза превышают аналогичные расходы по варианту с наименьшей капиталоемкостью (частичная механизация сортировочной горки).

Таблица 9.21 – Дополнительные расходы, связанные с амортизацией и содержанием технических средств, руб./год

Показатель	Варианты конструкции и технического оснащения сортировочной горки		
	Частичная механизация горки при $H_k = 2,41$ м	Полная механизация сортировочной горки при $H_k = 2,55$ м	Механизация с автоматизацией горки при $H_k = 2,55$ м
Амортизационные отчисления, C_A	91 020 000	213 120 000	339 120 000
Материалы, запчасти, электроэнергия и прочие расходы, $C_{\text{МЗЭ}}$	34 132 500	79 920 000	127 170 000
Дополнительные эксплуатационные расходы на амортизацию и содержание вагонных замедлителей, систем ГАЦ и АРС $\Sigma C_{\text{доп(эксп)}}$ по вариантам	125 152 500	293 040 000	466 290 000

Однако следует отметить, что амортизационные расходы не учитываются при расчете величины периода возврата инвестиций, но непосред-

ственно влияют на предполагаемый экономический эффект от реализации предлагаемых мероприятий.

Экономия эксплуатационных расходов при совершенствовании конструкции и уровня технического оснащения сортировочной горки образуется, главным образом, за счет сокращения продолжительности расформирования составов с горки, ускорения процесса накопления составов и сокращения расхода топлива на маневровые передвижения.

Дополнительная экономия эксплуатационных расходов, связанная с уменьшением продолжительности расформирования составов, складывается из экономии вагоно-часов (C_1) простоя подвижного состава на станции и локомотиво-часов работы маневровых локомотивов (C_2).

Экономия эксплуатационных расходов, получаемая в результате уменьшения вагоно-часов простоя подвижного состава на станции, определяется по следующему выражению:

$$C_1 = 365 \Delta t_r e_{в-ч} n_{ваг},$$

где Δt_r – сокращение величины горочного технологического интервала при усилении технического оснащения сортировочной горки, мин;

$e_{в-ч}$ – стоимость вагоно-часа простоя подвижного состава на станции, руб., $e_{в-ч} = 4299$;

$n_{ваг}$ – количество расформировываемых составов в среднем в сутки, $n_{ваг} = 20,1$ – состав при среднем количестве вагонов в расформировываемом составе, равном $35,3$ ваг./состав (определено по данным статистической обработки сортировочных листков) и среднесуточной величине перерабатываемого вагонопотока 710 ваг./сут.

Продолжительность расформирования одного состава на станции при существующем положении составляет $57,0$ мин, а при других вариантах конструкции и технического оснащения сортировочной горки эта величина сократится на величину Δt_r , принятую равной $5-20$ %.

Величина C_1 , руб./год, составит:

– для варианта с немеханизированной горкой:

$$C_1^{нем} = 365 \cdot \frac{2,85}{60} \cdot 35,3 \cdot 20,1 \cdot 4299 = 52\,884\,047;$$

– для варианта с частичной механизацией:

$$C_1^{част} = 365 \cdot \frac{5,70}{60} \cdot 35,3 \cdot 20,1 \cdot 4299 = 105\,768\,094;$$

– с полной механизацией:

$$C_1^{мех} = 365 \cdot \frac{8,55}{60} \cdot 35,3 \cdot 20,1 \cdot 4299 = 158\,652\,141;$$

– с полной механизацией и автоматизацией отпуска:

$$C_1^{\text{авт}} = 365 \cdot \frac{11,4}{60} \cdot 35,3 \cdot 20,1 \cdot 4299 = 211536188.$$

Уменьшение затрат на маневровую работу за счет сокращения продолжительности расформирования составов на горке C_2 , руб./год, определяется по следующей зависимости:

$$C_2 = 365 \frac{\Delta t_{\Gamma}}{60} N e_{\text{л-ч}}^{\text{ман}},$$

где N – количество расформируемых составов в среднем в сутки, состав/сут, $N = 20,1$;

$e_{\text{л-ч}}^{\text{ман}}$ – стоимость локомотиво-часа маневровой работы, руб., $e_{\text{л-ч}}^{\text{ман}} = 110177$.

$$C_2^{\text{нем}} = 365 \cdot \frac{2,85}{60} \cdot 20,1 \cdot 110177 = 38\,394\,894;$$

$$C_2^{\text{част}} = 365 \cdot \frac{5,70}{60} \cdot 20,1 \cdot 110177 = 76\,789\,788;$$

$$C_2^{\text{мех}} = 365 \cdot \frac{8,55}{60} \cdot 20,1 \cdot 110177 = 115\,184\,682;$$

$$C_2^{\text{авт}} = 365 \cdot \frac{11,4}{60} \cdot 20,1 \cdot 110177 = 153\,579\,577.$$

Результаты расчетов экономии эксплуатационных расходов при уменьшении продолжительности расформирования сведены в таблицу 9.22.

Таблица 9.22 – Расчет экономии эксплуатационных расходов при уменьшении продолжительности расформирования составов

Вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки	Сокращение продолжительности расформирования состава Δt_{Γ} , мин	Годовая экономия от сокращения вагоно-часов простоя подвижного состава на станции (C_1), руб.	Годовая экономия от сокращения локомотиво-часов маневровой работы (C_2), руб.
Немеханизованная при $H_k = 2,48$ м	2,85 (5 %)	52 884 047	38 394 894
Частично механизированная при $H_k = 2,41$ м	5,70 (10 %)	105 768 094	76 789 788
Механизованная при $H_k = 2,55$ м	8,55 (15 %)	158 652 141	115 184 682
Механизованная и автоматизированная при $H_k = 2,55$ м	11,4 (20 %)	211 536 188	153 579 577

Уровень технического оснащения сортировочной горки влияет на сокращение продолжительности поступления на путь накопления замыкающей группы вагонов в составе поезда и, как следствие, **уменьшение простоя вагонов под накоплением на состав и экономию эксплуатационных расходов**. На основе анализа данных о характере вагонопотока на станции

установлено, что средняя величина отцепа равна 2,98 вагона, а количество отцепов в составе – $n_{\text{отц}} = 13$ (по данным обработки натурно-сортировочных листов).

Исходя из понятия равновероятности можно заключить, что вероятность поступления замыкающей группы при накоплении состава составляет 1/13. Тогда сокращение продолжительности накопления вагонов на состав при уменьшении расформирования составов на Δt_{Γ} составит $\Delta t_{\Gamma} / (13 \cdot 60)$ часа, а экономия эксплуатационных расходов, руб./год,

$$C_3 = \frac{\Delta t_{\Gamma}}{60 n_{\text{отц}}} n_{\text{ваг}} N e_{\text{в-ч}}.$$

$$\text{Тогда } C_3^{\text{нем}} = 365 \cdot \frac{2,85}{13 \cdot 60} \cdot 35,3 \cdot 20,1 \cdot 4299 = 4\,068\,004;$$

$$C_3^{\text{част}} = 365 \cdot \frac{5,70}{13 \cdot 60} \cdot 35,3 \cdot 20,1 \cdot 4299 = 8\,136\,007;$$

$$C_3^{\text{мех}} = 365 \cdot \frac{8,55}{13 \cdot 60} \cdot 35,3 \cdot 20,1 \cdot 4299 = 12\,204\,011;$$

$$C_3^{\text{авт}} = 365 \cdot \frac{11,4}{13 \cdot 60} \cdot 35,3 \cdot 20,1 \cdot 4299 = 16\,272\,014.$$

Сокращение расхода топлива на маневровые передвижения рассчитывается при номинальной нагрузке и средней скорости маневровой работы 15 км/ч расход топлива на 1 км или 1000 ткм брутто составляет 6,5 кг, или 38,2 кг/ч. В режиме холостого хода расход топлива составляет 9 кг/ч.

Стоимость сэкономленного топлива за год в результате сокращения горочного технологического интервала, руб./год, определяется по формуле

$$C_T = 365(r_{\text{н}} - r_{\text{хх}})N\Delta t_{\Gamma}e_T,$$

где $r_{\text{н}}$ – расход условного топлива при номинальной нагрузке и средней скорости маневровой работы 15 км/ч, $r_{\text{н}} = 38,2$ кг/ч;

$r_{\text{хх}}$ – расход условного топлива в режиме холостого хода, $r_{\text{хх}} = 9$ кг/ч;

e_T – стоимость 1 кг топлива, руб., $e_T = 4\,116,0$;

$$C_T^{\text{нем}} = 365 \cdot (38,2 - 9) \cdot 20,1 \cdot \frac{2,85}{60} \cdot 4\,116,0 = 41\,883\,286;$$

$$C_T^{\text{част}} = 365 \cdot (38,2 - 9) \cdot 20,1 \cdot \frac{5,70}{60} \cdot 4\,116,0 = 83\,766\,572;$$

$$C_T^{\text{мех}} = 365 \cdot (38,2 - 9) \cdot 20,1 \cdot \frac{8,55}{60} \cdot 4\,116,0 = 125\,649\,859;$$

$$C_T^{\text{авт}} = 365 \cdot (38,2 - 9) \cdot 20,1 \cdot \frac{11,4}{60} \cdot 4\,116,0 = 167\,533\,145.$$

Т а б л и ц а 9.23 – Экономические показатели вариантов конструкции и технического оснащения сортировочной горки*

Статья расходов	Варианты конструкции горки							
	Немеханизированная с тремя тормозными позициями при $H_k = 2,48$ м		Частично механизированная сортировочная с механизированной горочной и немеханизированной парковой ТП при $H_k = 2,41$ м		Механизированная сортировочная с двумя тормозными позициями при $H_k = 2,55$ м (оптимальный)		Механизированная и автоматизированная сортировочная с двумя тормозными позициями при $H_k = 2,55$ м	
	Количество	Расходы, Вг	Количество	Расходы, Вг	Количество	Расходы, Вг	Количество	Расходы, Вг
Капитальные вложения К, руб. (Вг)								
Сооружение земляного полотна, м ³	831	16 237 740	1373	26 828 420	1647	32 182 380	1647	32 182 380
Механизация тормозных позиций, комплект	–	–	2 комп.	2 275 500 000	2+8 комп.	5 328 000 000	2+8 комп.	5 328 000 000
Дополнительный тяговый подвижной состав, лок.	0,106	883 201	0,107	892 180	0,069	572 375	0,069	572 375
Автоматизация процессов с внедрением ГАЦ МПЦ и АРС	–	–	–	–	–	–	1 комп.	3 150 000 000
ИТОГО:		17 120 941		2 303 220 600		5 360 754 755		8 510 754 755
Прочие работы и непредвиденные расходы (25 % от итога)		4 280 243		575 805 150		1 340 188 689		2 127 688 689
ВСЕГО		21 401 184		2 879 025 750		6 700 943 444		10 638 443 444
Эксплуатационные расходы Э, руб./год (Вг)								
Осаживание вагонов, ваг.ч.	772,14	85 072 069	779,99	85 936 958	500,4	55 132 571	500,4	55 132 571
Замена тормозных башмаков, башмаков/год	2016	301 593 600	708	105 916 800	–	–	–	–
Производство воздуха для работы замедлителей, м ³ /год	–	–	73499	12 137 787	164470	19 012 732	103275	11 938 590
Расход топлива на надвиг и роспуск составов с горки, т	27,60	113 587 655	26,82	110 391 120	28,38	116 793 758	28,38	116 793 758
Заработная плата причастным работникам, чел.	26	969 124 156	19	708 206 114	5	186 370 030	6	223 644 036
Амортизация технических средств (в течение 25 лет)	–	–	К*0,04	91 020 000	К*0,04	213 120 000	К*0,04	339 120 000
Содержание технических средств	–	–	К*0,015	34 132 500	К*0,015	79 920 000	К*0,015	127 170 000
Обточка дефектных колесных пар, % от 2·10 ⁹ руб./год	3,15 %	63 000 000	–	–	–	–	–	–
ИТОГО		1 532 377 480		1 147 741 279		670 349 091		873 798 955
Дополнительная экономия при различных вариантах конструкции и уровне технического оснащения горки С, руб./год (Вг)								
Экономия от сокращения вагоно-часов простоя, ваг.ч	12301,34	52 884 047	24602,95	105 768 094	36904,43	158 625 141	49205,91	211 536 188
Экономия от сокращения лок.ч, лок.ч	348,48	38 394 894	696,97	76 789 788	1045,45	115 184 682	1393,94	153 579 577
Экономия вагоно-часов от ускорения процесса накопления составов, ваг.ч	946,27	4 068 004	1892,53	8136 007	2838,80	12 204 011	3785,07	16 272 014
Экономия от сокращения расхода топлива, т/год	10,18	41 883 286	20,35	83 766 572	30,53	125 649 859	40,7	167 533 145
ИТОГО:		137 230 231		274 460 461		411 690 693		548 920 924
Эксплуатационные расходы за вычетом экономии		1 395 147 249		873 280 818		258 658 398		324 878 031
Приведенные расходы, млн руб. в год		1 397 287 370		1 161 183 393		928 752 742		1 388 722 375
* Капитальные вложения в тяговый подвижной состав и эксплуатационные расходы по существующему положению при $H_k = 2,89$ м составили 425 267 и 1 619 316 623 рублей в год соответственно в ценах 2011 г.								

Основным фактором, определяющим отличие рассчитанных показателей экономии по вариантам, является горочный технологический интервал, который зависит, главным образом, от уровня оснащенности сортировочной горки.

Общая экономия эксплуатационных расходов при усилении технического оснащения горки, определяемая суммированием рассчитанных показателей C_1, C_2, C_3 и C_T , а также величины капитальных вложений и эксплуатационных расходов по вариантам приведены в сводной таблице 9.23.

Пример 9.9. На основе примеров 9.6–9.8 найти оптимальный вариант конструкции и технического оснащения сортировочной горки, срок его окупаемости и показатели эффективности вложений инвестиций.

Решение. Определение оптимального варианта конструкции и технического оснащения сортировочной горки выполняется по соотношению величин приведенных затрат и сроков окупаемости с учетом показателей эффективности вложения инвестиций.

Для сравнения вариантов необходимо рассчитать приведенные годовые затраты, определяемые по следующей формуле:

$$E = \Xi + E_n K,$$

где Ξ – эксплуатационные расходы, млн руб. в год;

E_n – нормативный коэффициент приведения капитальных вложений к эксплуатационным расходам, $E_n = 0,10-0,12$.

K – капитальные вложения, млн руб.;

Следует отметить, что в расчетах целесообразно учитывать только капитальные вложения, изменяющиеся по вариантам конструкции горки, не учитывая вложения, одинаковые для всех вариантов. Результаты расчетов по определению капитальных вложений, эксплуатационных расходов и приведенных годовых затрат представлены в таблице 9.23.

На рисунке 9.5 показано образование зоны рациональных решений для выбора оптимального варианта конструкции и технического оснащения сортировочной горки. Поведение трендов на графике определяет изменение приведенных расходов по вариантам конструкции горки (1 – нормативная конструкция без механизации; 2 – частичная механизация; 3 – полная механизация; 4 – механизация и автоматизация). Дополнительная вариантность образуется изменением высоты горки в зоне рациональных решений.

Таким образом, на основании полученных результатов оптимальным вариантом конструкции и технического оснащения сортировочной горки является вариант с полной механизацией горки при ее конструкции с высотой горки $H_k = 2,55$ м. Для данного варианта получены минимальные значения приведенных расходов. Этот вариант предполагает:

– приведение конструкции продольного профиля надвижной и спускной частей сортировочной горки к нормативному очертанию, обеспечивающему

улучшенные эксплуатационные качества, с уменьшением высоты горки на 0,34 м;

- демонтаж немеханизированной пучковой тормозной позиции, расположенной в настоящее время в пределах симметричного стрелочного перевода № 220 с маркой крестовины 1/6;

- механизацию горочной (перед первым разделительным переводом № 234) и парковой тормозных позиций с установкой на спускной части двух трехзвенных двухрельсовых замедлителей типа ЗВУМ-900-3-2 мощностью 1,7 м эн. в. и восемь трехзвенных однорельсовых замедлителей типа ЗВУМ-600-3-1 мощностью 1,7 м эн. в. на парковых, устанавливаемых в створе;

- полное устранение ручного труда регулировщиков скорости скатывания отцепов с горки на спускной ее части и в начале сортировочных путей;

- возможность автоматизации процессов расформирования составов на сортировочной горке с применением систем ГАЦ (МПЦ), АРС, КЗП, РИС РТДС и других или аналогичных в перспективе.

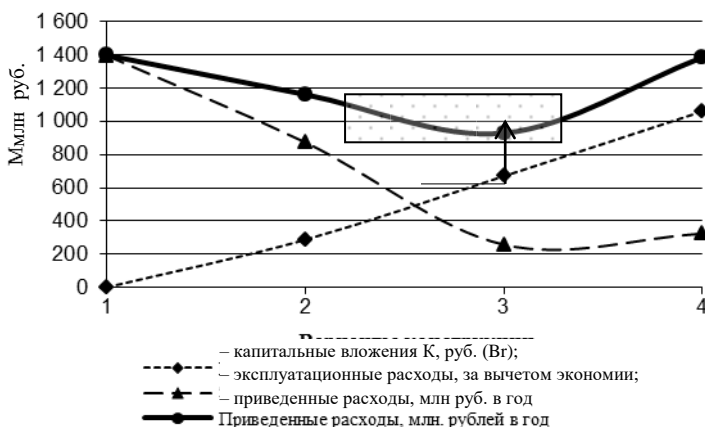


Рисунок 9.5 – Поиск оптимального варианта конструкции и технического оснащения горки

Проектный вариант конструкции продольного профиля спускной части сортировочной горки и результаты моделирования процесса расформирования составов приведены на рисунке 9.4.

Приведенные затраты по оптимальному варианту конструкции горки составили 928,753 млн руб. в год. При этом общие **капитальные (единовременные) вложения** составили 6700,943, а **годовые эксплуатационные расходы** – 670,349 млн руб. в год.

Срок окупаемости мероприятий при использовании собственных средств железнодорожных компаний для оптимального проектного варианта сортировочной горки

$$T_3 = \frac{K}{\Delta_{\Phi}},$$

где Δ_{Φ} – экономический эффект от внедрения оптимального варианта, руб./год.

Следует отметить, что в расчетах учитываются только капитальные вложения, изменяющиеся по вариантам увеличения высоты горки, и не учитываются вложения, постоянные для всех вариантов реконструкции.

Экономический эффект Δ_{Φ} при реализации оптимального варианта определяется как разность эксплуатационных расходов для горки нормативной конструкции Δ_n или при существующем положении $\Delta_{\text{сущ}}$ и после модернизации $\Delta_{\text{опт}}$ с учетом экономии эксплуатационных расходов $C_{\text{опт}}$:

$$\Delta_{\Phi} = \Delta_{n(\text{сущ})} - \Delta_{\text{опт}} + C_{\text{опт}}.$$

Экономический эффект может включать только экономию эксплуатационных расходов от внедрения современных технических средств за вычетом дополнительных годовых расходов на их содержание.

$$\Delta_{\Phi} = 1\,619\,316\,623 - 670\,349\,091 + 411\,690\,693 = 1\,360\,658\,225 \text{ руб./год.}$$

Тогда срок окупаемости проекта при использовании собственных средств

$$T_3 = \frac{6\,700\,943\,444}{1\,360\,658\,225} = 4,92 \approx 5 \text{ лет.}$$

Таким образом, срок окупаемости реконструктивных мероприятий не превышает нормативного (8–10 лет), следовательно, выбранный вариант может быть принят в качестве оптимального для реконструкции сортировочной горки в целях усиления ее технического оснащения и **устранения ручного труда в потенциально наиболее опасных зонах технологического процесса работы станции**, сокращения прямых и косвенных эксплуатационных расходов.

При этом **период возврата инвестиций** (собственных средств)

$$T_B = \frac{K}{\Delta_{\Phi} + A},$$

где A – амортизационные отчисления, зависящие от срока эксплуатации технических средств (25 лет) по принимаемому варианту.

$$T_B = \frac{6\,700\,943\,444}{1\,360\,658\,225 + 213\,120\,000} = 4,3 \text{ года.}$$

Коэффициент эффективности инвестиций рассчитывается по формуле

$$E_{\text{инв}} = \frac{\Delta_{\Phi}}{K}.$$

Значение данного коэффициента не должно быть ниже нормативного E_n , принимаемого равным $E_n = 0,10 \dots 0,12$ при сроке окупаемости реконструктивных мероприятий 8–10 лет. Учитывая, что срок службы устанавливаемого оборудования может превышать 20 лет, нормативный срок окупаемости может быть увеличен.

Значение данного коэффициента не должно быть ниже нормативного $E_n = 0,10 \dots 0,12$. Если $E_{инв} \geq E_n$, то вложение инвестиций в усиление технического оснащения сортировочной горки является экономически целесообразным и эффективным. Таким образом, условие будет выглядеть следующим образом:

$$E_{инв} = \frac{1\,360\,658\,255}{6\,700\,943\,444} = 0,20 > E_n.$$

Условие выполняется. **Вложение инвестиций** в усиление технического оснащения сортировочной горки до полной механизации двух тормозных позиций и изменение конструкции продольного профиля сортировочной горки для приведения к нормативному очертанию с улучшенными эксплуатационными качествами **является экономически целесообразным и эффективным.**

Следует отметить, что срок окупаемости конструктивных мероприятий по **варианту с полной механизацией и автоматизацией** горочных технологических процессов также не превышает нормативной величины (8–10 лет) и составляет $\approx 8,2$ лет, а период возврата инвестиций $\approx 6,5$ лет. Этот вариант также может быть рекомендован для внедрения как наиболее высокотехнологичный, особенно с учетом роста величины перерабатываемого вагонопотока на сортировочной горке в перспективе. Выбор из предложенных экономически целесообразных вариантов следует осуществлять по усмотрению заказчика с учетом решений Генеральной схемы развития железнодорожного узла и Планов развития основных производственных мощностей региона тяготения.

При привлечении заёмных средств для реализации вариантов развития сортировочного комплекса станции целесообразно эффект от реализации инвестиционного проекта рассчитывать по периодам времени, что связано с необходимостью учета величины ставки рефинансирования и банковских рисков, уплаты процентов. Распределение эффекта по времени в расчетный период определяется нормативом экономической эффективности (нормой дисконта), зависящим от ставки рефинансирования или депозитного процента по вкладам (в стабильных ценах). Определённым ориентиром при установлении норматива экономической эффективности может служить депозитный процент по вкладам в относительно стабильной иностранной валюте с учетом инфляции и соответствующих банковских рисков. Учитывая, что ОАО «РЖД» является крупным перевозчиком грузов, а также зна-

чительную экономическую интеграцию стран в рамках Союзного государства, Таможенного союза и ЕЭП в качестве норматива экономической эффективности (дисконта) можно принять величину депозитного процента по вкладам в российских рублях, например, $E = 9\%$, что, как правило, соответствует прогнозируемому уровню инфляции и темпу амортизационных отчислений по проекту.

Для оценки эффективности инвестиций с использованием заемных средств рассчитываются: **индекс рентабельности инвестиций**, величина **чистого дисконтированного дохода** и **финансовое положение инвестора**, **период возврата инвестиций**, а также **внутренняя норма рентабельности**.

Индекс рентабельности инвестиций, определяемый отношением экономического эффекта \mathcal{E}_Φ к сумме инвестиционных затрат K при норме дисконта $E = 0,09$, должен быть больше единицы:

$$\mathcal{E}_k = 1\ 360\ 658\ 225 / (0,09 \cdot 6\ 700\ 943\ 444) = 2,26.$$

Учитывая, что **индекс рентабельности** больше единицы, можно говорить об **эффективности вложения инвестиций** (заемных средств).

Величина **чистого дисконтированного дохода** (интегральный эффект) для постоянной нормы дисконта ($E = 9\%$) только при неизменных ценах в течение расчетного периода T_p (при стабильных экономических условиях, как было принято ранее) определяется из выражения

$$\mathcal{E}_{\text{инт}} = \sum_{T=0}^{T_p} (\mathcal{E}_\Phi - K) \frac{1}{(1+E)^T}.$$

Результаты определения **чистого дисконтированного дохода** и **финансового положения инвестора** при внедрении оптимального варианта технического оснащения сортировочной горки в расчетный период приведены в таблице 9.24.

Т а б л и ц а 9.24 – **Определение финансового положения инвестора в расчетном периоде при внедрении оптимального варианта**

Условный год t	Единовременные капитальные вложения K , руб.	Экономический эффект \mathcal{E}_Φ , руб./год	Величина инвестиций (вложений) по периодам K_t , руб.	Финансовое положение инвестора по периодам, руб.	Коэффициент дисконтирования*	Дисконтированные инвестиции по периодам, руб.	Финансовое положение инвестора с учетом дисконта, руб.
0	Период разработки проекта и обоснования инвестиций						
1	6700943444		-6700943444	-6700943444	1,00	-6700943444	-6700943444
2		1360658225	1360658225	-5340285219	0,92	1248310298	-5452633146
3		1360658225	1360658225	-3979626994	0,84	1145238806	-4307394340
4		1360658225	1360658225	-2618968769	0,77	1050677803	-3256716537
5		1360658225	1360658225	-1258310544	0,71	963924590	-2292791946
6		1360658225	1360658225	102347681	0,65	884334486	-1408457460

Окончание таблицы 9.24

Условный год t	Единовременные капитальные вложения K , руб.	Экономический эффект Δ_f , руб./год	Величина инвестиций (вложений) по периодам K_t , руб.	Финансовое положение инвестора по периодам, руб.	Коэффициент дисконтирования*	Дисконтированные инвестиции по периодам, руб.	Финансовое положение инвестора с учетом дисконта, руб.
7		1360658225	1360658225	1463005906	0,60	811316043	-597141417
8		1360658225	1360658225	2823664131	0,55	744326645	147185227

* Коэффициент дисконтирования вычисляется как $1 / (1 + E)^t$.

Графическое представление **финансового положения инвестора**, вкладывающего заемные средства во внедрение оптимального варианта конструкции и технического оснащения сортировочной горки, в расчетный период с учетом дисконта (и без учета) приведено на рисунке 9.6.

Таким образом, **чистая дисконтированная стоимость инвестиций** в восьмом году составляет 147 185 227 руб. В седьмом году необходимо возвратить 597 141 417 руб., следовательно, **период возврата инвестиций**

$$T_p = 7 + 597141417 / 744326645 = 7,8 \text{ года} \approx 8 \text{ лет.}$$

Полученный результат характеризует граничное положение, разделяющее инвестиции на «приемлемые» и «неприемлемые» при заданном расчетном периоде $T_p = 8$ лет.

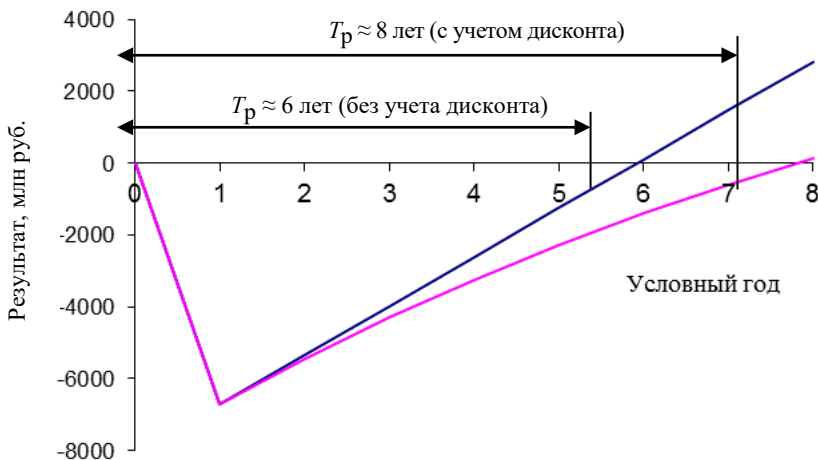


Рисунок 9.6 – График изменения финансового положения инвестора при внедрении оптимального варианта

Полученный результат подтверждает эффективность вложения инвестиционных средств в реализацию оптимального варианта реконструкции горки.

Внутренняя норма рентабельности (внутренняя норма доходности) инвестиций представляет собой коэффициент дисконтирования (дисконта) $E_{\text{вн}}$, при котором величина приведенного к одному и тому же временному интервалу **экономического эффекта** $\Delta\phi$ соответствует **приведенным капитальным вложениям** K . Норма рентабельности определяется методом последовательного приближения из тождества

$$\sum_{T=0}^{T_p} (K - \Delta\phi) \frac{1}{(1 + E_{\text{вн}})^T} = 0 \quad \rightarrow \quad E_{\text{вн}} = 0,0965 \approx 0,097.$$

Таким образом, при норме дисконта свыше 9,7 % заемные инвестиции становятся неэффективными (в расчетах принята норма дисконта $E = 9\%$). При увеличении расчетного периода до нормативного 10–11 лет (с учетом года реализации варианта переустройства) граничное значение коэффициента дисконтирования (дисконта) $E_{\text{вн}}$ увеличится и составит 0,155 (15,5 %).

Результаты определения **чистого дисконтированного дохода** и **финансового положения инвестора** при реализации наиболее технологичного варианта реконструкции сортировочной горки с внедрением систем ГАЦ (МПЦ) и АРС (и др.) в расчетный период приведены в таблице 9.25.

Экономический эффект при внедрении данного варианта

$$\Delta\phi = 1\ 619\ 316\ 623 - 873\ 798\ 955 + 548\ 920\ 924 = 1\ 294\ 438\ 592 \text{ руб./год.}$$

Графическое представление **финансового положения инвестора** при автоматизации процессов расформирования составов с сортировочной горки в расчетный период с учетом дисконта (и без учета) приведено на рисунке 9.7.

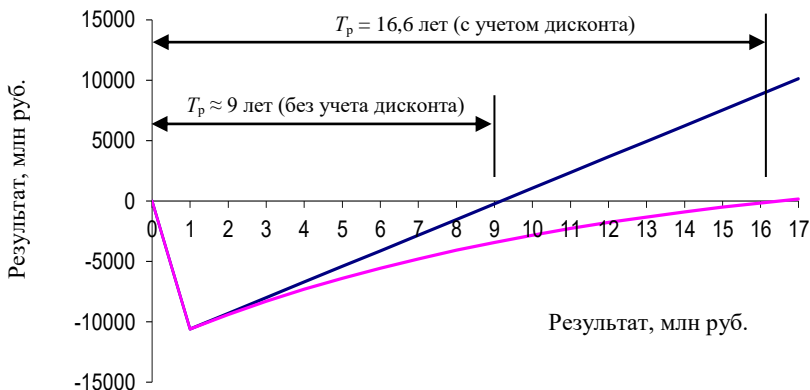


Рисунок 9.7 – График изменения финансового положения инвестора при усилении технического оснащения сортировочной горки до полной механизации и автоматизации сортировочных процессов

Таблица 9.25 – **Определение финансового положения инвестора за расчетный период по варианту с внедрением горочной автоматизации**

Условный год	Единовременные капитальные вложения К, руб.	Экономический эффект Э _ф , руб./год	Величина инвестиций (вложений) по периодам К _т , руб.	Финансовое положение инвестора по периодам, руб.	Коэффициент дисконтирования*	Дисконтированные инвестиции по периодам, руб.	Финансовое положение инвестора с учетом дисконта, руб.
0	Период разработки проекта и обоснования инвестиций						
1	10638443444		-10638443444	-10638443444	1,00	-10638443444	-10638443444
2		1294438592	1294438592	-9344004852	0,92	1187558341	-9450885102
3		1294438592	1294438592	-8049566260	0,84	1089503065	-8361382037
4		1294438592	1294438592	-6755127668	0,77	999544096,7	-7361837940
5		1294438592	1294438592	-5460689076	0,71	917012932,7	-6444825008
6		1294438592	1294438592	-4166250484	0,65	841296268,6	-5603528739
7		1294438592	1294438592	-2871811892	0,60	771831439,1	-4831697300
8		1294438592	1294438592	-1577373300	0,55	708102237,7	-4123595062
9		1294438592	1294438592	-282934708	0,50	649635080,4	-3473959982
10		1294438592	1294438592	1011503884	0,46	595995486,6	-2877964495
11		1294438592	1294438592	2305942476	0,42	546784850,1	-2331179645
12		1294438592	1294438592	3600381068	0,39	501637477,2	-1829542168
13		1294438592	1294438592	4894819660	0,36	460217869	-1369324299
14		1294438592	1294438592	6189258252	0,33	422218228,4	-947106071
15		1294438592	1294438592	7483696844	0,30	387356172,9	-559749898
16		1294438592	1294438592	8778135436	0,27	355372635,6	-204377262
17		1294438592	1294438592	10072574028	0,25	326029941	121652679

* Коэффициент дисконтирования вычисляется как $1 / (1 + EY)$.

Чистая дисконтированная стоимость инвестиций в проект в семнадцатом году составит 121 652 679 рублей. В шестнадцатом году необходимо вернуть 204 377 262, следовательно, **период возврата инвестиций**

$$T_p = 16 + 204377262 / 326029941 = 16,6 \text{ лет.}$$

Учитывая, что период возврата инвестиций с использованием заемных средств с учетом дисконтирования по рассматриваемому варианту конструкции и технического оснащения сортировочной горки ($T_p = 16,6$ лет) не превышает срока службы внедряемого оборудования (не менее 25 лет при сложившихся условиях работы), то данный вариант усиления технического оснащения сортировочной горки, предусматривающий ее полную механизацию, оборудование системами ГАЦ (МППЦ) и АРС и др. может быть рассмотрен заказчиком как приемлемый при обоснованных оценках эффективности.

При изменении нормы дисконта, а также других показателей экономической эффективности реализации предложенных вариантов конструкции и технического оснащения сортировочной горки станции в течение расчетного срока полученный период возврата привлеченных инвестиций может существенно измениться.

10 ПОЭТАПНОЕ РАЗВИТИЕ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

10.1 Железнодорожный узел

Пример 10.1. Определим оптимальную этапность развития железнодорожного узла О (рисунок 10.1) в течение 25 лет. Расчетные размеры движения приведены в таблицах 10.1 и 10.2.

Узел выполняет значительный объем местной работы. На грузовой терминал в исходном году производится восемь подач-уборок в сутки. В последующем количество подач возрастает на одну в каждую пятилетку. На пути необщего пользования, примыкающие к четному приемо-отправочному парку, поступают четыре подачи.

По существующей технологии пассажирские поезда из К принимают по главному пути П через приемо-отправочный парк $ПО_ч$ в пассажирский парк, грузовые транзитные на КП из $ПО_ч$ отправляются тоже по П главному пути. Транзитные поезда, следующие из К на П, принимают по П главному пути в нечетный приемо-отправочный парк $ПО_{нч}$, откуда после обгона локомотива отправляют по назначению. В узле предусмотрена смена локомотивов у транзитных поездов нечетного направления. Сортировочная работа осуществляется на специализированной станции.

Решение. Для каждого узла существует перечень мероприятий, позволяющий в той или иной степени увеличить его пропускную и перерабатывающую способность. Одновременно с этим некоторые из них позволяют сократить эксплуатационные расходы и повысить эффективность функционирования узла. Кроме того, одно какое-либо мероприятие (строительство соединительных путей, развязок и др.) предопределяет дальнейший путь развития узла, и для определения эффективности его необходимо рассматривать в общей системе мер развития пропускной и перерабатывающей способности. При этапном развитии объектов железнодорожного транспорта оптимальному варианту развития узла соответствуют минимальные приведенные расходы:

$$E = \sum_{t=0}^{t=t_p} \frac{K_t}{(1 + E_{нп})^t} + \sum_{t=0}^{t=t_p} \frac{\mathcal{E}_t}{(1 + E_{нп})^t} \rightarrow \min,$$

где K_t , \mathcal{E}_t – капитальные вложения в развитие и эксплуатационные расходы железнодорожного узла в году t планового периода;

$E_{нп}$ – норматив приведения разновременных затрат к расчетному году, равный 0,08;

t – срок отдаления затрат от исходного года.

Обозначим $(1 + E_{пп})^{-t} = \eta_t$. Тогда выражение примет вид

$$E = \sum_{t=0}^{t=t_p} K_t \eta_t + \sum_{t=0}^{t=t_p} \Delta_t \eta_t. \quad (10.1)$$

Значения η_t и $\sum_{t=0}^{t_p} \eta_t$ указаны в таблице 10.3.

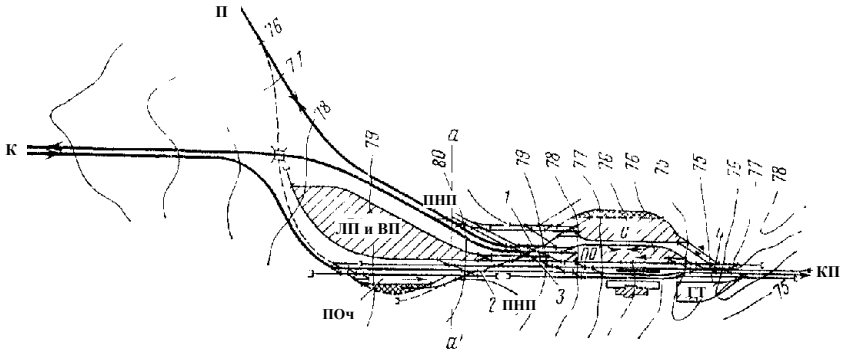


Рисунок 10.1 – Исходный вариант развития узла

Таблица 10.1 – Размеры пассажирского движения на подходах к узлу **О**

Из	На К					П					КП					Итого								
	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25
К	–					2	2	2	3	3	3	9	10	11	11	12	13	11	12	13	14	15	16	
П	2	2	2	3	3	3	–					2	2	3	3	3	3	4	4	5	6	6	6	
КП	9	10	11	11	12	13	2	2	3	3	3	3	–					11	12	14	14	15	16	
<i>Итого</i>	11	12	13	14	15	16	4	4	5	6	6	6	11	12	14	14	15	16	26	28	32	34	36	38

Таблица 10.2 – Размеры грузового движения на подходах к узлу **О**

Из	На К					П					КП					Итого								
	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25
К	–					7	9	10	11	13	14	22	24	28	31	33	37	29	33	38	42	46	51	
П	7	9	10	11	13	14	–					7	7	8	9	10	11	14	16	18	20	23	25	
КП	22	24	28	31	33	37	7	7	8	9	10	11	–					29	31	36	40	43	48	
<i>Итого</i>	29	33	38	42	46	51	14	16	18	20	23	25	29	31	36	40	43	48	72	80	92	102	112	124

Примечание – Числитель – грузовые поезда без переработки, знаменатель – с переработкой (в том числе сборные).

Таблица 10.3 – Коэффициент приведения разновременных затрат

t	η_t	$\sum_{\tau=0}^{t_p} \eta_\tau$	t	η_t	$\sum_{\tau=0}^{t_p} \eta_\tau$	t	η_t	$\sum_{\tau=0}^{t_p} \eta_\tau$
1	0,926	0,93	10	0,463	6,71	19	0,232	9,60
2	0,857	1,78	11	0,429	7,14	20	0,215	9,82
3	0,794	2,58	12	0,397	7,54	21	0,199	10,02
4	0,735	3,31	13	0,368	7,90	22	0,184	10,20
5	0,681	3,99	14	0,341	8,25	23	0,170	10,37
6	0,630	4,62	15	0,315	8,56	24	0,158	10,53
7	0,584	5,21	16	0,292	8,85	25	0,146	10,68
8	0,540	5,75	17	0,270	9,12	26	0,135	10,82
9	0,500	6,25	18	0,250	9,37	27	0,125	10,94

Этапное развитие железнодорожного узла оптимизируем в такой последовательности.

Шаг 1. Сбор исходной информации и формирование множества вариантов развития узла, которые должны удовлетворять территориальным, экономическим, оборонным и другим ограничениям и обеспечить технологичность развития без больших бросовых работ, соответствовать уровню научно-технического прогресса, учитывать общетранспортные и народнохозяйственные интересы района, который обслуживается узлом. Для данного примера разработано восемь вариантов развития узла:

1 – строительство путепроводной развязки и соединительного пути с направления П в четный приемо-отправочный парк, развитие сортировочного парка;

2 – строительство путепроводной развязки с направления П и увеличение количества приемо-отправочных путей в четном приемо-отправочном парке, развитие сортировочного парка;

3 – сооружение вспомогательной станции на подходе П и соединительного пути из П на К, реконструкция сортировочного парка;

4 – продолжение работ варианта 3, а также строительство путепроводной развязки на П в четный приемо-отправочный парк;

5 – строительство вспомогательной станции на подходе П, соединительного пути из П на К, путепроводной развязки и реконструкция приемо-отправочного парка, развитие сортировочного парка;

6 – сооружение вспомогательной станции на подходе К, соединительного пути из К на П, развитие сортировочного парка;

7 – продолжение работ варианта 6, а также строительство путепроводной развязки с направления П;

8 – техническое оснащение соответствует варианту 7, дополнительные работы – увеличение количества путей в приемо-отправочном парке ПО_ч.

Схемы узла, соответствующие им, показаны на рисунках 10.1 и 10.2

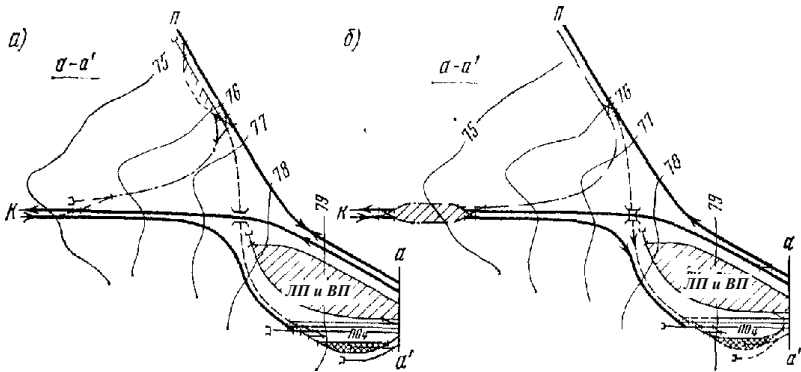


Рисунок 10.2 – Возможные варианты развития узла

Размеры работы узла в течение расчетного периода устанавливают современными методами прогнозирования, используя модели оптимальной сложности, а также учитывая распределение ошибок прогноза (см. раздел б).

Шаг 2. Расчет капитальных затрат при переходе от одного варианта развития узла к другому. Капитальные вложения в постоянные устройства определяют по объемам строительных работ и укрупненным нормам стоимости объектов и сооружений. В общем виде капитальные затраты на этапное развитие узла описывают матрицей, где $j = 1, 2, \dots, n$:

$$K_{ij} = \begin{vmatrix} 0 & \sum K_{01} & \sum K_{02} & \dots & \sum K_{0j} & \dots & \sum K_{0n} \\ M & 0 & \sum K_{12} & \dots & \sum K_{1j} & \dots & \sum K_{1n} \\ M & M & 0 & \dots & \sum K_{2j} & \dots & \sum K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M & M & M & \dots & 0 & \dots & \sum K_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M & M & M & \dots & M & \dots & 0 \end{vmatrix}$$

Символ M означает, что переход от варианта j к варианту $j + k$ запрещен, а \sum – суммирование всех статей расходов. Если переход осуществляется в году t , то для учета эффекта от отдаления затрат значение $K_{j,j+k}$ умножаем на коэффициент η_t (см. таблицу 10.2). Для заполнения матрицы предварительно составляем ведомость объемов работ по варианту j (таблица 10.4). В реконструируемом узле технологически нецелесообразно переходить от варианта 2

к вариантам 3, 4, 6, 7, от варианта 3 к вариантам 6–8, от варианта 4 к вариантам 6–8 и т.д. Матрица капитальных затрат при переходе от варианта j к варианту $j + k$ для $t_p = 0$ приведена в таблице 10.5.

Таблица 10.4 – Стоимость работ при развитии узла О

Вариант развития	Работы	Объем работы	Стоимость, тыс. у.е.	
			единицы	общая
0	Развитие сортировочного парка, предусмотрено во всех вариантах, поэтому затраты на него не учитываются при расчете капитальных вложений	–	–	0
1	Строительство соединительного пути, км	2,5	195,0	488
	Укладка стрелочных переводов 1/11, шт.	6,0	5,0	30
	Строительство путепровода, шт.	1,0	147,0	147
	Итого	–	–	665
2	Работы варианта 1	–	–	665,0
	Укладка двух путей в приемо-отправочном парке, км	2,0	140,1	280,2
	Итого	–	–	945,2
3	Строительство вспомогательной станции на подходе П, шт.	1,0	–	770
	Строительство соединительного пути, км	1,5	195,0	293
	Итого	–	–	1063
4	Работы вариантов 3 + 1	–	–	1728
5	Работы вариантов 4	–	–	1728
	Увеличение количества путей в ПОч, км	2,0	140,1	280,2
	Итого	–	–	2 008,2
6	Строительство вспомогательной станции на подходе К	1	920	920
	Строительство соединительного пути, км	1,5	195	293
	Итого	–	–	1213
7	Работы варианта 6	–	–	1213
	Строительство путепроводной развязки, шт.	1	147	147
	Укладка соединительного пути, км	2,5	195,0	488
	Укладка стрелочных переводов 1/11, шт.	6	5,0	30
	Итого	–	–	1878
8	Работы варианта 7	–	–	1878
	Укладка дополнительных путей в приемо-отправочном парке, км	2,0	140,1	280,2
	Итого	–	–	2 158,2

Таблица 10.5 – Капитальные вложения в развитие узла О в исходном году

Вариант j	Вариант $j + k$								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	665	945	1 063	1 728	2 008	1 213	1 878	2 158
1	М	0	280	М	1 063	1 343	548	1 213	1 493
2	М	М	0	М	М	1 063	М	М	1 213

Окончание таблицы 10.5

Вариант j	Вариант $j+k$								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
3	M	M	M	0	665	945	M	M	M
4	M	M	M	M	0	280	M	M	M
5	M	M	M	M	M	0	M	M	M
6	M	M	M	M	M	M	0	665	945
7	M	M	M	M	M	M	M	0	280
8	M	M	M	M	M	M	M	M	0

Если узел будет реконструирован к концу 5-го расчетного года, то матрицу капитальных затрат пересчитываем по формуле

$$K_t = K_{j, j+k} \eta_t^n.$$

Для периода $t_p = 5$ капитальные вложения при переходе от варианта j к варианту $j+k$ приведены в таблице 10.6 ($\eta_{t=5} = 0,681$). Аналогично рассчитывается K_t для других расчетных сроков. Если варианты значительно отличаются друг от друга затратами времени на передвижение подвижного состава в пределах узла при маневровой работе, простоями из-за враждебности маршрутов, под накоплением, под грузовыми операциями, а также в ожидании технологических операций, то рассчитывают капитальные вложения в подвижной состав и грузовую массу на колесах.

Таблица 10.6 – Капитальные вложения в развитие узла О в 5-м году планового периода

Вариант j	Вариант $j+k$								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	453	644	724	1 177	1 367	826	1 279	1 469
1	M	0	191	M	727	915	373	826	1 017
2	M	M	0	M	M	724	M	M	826
3	M	M	M	0	453	644	M	M	M
4	M	M	M	M	0	191	M	M	M
5	M	M	M	M	M	0	M	M	M
6	M	M	M	M	M	M	0	453	644
7	M	M	M	M	M	M	M	0	191
8	M	M	M	M	M	M	M	M	0

Шаг 3. Расчет эксплуатационных расходов. Годовые эксплуатационные расходы в варианте j развития узла

$$\mathfrak{E}_t = \sum_{r=1}^d \mathfrak{E}_{rtj},$$

где $r = 1, 2, \dots, d$ – статьи расходов;

\mathfrak{E}_{rtj} – эксплуатационные расходы по статье r развития узла в году t по варианту j .

Статьи эксплуатационных расходов следующие:

1 Расходы на пробег поездов в году t в пределах узла при развитии его по варианту j

$$\Theta_{1tj} = 365 \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^{\phi} e_{sit} N_{sit} l_{sij};$$

$$\left(\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \\ t = 1, 2, \dots, t_p \\ s = 1, 2, \dots, \phi \end{array} \right)$$

где e_{sit} – себестоимость одного поездо-км для поезда i -й категории;

N_{sit} – количество поездов i -й категории, поступающих в узел с подхода s в году t ;

l_{sij} – расстояние следования поезда i -й категории с подхода s в варианте j .

Составим таблицы расстояний пробега поездов в узле, соответствующие варианту j развития. Пример ее для исходного варианта приведен в таблице 10.7: числитель – пассажирское движение, знаменатель – грузовое движение (транзитное без и с переработкой).

Таблица 10.7 – Расстояние пробега поезда

В километрах

Из	На			
	К	П	КП	Узел
К	0	$\frac{13,73}{14,13}$	$\frac{10,15}{10,15}$	$\frac{-}{7,35}$
П	$\frac{13,71}{14,13}$	0	$\frac{9,58}{9,58}$	$\frac{-}{6,78}$
КП	$\frac{10,18}{10,18}$	$\frac{9,58}{9,58}$	0	$\frac{-}{2,8}$
Узел	$\frac{-}{7,38}$	$\frac{-}{6,78}$	$\frac{-}{2,8}$	0

Годовые затраты на пробег поездов по годам расчетного периода показаны в таблицах 10.8–10.11. Себестоимость одного поездо-км пассажирского поезда принята равной 2,3 у. е., грузового транзитного без переработки – 2,72 у. е., с переработкой – 2,72 у. е., сборного – 1,88 у. е.

Пробег поездных локомотивов в варианте 1 минимален, поэтому его не рассчитываем. Суммарные расходы на пробег поездов приведены в таблице 10.12.

В варианте 3 принято, что 20 % локомотивов от “угловых” (поезда, следующие из КНАП) поездов поступают в депо. Расстояние пробега 5,88 км. Стоимость 1 лок-км – 0,83 у. е. Тогда расходы на пробег локомотивов для $t = 0$

$$\Theta_{2ij} = 365 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5,88 \cdot 0,83 = 10\ 600 \text{ у. е.}$$

Аналогично рассчитаны расходы на пробег поездов и локомотивов в остальных вариантах развития узла (таблица 10.13).

2 Расходы, связанные с задержкой поездов транзитных с переработкой на подходах, ожиданием расформирования, E_{ij} определяют по формуле (9.1), учитывая неопределенность прогноза перспективных объемов работы и посуточные колебания поездопотока.

3 Расходы на задержки транзитных поездов в ожидании отправления определены по укрупненным ставкам:

$$\Theta_{3ij} = 365 \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^{\Phi} e_{sit} N_{sit}^{ip} t_{sit}^{ож}.$$

Для расчета $t_{sit}^{ож}$ использована формула (4.16). Расходы эти суммированы с расходами, рассчитанными в п. 2 (см. таблицу 8.13).

4 Эксплуатационные расходы, связанные с простоем подвижного состава из-за враждебности маршрутов следования, а также с остановкой поездов:

$$\Theta_{4ij} = 365 \left(\sum_{i=1}^m T_{iji} e_i + \sum_{i=1}^m e_{oi} z_{ijt} k_o \right),$$

где T_{iji} – продолжительность простоя подвижного состава из-за враждебности маршрутов следования;

e_i – стоимость 1 ч простоя из-за враждебности маршрутов. В примере – стоимость одного поездо-часа, одного локомотиво-часа (поездов), одной передачи-часа приняты соответственно равными 22,2; 12,36; 9,47 у. е.;

e_{oi} – стоимость одной остановки категории i ;

z_{ijt} – количество остановок подвижного состава категории i при развитии узла по варианту j в году t ;

k_o – коэффициент, учитывающий количество остановок, приходящихся на одну задержку, $k_o = 1, 1 \dots 1, 4$.

Т а б л и ц а 10.8 – Затраты на пробег пассажирских поездов

В тысячах условных единиц

С направле- ния	На направление											
	К						П					
	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25
К	–	–	–	–	–	–	23,1	23,1	23,1	34,6	34,6	34,6
П	23,0	23,0	23,0	34,5	34,5	34,5	–	–	–	–	–	–
КП	76,9	85,5	94,0	94,0	102,6	111,1	16,1	16,1	24,1	24,1	24,1	24,1
Итого	99,9	108,5	117,0	128,5	137,1	145,6	39,2	39,2	47,2	48,7	58,7	58,7

Окончание таблицы 10.8

С направ- ления	На направление						Итого					
	КП											
	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25
К	76,7	85,2	93,7	93,7	102,3	110,8	99,8	108,3	116,8	128,3	136,9	145,4
П	16,1	16,1	24,1	24,1	24,1	24,1	39,1	39,1	47,1	58,6	58,6	58,6
КП	–	–	–	–	–	–	93,0	101,6	118,1	118,1	126,7	135,2
Итого	92,8	101,3	117,8	117,8	126,4	134,9	231,9	249,0	282,0	305,0	322,2	339,2

Таблица 10.9 – Затраты на пробег транзитных поездов без переработки

В тысячах условных единиц

С направ- ления	На направление											
	К						П					
	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25
К	–	–	–	–	–	–	98,2	126,3	140,3	154,3	182,4	196,4
П	101,6	120,8	144,3	158,7	187,5	202,0	–	–	–	–	–	–
КП	224,4	242,6	283,0	313,0	333,5	374,0	66,6	66,6	76,1	85,6	95,1	104,6
Итого	323,9	372,4	427,3	471,7	521,0	576,0	169,8	192,9	216,4	239,9	277,5	301,0

Окончание таблицы 10.9

С направ- ления	На направление						Итого					
	КП											
	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25
К	221,7	241,9	282,2	312,4	332,5	372,9	319,9	368,2	422,5	466,7	514,9	569,3
П	70,6	70,6	80,6	90,7	100,8	110,8	170,6	200,4	224,5	249,9	288,3	312,9
КП	–	–	–	–	–	–	289,0	309,2	359,1	398,6	419,6	478,6
Итого	292,3	312,5	362,8	403,1	433,3	483,8	779,5	877,8	1006,1	1115,2	1222,8	1360,8

Таблица 10.10 – Затраты на пробег транзитных поездов с переработкой

В тысячах условных единиц

Направление следования	Год расчетного периода					
	0	5	10	15	20	25
Из К на О	29,2	29,2	36,5	36,5	43,8	43,8
Из П на О	20,2	20,2	26,9	26,9	26,9	33,7
Из КП на О	8,3	11,1	11,1	13,9	13,9	16,7
На К из О	29,3	29,3	36,6	36,6	44,0	44,0
На П из О	20,2	20,2	26,9	26,9	26,9	33,7
На КП из О	8,3	11,1	11,1	13,9	13,9	16,7
Итого	115,5	121,1	149,1	154,7	169,4	188,6

Таблица 10.11 – Затраты на пробег сборных поездов

В тысячах условных единиц

Направление следования	Год расчетного периода					
	0	5	10	15	20	25
Из К	5,1	5,1	7,6	7,6	10,1	10,1
Из П	4,7	4,7	9,3	9,3	9,3	9,3
Из КП	1,9	1,9	2,9	2,9	3,9	3,9
На П	4,7	4,7	9,3	9,3	9,3	9,3

Окончание таблицы 10.11

Направление следования	Год расчетного периода					
	0	5	10	15	20	25
На К	5,1	5,1	7,6	7,6	10,1	10,1
На КП	1,9	1,9	2,9	2,9	3,9	3,9
Итого	23,4	23,4	39,6	39,6	46,6	46,6

Таблица 10.12 – Суммарные расходы на пробег поездов

В тысячах условных единиц

Поезда	Год расчетного периода					
	0	5	10	15	20	25
Пассажирские	231,9	249,0	282,0	305,0	322,0	339,2
Транзитные: без переработки	773,7	870,3	998,0	1 105,5	1 221,0	1 348,9
с переработкой	115,5	121,1	149,4	154,7	169,4	188,6
Сборные	23,4	23,4	39,6	39,6	46,6	46,6
Итого	1 145	1 264	1 469	1 605	1 759	1 923

Таблица 10.13 – Эксплуатационные расходы в вариантах развития узла О

В тысячах условных единиц

Вариант развития	Затраты	Год расчетного периода					
		0	5	10	15	20	25
0	Э ₁	1 145	1 264	1 469	1 605	1 759	1 923
	Э ₂ + Э ₃	63	89	142	199	292	406
	Э ₄	41	51	69	85	105	125
	Э ₆	–	–	–	–	–	–
Итого		1 249	1 404	1 680	1 889	2 156	2 454
1	Э ₁	1 156	1 276	1 483	1 620	1 776	1 942
	Э ₂ + Э ₃	79	106	161	235	348	487
	Э ₄	43	54	73	89	111	133
	Э ₆	18	18	18	18	18	18
Итого		1 296	1 454	1 735	1 962	2 253	2 580
2	Э ₁	1 156	1 276	1 483	1 620	1 776	1 942
	Э ₂ + Э ₃	47	69	113	174	279	394
	Э ₄	92	53	70	86	107	129
	Э ₆	42	42	42	42	42	42
Итого		1 287	1 440	1 708	1 922	2 204	2 507
3	Э ₁	1 040	1 130	1 318	1 442	1 563	1 714
	Э ₂ + Э ₃	29	37	65	95	143	207
	Э ₄	36	45	58	74	92	109
	Э ₆	56	56	56	56	56	56
Итого		1 161	1 268	1 497	1 667	1 854	2 086
4	Э ₁	1 049	1 139	1 330	1 455	1 576	1 729
	Э ₂ + Э ₃	54	69	104	156	227	339
	Э ₄	37	46	63	75	94	112
	Э ₆	74	74	74	74	74	74
Итого		1 214	1 328	1 511	1 760	1 971	2 255

Окончание таблицы 10.13

Вариант развития	Затраты	Год расчетного периода					
		0	5	10	15	20	25
5	Э ₁	1 049	139	1 330	1 455	1 576	1 729
	Э ₂ + Э ₃	22	32	56	95	158	246
	Э ₄	35	44	60	72	90	115
	Э ₆	98	98	98	98	98	98
Итого		1 204	1 313	1 544	1 720	1 922	2 188
6	Э ₁	1 040	1 130	1 318	1 442	1 563	1 714
	Э ₂ + Э ₃	29	37	65	95	143	207
	Э ₄	27	33	42	55	68	81
	Э ₆	56	56	56	56	56	56
Итого		1 152	1 256	1 481	1 648	1 830	2 058
7	Э ₁	1 049	1 139	1 330	1 455	1 576	1 729
	Э ₂ + Э ₃	54	69	104	156	227	339
	Э ₄	28	34	47	56	70	84
	Э ₆	74	74	74	74	74	74
Итого		1 205	1 316	1 555	1 741	1 947	2 227
8	Э ₁	1 044	1 139	1 330	1 455	1 576	1 729
	Э ₂ + Э ₃	22	32	56	95	158	246
	Э ₄	26	32	44	53	66	87
	Э ₆	98	98	98	98	98	98
Итого		1 195	1 301	1 528	1 701	1 898	2 160

В соответствии с [43] продолжительность простоя подвижного состава из-за враждебности маршрутов следования определяется:

– для равноправных маршрутов:

$$T_{tji} = \frac{n_{1tji} n_{2tji} (t_1 + t_2)^2}{2 \cdot 1440} k;$$

– для неравноправных маршрутов:

$$T_{tji} = \frac{n_{1tji} n_{2tji} (t_1^2 + t_2^2)}{2 \cdot 1440} k,$$

где k – коэффициент, учитывающий увеличение времени простоя при вторичных задержках, $k = 1,3$.

Расходы, связанные с задержкой поездов и локомотивов на пересечениях маршрутов следования в центральной горловине (см. рисунок 10.1), для существующего варианта приведены в таблице 10.13. В остальных точках узла простой примерно равен нулю.

Расходы, связанные с задержкой подвижного состава на конфликтных точках, в остальных вариантах развития приведены в таблице 10.14.

5 Расходы на простои вагонов под накоплением

$$\Theta_{5tj} = 365 \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^{\phi} c_{istj} k_{istj} e_{istj} m_{istj},$$

где c_{istj} – параметр накопления поездов категории i в году t при развитии узла по варианту j ;

k_{istj} – количество назначений по плану формирования;

e_{istj} – стоимость 1 ваг-ч;

m_{istj} – среднее количество вагонов в составах категории i , формируемых на подход s .

Т а б л и ц а 10.14 – Расходы, связанные с задержкой подвижного состава в конфликтных точках узла О

В тысячах условных единиц

Конфликтная точка	Простой	Год расчетного периода					
		0	5	10	15	20	25
1	Поездов, поездо-мин	79	99	142	176	220	255
	Передач, передач-мин	39	49	70	80	100	130
2	Локомотив, лок.-мин	62	78	102	138	166	203
	Передач, передач-мин	14	17	31	30	36	45
3	Поездов, поездо-мин	30	39	50	62	78	93
	Передач, передач-мин	16	21	27	33	42	50
	Локомотив, лок.-мин	120	154	199	247	310	370
4	Поездов, поездо-мин	41	49	65	79	94	113
	Передач, передач-мин	41	50	65	79	91	113
Итого	Поездов, поездо-мин/сут	150	187	257	317	342	461
	Передач, передач-мин/сут	110	137	193	222	272	338
	Локомотив, лок./сут	182	232	301	385	476	573
	Годовые расходы, связанные с задержкой:						
	поездов	20,3	25,3	34,7	42,8	52,9	62,3
	передач	6,4	7,9	11,1	12,8	15,7	19,5
	локомотивов	13,7	17,4	22,6	28,9	35,8	43,1
Всего расходов		41	50,6	68,4	84,5	104,4	125

В примере условно принято, что эти расходы во всех вариантах одинаковы и поэтому в сравнении не участвуют.

6 Расходы Θ_{6ij} на содержание постоянных устройств, вводимых при переходе от варианта j к варианту $j + k$, зависят от объема выполняемых работ (см. таблицу 10.13).

Шаг 4. Для упрощения расчета приведенных расходов формула (10.1) преобразована так:

$$E = \sum_{t=0}^{t=t_p} K_t \eta_{t-1} + \eta_{t-1} \left(\Theta_{\Pi} \sum_1^{t_2} \eta_{t_s} + \Theta_{\Gamma} \sum_1^{t_2} \frac{t_s}{\eta_{t_s}} \right), \quad (10.2)$$

где \mathcal{E}_n – постоянные годовые эксплуатационные расходы соответствующих этапов развития,

$$\mathcal{E}_n = (\mathcal{E}_n - \mathcal{E}_r);$$

t_3 – продолжительность этапа. Значения сумм коэффициентов отдаления за t_3 лет следующие:

t_3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sum \frac{t_3}{n_{t_3}}$	0,93	2,64	5,02	7,96	11,37	15,15	19,24	23,56	28,06	32,69

\mathcal{E}_r – переменная доля эксплуатационных расходов; на каждом этапе

$$\mathcal{E}_r = (\mathcal{E}_k - \mathcal{E}_n) / (t_3 - 1),$$

$\mathcal{E}_k, \mathcal{E}_n$ – эксплуатационные расходы соответственно на конец и начало этапа.

Если узел будет эксплуатироваться без реконструкции пять лет, то

$$\mathcal{E}_r = (1\,404\,000 - 1\,249\,000) / (5 - 1) = 38\,750 \text{ у. е.};$$

$$\mathcal{E}_n = (1\,249\,000 - 38\,750) = 1\,210\,250 \text{ у. е.}$$

Приведенные расходы на функционирование узла за этот период ($K_t = 0$)

$$E_{(00-01)} = 0 + 1 (1\,210\,250 \cdot 3,99 + 38\,750 \cdot 11,37) = 4\,670\,000 \text{ у. е.}$$

Если в начале шестого года будет осуществлен переход от исходного варианта развития узла к варианту 1 (переход 00–11), то приведенные расходы за этот период

$$E_{(00-11)} = E_{(01-01)} + K_t n_t,$$

или

$$E_{(00-11)} = 4\,670\,000 + 665\,000 \cdot 0,681 = 5\,123\,000 \text{ у. е.}$$

Остальные значения приведенных затрат для других переходов рассчитываются аналогично (таблица 10.15).

Шаг 5. Оптимальная этапность развития железнодорожного узла. Множество вариантов развития узла описывается специальным графом (рисунк 10.3). Строят его по следующим правилам:

– проводим вертикальные оси, количество которых

$$z = \frac{t_p}{t_3} + 1;$$

– на крайней левой оси располагаем вершину $S_0(00)$, отражающую исходный вариант развития узла;

– на промежуточных осях располагаем $n + 1$ вершину, соответствующих возможным вариантам развития (включая исходный);

– две вершины графа соединяем дугой k, l , если возможен переход от варианта k к варианту l , и не соединяем в противном случае;

– длины дуг (приведенные расходы) рассчитываем по формуле (10.2). Для дуги (00–01) – от вершины $S_0(00)$ до вершины $S_0(01)$ на второй оси $K_t = 0$.

Этапное развитие узла оптимизируем, используя алгоритм «киевский венник» [32]. На шаге 1 из вершины $S_0(00)$ в остальные вершины можно прийти с расходами (длинами дуг):

Вершина	01	11	21	31	41	51	61	71	81
Длина дуги (тыс. у. е.)	4 670	5 123	5 314	5 394	5 847	6 038	5 496	5 948	6 140

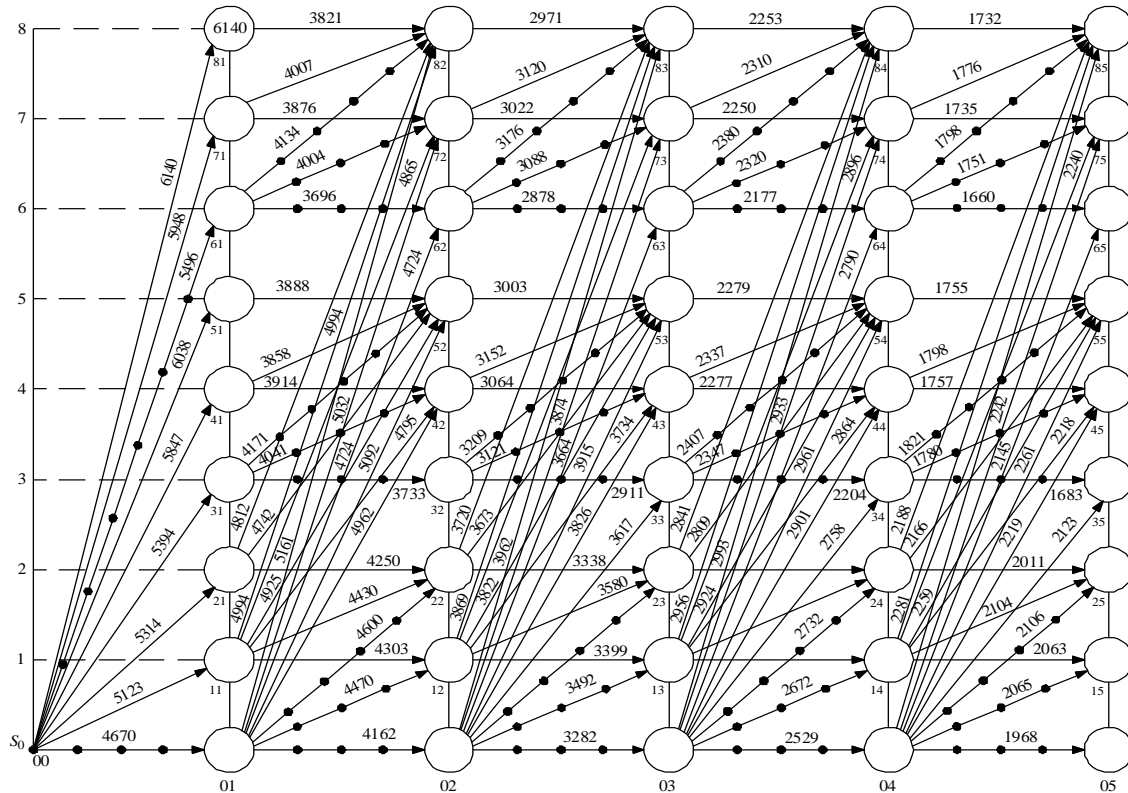


Рисунок 10.3 – Графический поиск оптимальной этапности развития узла

Таблица 10.15 – Приведенные расходы на развитие узла при переходах от одного варианта к другому

В тысячах условных единиц

Переход	Годы расчетного периода				
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25
00–01	4 670	4 162	3 282	2 529	1 968
00–11	5 123	4 470	3 492	2 672	2 065
00–21	5 314	4 600	3 580	2 732	2 106
00–31	5 394	4 654	3 617	2 758	2 123
00–41	5 847	4 962	3 826	2 901	2 219
00–51	6 038	5 092	3 915	2 961	2 261
00–61	5 496	4 724	3 664	2 790	2 145
00–71	5 948	5 032	3 874	2 933	2 242
00–81	6 140	5 161	3 962	2 993	2 273
11–12	–	4 303	3 399	2 635	2 063
11–22	–	4 430	3 487	2 695	2 104
11–42	–	4 795	3 734	2 864	2 218
11–52	–	4 925	3 822	2 924	2 259
11–72	–	4 865	3 781	2 896	2 240
11–82	–	4 994	3 869	2 956	2 281
21–22	–	4 250	3 338	2 580	2 011
21–52	–	4 742	3 673	2 809	2 166
21–82	–	4 812	3 720	2 841	2 188
31–32	–	3 733	2 911	2 204	1 683
31–42	–	4 041	3 121	2 347	1 780
31–52	–	4 171	3 209	2 407	1 821
41–42	–	3 914	3 152	2 277	1 757
41–52	–	3 858	3 064	2 337	1 798
51–52	–	3 858	3 003	2 279	1 755
61–62	–	3 696	2 878	2 177	1 660
61–72	–	4 004	3 088	2 320	1 757
61–82	–	4 134	3 176	2 380	1 798
71–72	–	3 876	3 032	2 250	1 735
71–82	–	4 007	3 120	2 310	1 776
81–82	–	3 821	2 971	2 253	1 732

При переходе из вершины 01 в вершину 02 расходы, у. е.,

$$E_{01-02} = 4\,670\,000 + 4\,162\,000 = 8\,832\,000;$$

из вершины 01 в 12

$$E_{01-12} = 4\,670\,000 + 4\,470\,000 = 9\,140\,000.$$

В вершину 12 можно попасть и из вершины 11. В этом случае

$$E_{11-12} = 5\,123\,000 + 4\,303\,000 = 9\,426\,000.$$

Сравнивая E_{01-12} с E_{11-12} , видим, что в вершину 12 целесообразнее попасть из вершины 01. Этот путь на графе выделен точками и называется условно-оптимальным. Процесс поиска условно-оптимальных путей для

перехода в другие вершины графа приведен в таблицах 10.16–10.19, а графическая иллюстрация – на рисунке 10.3. Глобальное оптимальное решение выбираем из условно-оптимальных. Для этого находим наименьшие расходы на последнем этапе – 15 907 000 у. е. (таблица 10.19), соответствующие варианту 6. В вершину 65 графа пришли из вершины 64. Двигаясь в обратном направлении по условно-оптимальным решениям, получим путь $65 \rightarrow 64 \rightarrow 63 \rightarrow 62 \rightarrow 61 \rightarrow 01 \rightarrow S_0$, соответствующий лучшему решению: в начале шестого года надо в узле построить вспомогательную станцию на подходе К, соединительный путь из К на П, реконструировать сортировочный парк. Близка к оптимальной и этапность с переходом в начале шестого года к варианту 3.

Таблица 10.16 – Условно-оптимальные решения на первом этапе развития

В тысячах условных единиц

В вершину	Из вершины								
	01	11	21	31	41	51	61	71	81
02	8 832	–	–	–	–	–	–	–	–
12	9 140	9 426	–	–	–	–	–	–	–
22	9 270	9 553	9 564	–	–	–	–	–	–
32	9 324	–	–	9 127	–	–	–	–	–
42	9 632	9 918	–	9 435	9 761	–	–	–	–
52	9 762	10 048	10 056	9 565	9 705	9 896	–	–	–
62	9 394	–	–	–	–	–	9 192	–	–
72	9 702	9 988	–	–	–	–	9 500	9 824	–
82	9 831	10 017	10 126	–	–	–	9 630	9 955	9 961

Таблица 10.17 – Условно-оптимальные решения на втором этапе развития

В тысячах условных единиц

В вершину	Из вершины								
	02	12	22	32	42	52	62	72	82
03	12 114	–	–	–	–	–	–	–	–
13	12 324	12 539	–	–	–	–	–	–	–
23	12 412	12 627	12 608	–	–	–	–	–	–
33	12 449	–	–	12 038	–	–	–	–	–
43	12 658	12 874	–	12 248	12 499	–	–	–	–
53	12 747	12 962	12 943	12 336	12 587	12 568	–	–	–
63	12 496	–	–	–	–	–	12 070	–	–
73	12 706	12 921	–	–	–	–	12 280	12 552	–
83	12 794	13 009	12 990	–	–	–	12 368	12 620	12 601

Таблица 10.18 – Условно-оптимальные решения на третьем этапе развития

В тысячах условных единиц

В вершину	Из вершины								
	03	13	23	33	43	53	63	73	83
04	14 643	–	–	–	–	–	–	–	–
14	14 786	14 959	–	–	–	–	–	–	–
24	14 846	15 019	14 992	–	–	–	–	–	–
34	14 872	–	–	14 242	–	–	–	–	–

Окончание таблицы 10.18

В вершину	Из вершины								
	03	13	23	33	43	53	63	73	83
44	15 015	15 188	–	14 385	14 525	–	–	–	–
54	15 075	15 248	15 221	14 445	14 585	14 615	–	–	–
64	14 904	–	–	–	–	–	14 247	–	–
74	15 047	15 220	–	–	–	–	14 390	14 704	–
84	15 107	15 280	15 253	–	–	–	14 450	14 590	14 621

Таблица 10.19 – Условно-оптимальные решения на четвертом этапе развития

В тысячах условных единиц

В вершину	Из вершины								
	04	14	24	34	44	54	64	74	84
05	16 611	–	–	–	–	–	–	–	–
15	16 708	16 849	–	–	–	–	–	–	–
25	16 749	16 890	16 857	–	–	–	–	–	–
35	16 766	–	–	15 925	–	–	–	–	–
45	16 862	17 004	–	16 022	16 142	–	–	–	–
55	16 904	17 045	17 012	16 063	16 183	16 200	–	–	–
65	16 788	–	–	–	–	–	15 907	–	–
75	16 885	17 026	–	–	–	–	16 004	16 125	–
85	16 916	17 067	17 034	–	–	–	16 045	16 166	16 182

При эксплуатации узла без реконструкции приведенные расходы по сравнению с оптимальным решением увеличиваются на $\Delta E = 16\,611 - 15\,907 = 704$ тыс. у. е. Анализ показывает также, что при заданных размерах движения варианты развития узла с устройством дополнительных путепроводных развязок менее эффективны, чем вариант со строительством дополнительной станции и соединительных путей.

Пример 10.2. Для условий примера 10.1 определим экономические потери от задержки в развитии узла по оптимальному решению на 5, 10, 15 лет.

Решение. Из расчетного графа следует, что если реконструкцию железнодорожного узла выполнить на пять лет позже оптимального срока, то приведенные расходы

$$E_{\Delta t=5} = 4\,670 + 4\,724 + 2\,878 + 2\,177 + 1\,660 = 16\,109 \text{ тыс. у. е.}$$

Увеличение их против оптимального решения

$$\Delta E = 16\,109 - 15\,907 = 202 \text{ тыс. у. е.}$$

Если $\Delta t = 10$ лет, то $\Delta E = 16\,333 - 15\,907 = 426$ тыс. у. е.

Если реконструкцию узла задержать на 15 лет, то народнохозяйственные потери составят $\Delta E = 16\,564 - 15\,907 = 657$ тыс. у. е.

10.2 Сортировочная станция

Пример 10.3. Установим оптимальную этапность развития сортировочной станции (рисунок 10.4, *а*), оборудованной механизированной горкой с двумя путями надвига и одним обходным. На горке работают два маневровых локомотива. В парках приема для транзитных поездов с переработкой четыре пути, столько же в парках отправления, в сортировочном парке 16 путей.

Р е ш е н и е. Намечаем следующую систему мер для развития станции:

- строительство второго обходного пути и оборудование сортировочной горки устройствами АЗСР и ТГЛ;
- увеличение количества путей в существующих парках приема и отправления (последовательность показана на рисунке 10.4, *б*);
- переход к схеме П–С || ПО (парк П последовательно с парком С, а парк ПО параллельно) (рисунок 10.4, *в*) и переключение части существующих путей парков приема в сортировочный;
- строительство петлевого ввода поездов;
- автоматизация сортировочной горки;
- ввод дополнительного локомотива на горке;
- строительство нового парка отправления и переход к схеме П–С–О (все парки последовательны друг другу);
- укладка дополнительных вытяжных путей.

Все эти меры можно осуществлять в определенной последовательности и комбинации (рисунок 10.5 для схемы С || ПО (все парки параллельны) и рисунок 10.6 для схемы П–С || ПО). При разработке вариантов необходимо стремиться максимально использовать инженерный опыт. Это значительно сократит дальнейший объем работы. Например, для схемы С || ПО не рассматривались такие решения, как увеличение количества путей в парке сортировки до 20 или 24, которые требуют больших затрат, так как приходится в сортировочный парк переключить пути из парков приема и отправления, а последние построить заново.

Данное решение значительно уступает варианту, который предусматривает сооружение нового парка приема по схеме П–С || ПО и второго пути роспуска на горке, ее автоматизацию. Не рассматриваются также варианты с устройством четырех вытяжных путей, что нецелесообразно для сортировочного парка с 16 путями. В соответствии с рекомендациями [4] не рассмотрены варианты с полной автоматизацией сортировочной горки. Построением технологических графиков ее работы исключены из дальнейшего рассмотрения варианты с вводом дополнительного горочного локомотива. Обычно это очень эффективное мероприятие и в данном случае практически не сокращает горочный интервал, так как параллельные передвижения в горловинах станции при развитии ее по варианту С || ПО невозможны.

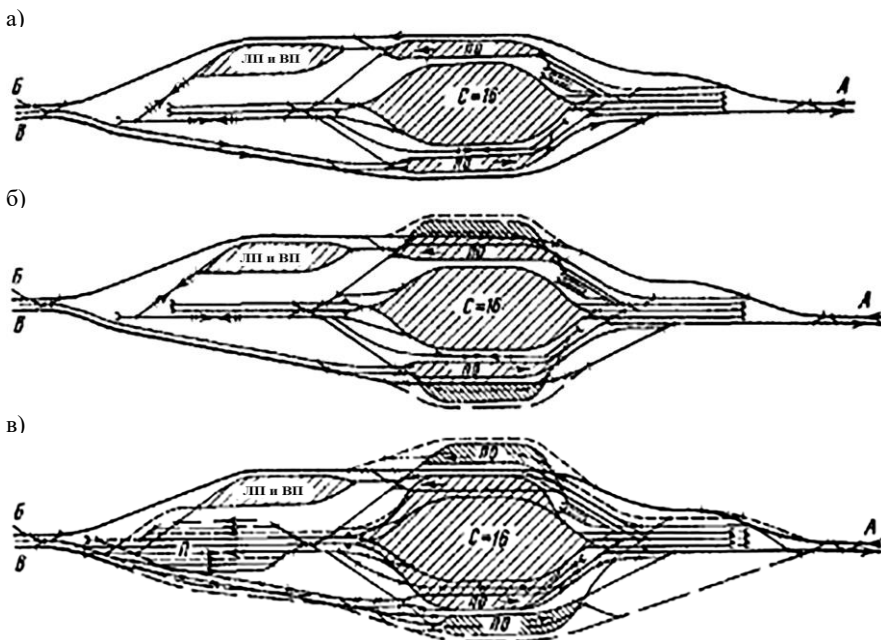


Рисунок 10.4 – Возможные схемы этапного развития сортировочной горки

В число вариантов развития станции по схеме П–С || ПО входят и такие решения, как увеличение количества горочных локомотивов, вытяжных путей, путей в парках сортировки и отправления, автоматизация горки и строительство петлевого ввода поездов. При этом исключены такие технологически нерациональные варианты, как, например, строительство сортировочного парка на 32 или 36 путей и развитие станции по схеме П–С || ПО с однопутной горкой, увеличение количества путей в парках отправления и последующий переход к строительству нового объединенного парка по схеме П–С–О.

Этапное развитие сортировочной станции по варианту j требует определенных капитальных затрат. При развитии станции по схеме С || ПО в варианте 1 сооружают два дополнительных пути в парке отправления (см. рисунок 10.4, б). Длина их принимается равной 1,87 км, стрелочных переводов 4. Учитывая, что стоимость укладки 1 км пути (с учетом земляных работ, искусственных сооружений и др.) 250 000 у. е., стрелочного перевода 4 400 у. е., включения его в ЭЦ 6 400 у. е., $K_{01} = 1,87 \cdot 250\,000 + (4\,400 + 6\,400) \cdot 4 = 511\,000$ у. е. Аналогично $K_{02} = 1,87 \cdot 2 \cdot 250\,000 + (4\,400 + 6\,400) \cdot 8 = 1\,022\,000$ у. е.

При строительстве второго обходного пути (см. рисунок 10.4) необходимо уложить 0,48 км пути, один перевод марки 1/9 и один 1/6. Затраты на эти

работы $K_{\text{обк}} = 0,48 \cdot 250\,000 + 4\,400 \cdot 1 + 2\,600 \cdot 1 + 6\,400 \cdot 2 = 139\,800 \approx 140\,000$ у. е. Дополнительные затраты на ввод устройств АЗСР и ТГЛ (на горке два локомотива) $K_{\text{АЗСР+ТГЛ}} = 20\,000 \cdot 2 + 10\,000 \cdot 2 = 60\,000$ у. е.

В расчете принято, что оборудование устройствами АЗСР одного пути надвига стоит 20 000 у. е., а одного локомотива – 10 000 у. е. Тогда $K_{03} = 139\,800 + 60\,000 = 200\,000$ у. е.

Аналогично рассчитаны капитальные вложения для всех остальных вариантов (см. рисунок 10.5). Необходимо отметить, что петлевой ввод требует укладки 2 км путей, одного стрелочного перевода марки 1/22 и строительства путепровода (132 000 у. е.). Автоматизация сортировочной горки дополнительно требует 1 700 000 у. е. Затраты на приобретение третьего горочного локомотива 135 000 у. е. Строительство парка приема на четыре пути вызывает укладку 3,5 км пути и 19 стрелочных переводов. Развитие сортировочного парка до 24 путей стоит 702 000 у. е., строительство парка отправления – 1 022 000 у. е. При этих данных стоимость развития станции по варианту 16 (см. рисунок 10.6) $K_{16} = 250 \cdot 3,5 + 19 \cdot (4,4 + 6,4) + 250 \cdot 2 + 1 \cdot (11,4 + 7,0) + 132 + 1\,700 + 135 + 702 + 1\,022 = 5\,289$ тыс. у. е.

Развитие станции по варианту 14 вызывает только строительство парка приема и второго обходного пути. Освободившиеся пути в существующем парке приема будут использованы для парка отправления ($K_{14} = 1\,080\,000 + 140\,000 = 1\,220\,000$ у. е.). Это решение характерно и для варианта 15. Результаты расчетов остальных (17–53) вариантов схемы П–С || ПО приведены на рисунке 10.6.

Для расчета капитальных вложений необходимо составить матрицу переходов от варианта j к варианту $j + k$. Для схемы С || ПО она показана в таблице 10.20.

Анализ показывает, что нерационально переходить от варианта 3 к вариантам 5, 6, 7, 10, 11, т. е. от $t_r = 23$ к $t_r = 0,27$ и т. д. Затем составляем матрицу капитальных затрат по данным рисунка 10.4 с корректировкой значений K , если есть бросовые работы при переходе от варианта j к варианту $j + 1$ или затрат вообще нет.

Например, переход от варианта 1 к варианту 2 требует 511 000 у. е., а к варианту 3 – только 200 000 у. е. Переход же от варианта 2 к варианту 3 нет смысла рассматривать, так как он эквивалентен переходу 2–4. Аналогично исключаем из рассмотрения переходы 7–8 и 11–12. Результаты расчетов для момента t_0 приведены в таблице 10.21. Если капитальные вложения переносятся на момент $t_0 + \Delta t$, то значения K рассчитывают, учитывая коэффициент приведения η_{t^0} . Например, для рассматриваемых условий при $\Delta t = 3$ года, $\eta_{t^0} = 0,794$, а $K_{01} = 511\,000 \cdot 0,794 = 406\,000$ у. е. Для остальных вариантов $K_{j, j+k}$ показаны в таблице 10.22. Аналогичные таблицы рассчитывают для $t = 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, m\Delta t$.

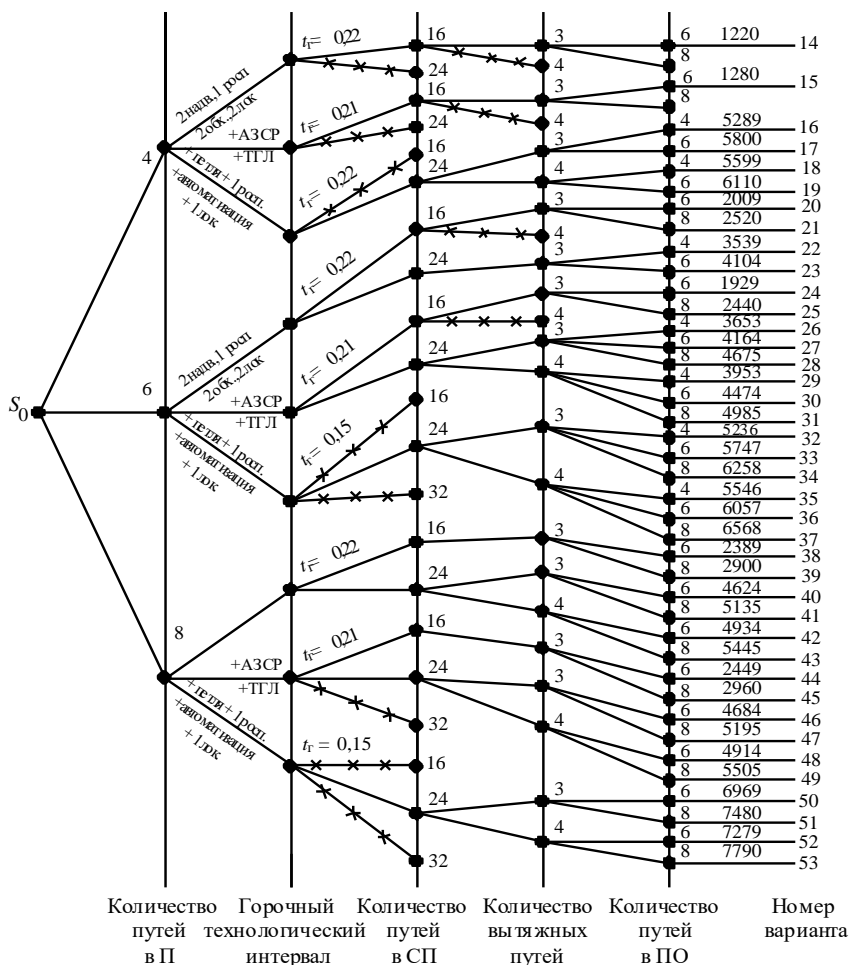


Рисунок 10.6 – Граф вариантов развития технического оснащения станции для схемы П-С || ПО

Таблица 10.20 – Матрица переходов от варианта j к варианту $j + k$

Вариант j	Вариант $j + k$													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
3	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
4	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1

Окончание таблицы 10.20

Вариант <i>j</i>	Вариант <i>j + k</i>													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Эксплуатационные расходы для варианта *j* [32]:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{jt} = & \mathcal{E}_{1jt} + \mathcal{E}_{2jt} + \mathcal{E}_{3jt} + \mathcal{E}_{4jt} + \mathcal{E}_{5jt} + \\ & + \mathcal{E}_{6jt} + \mathcal{E}_{7jt} + \mathcal{E}_{8jt} + \mathcal{E}_{9jt} + \mathcal{E}_{10jt} + \mathcal{E}_{11jt} + \mathcal{E}_{12jt}, \end{aligned} \quad (10.3)$$

где \mathcal{E}_{1jt} , \mathcal{E}_{2jt} – расходы на пробег поездов в году *t* при развитии станции по варианту *j* и поездных и маневровых локомотивов;

\mathcal{E}_{3jt} – расходы, вызванные остановками поездов на подходах к станции из-за нехватки приемо-отправочных путей;

\mathcal{E}_{4jt} – расходы на простой поездов на подходах к станции;

\mathcal{E}_{5jt} – расходы на простой составов на путях парка приема в ожидании расформирования и выполнения технологических операций;

\mathcal{E}_{6jt} – расходы на простой вагонов под накоплением;

\mathcal{E}_{7jt} – расходы на ожидание окончания формирования и формирование поездов;

\mathcal{E}_{8jt} – расходы на повторную сортировку вагонов;

\mathcal{E}_{9jt} – расходы на простой готовых составов в ПО из-за занятости маршрутов отправления;

\mathcal{E}_{10jt} – расходы на задержки поездных локомотивов, составов поездов из-за враждебности маршрутов;

\mathcal{E}_{11jt} – расходы на маневровую работу;

\mathcal{E}_{12jt} – расходы на содержание постоянных устройств и штата в году *t* при развитии станции по варианту *j*.

Таблица 10.21 – Капитальные вложения на момент t_0

В тысячах условных единиц

Вариант <i>j</i>	Вариант <i>j + k</i>													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	511	1 022	711	1222	1022	1533	2044	1753	2244	2044	2555	2244	2755
1	–	0	511	200	711	511	1022	1533	1222	1733	1533	2044	1733	2244
2	–	–	0	<i>M</i>	200	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	711	1222	<i>M</i>	<i>M</i>	1222	1733
3	–	–	–	0	511	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	1022	1533	<i>M</i>	<i>M</i>	1533	2044
4	–	–	–	–	0	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	511	1022	<i>M</i>	<i>M</i>	1022	1533
4	–	–	–	–	0	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	511	1022	<i>M</i>	<i>M</i>	1022	1533

Окончание таблицы 10.21

Вариант <i>j</i>	Вариант <i>j + k</i>													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	–	–	–	–	–	0	511	1022	711	1222	1022	1533	1222	1733
6	–	–	–	–	–	–	0	511	200	711	511	1022	711	1222
7	–	–	–	–	–	–	–	0	<i>M</i>	200	<i>M</i>	511	200	711
8	–	–	–	–	–	–	–	–	0	511	<i>M</i>	<i>M</i>	511	1022
9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	511
10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	511	200	711
11	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	<i>M</i>	200
12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	511
13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0

Таблица 10.22 – Капитальные вложения на момент $t_0 + \Delta t$ ($\Delta t = 3$ года)

В тысячах условных единиц

Вариант <i>j</i>	Вариант <i>j + k</i>													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	406	811	565	970	811	1217	1623	1376	1782	1623	2029	1782	2187
1	–	0	406	159	565	406	811	1217	970	1376	1217	1623	1376	1782
2	–	–	0	<i>M</i>	159	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	565	970	<i>M</i>	<i>M</i>	97	1376
3	–	–	–	0	406	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	811	1217	<i>M</i>	<i>M</i>	1217	1693
4	–	–	–	–	0	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	406	811	<i>M</i>	<i>M</i>	811	1217
5	–	–	–	–	–	0	406	811	565	970	811	1217	970	1376
6	–	–	–	–	–	–	0	406	159	565	406	811	505	970
7	–	–	–	–	–	–	–	0	<i>M</i>	159	<i>M</i>	406	159	565
8	–	–	–	–	–	–	–	–	0	406	<i>M</i>	<i>M</i>	406	811
9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	406
10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	406	159	565
11	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	<i>M</i>	159
12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	406
13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0

Эксплуатационные расходы на содержание постоянных устройств в вариантах установлены по нормам затрат на объект или устройство. Например, для варианта 1

$$\mathcal{E}_{121} = e_{\text{п}} l_{\text{п}} + e_{\text{с}} \text{Пс},$$

где $e_{\text{п}}$, $e_{\text{с}}$ – расходные ставки на содержание 1 км пути и одного стрелочного перевода;

$l_{\text{п}}$ – длина путей, км;

Пс – количество стрелочных переводов.

$$\mathcal{E}_{121} = 0,935 \cdot 2 \cdot 3,24 + 4 \cdot 1,34 = 11,4 \text{ тыс. у. е./год.}$$

Аналогично рассчитаны значения $\mathcal{E}_{\text{пу}}$ для остальных вариантов схемы С || ПО:

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6
$\mathcal{E}_{\text{пу}}$ схемы С ПО, тыс. у. е.	0	11,4	22,8	30,0	41,1	22,8	34,2
Номер варианта	7	8	9	10	11	12	13
$\mathcal{E}_{\text{пу}}$ схемы С ПО, тыс. у. е.	45,6	52,8	64,2	45,6	57,0	64,2	75,6

Объемы работы станции приведены в таблице 10.23. Суммарные эксплуатационные расходы рассчитывают по формуле (10.3).

Процесс оптимизации целесообразно выполнять методом последовательного анализа вариантов (МПА).

1 С помощью алгоритма «киевский веник» (см. пример 10.1), двигаясь из угла S_0 (рисунок 10.7), на шаге 1 рассчитывают приведенные расходы и записывают их в вершинах графа. Если в узел можно прийти двумя или более путями (на шаге 2 и всех последующих), то отмечается переход, обеспечивающий минимум приведенных расходов.

2 После шага k попарно сравнивают варианты развития сортировочной станции j и $j + 1$. Если

$$\left. \begin{aligned} t_{Г, j+1} < t_{Г, j}; \\ M_{В, j+1} < M_{В, j}; \\ M_{j+1} < M_j; \end{aligned} \right\} \quad (10.4)$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_0^f E_{j+1}^f < \sum_0^f E_j^f; \\ \mathfrak{E}_{j+1}^{f+1} < \mathfrak{E}_j^{f+1}, \end{aligned} \right\} \quad (10.5)$$

то вариант j из дальнейшего рассмотрения исключают.

Таблица 10.23 – Размеры движения

Годы	В поездах в сутки			
	Транзит с переработкой	Транзит без переработки в каждом направлении	Сборные	Пассажирские в каждом направлении
2014	50	18	3	15
2014–2017	55	19	3	16
2018–2020	60	20	4	17
2021–2023	65	22	4	18
2024–2026	70	25	4	19
2027–2029	75	28	4	20
2030–2032	80	30	4	22
2033–2034	85	30	4	22

3 Пункты 1 и 2 повторяют до тех пор, пока не будут рассмотрены последовательно все узлы.

На шаге 1 из вершины S_0 (см. рисунок 10.7) в вершины 01, 11, 21, ... можно прийти с расходами 322,7; 511,0 + 11,4 + 199,5 = 721,9; 1022 + 22,8 + 195,5 = 1240,3; 711 + 30 + 162,2 = 903,2, ..., 2755 + 75,6 + 134,3 = 2964,9. Сравнив попарно варианты развития станции с помощью неравенств (10.4) и (10.5), после шага 1 из дальнейшего рассмотрения исключают варианты 5, 6, 7, 10, 11. На шаге 2 количество возможных комбинаций развития увеличивается. При переходе из состояния 01 к состоянию 02 будут только эксплуатационные расходы. Поэтому приведенные расходы за три года

$$E_2(S_2^{02}) = 322,7 + \sum_{t=1}^{t=3} \frac{1}{(1+0,08)^t} \cdot 374,8 = 1\,289,6 \text{ тыс. у. е.}$$

При переходе от состояния 01 к состоянию 12 появляются дополнительные капитальные вложения, поэтому

$$E_2(S_2^{12}) = 1\,289,6 + 511 \cdot \frac{1}{(1+0,08)^3} = 1\,695,6 \text{ тыс. у. е.}$$

Переход от состояния 11 к состоянию 12 вызывает затраты

$$E_2(S_2^{12}) = 721,9 + 11,4 \sum_{t=1}^{t=3} \frac{1}{(1+0,08)^t} + 239,5 \sum_{t=1}^{t=3} \frac{1}{(1+0,08)^t} = 1\,369,2 \text{ тыс. у. е.}$$

Аналогично $E_2(S_2^{22}) = 721,9 + 11,4 \cdot 2,58 + 239,5 \cdot 2,58 + 511 \cdot 0,794 = 1\,775,2$ тыс. у. е. Остальные значения $E_2(S_2^j)$ приведены в таблице 10.24.

Таблица 10.24 – Приведенные расходы на развитие сортировочной станции

В тысячах условных единиц

Номер вершины на шаге 1	Номер вершины на шаге 2								
	0	1	2	3	4	8	9	12	13
0	1289	1696	2100	1854	2259	2665	3171	3071	3476
1	M	1369	1775	1528	1934	2339	2745	2745	3151
2	M	M	1901	M	2060	2466	2871	2871	3277
3	M	M	M	1467	1873	2278	2184	2684	3090
4	M	M	M	M	1977	2403	2808	2808	3214
8	M	M	M	M	M	2486	2892	2892	3297
9	M	M	M	M	M	M	3017	M	3423
12	M	M	M	M	M	M	M	2957	3363
13	M	M	M	M	M	M	M	M	3491

Выбрав в ее столбцах наименьшие значения $E_2(S_2^j)$, определяют $E_2^{opt}(S_2^j)$. Например, переход в состояние 52 наиболее целесообразен из состояния 11. Оптимальные переходы на шаге 2 показаны на рисунке 10.7. Все остальные варианты исключают из дальнейшего рассмотрения. Продолжая вычисления до 2034 г., получают оптимальную этапность в пределах схемы С || ПО, которая показана на рисунке 10.7 жирной линией.

При этом необходимо:

– в конце 2014 г. соорудить второй обходной путь, оборудовать горку устройствами АЗСР, ТГЛ и уложить дополнительно в парках отправления два пути;

- в 2020 г. уложить дополнительно два пути в парках отправления и с таким техническим оснащением эксплуатировать станцию до 2026 г.;
- в 2026 г. в парке приема увеличить количество путей до шести. Такое техническое оснащение без реконструкции останется до 2030 г., т. е. до конца периода планирования.

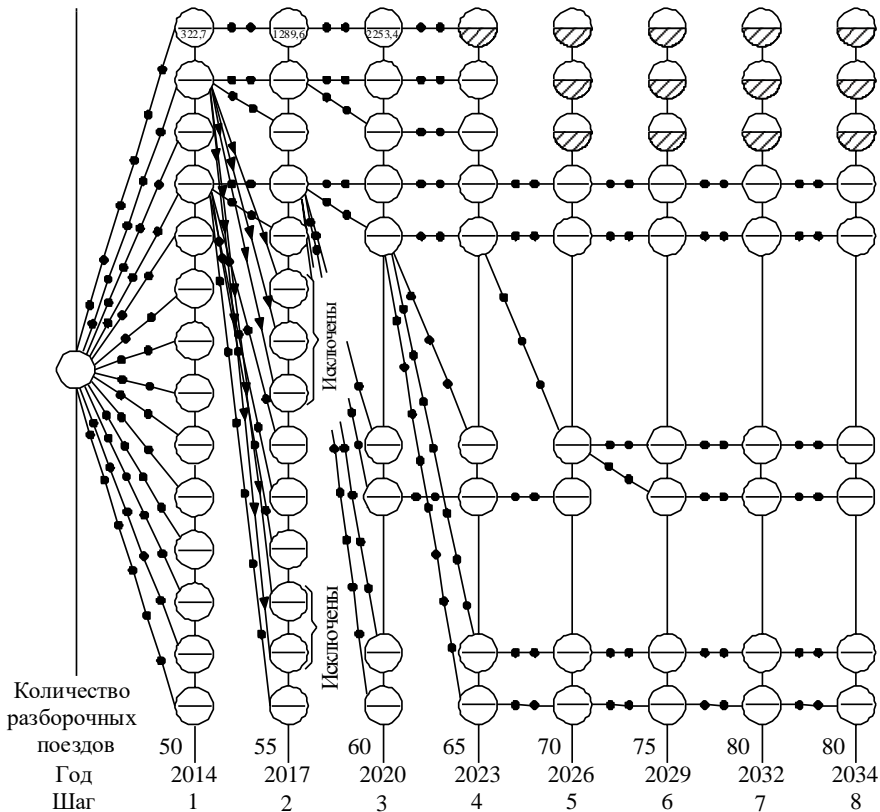


Рисунок 10.7 – Расчетный граф этапного развития сортировочной станции

Необходимо отметить, что при заданных темпах роста объемов работы переход к схеме П-С || ПО в течение периода до 2034 г. нецелесообразен. Эта мера окупает себя, если размеры переработки достигнут 90 поездов, а количество назначений плана формирования – 20. Тогда пути парков приема надо переключить в сортировочный парк. Оптимальная этапность развития сортировочной станции обеспечивает наименьшие расходы – 4 945 тыс. у. е. Любое отклонение от этой последовательности увеличивает расходы.

Пример 10.4. Для условий примера 10.3 рассчитаем экономические потери, вызванные задержкой реконструкции станции на три и шесть лет.

Решение. Если первый этап реконструкции сортировочной станции перенести с 2014 на 2017 г., то суммарные приведенные расходы на ее функционирование без реконструкции

$$E(S_{00}) = 322,7 + \sum_{t=1}^{t=3} \frac{1}{(1+0,08)^t} \cdot 374,8 + 711,0 \cdot \frac{1}{(1+0,08)^3} = 1\,854 \text{ тыс. у. е.}$$

При оптимальной стратегии развития (см. рисунок 10.7) $E(S^{\text{опт}}) = 1\,466,7$ тыс. у. е. Экономические потери при задержке реконструкции станции на три года составят $\Delta E = 1\,854 - 1\,466,7 = 387,3$ тыс. у. е. Если реконструкцию станции выполнить с опозданием на шесть лет, то

$$E(S_{00}) = 2\,253,4 + 1\,222,0 \cdot \frac{1}{(1+0,08)^6} = 3\,023,3 \text{ тыс. у. е.};$$

$$E(S^{\text{опт}}) = 2\,364,6 \text{ тыс. у. е.};$$

$$\Delta E = 3\,023,3 - 2\,364,6 = 658,7 \text{ тыс. у. е.}$$

11 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ СТАНЦИЙ

11.1 Выбор оптимального варианта реконструкции станции

Пример 11.1. Из двух вариантов реконструкции станции (рисунок 11.1) выберем оптимальный. Капитальные вложения в варианте 1 $K_2 = 10,8$ млн у. е., в варианте 2 $K_2 = 12,18$ млн у. е. Годовые эксплуатационные расходы $\mathcal{E}_1 = 754\,000$ у. е. и $\mathcal{E}_2 = 484\,000$ у. е.

Решение. При одновременных капитальных вложениях и постоянных (не меняющихся во времени) эксплуатационных расходах сравнительная экономическая эффективность вариантов реконструкции определяется по сроку окупаемости или по сумме приведенных строительно-эксплуатационных затрат. Срок окупаемости – период времени, в течение которого дополнительные капитальные вложения более дорогого варианта окупятся экономией эксплуатационных расходов:

$$t_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}.$$

Если $t_{\text{ок}}$ меньше нормативного срока окупаемости $t_{\text{н}}$ (для транспортных сооружений $t_{\text{н}} = 8-10$ лет), то следует принять более дорогой вариант. Если же $t_{\text{ок}} > t_{\text{н}}$, то следует ориентироваться на вариант с меньшими капитальными вложениями. В нашем примере $t_{\text{ок}} = (12\,180 - 10\,800) / (754 - 484) = 5,1$ года. Так как $5,1 < 8$, следует рекомендовать более дорогой вариант 2.

Приведенные строительно-эксплуатационные затраты

$$E_{\text{пр}i} = \mathcal{E}_i + E_{\text{н}}K_i, \quad (11.1)$$

где \mathcal{E}_i – эксплуатационные расходы в варианте i реконструкции, у. е.;

K_i – капитальные вложения в варианте i , у. е.;

$E_{\text{н}}$ – коэффициент эффективности капитальных вложений (величина, обратная сроку окупаемости),

$$E_{\text{н}} = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{K_2 - K_1}.$$

При $t_{\text{ок}} = 8$ лет $E_{\text{н}} = 0,12$, при $t_{\text{ок}} = 10$ лет $E_{\text{н}} = 0,1$.

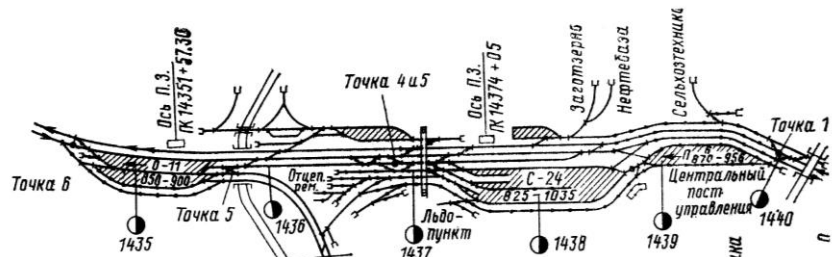
Лучший вариант тот, в котором приведенные строительно-эксплуатационные затраты минимальны. Для нашего примера

$$E_{\text{пр}}(1) = 754 + 0,12 \cdot 10\,800 = 2\,050 \text{ тыс. у. е.};$$

$$E_{\text{пр}}(2) = 484 + 0,12 \cdot 12\,180 = 1\,945 \text{ тыс. у. е.}$$

Предпочтение следует отдать варианту 2.

Вариант 1



Вариант 2

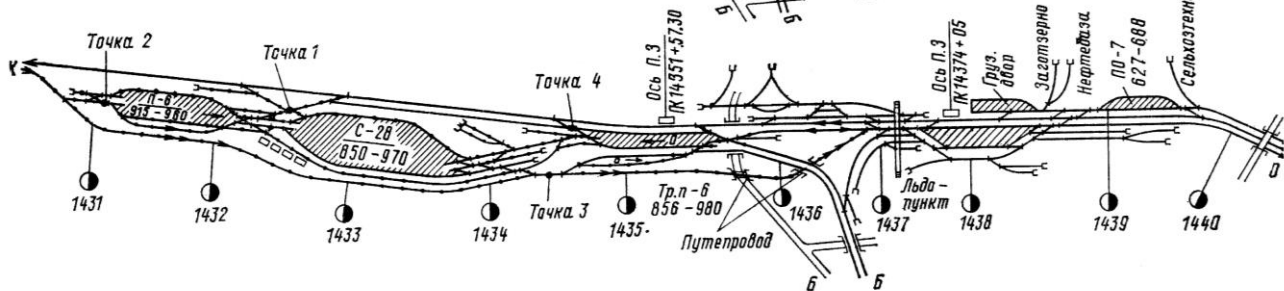


Рисунок 11.1 – Варианты переустройства станции

Пример 11.2. Реконструкция станции (см. варианты на рисунке 11.1) осуществляется этапами. Вариант 1 предусматривает переустройство станции в два этапа, а вариант 2 – в три. Необходимо выбрать оптимальный вариант развития станции с учетом отдаления затрат. Капитальные вложения и эксплуатационные расходы в вариантах и на этапах следующие.

Вариант 1. Капитальные вложения исходного (нулевого) года (этап I) – 6,4 млн у. е. и еще через 10 лет (этап II) – 5,4 млн у. е. Эксплуатационные расходы разделены на две части: постоянную и переменную. Постоянная часть этапа I (от 0 до 10-го года) 300 тыс. у. е., этапа II – 350 тыс. у. е.; переменная часть на этапе I – 10 тыс. у. е. в год, а на этапе II – 8 тыс. у. е. в год.

Вариант 2. Капитальные вложения исходного года – 5 000 тыс. у. е. (этап I), через 8 лет – еще 4,3 млн у. е. (этап II) и через 15 лет – 4,88 млн у. е. (этап III). Постоянные части эксплуатационных расходов по этапам соответственно равны 120 тыс., 180 тыс. и 200 тыс. у. е.; переменная часть на этапе, тыс. у. е. в год: I – 8, II – 8, III – 4. Период сравнения – 25 лет. Коэффициенты отдаления затрат при $E_{\text{нп}} = 0,08$ приведены в таблице 11.1.

Т а б л и ц а 11.1 – Коэффициенты отдаления капитальных затрат и эксплуатационных расходов

Количество лет	Коэффициент $\frac{1}{(1+0,08)^t}$	Сумма коэффициентов за t лет	
		$\sum_1^t \frac{1}{(1+0,08)^t}$	$\sum_1^t \frac{t}{(1+0,08)^t}$
1	0,926	0,93	0,93
2	0,857	1,78	2,64
3	0,794	2,58	5,02
4	0,735	3,31	7,96
5	0,681	3,99	11,39
6	0,630	4,62	15,17
7	0,584	5,21	19,27
8	0,540	5,75	23,59
9	0,500	6,25	28,20
10	0,463	6,71	32,83
11	0,429	7,14	37,55
12	0,397	7,54	42,32
13	0,368	7,90	47,10
14	0,340	8,25	51,87
15	0,315	8,56	56,60

Решение. При постоянных капитальных вложениях и меняющихся эксплуатационных расходах оптимальный вариант определяют по минимальной величине приведенных затрат за весь период сравнения. Приведенные затраты

$$E_{\text{нп}} = K_1 + \sum_{t_n}^{t_k} \frac{\mathcal{E}'_t}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau}} + \frac{K_2}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau}} + \sum_{t_n}^{t_k} \frac{\mathcal{E}''_t}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau}} + \frac{K_3}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau}} +$$

$$+ \sum_{t_n}^{t_k} \frac{\mathcal{E}'''_t}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau}} + \dots + \frac{K_n}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau}} + \frac{\mathcal{E}^n_t}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau}},$$

где $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ – капитальные вложения на рассматриваемых этапах;
 $\mathcal{E}'_t, \mathcal{E}''_t, \dots, \mathcal{E}^n_t$ – эксплуатационные расходы за соответствующий этап;
 t_n, t_k – год начала и окончания этапа;
 $E_{\text{нп}}$ – коэффициент приведения разновременных затрат (0,08).

Эксплуатационные расходы за этап при разделении их на постоянную и переменную часть

$$\sum_{t_n}^{t_k} \frac{\mathcal{E}_t}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau}} = \frac{1}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau_n-1}} \cdot \left[\mathcal{E}_{\text{п}} \sum_1^{t_3} \frac{1}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau_3}} + \mathcal{E}_3 \sum_1^{t_3} \frac{1}{\langle + E_{\text{нп}} \rangle^{\tau_3}} \right],$$

где $\mathcal{E}_{\text{п}}, \mathcal{E}_3$ – постоянная и переменная части эксплуатационных расходов;
 t_3 – продолжительность этапа, лет.

Рассчитаем приведенные затраты в каждом варианте и на каждом этапе.
Вариант 1. Эксплуатационные расходы на этапе I (10 лет, $t_n = 1, t_k = 10$)

$$\sum \frac{\mathcal{E}'_t}{\langle + 0,08 \rangle^{\tau}} = \frac{1}{\langle + 0,08 \rangle^{\tau_n-1}} \times$$

$$\times \left[300 \sum_1^{10} \frac{1}{\langle + 0,08 \rangle^{\tau_3}} + 10 \sum_1^{10} \frac{1}{\langle + 0,08 \rangle^{\tau_3}} \right] =$$

$$= 1 \cdot \langle 300 \cdot 6,71 + 10 \cdot 32,83 \rangle = 2\,341,3 \text{ тыс. у.е.}$$

Капитальные вложения на этапе II за 10 лет

$$K'_2 = \frac{K_2}{\langle + 0,08 \rangle^{\tau}} = \frac{5\,400}{\langle + 0,08 \rangle^{10}} = 5\,400 \cdot 0,463 = 2\,500 \text{ тыс. у.е.}$$

Эксплуатационные расходы на этапе II за 15 лет ($t_n = 11, t_k = 25$)

$$\sum_{11}^{25} \frac{\mathcal{E}''_t}{\langle + 0,08 \rangle^{\tau}} = \frac{1}{\langle + 0,08 \rangle^{\tau_{(1-1)}}} \times$$

$$\times \left[350 \cdot \sum_1^{15} \frac{1}{\langle + 0,08 \rangle^{\tau_3}} + 8 \cdot \sum_1^{15} \frac{1}{\langle + 0,08 \rangle^{\tau_3}} \right] =$$

$$= 0,463 \cdot \langle 350 \cdot 8,56 + 8 \cdot 56,6 \rangle = 1\,596,8 \text{ тыс. у.е.}$$

Приведенные в варианте 1 затраты [см. формулу (11.1)]

$$E_{\text{пр}(1)} = 6\,400 + 2\,341,3 + 2\,500 + 1\,596,8 = 12\,838,1 \text{ тыс. у. е.}$$

Вариант 2. Эксплуатационные расходы на этапе I за 8 лет ($t_n = 1$, $t_k = 8$)

$$\begin{aligned} \sum_1^8 \frac{\mathcal{E}_t}{\langle +0,08 \rangle^t} &= \frac{1}{\langle +0,08 \rangle^{t-1}} \times \\ &\times \left[120 \sum_1^8 \frac{1}{\langle +0,08 \rangle^t} + 8 \sum_1^8 \frac{1}{\langle +0,08 \rangle^t} \right] = \\ &= 1 \cdot \langle 20 \cdot 5,75 + 8 \cdot 23,59 \rangle = 878,7 \text{ тыс. у. е.} \end{aligned}$$

Капитальные вложения на этапе II за 8 лет

$$K'_2 = \frac{K_2}{\langle +0,08 \rangle^8} = \frac{4\,300}{\langle +0,08 \rangle^8} = 2\,322 \text{ тыс. у. е.}$$

Эксплуатационные расходы на этапе II, начиная с 9-го года, за 7 лет ($t_n = 9$, $t_k = 15$)

$$\begin{aligned} \sum_9^{15} \frac{\mathcal{E}_t''}{\langle +0,08 \rangle^t} &= \frac{1}{\langle +0,08 \rangle^8} \times \\ &\times \left[180 \sum_1^7 \frac{1}{\langle +0,08 \rangle^t} + 6 \sum_1^7 \frac{1}{\langle +0,08 \rangle^t} \right] = \\ &= 0,540 \langle 80 \cdot 5,21 + 6 \cdot 19,27 \rangle = 568,8 \text{ тыс. у. е.} \end{aligned}$$

Капитальные вложения на этапе III за 15 лет

$$K'_3 = \frac{K_3}{\langle +0,08 \rangle^{15}} = \frac{4\,880}{\langle +0,08 \rangle^{15}} = 1\,537,2 \text{ тыс. у. е.}$$

Эксплуатационные расходы на этапе III за 10 лет ($t_n = 16$, $t_k = 25$)

$$\begin{aligned} \sum_{16}^{25} \frac{\mathcal{E}_t'''}{\langle +0,08 \rangle^t} &= \frac{1}{\langle +0,08 \rangle^{15}} \times \\ &\times \left[200 \cdot \sum_1^{10} \frac{1}{\langle +0,08 \rangle^t} + 4 \cdot \sum_1^{10} \frac{1}{\langle +0,08 \rangle^t} \right] = \\ &= 0,315 \cdot \langle 00 \cdot 6,71 + 4 \cdot 32,83 \rangle = 464,1 \text{ тыс. у. е.} \end{aligned}$$

Общие затраты в варианте 2

$$E_{\text{пр}(2)} = 5\,000 + 878,7 + 2\,322 + 568,8 + 1\,537,2 + 464,1 = 10\,470,8 \text{ тыс. у. е.}$$

Лучшим следует признать вариант 2.

11.2 Переустройство промежуточной станции

Пример 11.3. Выберем оптимальный по минимуму годовых приведенных затрат вариант размещения грузового терминала на промежуточной станции* (рисунок 11.2), где все пути двустороннего действия: 1 – прием пассажирских и пропуск без остановки пассажирских и грузовых поездов; 2 – прием грузовых и пассажирских; 3 и 4 – прием грузовых; 4 – сборных. Грузовой терминал можно разместить либо со стороны пассажирского здания (вариант 1, рисунок 11.1, а), либо параллельно пути 4 (вариант 2, рисунок 11.1, б). Станция пропускает в сутки 35 пар пассажирских и грузовых поездов, два сборных, с которыми прибывают четыре вагона в адрес грузового терминала, количество подач на и с грузового терминала – по две. Подают (убирают) вагоны на пункты погрузки и выгрузки поездными локомотивами 2М62. Статическая нагрузка вагона $p_{ст} = 45$ т. С севера расположены поселок и предприятия, получающие грузы. Средняя дальность перевозки груза автотранспортом клиентуры (для определения приведенных затрат) $l_{авт} = 10$ км, средняя себестоимость перевозки $c_{авт} = 0,055$ у. е./т·км, себестоимость 1 ч маневровой работы $c_{МН}^{MP} = 7,4$ у. е., себестоимость 1 ч простоя подачи $c_{NH}^{PP} = 6,8$ у. е. Пробег автомобилей в варианте 1 $l'_{авт1} = 0,8$ км и в варианте 2 $l'_{авт2} = 2,0$ км. Капитальные вложения на сооружение грузовых устройств в вариантах одинаковы.

Решение. Наиболее выгоден вариант размещения грузовых устройств с минимальными годовыми приведенными затратами $E_{пр}$ на подачу вагонов под погрузку-разгрузку, перевозку автотранспортом, строительство и эксплуатацию погрузочно-разгрузочных устройств (различных в вариантах). Следовательно,

$$E_{пр} = 365 \left(c_{NH}^{PP} t_M N_{сб} + E_{МН}^{PP} t_3 + E_{авт}^{PP} m_{сут} P_{ст} l'_{авт} \right) + E_n K, \quad (11.2)$$

где E_{NH}^{PP} – приведенные расходы на 1 ч маневровой работы (подачи-уборки вагонов), у. е.;

t_M – продолжительность маневровой работы, ч (таблица 11.2);

$N_{сб}$ – количество сборных поездов;

$E_{МН}^{PP}$ – приведенные расходы на 1 ч простоя подачи, у. е.;

t_3 – продолжительность задержки подачи из-за враждебности маршрута следования, ч;

$E_{авт}^{PP}$ – приведенные расходы на перевозку груза автотранспортом, у. е./т·км;

* При разработке проекта новой железнодорожной линии может возникнуть необходимость в выборе схем промежуточных станций (однотипных для участка), которые в некоторой степени определяются местом расположения грузового терминала. В данном примере дана методика технико-экономических расчетов размещения устройств на промежуточной станции поперечного типа.

$m_{сут}$ – среднесуточное количество вагонов, прибывающих на промежуточную станцию;

\mathcal{E} – годовые эксплуатационные расходы на содержание погрузочно-разгрузочных устройств, у. е.;

E_n – коэффициент эффективности капитальных вложений 0,12;

K – капитальные вложения в строительство погрузочно-разгрузочных устройств, у. е.

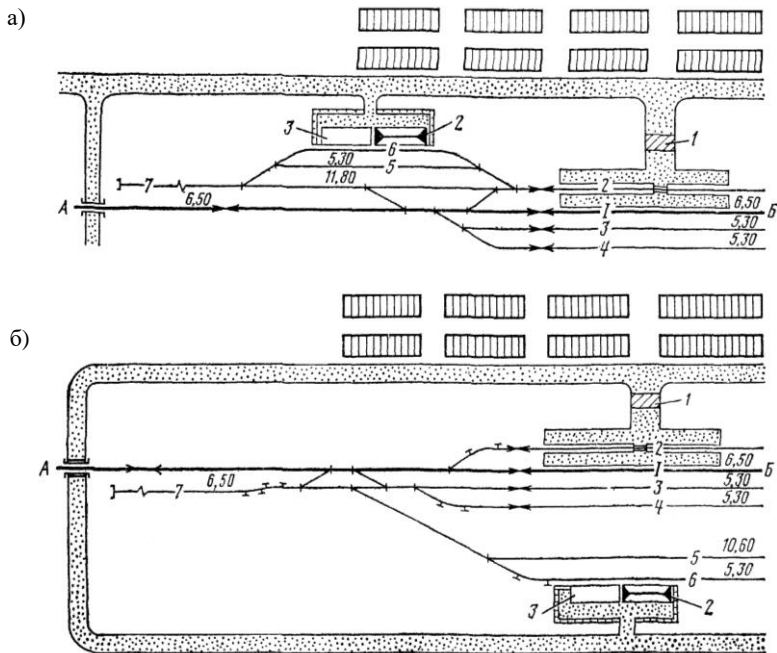


Рисунок 11.2 – Варианты размещения грузового терминала на промежуточной станции: *a* – размещение грузового терминала со стороны пассажирского здания;

б – размещение грузового терминала параллельно пути; 1 – пассажирское здание; 2 – крытый склад; 3 – открытая площадка

Таблица 11.2 – Продолжительность маневровой работы в вариантах размещения грузовых устройств

Операция	Количество вагонов	Длина полурейса в вариантах, м		Продолжительность маневровой работы в вариантах, мин	
		1	2	1	2
Обгон локомотива	–	950	950	2,33	2,33
Вывод вагонов на вытяжной путь	3	430	340	1,54	1,41
Заезд на грузовой терминал	3	250	430	1,15	1,54
Перестановка вагонов	3	340	340	1,41	1,41

Окончание таблицы 11.2

Операция	Количество вагонов	Длина полурейса в вариантах, м		Продолжительность маневровой работы в вариантах, мин	
		1	2	1	2
Подача вагонов под погрузку	3	340	340	1,41	1,41
Следование локомотива под поезд	—	1 320	1 410	2,89	3,03
Итого	—	—	—	10,73	11,13

Если капитальные вложения и расходы на содержание погрузочно-разгрузочных устройств в вариантах одинаковы, то общие расходы можно определять за сутки (формула (11.2) без учета одинаковых величин). Определим приведенные расходы на 1 ч простоя подачи:

$$E_{MH}^{пр} = c_{MH}^{пр} + \frac{E_n K_{л} \alpha_{рем}}{8760} + \frac{E_n (K_b \alpha_{рем} + K_{гр} P_{ст}) \eta_{сут}}{8760},$$

где $K_{л}$ – стоимость локомотива (226 000 у. е.);

$\alpha_{рем}$ – коэффициент, учитывающий продолжительность нахождения локомотива или вагона в ремонте ($\alpha_{рем} = 1,1$);

K_b – стоимость вагона, $K_b = 8 500$ у. е.;

$K_{гр}$ – стоимость 1 т перевозимого груза, $K_{гр} = 200$ у. е.

$$E_{MH}^{пр} = 6,8 + \frac{0,12 \cdot 226 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{8760} + \frac{0,12 \cdot (8 500 \cdot 1,1 + 200 \cdot 45)}{8760} = 6,8 + 3,4 + 1,0 = 11,21 \text{ у.е.}$$

Расходы на 1 ч маневровой работы (при $c_{NH}^{пр} = 7,4$)

$$E_{NH}^{пр} = 7,4 + 3,4 + 1,0 = 11,80 \text{ у.е.}$$

Продолжительность задержки сборного поезда из-за враждебности маршрутов следования организованных поездов по главному пути и группы вагонов, подаваемых с пути 4 на грузовой терминал (рисунок 10.1, а),

$$t_3 = \frac{N_1 N_2 (t_1 + t_2)}{2T_p},$$

где N_1 – количество поездов, пропускаемых по пути 1 в оба направления;

N_2 – количество подач на и с грузового терминала;

t_1, t_2 – продолжительность занятия точек пересечения 1 и 2 маршрутом;

T_p – расчетный период, $T_p = 1 440$ мин.

Для нашей задачи при $t_1 = t_2 = 5$ мин.

$$t_3 = \frac{(2 \cdot 35) \cdot (2 \cdot 2) \cdot 5}{2 \cdot 1 440} = 10 \text{ мин.};$$

$$E_{авт}^{пр} = c_{авт} + \frac{E_n K_{авт} \cdot 100}{365 q_n^a \nu \beta \alpha t_{сут}} + \frac{E_n K_{авт} t_{пв} \cdot 100}{365 q_n^a \nu \beta t_{сут} l_{авт}},$$

где $K_{\text{авт}}$ – стоимость автомобиля (1 600 у. е.);
 β – коэффициент полезного пробега автомобилей (в районах, где преобладают перевозки грузов для нужд агропредприятий, $\beta = 0,6$);

$q_{\text{н}}^{\text{а}} = 4 \text{ т}$ – загрузка автомобиля;

$v = 25 \text{ км/ч}$ – средняя скорость движения автомобиля;

$\gamma = 0,8$ – коэффициент использования грузоподъемности автомобиля;

$\alpha = 0,5$ – коэффициент готовности автопарка к выходу на линию;

$t_{\text{сут}} = 9 \text{ ч}$ – продолжительность работы автомобиля по наряду;

$t_{\text{пв}} = 2 \text{ ч}$ – продолжительность простоя под погрузкой-разгрузкой.

$$E_{\text{авт}}^{\text{пр}} = 0,055 + \frac{0,12 \cdot 1\,600 \cdot 100}{365 \cdot 4 \cdot 25 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 9} + \frac{0,12 \cdot 1\,600 \cdot 2 \cdot 100}{365 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 9 \cdot 10} = 0,91 \text{ у. е./т} \cdot \text{км}.$$

Подставляя полученные значения в выражение (11.2), получим:

$$E_{\text{пр}(1)} = 11,80 \cdot \frac{10,73}{60} \cdot 2 + 11,21 \cdot \frac{10}{60} + 0,91 \cdot 4 \cdot 45 \cdot 0,8 = 137,13 \text{ у. е. в сутки};$$

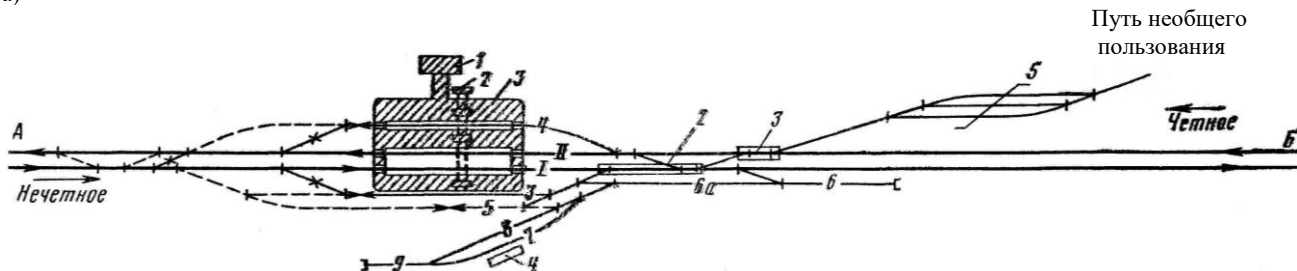
$$E_{\text{пр}(2)} = 11,80 \cdot \frac{11,13}{60} \cdot 2 + 0,91 \cdot 4 \cdot 45 \cdot 2 = 331,98 \text{ у. е. в сутки}.$$

Таким образом, размещение грузовых устройств в варианте 1 – со стороны пассажирского здания экономически более целесообразно, т.к. в этом случае значительно уменьшаются расходы на перевозку груза автотранспортом.

Пример 11.4. Переустроим станцию H (рисунок 11.3, a , сплошная линия) в связи с увеличением массы поезда, размеров движения на направлении $A-B$ и объема местной работы. Существующие пути специализированы следующим образом: I и II – для пропуска пассажирских и грузовых поездов и кратковременной стоянки пассажирских; 3 и 4 – для приема и отправления пассажирских и грузовых поездов. Размеры движения на направлении $A-B$ 80 поездов, в том числе пассажирских 10, грузовых 70, из них сборных 4. Поездной локомотив ТЭЗ, масса грузового поезда 3 300 т, статическая нагрузка вагона $p_{\text{ст}} = 45 \text{ т}$, количество вагонов в составе $m = 50$. На грузовой терминал прибывает 10 и на подъездной путь щебеночного карьера – 15 вагонов в сутки в основном со станции B подобранными по группам. 90 % погруженных вагонов отправляются в сторону A и 10 % – в сторону B . Маневровую работу – обслуживание грузового терминала, подачу и уборку вагонов с выставочных путей карьера – выполняет поездной локомотив сборного поезда. У карьера есть свой мотовоз.

Расходы, связанные с простоем одного грузового поезда, равны 12 у. е. и сборного 8 у. е. Стоимость 1 ч маневровой работы $c_{\text{МН}}^{\text{пр}} = 7,7 \text{ у. е.}$, стоимость 1 км пробега одиночного локомотива $c_{\text{МС}} = 0,57 \text{ у. е.}$ Направление $A-B$ оборудовано автоблокировкой.

а)



б)

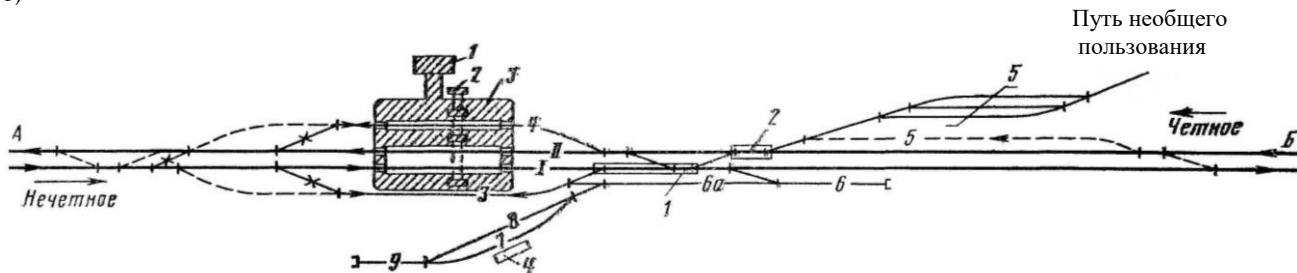


Рисунок 11.3 – Варианты переустройства промежуточной станции:

1 – пассажирское здание; 2 – тоннель; 3 – пассажирская платформа; 4 – грузовой двор; 5 – выставочный парк подъездного пути

Решение. При переустройстве станции H (см. рисунок 11.3, a , сплошная линия) необходимо удлинить приемо-отправочные пути в связи с увеличением массы поезда и увеличить их количество из-за роста размеров движения и объема местной работы. Удлинить пути, учитывая уклоны (1,5 и 1,8 ‰) на подходах, можно в обе стороны без дополнительных земляных работ.

При удлинении в сторону A нужно переложить шесть стрелочных переводов, а в сторону B – 11 и, кроме того, перетрассировать подъездной путь к карьеру, удлинить вытяжной путь 6 и уложить дополнительное соединение между ним и грузовым терминалом. Поэтому и без технико-экономических расчетов видно, что удлинять пути целесообразно в направлении A (см. рисунок 11.3, штриховая линия),

Возможны два варианта укладки нового пути: параллельно существующим (вариант 1, рисунок 11.3, a) и последовательно с ними (вариант 2, рисунок 11.3, b). В первом случае путь будет использован для приема и отправления нечетных и четных сборных поездов. Для отцепки вагонов от четных поездов локомотив обгоняется по одному из свободных путей, пробегая при этом в сутки 4 км. Для станции поперечного типа характерно пересечение маршрутов приема и отправления нечетных поездов с отправлением и приемом четных сборных (точки 1–3, рисунок 11.3, a). Простой поездов из-за враждебности маршрутов в этих точках равен 54 поезде-ч в год. Кроме того, сборные поезда дополнительно простаивают 80 поезде-ч в год из-за враждебности маршрутов следования по I и II путям и подачи (уборки) вагонов на выставочные пути. Продолжительность подачи (уборки) вагонов 0,44 ч.

На станции продольного типа (вариант 2, рисунок 11.3, b) на путь 5 можно принимать четные сборные поезда*. Нечетные поезда принимают на путь 4. При этом маршрут следования поездов по главным путям пересекается с подачей (уборкой) вагонов на путь необщего пользования (точки 1 и 2, рисунок 11.3, b). Простой сборных поездов из-за враждебности – 102 поезде-ч в год. Продолжительность на подачу (уборку) вагонов – 0,56 ч.

Рациональное размещение дополнительного пути выбирают на основе технико-экономических расчетов. При этом рассчитывают капитальные и эксплуатационные затраты в вариантах. Капитальные вложения в каждом варианте

$$K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8, \quad (11.3)$$

где K_1 – стоимость земляных работ, у. е.,

$$K_1 = e_1 V;$$

K_2, K_3, K_4, K_5 , – стоимость укладки дополнительного пути, дополнительных стрелочных переводов, дополнительных сигналов, укладки кабеля для дополнительных сигналов, у. е.:

* Так как вагоны в адрес станции прибывают и отправляются с четными сборными поездами, в сравнении участвуют лишь показатели, характеризующие обслуживание поездов этой категории.

$$K_2 = e_2 l_{\text{п}};$$

$$K_3 = e_3 n_{\text{стр}};$$

$$K_4 = e_4 n_{\text{сиг}};$$

$$K_5 = e_5 l_{\text{к}};$$

K_6 и K_7 – капитальные вложения в локомотивный и вагонный парки, у. е.:

$$K_6 = \frac{1,1K_{\text{л}}}{T} t_3; \quad K_7 = \frac{1,1K_{\text{в}} m}{T} t_3;$$

K_8 – стоимость грузовой массы (оборотные средства), у. е.,

$$K_8 = \frac{m q_{\text{л}}^{\text{в}} K_{\text{гр}} T}{T} t_3;$$

e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 – расходные ставки на измеритель, у. е. (соответственно 1 м³ земляных работ, 1 км пути, 1 стрелочный перевод, 1 сигнал, 1 км кабеля);

V – объем земляных работ, м³;

$l_{\text{п}}$ – длина путей, км;

$n_{\text{стр}}$ – количество стрелочных переводов;

$n_{\text{сиг}}$ – количество дополнительно устанавливаемых сигналов;

$l_{\text{к}}$ – длина укладываемого кабеля к вновь устанавливаемым сигналам, км;

1,1 – коэффициент, учитывающий время нахождения локомотива в ремонте;

$K_{\text{л}}$ – стоимость локомотива, у. е.;

T – количество часов в году;

t_3 – продолжительность задержки подвижного состава, ч/год;

$K_{\text{в}}$ – стоимость вагона, у. е.;

m – количество вагонов в составе;

$K_{\text{гр}}$ – стоимость грузовой массы, у. е./т.

Количество слагаемых в формуле (11.3) зависит от объема работ в каждом варианте (таблица 11.3).

Эксплуатационные расходы в вариантах

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{п}} + \mathcal{E}_{\text{стр}} + \mathcal{E}_{\text{сиг}} + \mathcal{E}_{\text{к}} + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_{\text{м}} + \mathcal{E}_{\text{пл}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{п}}$, $\mathcal{E}_{\text{стр}}$, $\mathcal{E}_{\text{сиг}}$, $\mathcal{E}_{\text{к}}$ – расходы на содержание вновь укладываемых путей, стрелочных переводов, дополнительных сигналов, кабельной линии, у. е.,

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = e_{\text{п}} l_{\text{п}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{стр}} = e_{\text{стр}} n_{\text{стр}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{сиг}} = e_{\text{сиг}} n_{\text{сиг}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{к}} = e_{\text{к}} l_{\text{к}};$$

\mathcal{E}_3 – расходы, связанные с простоем подвижного состава, у. е.,

$$\mathcal{E}_3 = c_{NH} t_3;$$

\mathcal{E}_M – расходы на маневровую работу, у. е.,

$$\mathcal{E}_M = c_{MH}^{MP} t_{ман};$$

$\mathcal{E}_{пл}$ – расходы на пробег одиночного локомотива,

$$\mathcal{E}_{пл} = c_{MS} l_{ло};$$

$e_{п}, e_{стр}, e_{сиг}, e_{к}$ – расходные ставки (эксплуатационные затраты) на измеритель (соответственно 1 км пути, 1 стрелочный перевод, 1 сигнал, 1 км кабеля), у. е.

$l_{ло}$ – пробег одиночного локомотива, км.

Таблица 11.3 – Объем строительных работ и капитальные вложения в вариантах развития станции

Показатель	Расходная ставка, у. е.	Вариант			
		1		2	
		Объем работы	Общие затраты, тыс. у. е.	Объем работы	Общие затраты, тыс. у. е.
Земляные работы, м ³	1,5	7 000	10,50	7 300	10,95
Укладка рельсов Р50, 1600 шпал на 1 км, балласт песчаный, км	35 731	1,0	35,75	1,4	50,02
Укладка стрелочных переводов марки 1/11, Р65 с постановкой на щебень, компл.	5 100	–	–	4	20,40
Укладка стрелочных переводов 1/11, Р50, компл.	3 900	4	15,60	2	7,80
Установка маневровых сигналов, шт.	475,0	–	–	1	0,48
Прокладка кабельной линии к сигналам, км	1 500	–	–	1,2	1,80
Капитальные вложения в подвижной состав (на приобретение), ваг., лок.	8 510 226 000	3,0 0,06	25,50 13,56	2,0 0,04	17,00 9,04
Стоимость грузовой массы на колесах, т	160,0	132,0	21,12	88,0	14,08
Итого	–	–	122,01	–	131,75

Рассматривая данные таблиц 10.3 и 10.4, видим, что переустройство станции по продольной схеме (вариант 2) дороже, чем по поперечной (вариант 1). Приведенные расходы [см. формулу (11.1)]:

$$E_{пр}(1) = 14,59 + 0,12 \cdot 122,01 = 29,29 \text{ тыс. у. е.};$$

$$E_{пр}(2) = 18,43 + 0,12 \cdot 131,75 = 34,24 \text{ тыс. у. е.}$$

в варианте 2 также больше, чем в варианте 1. Следовательно, новый путь 5 надо укладывать параллельно пути 3 (см. рисунок 11.3).

Таблица 11.4 – Эксплуатационные расходы в вариантах переустройства станции

Показатель	Расходная ставка, у. е.	Вариант			
		1		2	
		Объем работы	Общие затраты, тыс. у. е.	Объем работы	Общие затраты, тыс. у. е.
Содержание и амортизация: станционных путей, км	3 760	1,0	3,76	1,4	5,26
стрелочных переводов, компл.	1 760	4,0	7,04	6,0	10,56
Содержание: кабельной сети, км	150	–	–	1,2	0,18
карликового сигнала, сигн.	50	–	–	1,0	0,05
Простой, поездо-ч: сборных четных поездов	8,0	134,0	1,07	102,0	0,81
грузовых поездов	12,0	54,0	0,65	–	–
Маневровая работа, лок.ч	7,7	160,6	1,24	204,4	1,57
Пробег одиночного локомотива, лок.ч	0,5	1 460,0	1,03	–	–
Итого	–	–	14,59	–	18,43

11.3 Переустройство сортировочных станций

Пример 11.5. Выберем рациональный вариант переустройства сортировочной станции (см. рисунки 6.28 и 6.31). Размеры движения (поездов в сутки), объем работ, качественные показатели эксплуатации и расходные ставки приведены в таблицах 11.5 и 11.6. Состав поезда $m = 50$ вагонов; нагрузка вагона $q_n^B = 45$ т; масса тары $q_T^B = 5,5$ т/ось; масса поезда 3 350 т, серии локомотивов поездных 2ТЭ10, маневровых ЧМЭЗ; скорость передвижения состава при маневровой работе $v = 10$ км/ч; средняя скорость следования поездов и локомотивов в пределах станции $v = 40$ км/ч; себестоимость 1 ч маневровой работы 9,91 у. е.

Таблица 11.5 – Размеры движения

В поездах в сутки

Из	На			
	А	Б	В	Итого
А	–	$\frac{—}{6}$	$\frac{26}{14}$	$\frac{26}{20}$
Б	$\frac{—}{4}$	–	$\frac{22}{6}$	$\frac{22}{10}$
В	$\frac{25}{10}$	$\frac{21}{14}$	–	$\frac{46}{24}$
Итого	$\frac{25}{10}$	$\frac{21}{20}$	$\frac{48}{20}$	$\frac{94}{54}$

Примечание – Числитель – без переработки, знаменатель – с переработкой.

Таблица 11.6 – Качественные показатели эксплуатационной работы

Показатель	Вариант	
	1	2
Пробег, км: транзитного поезда	6,0	4,0
поезда, прибывшего в переработку: четного	2,0	2,0
нечетного	3,0	6,0
состава при перестановке с путей сортировочного парка в от- правочный	1,3	2,3
Уборка поездного локомотива в локомотивное депо из парков, км: <i>П-I</i>	2,3	2,0
<i>П-II</i>	0,8	0,8
Подача (уборка) локомотива из локомотивного депо в парки, км: <i>ТР-I, О-I</i>	3,5	1,3
<i>ТР-II, О-II</i>	4,5	2,5
Пробег поезда своего формирования при отправлении со станции, км: четного	5,0	3,0
нечетного	0,5	2,8
Простой локомотива, ч	3,0	2,0

Решение. Проектом переустройства станции предусмотрены два варианта схем: с последовательным и комбинированным расположением парков. В варианте 1 (см. рисунок 6.28) новые парки транзитные *ТР-I*, *ТР-II* и отправления поездов своего формирования *О-I*, *О-II* строят последовательно с сортировочным, отчего длина станционной площадки увеличивается до 6 км. Для связи парков *ТР-I* и *ТР-II*, *О-I* и *О-II* с локомотивным депо укладывают ходовой путь 1 и строят путепровод под сортировочной горкой. Новые главные пути для пропуска пассажирских поездов сооружают по объемлющей схеме. Изменения конструкций горловин требуют разборки и укладки стрелочных переводов различных типов. Последовательное расположение парков обеспечивает поточность обработки вагонов, а, следовательно, и максимальную пропускную и перерабатывающую способность станции. Однако пробег локомотивов из парков *ТР-I*, *О-I* и *ТР-II*, *О-II* в депо и обратно велик. Локомотивы простаивают из-за пересечения маршрутов их следования с отправлением поездов из парков *О-II*, *ТР-II*.

В варианте 2 (см. рисунок 6.31) новые парки транзитные *ТР-I*, *ТР-II* и отправления поездов своего формирования *О-I* и *О-II* размещают параллельно с сортировочным. Связь между этими парками осуществляется через вытяжные и специальные соединительные пути. Для приема поездов, следующих в разборку с направления *В*, построен соединительный путь *III*. В этом варианте также укладываются новые стрелочные переводы. Схема комбинированного типа в эксплуатационном отношении уступает предыдущей: перестановка составов из сортировочного парка в парки отправления *О-I* и *О-II* не обеспечивает поточность обработки вагонов и увеличивает

пробег подвижного состава. В выходной горловине предгорочного парка пересекаются маршруты надвига составов на горку из парка П-I и следования поездных локомотивов в депо.

Оптимальный вариант определяется наименьшими эксплуатационными и капитальными или приведенными затратами. Их рассчитывают по соответствующим объемам работ и расходным ставкам (таблицы 11.7, 11.8). Капитальные вложения в локомотивный и вагонный парки и в оборотные средства (грузовая масса на колесах) определены следующим образом. Количество приобретенных поездных локомотивов

$$M_{\text{п}} = \frac{\sum NS + \sum MS}{v \cdot 365 \cdot 24} + \frac{\sum MH_{\text{п}}}{365 \cdot 24},$$

где $\sum NS$ – суммарный пробег поездов, поездо-км;

$\sum MS$ – пробег одиночно следующих локомотивов, лок-км;

$\sum MH_{\text{п}}$ – простой поездных локомотивов, лок-ч.

Количество маневровых локомотивов

$$M = \frac{\sum MH_{\text{м}}}{365 \cdot 24},$$

где $\sum MH_{\text{м}}$ – продолжительность выполнения маневровых передвижений, лок-ч.

Таблица 11.7 – Объемы работ и капитальные вложения

Показатель	Расходная ставка, у. е.	Вариант			
		1		2	
		Объем работы	Общие затраты, тыс. у. е.	Объем работы	Общие затраты, тыс. у. е.
Земляные работы, м ³	1,0	527 927	527,93	594 938	594,94
Укладка путей, км:					
главных, Р65	71 000	23,60	1675,60	22,63	1 610,28
приемо-отправочных, Р50	57 000	37,45	2134,65	35,54	2 025,78
сортировочных, Р50	48 600	18,39	893,75	18,88	917,57
Разборка пути, Р43, км	560	11,60	6,50	14,00	7,84
Укладка стрелочных переводов:					
марки 1/11, Р65	5 100	27,00	137,70	19,00	96,90
марки 1/9, Р50	3 700	148,00	547,60	140,00	518,00
марки 1/6с, Р50	2 100	36,00	75,60	36,00	75,60
Укладка глухих пересечений, Р50	3 600	4,00	14,40	3,00	10,80
Разборка стрелочных переводов, Р43	85	72,00	6,12	76,00	6,46
Приобретение, шт.:					
поездных локомотивов	226 000	4,20	949,20	2,92	659,92
маневровых локомотивов	115 000	2,60	299,00	4,75	546,25
вагонов	8 500	40,00	340,00	35,00	297,50
Грузовая масса на колесах, т.	200	1 800,00	360,00	1 575,0	315,00
Итого	–	–	7 967,45	–	7 682,84

Таблица 11.8 – Объемы работ и эксплуатационные расходы

Показатель	Расходная ставка, у. е.	Вариант			
		1		2	
		Объем работы	Общие затраты, тыс. у. е.	Объем работы	Общие затраты, тыс. у. е.
Пробег транзитных поездов, поездо-км	1,95	205,86	380,84	136,24	252,04
Пробег поездов, прибывающих в переработку, поездо-км:					
четных	1,95	21,90	40,50	21,90	40,50
нечетных	1,95	26,30	48,65	52,60	97,30
Уборка поездных локомотивов из парков, лок-ч:					
П-I	0,60	20,10	12,06	17,50	10,50
П-II	0,60	8,77	5,26	8,77	5,26
Перестановка составов с путей сортировочного парка в парк отправления, лок-ч	9,91	23,80	235,90	41,90	415,20
Подача (уборка) локомотивов из парков, лок-ч:					
ТР-I, О-I	0,60	67,20	40,32	21,90	13,40
ТР-II, О-II	0,60	73,60	44,16	43,90	26,34
Пробег поездов своего формирования при отправлении со станции, поездо-км:					
четных	1,95	54,70	101,19	32,80	60,68
нечетных	1,95	4,40	8,14	24,50	45,32
Простой локомотивов, лок-ч	6,64	26,30	174,63	17,50	116,2
Содержание путей, км: главных, Р65	4 060	0,0236	95,80	0,0227	92,20
на щебеночном балласте приемо-отправочных, Р50	3 130	0,0374	117,20	0,0355	111,20
сортировочных, Р50	2 230	0,0183	41,00	0,0188	42,10
Содержание стрелочных переводов	1 710	0,211	360,80	0,195	333,40
Итого	–	–	1 706,45	–	1 661,64

В соответствии с приведенными выше формулами рассчитано:

Показатель	Вариант	
	1	2
Количество локомотивов:		
поездных	5	3
маневровых	3	5
Количество вагонов	40,0	35,00
Грузовая масса на колесах, т	1 800,0	1 575,00

В соответствии с рекомендациями [46] и таблицей 11.8 расходные ставки на соответствующие измерители следующие:

– стоимость 1 поезд-км (тепловозная тяга)

$$c_{NS} = 44 + 0,045Q_{бр},$$

где $Q_{бр}$ – масса поезда брутто, т.

Если $Q_{бр} = 3\,350$ т, то $c_{NS} = 44 \cdot 10^{-2} + 0,045 \cdot 3\,350 \cdot 10^{-2} = 1,95$ у. е.;

– себестоимость 1 лок-км одиночно следующего локомотива (тепловозная тяга)

$$c_{MS}^o = 46 + \frac{560}{v_o},$$

где v_o – скорость следования одиночного локомотива, км/ч.

Для 2ТЭ10 при $v_o = 40$ км/ч $c_{MS} = 46 + 560 / 40 = 0,60$ у. е.;

– себестоимость 1 ч простоя локомотива

$$c_{MH} = e_{MS} \cdot 1 + e_{MH} \cdot 1 + e_{Mh} + e_{\tau} B_{\text{ч}},$$

где e_{MS} , e_{MH} , e_{Mh} , e_{τ} – расходные ставки соответственно на 1 лок-км, 1 лок-ч, 1 бригадо-ч локомотивной бригады, 1 кг топлива или 1 кВт-ч электроэнергии, у.е.;

$B_{\text{ч}}$ – расход топлива (электроэнергии) за 1 ч простоя локомотива, кг(кВт).

Для тепловоза можно принять: $e_{MS} = 0,21$ у.е.; $e_{MH} = 1,06$ у.е.; $e_{Mh} = 3,3$ у.е.; $e_{\tau} = 0,6$ у.е.; $B_{\text{ч}} = 37$. Тогда себестоимость 1 локомотиво-ч для 2ТЭ10 $c_{MH} = 0,21 + 1,06 + 3,3 + 0,6 \cdot 37 = 26,77$ у. е.

Приведенные затраты, тыс. у. е., рассчитанные по формуле (11.1), в соответствии с данными таблиц 11.7 и 11.8 (при $E = 0,1$):

$$E_{\text{пр}}(1) = 0,1 \cdot 7\,967,95 + 1\,706,45 = 2\,503,3;$$

$$E_{\text{пр}}(2) = 0,1 \cdot 7\,682,84 + 1\,661,64 = 2\,429,9.$$

Таким образом, экономически более целесообразна станция комбинированного типа.

Пример 11.6. Определим экономические потери от задержек подвижного состава в горловине участковой станции поперечного типа (рисунок 11.4), используя исходные данные (таблица 11.9). Состав поезда $m = 50$ ваг.; стоимость 1 ч простоя грузового поезда 18 у. е., поездного локомотива для грузовых поездов 7,25 у. е. и для пассажирских 6,20 у. е.

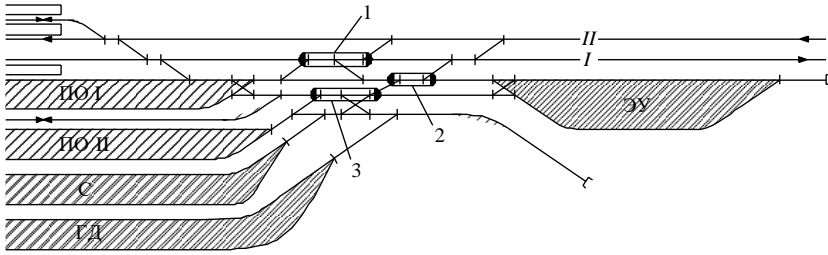


Рисунок 11.4 – Горловина участковой станции:
1, 2, 3 – точки пересечения маршрутов

Таблица 11.9 – Виды передвижений по станции

Пересечение (см. рисунок 11.4)	Маршрут	Передвижение	Количество передвижений за сутки	Продолжительность занятия пересечения одним поездом, мин
1	1	Отправление пассажирского поезда на <i>Б</i>	20	5
	2	Прием грузового поезда в <i>ПО-I</i> из <i>Б</i>	40	6
	3	Уборка локомотива от пассажирского поезда, следующего на <i>Б</i>	20	3
	4	Подача поездного локомотива к пассажирскому поезду, идущему на <i>Б</i>	20	3
2	1	Отправление грузового поезда на <i>Б</i>	35	5
	2	Уборка и подача локомотивов к пассажирскому поезду, следующему на <i>Б</i>	40	3
3	1	Уборка и подача локомотивов к грузовому поезду	120	2
	2	Отправление грузового поезда на <i>Б</i>	35	5

Решение. Продолжительность задержек за год приведена в таблице 11.10.

Таблица 11.10 – Параметры для определения и расчет задержек подвижного состава на пересечениях

Пересечение (см. рисунок 11.4)	Пересекающийся маршрут	N_1	N_2	t_1 , мин	t_2 , мин	T_3 , поездо-ч; лок-ч
1	Отправление пассажирского поезда на <i>Б</i> и прием грузового из <i>Б</i>	20	40	5	6	204
	Прием грузового из <i>Б</i> и подача и уборка локомотивов к пассажирскому поезду	40	40	6	3	274

Окончание таблицы 11.10

Пересечение (см. рисунок 11.4)	Пересекающийся маршрут	N_1	N_2	t_1 , мин	t_2 , мин	Тз, поездо-ч; лок.ч
2	Подача локомотивов к пассажирскому поезду и отправление грузового на B	20	35	3	5	95
	Отправление грузового поезда на B и уборка локомотива от пассажирского поезда	35	20	5	3	95
3	Отправление грузового поезда на B и подача и уборка локомотивов к грузовому поезду	35	120	5	2	434

Пересечение равноправных маршрутов (относящихся к одной категории передвижения):

– первый маршрут:

$$T_1^{\text{зад}} = 6,08 \frac{N_1 N_2 t_2^2}{2880}; \quad (11.4)$$

– второй маршрут:

$$T_2^{\text{зад}} = 6,08 \frac{N_1 N_2 t_1^2}{2880}, \quad (11.5)$$

где t_1, t_2 – продолжительность занятия пересечения соответственно первым и вторым передвижением, мин;

N_1, N_2 – количество передвижений в сутки соответственно на первом и втором маршрутах.

Пересечение неравноправных (непреимуществованных) маршрутов

$$T_{\text{непр}}^{\text{зад}} = 6,08 \frac{N_1 N_2 (t_1 + t_2)^2}{2880}. \quad (11.6)$$

Следует иметь в виду, что при пересечении маршрутов:

– прибытия и отправления задерживаются отправляющиеся поезда, кроме пассажирских;

– прибытия или отправления поездов и движения локомотивов или маневрирующих составов – локомотивы или составы;

– подачи поездных локомотивов к отправляемым поездам и передвижений маневрирующего состава задерживается последний.

Дополнительные расходы, связанные с задержками на пересечениях

$$E_{\text{зад}} = \sum_{s=1}^p \sum_{i=1}^k t_{is} c_i,$$

где t_{is} – продолжительность задержки передвижения категории i в точке s ;

c_i – стоимость задержки единицы подвижного состава при передвижении категории i .

Подставляя значения $t_{is} = T_{\text{зад}}$ из таблицы 11.10 в эту формулу, получим $E_{\text{зад}} = 204 \cdot 18 + 274 \cdot 6,20 + 95 \cdot 18 + 95 \cdot 6,20 + 434 \cdot 7,25 = 10\,816$ у. е. в год.

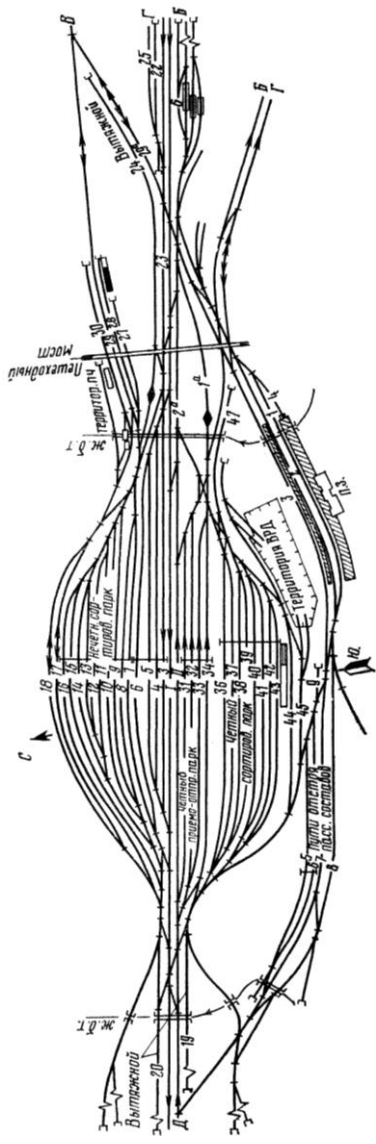


Рисунок 11.6 – Схема существующей сортировочной станции «А»

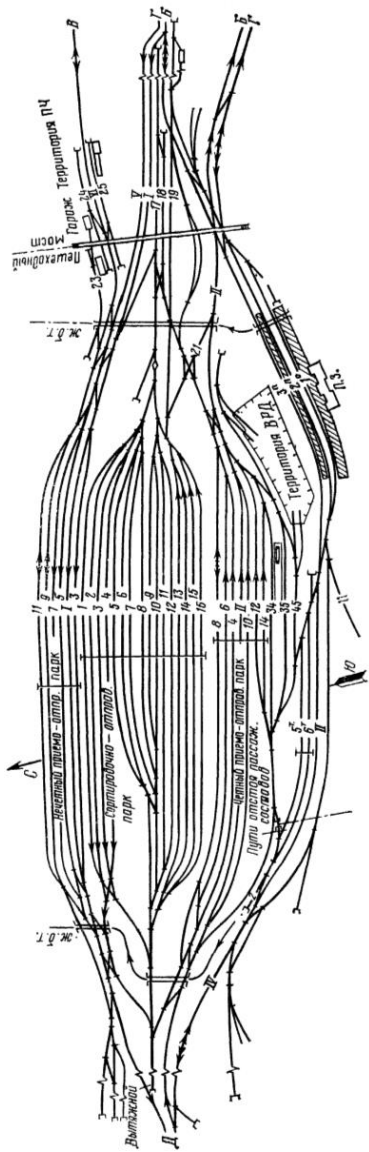


Рисунок 11.7 – Схема станции «А» после реконструкции

III этап (рисунок 11.9). Подключение к существующим путям путей нечетного приемо-отправочного парка, уложенных на I этапе, может быть выполнено без серьезных помех в эксплуатационной работе. Перекладка главных путей восточного и северо-восточного подходов, выполняемая в стороне от существующих главных путей, вызывает перерывы в эксплуатации последних в течение определенного числа «окон».

IV этап. Удлинение путей сортировочного парка в сторону хвостовой горловины (рисунок 11.10) может быть осуществлено аналогично работам II этапа.

V и VI этапы (рисунок 11.11). При устройстве горки и головы объединенного сортировочного парка всю сортировочную работу можно выполнять форсированными методами на хвостовом вытяжном пути 20, используя часть сортировочных путей как тупиковых. Осуществление этих двух этапов сопряжено с наибольшими взаимными помехами эксплуатации и строительства.

VII этап (см. рисунок 11.11). Переустройство горловин отдельных парков завершается в «окна» со сравнительно небольшими затруднениями.

Из-за ограниченности фронта работ на всех этапах применение высокопроизводительной строительной техники практически исключено. Значительный объем трудоемких работ должен быть выполнен вручную. Необходимость обеспечения непрерывности в эксплуатационной работе вызывает дополнительную укладку временных путей и стрелочных переводов. Расчетами установлена стоимость переустройства станции 550 000 у. е.

Период реконструкции можно сократить скоростным методом строительства. Однако в этом случае сортировочную работу со станции *A* необходимо передать на другие станции полигона, например, *E* и *Г* (см. рисунок 11.5). Тогда поезда пойдут, минуя ее: основной поток нечетного направления (15 поездов) – через станции *B*, *Г* и частично (5 поездов) через *B*, *И*, *Д*; основной поток четного направления (15 поездов) – через станции *E*, *Г*, *Б* и частично (5 поездов) через *Д*, *И*, *В*. Объем сортировочной работы на станции *E* возрастет на 15, а на станции *Г* – на 25 поездов в сутки. Строительство станции *A* скоростным методом можно разбить на два периода (график № 3): подготовительный (17 суток) и основной (12 суток). Подготовительный период предусматривает выполнение строительных работ в одну смену без прекращения сортировочной работы. К месту работы заблаговременно подвозят необходимое число путевых решеток, комплекты стрелочных переводов, предварительно собранные на звеносборочной базе, железобетонные конструкции искусственных сооружений и необходимую технику (бульдозеры, скреперы, экскаваторы, крапы, шпалоподбивочные машины, балластер и др.). В это же время выполняют вспомогательные работы. Основным период – реконструкция сортировочного парка, строительство новой горки и переустройство западной горловины сортировочного парка и вытяжного пути 20.

Стоимость реконструкции станции скоростным методом 420 000 у. е. Расходы на содержание вводимых в эксплуатацию устройств 10 000 у. е. Приведенные затраты на один вагон снизятся после реконструкции станции на 0,15 у. е. Однако простой поездов на подходах: к станциям *E* и *Г* возрастет соответственно на 0,08 и 0,06 ч и на самих станциях на 0,2 и 0,16 ч.

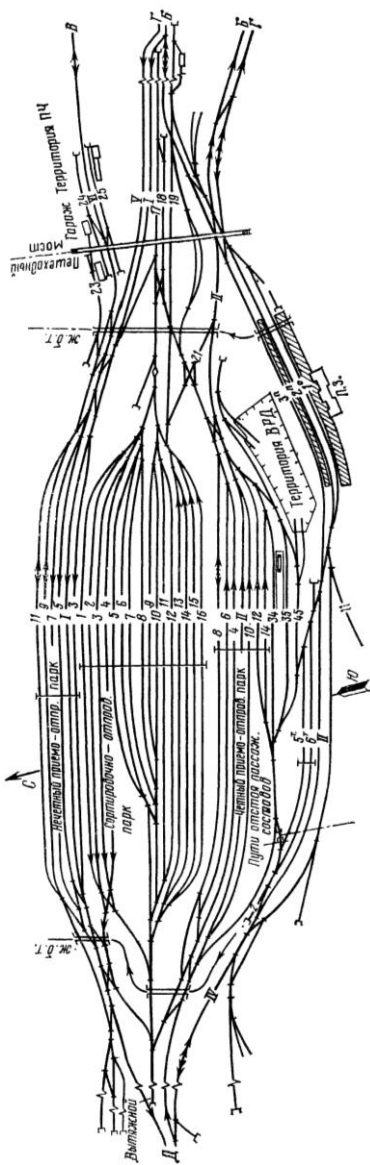


Рисунок 11.8 – I, II этапы переустройства станции «А»

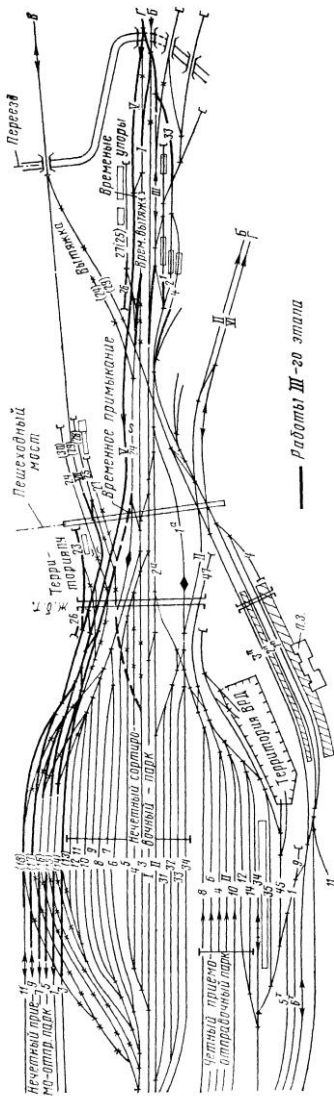


Рисунок 11.9 – III этап переустройства станции «А»

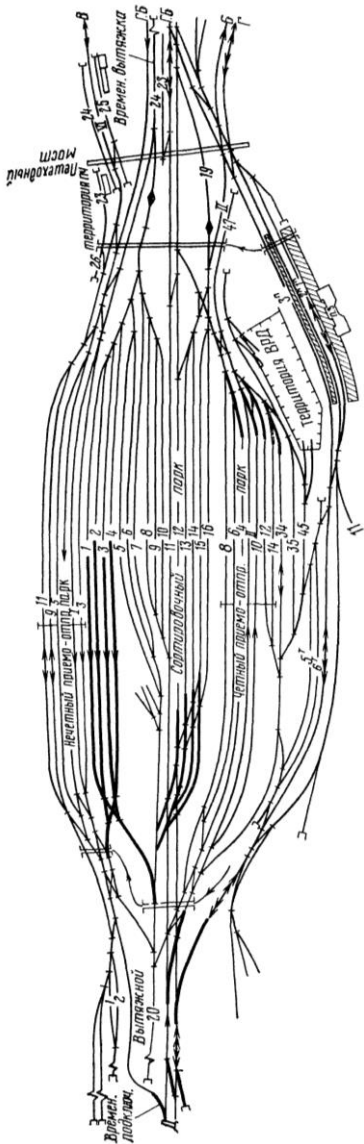


Рисунок 11.10 – IV этап переустройства станции

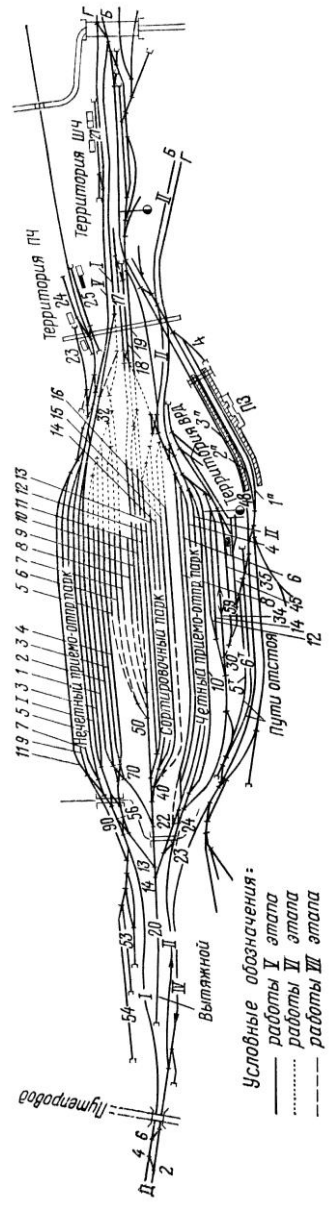


Рисунок 11.11 – V, VI этапы переустройства станции

Скоростное строительство станции (рисунок 11.12) должно быть экономически обосновано. При этом необходимо сопоставить экономию расходов от сокращения сроков строительства с дополнительными затратами, вызванными закрытием переустраиваемой станции для пропуска поездов и переносом переработки вагонов на другие сортировочные станции сети. Скоростное строительство будет экономически целесообразным, если

$$E \sum K_1 - \left[E \sum K_2 + \frac{\mathcal{E}_{\text{пс}}(T_1 - T_2)}{365} \right] + E_{\text{п}}^{\text{пр}} N m (T_1 - T_2) \geq \geq T_2 \left(E_{NS}^{\text{пр}} \Delta \sum NS + \sum_1^n \Delta \mathcal{E}_c \right) \quad (11.7)$$

где $\sum K_1$, $\sum K_2$ – затраты на реконструкцию станции обычными методами и при скоростном строительстве, у. е.;

$\mathcal{E}_{\text{пс}}$ – годовые расходы на содержание вводимых устройств и сооружений, у. е.;

T_1 – продолжительность реконструкции станции обычными методами, сутки;

T_2 – то же при скоростном строительстве (рисунок 11.12);

$E_{\text{п}}^{\text{пр}}$ – сокращение приведенных затрат на один вагон после реконструкции станции, у. е.;

N – количество перерабатываемых на станции поездов в сутки;

m – средний состав поезда, вагоны;

$E_{NS}^{\text{пр}}$ – приведенные затраты на 1 поезд-км, у. е.;

$\Delta \sum NS$ – перепробег поездов, следующих в обход реконструируемой станции, поезд-км;

$\Delta \mathcal{E}_c$ – увеличение затрат на станциях, перерабатывающих дополнительный поток поездов, у. е.;

n – количество станций, на которых осуществляется дополнительная переработка вагонов.

Приведенные затраты, приходящиеся на 1 поезд-км,

$$E_{NS}^{\text{пр}} = c_{NS} + \frac{E_{\text{л}} K_{\text{л}} (\alpha - \beta_{\text{л}})}{8760 v} + \frac{E_{\text{в}} K_{\text{в}} m}{8760 v} + \frac{E_{\text{гп}} K_{\text{гп}} m q_{\text{н}}^{\text{Б}}}{8760 v},$$

где $K_{\text{л}}$ – стоимость локомотива, $K_{\text{л}} = 22\,600$ у. е.;

$K_{\text{в}}$ – стоимость вагона, $K_{\text{в}} = 8\,500$ у. е.;

$K_{\text{гп}}$ – стоимость 1 т груза, $K_{\text{гп}} = 200$ у. е.;

$q_{\text{н}}^{\text{Б}}$ – техническая норма загрузки вагона, т;

$$E_{NS}^{\text{пр}} = 1,95 + \frac{0,12(1-0,2) \cdot 22\,600}{8760 \cdot 40} + \frac{0,12 \cdot 50 \cdot 8\,500}{8760 \cdot 40} + \frac{0,12 \cdot 50 \cdot 45 \cdot 200}{8760 \cdot 40} = 2,26 \text{ у.е.}$$

Дополнительный пробег поездов $\Delta \sum NS$ – разница в пробегах после закрытия реконструируемой станции $\sum NS_r$ и до ее закрытия $\sum NS_c$. Для рассматриваемого полигона сети (см. рисунок 11.5) – это разница в пробегах поездов, следующих через станцию A до ее закрытия и направляемых в обход в период реконструкции:

$$\begin{aligned} \Delta \sum NS &= [N_{EAB} (l_6 + l_7 - l_1 - l_9 - l_{10}) + N_{EAG} (l_7 - l_1 - l_9 - l_8) + \\ &+ N_{EAB} (l_3 + l_2 - l_9 - l_{11})] \cdot 2 = [10 (240 + 550 - 100 - 200 - 420) + \\ &+ 5 (550 - 100 - 200 - 200) + 5 (200 + 300 - 200 - 240)] \cdot 2 = \\ &= 2\,500 \text{ поездо-км в сутки.} \end{aligned}$$

Затраты на станциях, перерабатывающих дополнительные потоки, определяют для каждой в отдельности. При этом необходимо проанализировать, как повлияет дополнительная переработка на расходы во всех системах станций (парк приема – горка – сортировочный парк – вытяжные пути формирования – парк отправления). К расчету принимают только разность затрат на переработку вагонов на станциях закрываемой и тех, куда эта работа переносится. В примере переработка поездов передается на станции E и G , где есть некоторый запас мощности, и расходы на маневровую работу с дополнительными поездами будут примерно те же, что и на закрываемой станции. Возрастет только дополнительный простой поездов в парках приема и на подходах к станции. Расходы, связанные с ним,

$$\Delta \mathcal{E}_c = N_{\Pi} E_{NH}^{np} + c_0 N_{\Pi} t_3 + E_{\Pi\Pi}^{np} N_{\Pi} t_{\Pi\Pi} m, \quad (11.8)$$

где N_{Π} – общее количество поездов, прибывающих в парк приема,

$$N_{\Pi} = N_c + N_d,$$

N_c – существующие размеры движения на рассматриваемой станции;

N_d – дополнительное количество поездов, перерабатываемых на этой станции;

$E_{\Pi\Pi}^{np}$ – приведенные затраты, приходящиеся на 1 вагоно-ч, без учета расходов на строительство станционных путей (0,29 у. е.);

$t_3, t_{\Pi\Pi}$ – продолжительность задержки поездов соответственно на подходах к станции и в парке приема в ожидании расформирования, мин;

E_{NH}^{np} – приведенные затраты, приходящиеся на 1 поездо-ч, у. е.:

$$\begin{aligned} E_{NH}^{np} &= c_{NH} + \frac{E_n K_{\Pi}}{8\,760} + \frac{E_n K_B m}{8\,760} + \frac{E_n K_{ГР} m q_n^B}{8\,760} = \\ &= 10 + \frac{0,12 \cdot 22\,600}{8\,760} + \frac{0,12 \cdot 8\,500 \cdot 50}{8\,760} + \frac{0,12 \cdot 200 \cdot 50 \cdot 45}{8\,760} \approx 23 \text{ у. е.} \end{aligned}$$

Подставляя исходные и расчетные данные в формулу 11.8, получим:

– для станции $E \Delta \mathcal{E}_c(E) = (50 \cdot 23 + 5 \cdot 50) \cdot 0,08 + 0,29 \cdot 50 \cdot 0,12 \cdot 50 = 175$ у. е.;

– для станции $\Gamma \Delta \mathcal{E}_c(\Gamma) = (55 \cdot 23 + 5 \cdot 55) \cdot 0,06 + 0,29 \cdot 55 \cdot 0,1 \cdot 50 = 143$ у. е.

Подставляя исходные и расчетные данные в выражение (11.7) для принятых в рассматриваемом примере условий, получим

$$0,12 \cdot 550 \cdot 10^3 - \left[0,12 \cdot 420 \cdot 10^3 + \frac{10 \cdot 10^3 (80 - 12)}{365} \right] + \\ + 0,15 \cdot 40 \cdot 50 (80 - 12) \stackrel{>}{\geq} 12 (2,4 \cdot 2500 + 175 + 143) \stackrel{>}{\sim} \\ \text{или } 109,2 \cdot 10^3 > 71,6 \cdot 10^3.$$

Следовательно, скоростное строительство для станции A экономически целесообразно.

Чтобы определить оптимальные сроки продолжительности строительства, преобразуем формулу (11.7). Максимальное время, на которое экономически целесообразно освободить переустраиваемую станцию от эксплуатационной работы,

$$\max T_2 = \frac{E \sum K_1 - \left[E \sum K_2 + \frac{\mathcal{E}_{\text{пс}} (C_1 - T_2)}{365} \right] + E_{\text{п}}^{\text{п}} N_m (C_1 - T_2)}{E_{\text{НС}}^{\text{п}} \Delta \sum NS + \sum_1^n \Delta \mathcal{E}_c}.$$

Минимальное необходимое сокращение продолжительности строительства

$$\min (C_1 - T_2) \stackrel{>}{\sim} \frac{T_2 \left[E_{\text{НС}}^{\text{п}} \Delta \sum NS + \sum_1^n \Delta \mathcal{E}_c \right] - E \sum K_1 + E \sum K_2}{E_{\text{п}}^{\text{п}} N_m - \frac{\mathcal{E}_{\text{пс}}}{365}}.$$

Подставляя в эти формулы соответствующие значения, получим

$$\max T_2 = \frac{0,1 \cdot 550 \cdot 10^3 - \left[0,1 \cdot 420 \cdot 10^3 + \frac{10 \cdot 10^3 \cdot (180 - 12)}{365} \right]}{2,4 \cdot 2500 + 175 + 143} + \\ + \frac{0,15 \cdot 40 \cdot 50 \cdot (180 - 12)}{2,4 \cdot 2500 + 175 + 143} = 17 \text{ сут.}$$

$$\min (C_1 - T_2) \stackrel{>}{\sim} \frac{12 \cdot [2,4 \cdot 2500 + 175 + 143] - 0,1 \cdot 550 \cdot 10^3 + (0,1 \cdot 420 \cdot 10^3)}{0,15 \cdot 40 \cdot 50 - \frac{10 \cdot 10^3}{365}} \stackrel{>}{\sim} 132 \text{ сут.}$$

Таким образом, сроки скоростного строительства экономически оправданы.

12 ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ УЗЛЫ

12.1 Размещение устройств

Пример 12.1. В связи со строительством новой двухпутной железной дороги К–М и увеличением объема перевозок на существующем направлении Б–Ж в железнодорожном узле Н необходимо построить новую сортировочную станцию С. Требуется выбрать площадку для ее размещения. Схема узла и возможные варианты расположения этой площадки показаны на рисунке 12.1. Количество грузовых поездов, поступающих на сортировочную станцию, примем по данным таблицы 12.1. Кроме того, через узел проходит с направления Ж – 30, Б – 24, М – 23 и К – 17 пар пассажирских поездов в сутки. Между сортировочной и грузовыми станциями обращаются на участке С–Г₁ – 4; на участке С–Г₂ – 6 и на участке С–Г₃ – 4 передаточных поезда.

Таблица 12.1 – Размеры грузового движения

В поездах в сутки

Из	На				
	Б	М	Ж	К	Всего
Б	–	–	10	15	25
М	–	–	16	10	26
Ж	10	16	–	–	26
К	15	10	–	–	25
Всего	25	26	26	25	102

Решение. Вариант 1 (рисунок 12.1, а). При сооружении сортировочной станции между станциями П и Г₂ потребуется построить путепроводную развязку и уложить 23 км соединительных путей (II, III и IV). Тогда грузовые поезда на сортировочную станцию с направлений Б и М пойдут по II, из Ж – по IV, а на Ж – по III путям. Путь IV будет использован и для курсирования передаточных поездов между станциями С и Г₃. Пассажирские поезда из П на К и обратно следуют по путям I' и II', а на Ж и обратно – по I и II. В такой конструктивной схеме узла пересекаются маршруты:

станция Г₁ – отправления пассажирских (путь II) и приема грузовых поездов, следующих в сторону Ж (путь III);

станция С – отправления пассажирских и грузовых поездов в сторону К и приема грузовых по пути IV из Ж, приема поездов по пути II' и отправления грузовых (путь III) на Ж.

Значит, грузовые поезда будут задерживаться в ожидании маршрута следования. Общий простой их из-за враждебности маршрутов – 768,5 ч, а передач – 35,5 ч в год.

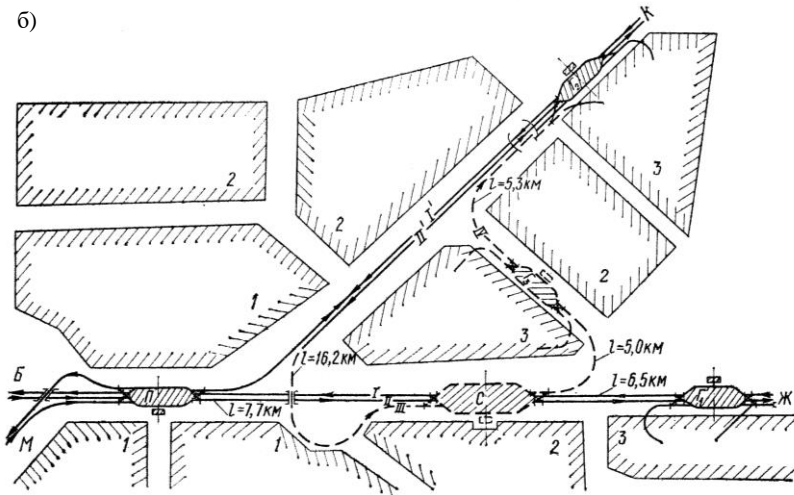
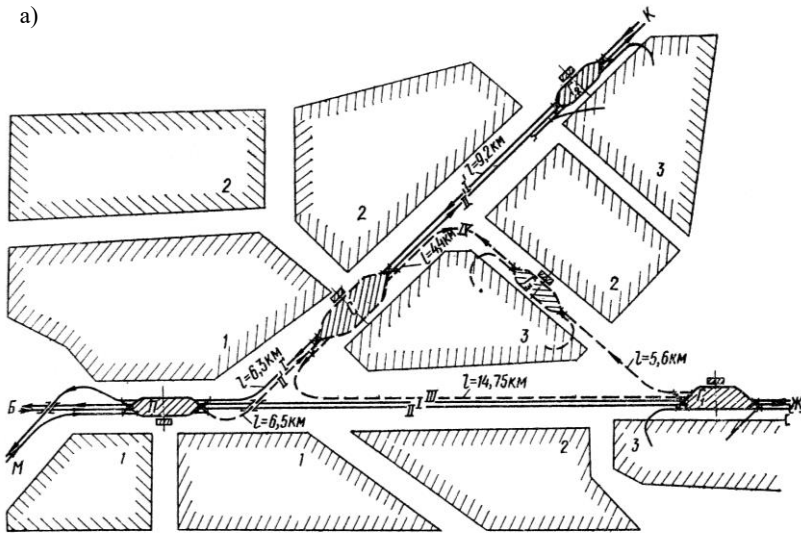


Рисунок 12.1 – Схема железнодорожного узла:

а – вариант 1; б – вариант 2;

1 – город; 2 – зеленая зона; 3 – промышленный район;

С – сортировочная; П – пассажирская; Г₁, Г₂, Г₃ – грузовые станции

Вариант 2 (рисунок 12.1, б). Для размещения новой станции на перегоне П–Г₁ нужно также построить путепроводную развязку для приема поездов из К и уложить пути III и IV общей протяженностью 13 км. Путь I специа-

лизируется для пропуска 17 пар поездов из К на П и обратно. Движение остальных поездов в пределах узла поточное. Однако в горловине станции Г₂ пересекаются маршруты приема поездов из К и отправления пассажирских в том же направлении, а на станции С прием поездов всех категорий из К мешает отправлению поездов и передач на станцию Г₃. Общий простой грузовых поездов 458 ч, а передач – 47,3 ч в год.

Лучший вариант расположения сортировочной станции в узле Н выбираем на основе технико-экономических расчетов капитальных вложений и эксплуатационных затрат. Объемы работ см. в таблицах 12.2 и 12.3. Приведенные расходы рассчитываем по формуле (11.2). Чтобы рассчитать затраты, связанные с пробегом грузовых поездов и передач (см. таблица 12.3), и стоимость 1 ваг-ч, 1 лок-ч (см. таблица 12.2), необходимо определить в соответствии с рекомендациями [46]:

– себестоимость 1 поезд-км (электрическая тяга), у. е.:

$$c_{NS} = (33 + 0,03Q_{бр}) \cdot 10^{-2}.$$

Таблица 12.2 – Объемы работ и капитальные вложения

В тысячах условных единиц

Показатель	Расходная ставка, у. е.	Вариант			
		1		2	
		Объем работы	Общие затраты	Объем работы	Общие затраты
Строительство сортировочной станции, ст.	–	–	18 500	–	19 000
Укладка соединительных путей в узле, рельсы Р50, 1600 шпал на 1 км, балласт песчаный, км	57 000	23,00	1 311,0	18,00	1 026,0
Укладка стрелочных переводов 1/11, Р50 и оборудование их электрической централизацией, комп.	7 000	11,00	77,00	14,00	98,00
Строительство путепровода, м	7 000	57,20	400,40	39,20	274,40
Устройство линии связи, км	1 300	19,20	24,96	18,00	23,40
Устройство автоблокировки, км	4 900	23,00	112,70	18,00	88,20
Простой подвижного состава, лок-ч:					
локомотивы:					
пассажирские	23,4	10 092	236,15	10 067	235,57
поездные	37,0	16 795	621,42	16 754	619,90
передаточные	14,5	3 890	56,40	3 201	46,41
вагоны, ваг-ч	1,73	912 900	3 309,32	1 867 560	3 224,88
Итого	–	–	24 649,35	–	24 636,76

Таблица 12.3 – Годовые эксплуатационные затраты

В тысячах условных единиц

Показатель	Расходная ставка, у. е.	Вариант			
		1		2	
		Объем работы	Общие затраты	Объем работы	Общие затраты
Пробег поездов, поездо-км: пассажирских	1,8	504 576	908,43	503 335	906,0
грузовых	1,32	641 050	1 230,81	651 854	1 161,56
Пробег передач, передаче-км	1,33	963 600	1 281,58	788 400	1 048,57
Простой: грузовых поездов, поездо-ч	10	768,5	7,69	458,0	4,58
передач, передаче-ч	8	355,0	2,84	473,0	3,78
Содержание: путей, км	2 920	23,0	67,16	18,0	52,56
стрелочных переводов, компл.	1 710	11,0	18,81	14,0	23,94
путепровода, м	36	57,2	2,06	39,2	1,41
устройств связи, км	180	19,2	3,46	18,0	3,24
устройств автоблокировки, км	820	23,0	18,86	18,0	14,76
Итого	–	–	24 649,35	–	24 636,76

Если $Q_{бр} = (11 + 5,5) \cdot 200 = 3\,300$ т, то $c_{NS} = (33 + 0,03 \cdot 3\,300) \cdot 10^{-2} = 1,32$ у. е.;

– стоимость поездного локомотива, отнесенная на 1 ч занятости,

$$c_{к}^л = \frac{295 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{365 \cdot 24} = 37 \text{ у.е.};$$

– стоимость вагона, включая стоимость груза (в составе 70 % груженых вагонов), отнесенная на 1 ч простоя,

$$c_{к}^в = \frac{8500 + 11 \cdot 4 \cdot 200 \cdot 0,7}{8760} = 1,73 \text{ у.е.};$$

– себестоимость 1 передаче-км

$$c_{NS}^{пер} = 4 + 0,045 \cdot (11 + 5,5) \cdot 120 \cdot 10^{-2} = 1,33 \text{ у.е.};$$

– стоимость передаточного локомотива, отнесенная на 1 ч занятости,

$$c_{к_1}^л = \frac{115 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{8760} = 14,5 \text{ у.е.}$$

Суммарные капитальные и эксплуатационные расходы в вариантах даны в таблицах 12.2 и 12.3. Приведенные затраты, тыс. у. е.

$$E_{\text{пр}}(1) = 3\,541,7 + 0,12 \cdot 24\,649,35 = 6\,499,58;$$

$$E_{\text{пр}}(2) = 3\,220,4 + 0,12 \cdot 24\,636,76 = 6\,176,72.$$

Сопоставляя их, видим, что площадку для новой сортировочной станции целесообразно расположить между станциями П и Г₁ (вариант 2).

Пример 12.2. Необходимо выбрать площадку для строительства нового грузового терминала в железнодорожном узле *H* (рисунок 12.2). Расстояние между сортировочной и грузовой станциями в вариантах: 1–10 км; 2–3 км и 3–5 км. В адрес грузового терминала прибывает 50 вагонов в сутки. Статическая нагрузка вагона $p_{\text{ст}} = 44$ т. Количество передач (на грузовые станции) во всех вариантах 7, локомотив ТЭМ1. Корреспонденции между грузовым терминалом и районами города распределяются так: район 1 – 15 %; 2 – 60 % и 3 – 25 %. Для перевозки грузов используют автомобили ЗИЛ-164 (80 %) и ЗИЛ-585 (20 %). Пропускная способность улично-дорожной сети, прилегающей к грузовому двору, во всех вариантах достаточна. Расстояния между грузовым терминалом и районами города см. в таблице 12.4.

Т а б л и ц а 12.4 – Расстояние от грузового терминала до центров районов города
В километрах

Вариант размещения грузового двора	Район города		
	1	2	3
1	1,5	5,0	10,0
2	3,0	1,5	8,0
3	8,0	5,0	1,5

Расходы на освоение территории и подвод коммуникаций в район расположения грузового терминала в вариантах: 1 – 50 тыс. у. е.; 2 – 120 тыс. у. е. и 3 – 170 тыс. у. е. Необходимо уложить вытяжные пути (станции *I*, *II*, *III* (рисунок 12.2), переложить и уложить новые стрелочные переводы (станции *I* и *III*). Капитальные вложения на это приведены в таблице 12.5. Объем земляных работ во всех вариантах одинаков.

Решение. Оптимальный вариант размещения грузового двора в железнодорожном узле выбираем на основании технико-экономических расчетов. Капитальные вложения и эксплуатационные расходы рассчитываем лишь для тех элементов, которыми варианты отличаются друг от друга. Исключаем из расчета капитальные вложения в грузовой двор (во всех вариантах его техническое оснащение одинаковое), а также затраты на его обслуживание на сортировочной станции и станции примыкания (техническое оснащение последних одинаково и пропускная способность достаточна). Варианты отличаются друг от друга расходами на освоение территории и подвод коммуникаций, капитальными вложениями в верхнее строение пути (таблица 12.5)

и подвижной состав, пробегами передач между сортировочной и грузовой станциями и автомобилям, доставляющих грузы потребителям.

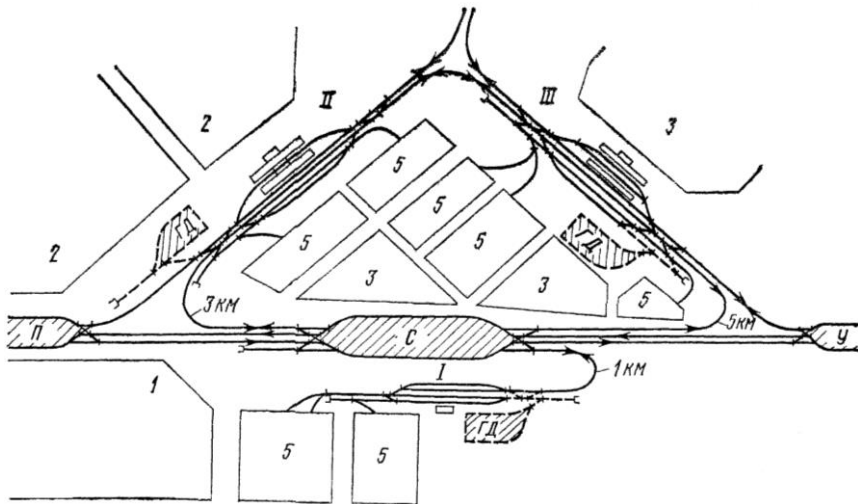


Рисунок 12.2 – Схема железнодорожного узла:

1, 2, 3 – районы города; 5 – промышленные предприятия; С – сортировочная; У – участковая; II – пассажирская; I, II, III – грузовые станции; ГД – грузовой терминал

Таблица 12.5 – Капитальные вложения в верхнее строение пути

Вид работы	Расходная ставка, тыс. у. е.	Станция					
		I		II		III	
		объем работы	затраты, тыс. у. е.	объем работы	затраты, тыс. у. е.	объем работы	затраты, тыс. у. е.
Укладка вытяжного пути, км	50,00	0,54	27,00	0,76	38,00	0,41	20,50
Укладка стрелочных переводов, Р50, марка 1/9, компл.	4,40	3	13,20	2	8,80	3	13,20
Перекладка стрелочных переводов, Р50, марка 1/9, компл.	1,65	2	3,30	–	–	–	–
Итого	–	–	43,50	–	46,80	–	33,70

Суммарные приведенные затраты, зависящие от расположения грузового терминала [36, 37],

$$E_{\text{пр}} = 365 \left[\sum_{NS}^{\text{пер}} \cdot 2l_{\text{пер}} + E_{\text{н}} \left(c_{\text{к}}^{\text{д}} + m_{\text{пер}} c_{\text{к}}^{\text{в}} \right) x_{\text{пер}} t_{\text{пу}} + e' \sum m_{\text{пер}} q_{\text{н}}^{\text{в}} l_{\text{авт}} \right] \pm E_{\text{н}} K, \quad (12.1)$$

где $c_{NS}^{пер}$ – себестоимость 1 передаче-км, у. е.;

l – расстояние между сортировочной и грузовой станциями, км;

$x_{пер}$ – количество передач в сутки;

$c_k^л$ – стоимость передаточного локомотива, приходящаяся на 1 ч занятости, у. е.;

$m_{пер}$ – количество вагонов в передаче;

$c_k^в$ – стоимость вагона и груза, приходящаяся на 1 ч простоя, у. е.;

$t_{пу}$ – продолжительность следования передач от сортировочной станции до грузового терминала, ч;

e'' – приведенные затраты на автомобильном транспорте, зависящие от тонно-километровой работы, у. е.;

$q_n^в$ – техническая норма загрузки вагона, т;

$l_{авт}$ – пробег автомобилей, км;

K – капитальные вложения в освоение территории и коммуникации, у. е.

Находим значения отдельных величин в соответствии с [36, 37]:

– себестоимость 1 передаче-км, если $m_{пер} = 8$ вагонов:

$$c_{NS}^{пер} = 4 + 0,045 \cdot (4 + 28) \cdot 8 \cdot 10^{-2} = 0,97 \text{ у. е.};$$

– стоимость локомотива, приходящаяся на 1 ч занятости:

$$c_k^л = \frac{115 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{8760} = 14,5 \text{ у. е.};$$

– стоимость вагона и груза определена ранее: $c_k^в = 1,73 \text{ у. е.};$

– продолжительность следования передач со станции на грузовой терминал в различных вариантах его размещения:

$$t'_{пу} = \frac{2 \cdot 1}{10} = 0,2 \text{ ч};$$

$$t''_{пу} = \frac{2 \cdot 3}{10} = 0,6 \text{ ч};$$

$$t'''_{пу} = \frac{2 \cdot 5}{10} = 1,0 \text{ ч};$$

– расходные ставки на автомобильном транспорте определены в примере 11.10 – $e'' = 0,0442 \text{ у. е./т·км.}$

Подставляя исходные и полученные данные в выражение (12.1), рассчитаем приведенные расходы в вариантах размещения грузового терминала:

$$E_{пр}(1) = 365 \cdot [0,87 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 7 + 0,12 \cdot (14,5 + 8 \cdot 1,73) \cdot 7 \cdot 0,2 + 0,0442 \cdot (0,15 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 1,5 + 0,6 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 5 + 0,25 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 10)] + 0,12 \cdot (50 + 43,50) \cdot 10^3 = 222,05 \text{ тыс. у. е.};$$

населенность железнодорожного состава $u_{\text{жд}} = 800$ чел., коэффициент его заполнения $k_1 = 0,7$; продолжительность работы каждой единицы подвижного состава городского транспорта в течение суток $t_p^M = 17$ ч; стоимость единицы подвижного состава городского транспорта $c_k = 9000$ у. е.; стоимость единицы железнодорожного подвижного состава $c_{\text{жд}} = 250\,000$ у. е.; продолжительность его работы в течение суток $t_p = 20$ ч; стоимость 1 машино-км $c_{\text{м-км}} = 0,56$ у. е.; стоимость 1 поездо-км $c_{\text{п-км}}^{\text{ж-д}} = 1,8$ у. е.; стоимость 1 пас. ч $c_{\text{п-ч}} = 0,01$ у. е.

Решение. Целесообразность сооружения новой станции определяем исходя из минимума годовых приведенных затрат

$$E_{\text{пр}} = E(K_{\text{гор}} + K_{\text{ж-д}} + \sum_{i=1}^m K_i^{\text{п}} + \sum_{i=1}^m K_i^{\text{вок}} + \sum_{i=1}^m K_i^{\text{с}} + \sum_{i=1}^m K_i) + 365(\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{гор}} + \mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{ж-д}} + \mathcal{E}_{\text{п-ч}}^{\text{гор}} + \mathcal{E}_{\text{п-ч}}^{\text{ж-д}} + \mathcal{E}_{\text{об}}) \rightarrow \min, \quad (12.2)$$

где $K_{\text{гор}}$ и $K_{\text{ж-д}}$ – капитальные вложения соответственно в городской и железнодорожный транспорт;

$\sum_{i=1}^m K_i^{\text{п}}, \sum_{i=1}^m K_i^{\text{вок}}$ – капитальные затраты на строительство станций и вокзалов ($i = 1, 2, \dots, m$);

$\sum_{i=1}^m K_i^{\text{с}}$ – затраты на снос городских сооружений;

$\sum_{i=1}^m K_i$ – дополнительные затраты на строительство путепровода и инженерных сетей;

$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{гор}}, \mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{ж-д}}$ – эксплуатационные расходы, связанные с пробегом городского и железнодорожного транспорта;

$\mathcal{E}_{\text{п-ч}}^{\text{гор}}, \mathcal{E}_{\text{п-ч}}^{\text{ж-д}}$ – расходы, связанные с задержкой пассажиров соответственно на городском и железнодорожном транспорте;

$\mathcal{E}_{\text{об}}$ – затраты, связанные с обработкой пассажирских поездов.

Предварительно определяем продолжительность поездки с подхода s к станции i (таблица 12.6) и далее в район j города. Измерив по схеме города длину маршрутов и учитывая коэффициент непрямолинейности 1,10, составим матрицу расстояний $\|l_{ij}\|$ (таблица 12.7), а по ней, зная среднюю скорость $v_{\text{гор}}$ – каждого вида городского транспорта, получаем матрицу затрат времени, мин, на поездку, аналогичную таблице 12.8, которую рассчитываем по формуле

$$t_{ij} = \frac{l_{ij}}{v_{\text{гор}}}.$$

Таблица 12.6 – **Время движения пассажирского поезда с подхода s на станцию i**

В минутах

Номер подхода s	Номер станции, i			
	1С	2С	3Н	ОП
<i>I</i>	7	15	14	9
<i>II</i>	13	33	5	10
<i>III</i>	22	3	32	27

Таблица 12.7 – **Расстояние от станции i до центра района j**

В километрах

Номер станции, i	Номер района, j								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1С	4,8	2,6	3,0	5,2	5,6	5,4	4,6	4,2	2,8
2С	4,6	7,0	8,2	7,0	7,4	6,0	0,2	1,8	4,0
3Н	6,8	6,8	4,4	3,4	0,6	1,6	3,4	6,0	1,4
ОП	–	–	1,0	2,4	–	–	–	–	2,2

Таблица 12.8 – **Время на поездку со станции i в район j**

В минутах

Номер станции, i	Номер района, j								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1С	16	9	10	17	18	18	15	14	9
2С	15	23	27	23	24	20	2	6	13
3Н	22	22	15	11	6	5	11	20	5
ОП	–	–	3	8	–	–	–	–	8

Чтобы определить величины, входящие в формулу (12.2), необходимо оптимально прикрепить пункты назначения поездок пассажиров к станциям в существующем варианте 1 и после строительства новой станции – вариант 2. Критерием служит минимум суммарных затрат времени на поездку. Например, пассажир, прибывающий с подхода I в район 1 (рисунок 12.3), может пересесть на городской транспорт на станциях 1С и 2С. В первом случае затраты на поездку составят $7 + 16 = 23$ мин (см. таблицы 12.7 и 12.8), во втором – $15 + 15 = 30$ мин. Поэтому поток пассажиров, следующих в район 1, прикрепим к станции 1С. В результате получим количество пассажиров X_{ij} , перевозимых городским транспортом от станции i в район j , и количество пассажиров Y_{is} – с подхода s к станции i и определим пробеги подвижного состава городского и железнодорожного транспорта

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Ml_{\text{гор}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} l_{ij}}{\mu_{\text{гор}}};$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k \Pi_{\text{ж-д}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k Y_{is} l_{is}}{K_1 u_{\text{ж-д}}} \left(\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, n; \\ s = 1, 2, \dots, k. \end{array} \right).$$

Вариант 1

$$\begin{aligned} & 5,6 \cdot 4,8 + 8,7 \cdot 2,6 + 9,4 \cdot 3,0 + 3,0 \cdot 4,2 + \\ & + 9,3 \cdot 2,8 + 20,2 \cdot 0,2 + 2,8 \cdot 1,8 + 4,8 \cdot 3,4 + \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Ml &= \frac{+13,3 \cdot 2,1 + 5,1 \cdot 1,6 + 2,8 \cdot 1,4 + 2,0 \cdot 2,4}{0,070 \cdot 0,8} = 3\,332 \text{ машино-км;} \\ \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k \Pi_{\text{ж-д}} &= \frac{36 \cdot 4,62 + 2 \cdot 5,94 + 26 \cdot 3,30 + 23 \cdot 1,98}{0,8 \cdot 0,7} = 553 \text{ поездо-км.} \end{aligned}$$

Вариант 2

$$\begin{aligned} & 8,7 \cdot 2,6 + 2,2 \cdot 3 + 13,3 \cdot 5,6 + 11,8 \cdot 2,8 + \\ & + 5,6 \cdot 4,6 + 5,1 \cdot 6 + 20,2 \cdot 0,2 + \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Ml_{\text{гор}} &= \frac{+5,8 \cdot 1,8 + 0,3 \cdot 4 + 7,2 \cdot 3 + 6,8 \cdot 2,4}{0,070 \cdot 0,8} = 4\,405 \text{ машино-км;} \\ \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k \Pi_{\text{ж-д}} &= \frac{24 \cdot 4,62 + 14 \cdot 9,90 + 12 \cdot 8,58 + 14 \cdot 6,60 + 23 \cdot 1,98}{0,8 \cdot 0,7} = 876 \text{ поездо-км.} \end{aligned}$$

Аналогично определяют продолжительность проезда на городском и железнодорожном транспорте, пас·ч:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Nt_{\text{гор}} &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} X_{ij}; \\ \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k Nt_{\text{ж-д}} &= \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k Y_{is} t_{is}. \end{aligned} \left(\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, n; \\ s = 1, 2, \dots, k. \end{array} \right)$$

Вариант 1

$$\begin{aligned} \sum Nt_{\text{гор}} &= 10^3 \cdot (5,6 \cdot 16 + 8,7 \cdot 9 + 9,4 \cdot 10 + 3,0 \cdot 14 + 9,3 \cdot 9 + 20,2 \cdot 2 + \\ & + 2,8 \cdot 6 + 4,8 \cdot 11 + 13,3 \cdot 6 + 5,1 \cdot 5 + 2,8 \cdot 5 + 2,0 \cdot 8) / 60 = 10\,548 \text{ пас·ч;} \\ \sum Nt_{\text{ж-д}} &= 10^3 \cdot (36 \cdot 7 + 2 \cdot 9 + 26 \cdot 5 + 23 \cdot 3) / 60 = 7\,816 \text{ пас·ч.} \end{aligned}$$

Вариант 2

$$\sum N t_{\text{гор}} = 10^3 (8,7 \cdot 9 + 2,2 \cdot 10 + 13,3 \cdot 18 + 11,8 \cdot 9 + 5,6 \cdot 15 + 5,1 \cdot 20 + 20,2 \cdot 2 + 5,8 \cdot 6 + 0,3 \cdot 13 + 7,2 \cdot 10 + 6,8 \cdot 8) / 60 = 13\,956 \text{ пас}\cdot\text{ч};$$

$$\sum N t_{\text{ж-д}} = 10^3 \cdot (24 \cdot 7 + 14 \cdot 15 + 12 \cdot 13 + 14 \cdot 10 + 23 \cdot 3) / 60 = 12\,383 \text{ пас}\cdot\text{ч}.$$

На основании этих расчетов определим:

– капитальные вложения в городской транспорт, у. е.:

$$K_{\text{гор}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M l_{\text{гор}} c_{\text{к}}}{t_{\text{п}}^m V_{\text{гор}}};$$

$$K_{\text{гор}}(1) = \frac{3\,332 \cdot 9\,000}{17 \cdot 18} = 98\,000 \text{ у.е.};$$

$$K_{\text{гор}}(2) = \frac{4\,405 \cdot 9\,000}{17 \cdot 18} = 129\,000 \text{ у.е.};$$

– капитальные вложения в железнодорожный транспорт, у. е.:

$$K_{\text{ж-д}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k \Pi l_{\text{ж-д}} c_{\text{ж-д}}}{t_{\text{п}}^m V};$$

$$K_{\text{ж-д}}(1) = \frac{553 \cdot 250\,000}{20 \cdot 40} = 172\,810;$$

$$K_{\text{ж-д}}(2) = \frac{876 \cdot 250\,000}{20 \cdot 40} = 273\,750;$$

– эксплуатационные расходы, связанные с пробегом железнодорожного и городского транспорта, у. е.:

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{гор}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M l c_{\text{МКМ}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{ж-д}} = \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k \Pi l c_{\text{ПКМ}}^{\text{ж-д}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{гор}}(1) = 3\,332 \cdot 0,56 = 1\,866;$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{гор}}(2) = 4\,405 \cdot 0,56 = 2\,467;$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{ж-д}}(1) = 553 \cdot 1,8 = 995;$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{ж-д}}(2) = 876 \cdot 1,8 = 1\,577;$$

– расходы, связанные с задержкой пассажиров, у. е.:

$$\mathfrak{E}_{\text{п-ч}}^{\text{гоп}} = c_{\text{п-ч}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n N t_{\text{гоп}};$$

$$\mathfrak{E}_{\text{п-ч}}^{\text{ж-д}} = c_{\text{п-ч}} \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k N t_{\text{ж-д}};$$

$$\mathfrak{E}_{\text{п-ч}}^{\text{гоп}}(1) = 10\,548 \cdot 0,1 = 1\,055;$$

$$\mathfrak{E}_{\text{п-ч}}^{\text{гоп}}(2) = 13\,956 \cdot 0,1 = 1\,396;$$

$$\mathfrak{E}_{\text{п-ч}}^{\text{ж-д}}(1) = 7\,816 \cdot 0,1 = 782;$$

$$\mathfrak{E}_{\text{п-ч}}^{\text{ж-д}}(2) = 12\,383 \cdot 0,1 = 1\,238;$$

– расходы, связанные с обработкой пассажирских поездов:

$$\mathfrak{E}_{\text{об}} = \sum_{i=1}^m c_i^{\text{об}} N_i,$$

где $c_i^{\text{об}}$ – стоимость обработки одного поезда на станции i ;

N_i – количество поездов, обрабатываемых на станции i ,

$$N_i = \frac{\sum_{s=1}^k Y_{is}}{K_1 v},$$

$$N_{1c}(1) = \frac{36\,000}{800 \cdot 0,7} = 65;$$

$$N_{2c}(1) = \frac{23\,000}{800 \cdot 0,7} = 41;$$

$$N_{3н} = \frac{26\,000}{800 \cdot 0,7} = 47;$$

$$N_{1c}(2) = \frac{36\,000}{800 \cdot 0,7} = 65;$$

$$N_{2c}(2) = \frac{37\,000}{800 \cdot 0,7} = 66;$$

– расходы, связанные с обработкой составов, в значительной степени зависят от объема работы станции:

$$\mathfrak{E}_{\text{об}}^1 = 65 \cdot 1,10 + 41 \cdot 1,23 + 47 \cdot 1,17 = 178 \text{ у.е.};$$

$$\mathfrak{E}_{\text{об}}^2 = 65 \cdot 1,10 + 66 \cdot 0,93 = 133 \text{ у.е.}$$

Стоимость сооружения новой станции и вокзала $\sum_{i=1}^m K_i^{\text{п}} + \sum_{i=1}^m K_i^{\text{вок}}$ принимаем равной 3,8 млн у. е., дополнительные затраты на снос зданий и сооружений $K_c = 205\,000$ у. е., на строительство путепровода и инженерных сетей $\sum_{i=1}^m K_i = 1\,200\,000$ у.е.

Теперь определим годовые приведенные расходы в двух вариантах см. формулу (12.2):

$$E_{\text{год}}(1) = 0,12 (98\,000 + 172\,810 + 3\,800\,000 + 205\,000 + 1\,200\,000) + 365 \cdot (1\,866 + 995 + 1\,055 + 782 + 178) = 2\,436\,837 \text{ у. е.};$$

$$E_{\text{год}}(2) = 0,12 (129\,000 + 273\,750) + 365 (2\,467 + 1\,577 + 1\,396 + 1\,238 + 133) = 2\,534\,345 \text{ у. е.}$$

Так как $E_{\text{год}}(1) < E_{\text{год}}(2)$ ($2\,436\,837 < 2\,534\,345$), сооружение новой пассажирской станции 3н целесообразно. Годовая экономия при перевозке 26 тыс. пас./сут

$$E_{\text{год}} = 2\,534\,345 - 2\,436\,837 = 97\,508 \text{ у. е.}$$

Аналогично можно исследовать и другие варианты размещения пассажирских станций на плане города.

Пример 12.4. Выберем место для строительства в железнодорожном узле H станции технического обслуживания пассажирского подвижного состава (СТО ППС). Генеральным планом развития города H для строительства СТО ППС отведена территория в районе соединительного пути между пассажирской станцией P и станцией G_3 или параллельно станции G_4 . Варианты размещения ее приведены на рисунке 12.4. Планировка территории станции, размещение и мощность устройств в обоих вариантах одинаковы. Расстояние от пассажирской станции до СТО ППС L в варианте 1 равно 1 км, в варианте 2 – 4,2 км. На станцию поступает за сутки 23 состава международных и 30 региональных поездов; скорость их следования 10 (вариант 1) и 40 км/ч (вариант 2). Состав пассажирского поезда – 12, регионального – 6 вагонов. Капитальные вложения K на сооружение СТО ППС в варианте 1 – 4 500 тыс. у. е. (с учетом сноса существующих строений), а в варианте 2 – 3 800 тыс. у. е.

Решение. Эксплуатационные расходы в вариантах зависят от пробега подвижного состава с пассажирской станции на СТО ППС и обратно. Капитальные вложения различаются затратами в подвижной состав и сооружение станции. Приведенные расходы рассчитывают следующим образом:

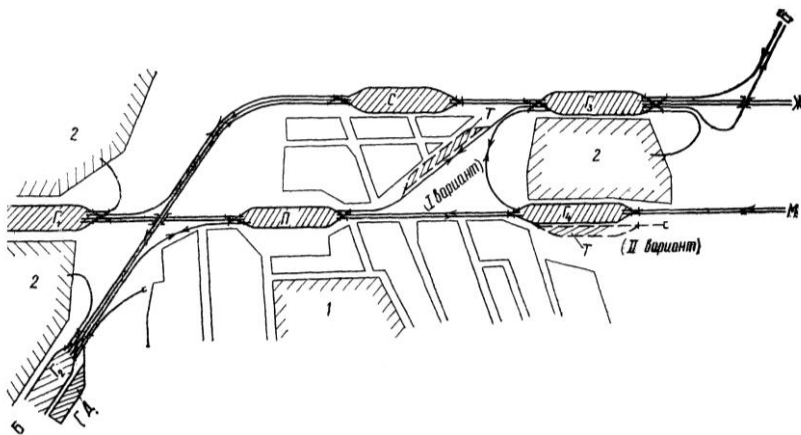


Рисунок 12.4 – Схема железнодорожного узла:

1 – город; 2 – промышленный район; П – пассажирская; С – сортировочная;
Г₁, Г₂, Г₃, Г₄ – грузовые станции; Т – техническая пассажирская станция

$$E_{\text{пр}} = 365 [2L(c_{NS}^{\text{д}} N_{\text{д}} + c_{NS}^{\text{п}} N_{\text{п}}) + E c_{\text{к}}^{\text{п}} t_{\text{п}} (N_{\text{д}} + N_{\text{п}})] + EK, \quad (12.3)$$

где $c_{NS}^{\text{д}}$, $c_{NS}^{\text{п}}$ – себестоимость 1 поезд-км соответственно международного (межрегионального) и регионального поезда, у. е.;

$N_{\text{д}}$, $N_{\text{п}}$ – количество пассажирских региональных поездов, подаваемых на СТО ППС;

$c_{\text{к}}^{\text{п}}$ – стоимость маневрового локомотива, приходящаяся на 1 ч занятости, у. е.;

$t_{\text{п}}$ – продолжительность следования поездов на СТО ППС, ч.

Себестоимость 1 поезд-км при передаче пассажирских поездов с пассажирской станции на СТО ППС определена в таблице 12.9. Аналогично рассчитана себестоимость 1 поезд-км региональных поездов: вариант 1 – 0,575 у. е.; вариант 2 – 0,323 у. е.

Стоимость локомотива, приходящаяся на 1 ч занятости с учетом [46],

$$c_{\text{к}}^{\text{п}} = \frac{111 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{365 \cdot 24} = 14,5 \text{ у. е.}$$

Подставляя полученные значения в выражение (12.3), получим

$$E_{\text{пр}}(1) = 365 [2 \cdot 1 (0,758 \cdot 23 + 0,575 \cdot 30) + 0,12 \cdot 14,5 \cdot 0,1 (23 + 30)] + 0,12 \cdot 4\,500 \cdot 10^3 = 567,3 \text{ тыс. у. е.};$$

$$E_{\text{пр}}(2) = 365 [2 \cdot 4,2 (0,432 \cdot 23 + 0,323 \cdot 30) + 0,12 \cdot 14,5 \cdot \frac{4,2}{40} (23 + 30)] +$$

$$+ 0,12 \cdot 3\,800 \cdot 10^3 = 518,0 \text{ тыс. у. е.}$$

Таблица 12.9 – Расчет себестоимости 1 поездо-км

Показатель	Расходная ставка, у. е.	v, км/ч			
		10		40	
		Объем работы	Затраты, у. е.	Объем работы	Затраты, у. е.
Пробег:					
вагонов, осе-км	0,0009	48 = 12·4	0,043	48 = 12·4	0,043
локомотивов, лок-км	0,065	1	0,065	1	0,065
Время работы:					
локомотива, лок-ч	0,312	1/10	0,031	1/40	0,008
локомотивной бригады, бригадо-ч	2,63	1/10	0,236	1/40	0,059
составительской бригады, бригадо-ч	1,68	1/10	0,168	1/40	0,042
Пробег поезда, т-км брутто	0,00014	12·50 + 122	0,101	12·50 + + 122	0,101
Расход топлива, кг	0,065	1,75	0,114	1,75	0,114
Себестоимость 1 поездо-км	–	–	0,758	–	0,432

Таким образом, вариант 2 – размещение СТО ППС в районе станции Г₄ – более целесообразен.

12.2 Путепроводные развязки

Пример 12.5. Определим угол поворота β главного пути III, длину тангенсов T_1 , T_2 и кривых K_1 , K_2 , минимальную длину путепроводной развязки в плане $L_{пл}$ (от точки А до середины путепровода) и длину ее проекции на горизонтальную ось L , если однопутная и двухпутная линии пересекаются под углом $\gamma = 45^\circ$, длина путепровода $L_{пут} = 57,2$ м, радиус кривых $R_1, R_2 = 1\,200$ м, длина переходных кривых $C_1 = C_2 = 100$ м (рисунок 12.5). Руководящий подъем на направлении В $i_p = 8\%$.

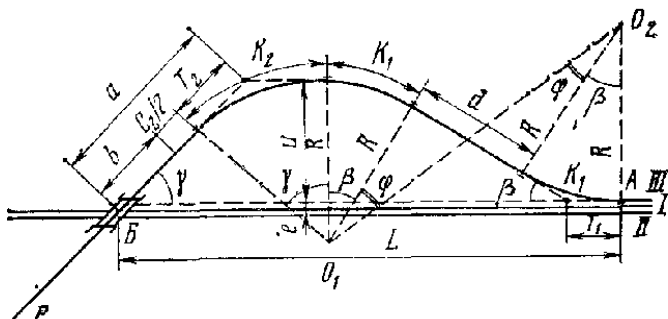


Рисунок 12.5 – План путепроводной развязки

Решение. В соответствии с рисунком 12.5 угол поворота β пути, идущего на путепровод, находится из выражения

$$\cos(\beta + \varphi) = \frac{2R - u}{2R} \cos \varphi;$$

$$\beta = (\beta + \varphi) - \varphi; \quad \beta + \varphi = \arccos\left(\frac{2R - u}{2R} \cos \varphi\right);$$

$$u = a \sin \gamma - 15e; \quad (12.4)$$

$$a = b + \frac{C_2}{2} + T_2; \quad (12.5)$$

$$T_2 = R_2 \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2};$$

$$\varphi = \arctg Y \quad \text{при } Y = \frac{d}{2R};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{2R},$$

где $d = \frac{C_1}{2} + d_0 + \frac{C_2}{2};$

e – ширина междупутья (на перегоне $e = 4,1$ м);

d_0 – длина прямой вставки, м (между обратными кривыми $d_0 = 75$ м).

Чтобы избежать совмещения переходной кривой в плане с вертикальной сопрягающей кривой в профиле, минимальная величина

$$b = \frac{l_{\text{пл}}}{2} + T_{\text{в}}$$

при условии, что $\frac{l_{\text{пл}}}{2} \geq \frac{l_{\text{пут}}}{2} + T_{\text{в}},$

где $l_{\text{пл}}$ – длина элемента профиля (площадки) в месте сооружения путепровода [3, 44], м, допускает минимальную длину $l_{\text{пл}} = 300$ м, а в трудных условиях $l_{\text{пл}} = 200$ м;

$T_{\text{в}}$ – длина тангенса вертикальной сопрягающей кривой, м,

$$T_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}} \Delta i}{2 \cdot 1000},$$

где $R_{\text{в}}$ – радиус вертикальной сопрягающей кривой, м;

Δi – алгебраическая разность сопрягаемых уклонов, ‰.

Величины длин переходных кривых C_1 , C_2 , прямой вставки d_0 , радиусов круговой кривой R и вертикальной сопрягающей кривой $R_{\text{в}}$ принимаются на основании категории железнодорожных линий в соответствии с [3, 44].

Для вычисления угла β в приведенные формулы подставляем из условия примера исходные данные (c_1 ; c_2 ; d_0 ; R_1 ; R_2 ; α ; p):

$$d = \frac{100}{2} + 75 + \frac{100}{2} = 175 \text{ м}; \quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{175}{2 \cdot 400} = 0,07292;$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} 0,07292 = 4^\circ 10';$$

$$T_2 = 1 \ 200 \operatorname{tg} 22^\circ 30' = 1 \ 200 \cdot 0,4142 = 497,04 \text{ м};$$

$$T_B = \frac{10 \ 000 \cdot 8}{2 \cdot 1 \ 000} = 40 \text{ м}.$$

Так как $\frac{l_{\text{пут}}}{2} + T_B = \frac{57,2}{2} + 40 = 68,6 \text{ м}$, принимаем $l_{\text{пл}} = 200 \text{ м}$ ($200/2 > 57,2/2 + 40$). Тогда $b = 100 + 40 = 140 \text{ м}$. Подставляя полученные значения в формулы (12.4), (12.5), получим

$$a = 140 + \frac{100}{2} + 497,04 = 687,04 \text{ м};$$

$$u = 698,04 \sin 45^\circ - 1,5 \cdot 4,1 = 479,66 \text{ м};$$

$$\cos(\beta + \varphi) = \frac{2 \cdot 1 \ 200 - 479,66}{2 \cdot 1 \ 200} \cos 4^\circ 10' = 0,7978;$$

$$\beta + \varphi = \arccos 0,7978 = 37^\circ 5'; \quad \beta = 37^\circ 5' - 4^\circ 10' = 32^\circ 55'.$$

Длина тангенса $T_1 = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 1 \ 200 \operatorname{tg} 16^\circ 27' = 1200 \cdot 0,2952 = 354,24 \text{ м};$

длина кривых:

$$K_1 = 0,017453R\beta = 0,017453 \cdot 1 \ 200 \cdot 32,92 = 689,34 \text{ м};$$

$$K_2 = 0,017453R\gamma = 0,017453 \cdot 1 \ 200 \cdot 45 = 942 \text{ м}.$$

Минимальная длина путепроводной развязки в плане от точки A отхода пути на путепровод до его середины

$$\begin{aligned} L_{\text{пл}} &= K_1 + \frac{C_1}{2} + d_0 + \frac{C_2}{2} + K_1 + K_2 + \frac{C_2}{2} + b = \\ &= 689,34 + \frac{100}{2} + 75 + \frac{100}{2} + 689,34 + 942 + \frac{100}{2} + 140 = 2685,68 \text{ м} \approx 2,686 \text{ км}; \end{aligned}$$

длина проекции путепроводной развязки на горизонтальную ось

$$\begin{aligned} L &= a \cos \gamma + T_2 + 2R \sin \beta + d \cos \beta = 687,04 \cdot \cos 45^\circ + 497,04 + \\ &+ 2 \cdot 1 \ 200 \sin 32^\circ 55' + 175 \cos 32^\circ 55' = 2434,10 \text{ м}. \end{aligned}$$

Минимальная длина путепроводной развязки в плане должна быть равна или больше длины в профиле. В противном случае трассу в плане надо

$$l_{\text{п}} = \frac{H_{\text{п}}}{i_{\text{п}}},$$

где $H_{\text{п}}$ – высота бровки земляного полотна пути III в точке B относительно точки A,

$$H_{\text{п}} = h_{\text{г-п}} + H,$$

H – разность отметок головок рельсов верхнего и нижнего путей (рисунок 12.7),

$$H = h_{\text{г}} + h_{\text{с}} + h_{\text{р}},$$

$h_{\text{г}}$ – расстояние от головки рельса нижнего пути до низа пролетного строения, принимаемое по габариту приближения строений (при ширине путепровода не более 5 м $h_{\text{г}} = 6,3$ м, при ширине 5 м и более $h_{\text{г}} = 6,5$ м);

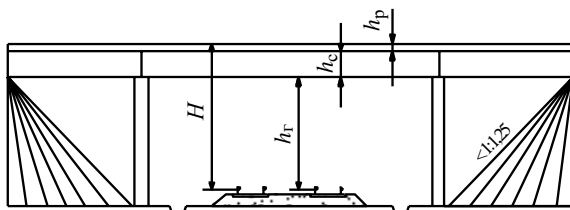


Рисунок 12.7 – Схема путепровода через два железнодорожных пути

$$l_{\text{п}} = \frac{10,51}{7,4} = 1,421 \text{ км} = 1421 \text{ м};$$

$$L_{\text{пр}} = \frac{200}{2} + 1421 = 1521 \text{ м};$$

$$H = 6,5 + 0,83 + 0,18 = 7,51 \text{ м};$$

$$H_{\text{п}} = 3 + 7,51 = 10,51 \text{ м}.$$

Длина трассы пути III в плане 2 773,86 м (см. пример 12.5) обеспечивает набор необходимой высоты на путепровод $L_{\text{пл}} > L_{\text{пр}}$.

Пример 12.7. Определим оптимальный угол путепроводной развязки при пересечении однопутной и двухпутной линий. На направлении B проходит за сутки 30 грузовых, 15 пассажирских и 45 пригородных поездов. Масса грузового поезда $Q_{\text{бр}} = 4000$ т, тепловоз ТЭ3 (2 секции). Масса дальнего пассажирского поезда $Q_{\text{бр}} = 1000$ т, тепловоз ТЭП60, максимальная скорость – до 120 км/ч. Пригородное движение обслуживают дизель-поезда ДР1. Исходные данные для проектирования путепроводной развязки: $R_1 = R_2 = 1200$ м; $C_1 = C_2 = 100$ м; $d_0 = 75$ м; руководящий уклон на направлении B $i_{\text{р}} = 8$ ‰; полезная длина приемо-отправочных путей на станциях $l_{\text{по}} = 850$ м. Рельеф местности представлен на рисунке 12.8.

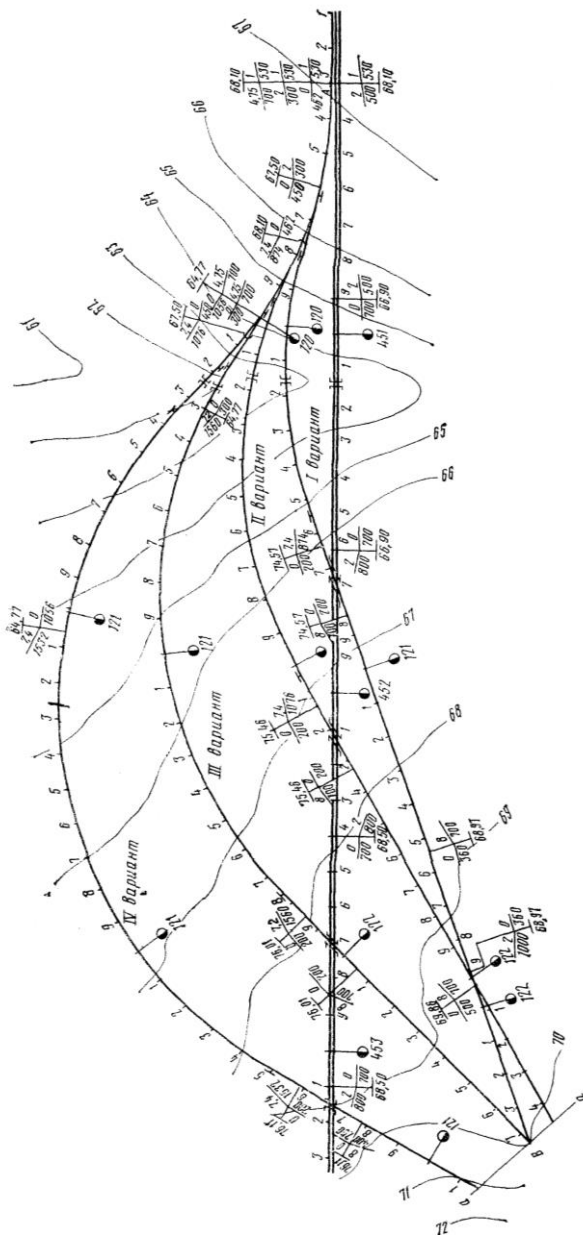


Рисунок 12.8 – Варианты плана путепроводной развязки

Решение. Оптимальный угол путепроводной развязки выбирают по минимуму приведенных расходов, сравнивая конкурентоспособные варианты. Приведенные расходы рассчитывают для участка трассы от точки начала развязки до общей точки в сравниваемых вариантах. В примере рассмотрены четыре варианта путепроводной развязки под углами пересечения 20, 30, 45 и 60°. Основные параметры плана (таблица 12.10) рассчитаны аналогично примеру 12.5. По ним вычерчены все варианты плана. Разработка начата с точки *A* и закончена в районе подхода линии к станции в сечении *a – a* (см. рисунок 12.8). Для всех вариантов плана спроектирован продольный профиль путей и расставлены уклоноуказатели. Длина трассы в сравниваемых пределах $L_{гр}$: вариант 1 – 3,10 км; вариант 2 – 3,16 км; вариант 3 – 3,44 км; вариант 4 – 3,86 км.

Т а б л и ц а 12.10 – **Параметры плана путепроводной развязки**

Вариант	Угол пересечения			Линейный элемент, м		
	γ	φ	β	d	K_1	K_2
1	20°	4°10'	15°20'	175	320,40	426,0
2	30°	4°10'	22°30'	175	470,25	627,0
3	45°	4°10'	32°55'	175	689,34	942,0
4	60°	4°10'	42°44'	175	884,77	1 256,4

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы 12.10

Вариант	Линейный элемент, м				
	T_1	T_2	T_b	$L_{пл}$	L
1	161,52	211,56	40	1 431,80	1 410,35
2	238,68	321,48	40	1 932,54	1 844,48
3	354,24	497,04	40	2 686,00	2 334,10
4	469,44	693,00	40	3 391,00	2 891,80

Приведенные расходы в каждом варианте

$$E_{пр} = E_n K + \text{Э},$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности, $E_n = 0,10 \dots 0,12$;

K – единовременные капитальные вложения,

$$K = K_{сн} + K_{зр} + K_{иск} + K_{вс} + K_{дл} + K_{эл} + K_{пут} + K_3 + K_{пс} + K_{гр};$$

$K_{сн}$, $K_{зр}$, $K_{иск}$, $K_{вс}$, $K_{дл}$, $K_{эл}$, $K_{пут}$, K_3 , $K_{пс}$, $K_{гр}$ – затраты на снос зданий, перенос инженерных коммуникаций и др.; сооружение земляного полотна главного пути; строительство искусственных сооружений; укладку верхнего строения главного пути; устройство СЦБ, связи и освоение территории для трассы и др.; устройство энергоснабжения (для электрифицированных линий); строительство путепровода; отвод занимаемых земель; капитальные вложения в подвижной состав; стоимость грузовой массы на колесах;

Э – ежегодные эксплуатационные расходы.

В районе проектирования развязки нет зданий, инженерных коммуникаций и $K_{сн}$ во всех вариантах равно нулю. Стоимость сооружения земляного полотна главного пути

$$K_{зр} = \sum Q_i C_{зр},$$

где $\sum Q_i$ – объем земляных работ в отдельных массивах – на насыпях и в выемках; рассчитывают по средним рабочим отметкам;

$C_{зр}$ – стоимость 1 м³ земляных работ, у. е.

Рабочие отметки определяют по плану линий, используя проектные отметки бровки полотна и уклоны, а также горизонтали местности. Если необходимо повысить точность расчета объемов земляных работ, то надо построить продольные профили всех вариантов плана. Стоимость 1 м³ земляных работ независимо от рабочей отметки – 1,8 у. е. Объем и стоимость земляных работ показаны в таблице 12.11. Остальные затраты рассчитаны сначала для варианта 1. Для стока воды во всех вариантах сооружается железобетонная труба отверстием 2 м. Длина ее зависит от высоты насыпи (в варианте 1 – 31 м). Приняв стоимость 1 м трубы 660 у. е., получим $K_{иск} = 31 \cdot 660 = 20 \cdot 460$ у. е.

Стоимость верхнего строения главного пути

$$K_{вс} = L_{тр} c_{вс},$$

где $L_{тр}$ – длина трассы путепроводной развязки в сравниваемых пределах, км;
 $c_{вс}$ – стоимость 1 км верхнего строения главного пути.

Принимаем тип рельсов Р65, щебеночный балласт и железобетонные шпалы. Тогда

$$K_{вс} = 3,10 \cdot 91 \cdot 500 = 283 \cdot 650 \text{ у. е.}$$

Стоимость устройств СЦБ и связи, расходы на освоение трассы

$$K_{дл} = L_{тр} c_{дл} = 3,10 (1 \cdot 100 + 600 + 5 \cdot 000) = 20 \cdot 770 \text{ у. е.};$$

где $c_{дл}$ – расходы, пропорциональные длине линии, у. е./км.

Стоимость путепровода принимаем $K_{пут} = 364 \cdot 000$ у. е.

Стоимость занимаемых земель

$$K_3 = 10^{-4} L_{тр} b_{по} c_3,$$

где $b_{по}$ – ширина полосы отвода; принимаем равной 100 м;

c_3 – стоимость 1 га занимаемых земель.

$$K_3 = 10^{-4} \cdot 3100 \cdot 100 \cdot 100 = 31 \cdot 000 \text{ у. е.}$$

Таблица 12.11 – Расчет объема земляных работ

Длина массива, км	Средняя рабочая отметка, м	Объем земляных работ, м ³	
		на 1 км пути	на массив с увеличением на 10 %
Вариант 1			
Насыпь			
0,462	1,65	16 340	8 304
0,400	5,18	77 300	34 012
0,474	8,31	163 860	85 457
0,186	8,28	161 880	33 124
0,700	4,20	56 600	43 582
0,160	0,18	1 800	316
Выемка			
0,700	0,68	6 260	4 820
Итого	–	–	209 615
Вариант 2			
Насыпь			
0,300	1,10	10240	3 379
0,454	2,50	27600	13 753
0,170	4,72	67300	12 585
0,906	6,94	121740	121 286
0,186	8,05	155340	31 782
0,700	4,21	56850	43 775
0,300	0,28	2750	908
Выемка			
0,130	0,15	1500	215
Итого	–	–	227 663
Вариант 3			
Насыпь			
0,700	0,80	7 280	5 606
0,300	1,50	14 600	4 818
0,500	3,25	39 400	21 670
1,060	6,00	96 700	112 752
0,186	7,82	148 080	30 294
0,700	4,00	52 700	40 579
Итого	–	–	215 719
Вариант 4			
Насыпь			
0,700	0,80	7 280	5 606
0,300	1,70	16 980	5 603
0,756	1,65	16 340	13 588
0,900	5,40	82 320	81 497
0,632	2,00	20 700	14 390
0,186	7,21	129 490	26 494
0,372	4,25	57 650	23 591
Итого	–	–	170 769

Так как разница в длине трассы в вариантах незначительна, капитальные вложения в подвижной состав и стоимость грузовой массы на колесах в примере не определяем. Приняв стоимость 1 м³ земляных работ равной 1,8 у. е., получим затраты, у. е., в вариантах:

$$1 - 209\ 615 \cdot 1,8 = 377\ 307;$$

$$2 - 227\ 663 \cdot 1,8 = 409\ 793;$$

$$3 - 215\ 719 \cdot 1,8 = 388\ 294;$$

$$4 - 170\ 769 \cdot 1,8 = 307\ 384.$$

Общая сумма капитальных вложений в варианте 1 – 1 097 187 у. е.

Эксплуатационные расходы

$$\Theta = \Theta_{\text{пр}}^{\text{гр}} + \Theta_{\text{пр}}^{\text{п}} + \Theta_{\text{пр}}^{\text{пп}} + \Theta_{\text{гл}} + \Theta_{\text{пут}} + \Theta_{\text{сн}} + \Theta_{\text{сцб}} + \Theta_{\text{св}} + \Theta_{\text{р}} + A_{\text{пут}},$$

где $\Theta_{\text{пр}}^{\text{гр}}$, $\Theta_{\text{пр}}^{\text{п}}$, $\Theta_{\text{пр}}^{\text{пп}}$, $\Theta_{\text{гл}}$, $\Theta_{\text{пут}}$, $\Theta_{\text{сн}}$, $\Theta_{\text{сцб}}$, $\Theta_{\text{св}}$, $\Theta_{\text{р}}$ – годовые расходы на пробег

соответственно грузовых, дальних пассажирских и пригородных поездов, содержание главных путей, путепровода и малых искусственных сооружений, снего-, водо- и пескоборьбу и содержание защитных лесонасаждений; содержание соответственно устройств СЦБ, связи и поездной радиосвязи;

$A_{\text{пут}}$ – амортизационные отчисления со стоимости путепровода (амортизационные отчисления для остальных устройств вошли в расходы на содержание).

Годовые расходы на пробег поездов целесообразно определять способом показателей трассы [36]:

– грузовые поезда:

$$\Theta_{\text{пр}}^{\text{гр}} = 365 N_{\text{гр}} \left[c_{\text{пк.гр}}^{\circ} L_{\text{гр}} + A_{\text{гр}} (H + 0,012 \sum \alpha) + \right. \\ \left. + B_{\text{гр}} (H_{\text{с}} - 0,012 \sum \alpha_{\text{с}}) - B_{\text{гр}} L_{\text{с}} \right]; \quad (12.6)$$

– дальние пассажирские:

$\Theta_{\text{пр}}^{\text{п}} = 365 N_{\text{п}} \left[c_{\text{пк.п}}^{\circ} L_{\text{п}} + A_{\text{п}} (H + 0,012 \sum \alpha) + B_{\text{п}} (H_{\text{с}} - 0,012 \sum \alpha_{\text{с}}) - B_{\text{п}} L_{\text{с}} \right]; \quad (12.7)$
 где $N_{\text{гр}}$, $N_{\text{п}}$ – среднесуточное число грузовых и дальних пассажирских поездов на направлении B ;

$c_{\text{пк.гр}}^{\circ}$, $c_{\text{пк.п}}^{\circ}$ – норма расходов на 1 км пробега грузовых и дальних пассажирских поездов по площадке;

$\sum \alpha$ – сумма центральных углов поворота всех кривых на маршруте, град;

H – алгебраическая разность отметок конечной и начальной точек маршрута, м;

$\sum \alpha_{\text{с}}$ – сумма центральных углов поворота кривых в пределах тормозных спусков, град;

H_c – сумма высот всех спусков (крутизной больше предельно безвредного уклона* на маршруте в данном направлении движения поездов (всегда положительная величина), м;

L_c – протяженность тормозных спусков, км;

$A_{гр}, A_{п}$ – нормы расходов на преодоление грузовым и дальним пассажирским поездами высоты 1 м;

$B_{гр}, B_{п}$ – нормы дополнительных расходов на движение грузового и дальнего пассажирских поездов с подтормаживанием на каждый метр высоты тормозного спуска;

$V_{гр}, V_{п}$ – поправка к величине расходов на тормозных спусках, учитывающая часть кинетической энергии поезда, поглощаемую основным удельным сопротивлением подвижного состава.

Значения $c_{пк.гр}^o, c_{пк.п}^o, A_{гр}, A_{п}, B_{гр}, B_{п}, V_{гр}, V_{п}$ принимают по [37, таблицы 112–119]. Подставив исходные величины в формулы (12.6) и (12.7), получим

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{пр}^{гр} &= 365 \cdot 30 \cdot [2,12 \cdot 3,1 + 0,249 \cdot (1,87 + 0,012 \cdot 50,67) + \\ &+ 0,377 \cdot (5,6 - 0,012 \cdot 0) - 1,13 \cdot 0,7] = 93\ 185 \text{ у.е.}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{пр}^{п} &= 365 \cdot 15 \cdot [0,98 \cdot 3,1 + 0,09 \cdot (1,87 + 0,012 \cdot 50,67) + \\ &+ 0,122 \cdot (5,6 - 0,012 \cdot 0) - 0,43 \cdot 0,7] = 19\ 874 \text{ у.е.} \end{aligned}$$

Годовые эксплуатационные расходы на пробег пригородных поездов

$$\mathcal{E}_{пр}^{гр} = 365 N_{пр} L_{гр} c_{пр},$$

где $N_{пр}$ – среднесуточное число пригородных поездов на направлении В;
 $c_{пр}$ – стоимость 1 км пробега пригородного поезда [37, таблица 35];

$$\mathcal{E}_{пр}^{гр} = 365 \cdot 45 \cdot 3,1 \cdot 1,06 = 53\ 972 \text{ у.е.}$$

Годовые расходы на содержание главных путей

$$\mathcal{E}_{гл} = L_{гр} c_{гл},$$

где $c_{гл}$ – норма расхода на содержание 1 км главного пути [37, таблицы 91 и 92];

$$\mathcal{E}_{гл} = 3,1 \cdot 3\ 080 = 9\ 548 \text{ у.е.}$$

Годовые расходы на содержание путепровода и железобетонной трубы [37, таблица 95];

$$\mathcal{E}_{пут} = \frac{31 \cdot 210}{100} + 960 = 1\ 025 \text{ у.е.}$$

* Предельно безвредный уклон ориентировочно можно принять для груженых поездов при максимально допустимой скорости $v_{max} = 80 \text{ км/ч} - 3 \text{ ‰}$, для груженых поездов при $v_{max} = 100 \text{ км/ч} - 4 \text{ ‰}$, для порожних поездов при $v_{max} = 80 \text{ км/ч} - 6 \text{ ‰}$, при $v_{max} = 100 \text{ км/ч} - 8 \text{ ‰}$. Уклоны, высота которых включена в H_c , называют тормозными спусками.

Годовые расходы на снего-, водо- и пескоборьбу и содержание защитных лесонасаждений [37, таблицы 97–99];

$$\mathcal{E}_{\text{сн}} = 3,1 \cdot 260 = 806 \text{ у. е.}$$

Годовые расходы на содержание линейных устройств СЦБ [37, таблица 100];

$$\mathcal{E}_{\text{сцб}} = 3,1 \cdot 1\,170 = 3\,627 \text{ у. е.}$$

Годовые расходы на содержание линейных устройств связи [37, таблица 102];

$$\mathcal{E}_{\text{св}} = 3,1 \cdot (240 + 300) = 1\,674 \text{ у. е.}$$

Годовые расходы на содержание устройств поездной радиосвязи [37, таблица 10];

$$\mathcal{E}_{\text{р}} = 3,1 \cdot 420 = 1\,302 \text{ у. е.}$$

Амортизационные отчисления от стоимости путепровода

$$A_{\text{пут}} = 0,013K_{\text{пут}} = 0,013 \cdot 364\,000 = 4\,732 \text{ у. е.}$$

Суммарные годовые эксплуатационные расходы в варианте 1

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= 93\,185 + 19\,874 + 53\,972 + 9\,548 + 1\,025 + 806 + 3\,627 + 1\,674 + \\ &+ 1\,302 + 4\,732 = 189\,745 \text{ у. е.} \end{aligned}$$

Приняв $E = 0,1$, найдем годовые приведенные расходы

$$E_{\text{пр}} = 0,1 \cdot 1\,097\,187 + 189\,745 = 299\,463 \text{ у. е.}$$

Аналогично рассчитывают годовые приведенные расходы в остальных трех вариантах:

Показатели	Вариант		
	2	3	4
Капитальные вложения			
Затраты на снос, у. е.	0	0	0
Стоимость сооружения земляного полотна, у. е.	409 793	388 294	307 384
Стоимость искусственных сооружений, у. е.	16 500	10 428	10 428
Стоимость верхнего строения главного пути, у. е.	289 140	314 760	353 190
Стоимость устройств, пропорциональная длине линии, у. е.	21 172	23 048	25 862
Стоимость путепровода, у. е.	300 000	105 000	95 000
Стоимость занимаемых земель, у. е.	31 600	34 400	38 600
И т о г о	1 068 205	875 930	830 464
Эксплуатационные расходы			
Пробег поездов, у.е.:			
грузовых	95 046	107 639	119 027
дальних	17 465	22 667	25 459
пригородных	55 017	59 892	67 205
Содержание главных путей, у. е.	9 733	10 595	11 889
Содержание путепровода и железобетонной трубы, у. е.	840	580	496

Показатели	Вариант		
	2	3	4
Снегоборьба и содержание защитных лесонасаждений, у. е.	822	894	1 004
Содержание линейных устройств СЦБ, у. е.	3 697	4 025	4 516
Содержание линейных устройств связи, у. е.	1 706	1 858	2 084
Содержание устройств поездной радиосвязи, у. е.	1 327	1 445	1 621
Амортизационные отчисления, у. е.	3 900	1 365	1 235
И т о г о	189 553	210 960	234 536
Годовые приведенные расходы, у. е.	296 373	298 553	317 582

Сопоставив их, видим, что к проектированию следует принять вариант 2 с углом путепровода 30° , в котором расходы наименьшие.

Пример 12.8. Определим экономическую целесообразность сооружения путепроводной развязки в месте пересечения существующей двухпутной линии А–Б с проектируемой однопутной для одностороннего движения В–Г. Пересекающиеся маршруты равноправны; масса поезда брутто на всех направлениях – 4 000 т; тепловоз ТЭЗ (2 секции); начальная скорость торможения при остановке у пересечения $v_{\text{тор}} = 60$ км/ч; время занятия пересечения поездами, следующими по двухпутной линии, – 5 мин, а по однопутной – 7 мин; средняя стоимость 1 ч простоя поезда $c_{\text{п-ч}} = 18$ у. е.; разница в капитальных вложениях в сооружение главных путей с пересечением в одном уровне и с путепроводной развязкой в сопоставимых границах плана и профиля (вычисленная по методике примера 12.7) 385 тыс. у. е.; эксплуатационные расходы на текущее содержание путепровода $\mathcal{E}'_{\text{п}} = 4 700$ у. е., пересечения в одном уровне $\mathcal{E}'_0 = 9 300$ у. е. в год (учтены расходы, различающиеся в вариантах); эксплуатационные расходы на преодоление спусков и подъемов при развязке пересечения в разных уровнях $\Delta\mathcal{E}_{\text{пр}} = 31 978$ у. е.; капитальные вложения в подвижной состав и грузовую массу из-за незначительной разницы в длине трассы в вариантах приняты равными. Средние размеры движения поездов по линиям: А–Б – 48; Б–А – 58; В–Г – 34. Распределения интервалов между поездами на направлениях А–Б, Б–А, В–Г, полученные в результате статистического исследования, приведены в таблице 12.12.

Р е ш е н и е. Переход к путепроводной развязке экономически целесообразен, когда затраты на строительство и эксплуатацию путепровода окупаются сокращением эксплуатационных расходов:

$$E(K_{\text{п}} - K_0) + (\mathcal{E}'_{\text{п}} - \mathcal{E}'_0) \leq \mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_{\text{п}}, \quad (12.8)$$

где $K_{\text{п}}$, K_0 – затраты соответственно на сооружение путепроводной развязки и пересечения в одном уровне;

$\mathcal{E}'_{\text{п}}, \mathcal{E}'_{\text{о}}$ – расходы соответственно на текущее содержание путепровода и пересечения;

$\mathcal{E}_{\text{о}}, \mathcal{E}_{\text{п}}$ – эксплуатационные расходы при пересечениях в одном и разных уровнях.

Т а б л и ц а 12.12 – Распределение интервалов между поездами

Градации интервала I_i , мин	Частость P_i	Градации интервала I_i , мин	Частость P_i	Градации интервала I_i , мин	Частость P_i
А–Б		Б–А		В–Г	
0–8	0,12	0–8	0,25	0–20	0,09
9–16	0,26	9–16	0,27	21–28	0,25
17–24	0,20	17–24	0,13	29–36	0,21
25–32	0,12	25–32	0,12	37–44	0,12
33–40	0,10	33–40	0,09	45–52	0,11
41–48	0,08	41–48	0,06	53–60	0,09
49–56	0,05	49–56	0,04	61–68	0,06
57–64	0,04	57–64	0,02	69–76	0,04
65–72	0,02	65–72	0,01	77–84	0,02
73–80	0,01	73–80	0,01	85–92	0,01
–	1,00	–	1,00	–	1,00

Эксплуатационные расходы при пересечении в одном уровне

$$\mathcal{E}_{\text{о}} = 365 [(c_{\text{п-ч}} \sum T_3 + c_{\text{кз}} f n_3) \pm N \Delta t c_{\text{п-ч}}], \quad (12.9)$$

где $\sum T_3$ – общее время задержек поездов у пересечения;

$c_{\text{кз}}$ – расходы на один разгон и торможение поезда;

f – число остановок поезда, приходящиеся на одну задержку;

n_3 – число задержанных поездов;

Δt – разность времени хода при пересечении в одном и разных уровнях.

Если $Q_{\text{бр}} = 4\,000$ т и $v_{\text{гор}} = 60$ км/ч, то по таблицам 42 и 45 [36] $c_{\text{кз}} = 2,54 + 2,89 = 5,43$ у. е.

Продолжительность задержек и число остановок поездов у пересечения из-за сложности распределения интервалов между поездами на направлениях определим методом моделирования (статистических испытаний), который предусматривает такую последовательность расчетов. Минимальное число испытаний

$$n = \frac{x^2}{4\varepsilon^2},$$

где x – величина, зависящая от вероятности $P = F(x)$ (таблица 12.13);

ε – допустимая величина ошибки (обычно $\varepsilon = 0,05$).

В большинстве случаев $P = 0,85 \dots 0,95$. Если $P = 0,9$; $\varepsilon = 0,01$; $x = 1,65$, то

$$n = \frac{1,65^2}{4 \cdot 0,1^2} = 68.$$

Таблица 12.13 – Зависимость x от $F(x)$

$F(x)$	x	$F(x)$	x	$F(x)$	x
0,683	1,00	0,950	1,96	0,995	2,80
0,700	1,04	0,955	2,00	0,997	3,00
0,750	1,15	0,960	2,05	0,999	3,29
0,800	1,28	0,970	2,17	0,9995	3,50
0,850	1,44	0,980	2,33	0,9999	4,00
0,900	1,65	0,990	2,68	–	–

Продолжительность периода моделирования, определяемая в данном примере числом поездов, подводимых к пересечению с наименее загруженного направления В–Г, $T = 68 / 34 = 2$ суток. Формируем последовательность прибытия поездов с направлений А–Б, Б–А, В–Г на пересечение (моменты t_i) с помощью таблицы случайных чисел v_i , равномерно распределенных на интервале 0–1. Учитывая, что по условию распределения интервалов между поездами дискретны, предварительно строим вспомогательные шкалы (рисунок 12.9).

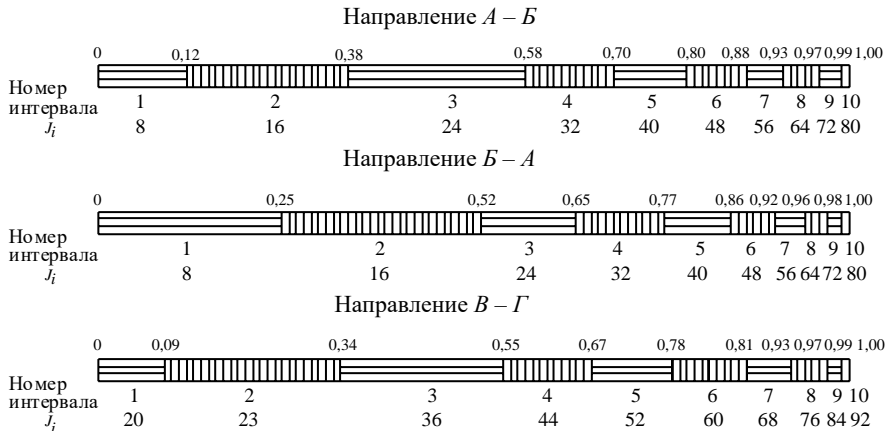


Рисунок 12.9 – Вспомогательные шкалы

Для направления А–Б, например, интервал 0–1 разбиваем на n интервалов, длины которых равны частотам (см. таблицу 12.12) 0,22; 0,26; 0,20, Тогда координаты точек деления отрезка единичной длины $y_1 = 0,12$; $y_2 = 0,38$; $y_3 = 0,58$, Интервалы нумеруем цифрами 1, 2, ..., 10. Выбирая

из таблицы случайных чисел v_i , строим на шкале точку $y = v_i$. Если эта точка попадет в интервал i , то будем считать, что $I = I_i$. В качестве значений v_i для направления А–Б выберем 0,54; 0,35; 0,75; ..., которым на расчетной шкале отвечают значения I_i 24, 16, 40, Случайные числа v_i , и соответствующие им интервалы I_i для направлений А–Б, Б–А, В–Г, а также время прибытия очередного поезда t_i приведены в таблице 12.14. Затем строим графическую модель занятия пересечения поездами (рисунок 12.10).

Т а б л и ц а 12.14 – Моделирование времени прибытия поездов

Номер реализации	Случайное число v_i	Продолжительность интервала I_i , мин	Время прибытия очередного поезда t_i , мин	Номер реализации	Случайное число v_i	Продолжительность интервала I_i , мин	Время прибытия очередного поезда t_i , мин
С направления А–Б							
–	–	–	0	102	0,78	40	2 516
1	0,54	24	24	103	0,25	16	2 532
2	0,35	16	40	104	0,50	24	2 556
3	0,75	40	80	105	0,33	16	2 572
4	0,57	24	104	106	0,53	24	2 596
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22	0,56	24	616	111	0,63	32	2 748
23	0,20	16	632	112	0,59	32	2 780
24	0,54	24	656	113	0,45	24	2 804
25	0,40	24	680	114	0,98	72	2 876
26	0,58	24	704	–	–	–	–
С направления Б–А							
–	–	–	0	102	0,77	32	2 600
1	0,89	48	48	103	0,50	16	2 616
2	0,22	8	56	104	0,80	40	2 656
3	0,55	24	80	105	0,71	32	2 688
4	0,59	24	104	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22	0,45	16	496	110	0,49	16	2 792
23	0,42	16	512	111	0,16	8	2 800
24	0,70	32	544	112	0,91	48	2 848
25	0,45	16	560	113	0,54	24	2 872
26	0,80	40	600	–	–	–	–
С направления В–Г							
–	–	–	0	52	0,64	44	2 192
1	0,54	36	36	53	0,23	28	2 220
2	0,89	68	104	54	0,49	36	2 256

Окончание таблицы 12.14

Номер реализации	Случайное число v_i	Продолжительность интервала I_i , мин	Время прибытия очередного поезда t_i , мин	Номер реализации	Случайное число v_i	Продолжительность интервала I_i , мин	Время прибытия очередного поезда t_i , мин
3	0,55	36	140	55	0,10	28	2 284
4	0,83	60	200	56	0,12	28	2 312
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22	0,22	28	840	65	0,50	36	2 660
23	0,09	20	860	66	0,80	60	2 720
24	0,35	36	896	67	0,90	68	2 788
25	0,78	52	948	68	0,74	52	2 840
26	0,77	52	1 000	–	–	–	–

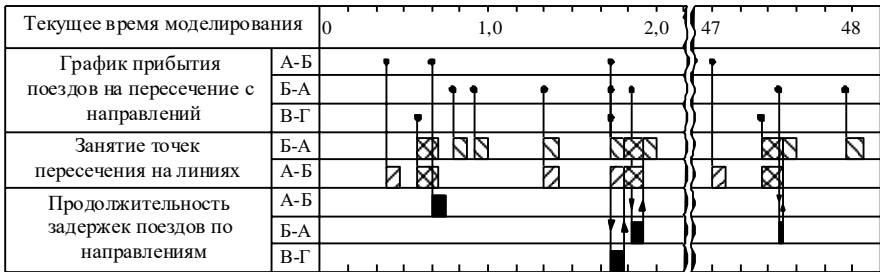


Рисунок 12.10 – Фрагмент графической модели занятия пересечения

Подставляя значения $\sum T_3$ и n_3 в формулу (12.9), получим

$$\mathcal{E}_0 = 365 \left(\frac{18 \cdot 126}{60} + 5,43 \cdot 1 \cdot 35 \right) + 34 \cdot 0 \cdot 18 = 83\,165 \text{ у.е.}$$

Эксплуатационные расходы при пересечении в разных уровнях

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{пр}} = 31\,978 \text{ у.е.}$$

По выражению (12.8) определим экономическую целесообразность перехода к развязке в разных уровнях:

$$0,12 \cdot 385\,000 + (4\,700 - 9\,300) < 831\,655 - 31\,978;$$

$$41\,600 < 51\,187.$$

Результаты 68 реализаций приведены в таблице 12.15.

Таблица 12.15 – Расчет задержек поездов на пересечении маршрутов

В минутах

Номер реализации (линия В–Г)	Продолжительность T задержки поезда на линии, мин			Номер реализации (линия В–Г)	Продолжительность T задержки поезда на линии, мин		
	В–Г	А–Б	Б–А		В–Г	А–Б	Б–А
1	0	5	0	49	0	0	5
2	4	0	4	50	0	1	0
3	1	0	0	51	0	5	0
4	0	0	0	52	0	1	1
5	2	0	6	53	0	5	0
⋮	⋮	⋮	⋮	54	0	1	0
21	0	0	0	⋮	⋮	⋮	⋮
21	0	0	0	64	0	0	0
22	4	0	0	65	0	5	0
23	0	0	0	66	0	0	0
24	4	0	4	67	0	0	7
⋮	⋮	⋮	⋮	68	0	0	1
				Итого	65	81	106
				n_3	23	21	26

Анализ таблицы показывает, что расчетная сумма задержек за сутки

$$\sum T_3 = (65 + 81 + 106) / 2 = 126 \text{ поездо-мин};$$

число остановок поездов

$$n_3 = (23 + 21 + 26) / 2 = 35.$$

Так как экономия эксплуатационных расходов от ликвидации пересечения окупает дополнительные капитальные вложения на сооружение путепроводной развязки, целесообразность последней очевидна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Луговцов, М. Н.** Проектирование железнодорожных станций и узлов : учеб. пособие / М. Н. Луговцов, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 159 с.
- 2 Проектирование железнодорожных станций и узлов : справ. и метод. руководство / под общ. ред. А. М. Козлова и К. Г. Гусевой. – М. : Транспорт, 1981. – 592 с. – 33 с.
- 3 Железные дороги колеи 1520 мм СТН Ц-01-95 / МПС. – М., 1995. – 86 с.
- 4 Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. – М., 2001. – 255 с.
- 5 **ГОСТ-9238–2013.** Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм. – Введ. 1984-07-01. – М. : Межгос. стандарт; М. : Стандартиформ, 2006. – 30 с.
- 6 Нормы проектирования контактной сети СТН ЦЭ-141-99.
- 7 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР ВСН 207-89. – М. : Транспорт, 1992. – 104 с.
- 8 Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю. А. Муха [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 220 с.
- 9 **Правдин, Н. В.** Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1987. – 247 с.
- 10 **Правдин, Н. В.** Прогнозирование пассажирских потоков / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1980. – 224 с.
- 11 **Ханк, Д. Э.** Бизнес-прогнозирование / Д. Э. Ханк, Д. У. Уичерн, А. Дж. Райтс. – 7-е изд. : пер. с англ. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2003. – 656 с.: ил. – Парал. тит. англ.
- 12 Проектирование сортировочных станций с автоматизированными горочными комплексами : учеб.-метод. пособие для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Железнодорожные станции и узлы» / В. Я. Негрей [и др.] ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 235 с.
- 13 **ГОСТ 22235–76** : с изменениями. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ / Межгосударственный стандарт ; МПС. – М., 1978.
- 14 Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) / Н. В. Правдин [и др.] ; под общ. ред. Н. В. Правдина. – М. : Транспорт, 1984. – 296 с.
- 15 Сортировочные станции : учеб. пособие / М. Н. Луговцов [и др.] ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 248 с.
- 16 **Геоинформатика:** учеб. для студ. высш. учеб. заведений : в 2 кн. Кн. 2 / Е. Г. Капралов [и др.] ; под ред. В. С. Тикунова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия, 2010. – 432 с.
- 17 **Антонович, К. М.** Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : [монография] : в 2 т. Т. 2 / К. М. Антонович ; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М. : Картгеоцентр, 2006. – 360 с. : ил.

18 **Подшивалов, В. П.** Инженерная геодезия : учебник / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. – Минск : Выш. шк., 2011. – 463 с. : ил.

19 **Насыров, И. А.** Введение в спутниковые радионавигационные системы : учеб. пособие. Ч. 1. Общие принципы, современное состояние, перспективы развития / И. А. Насыров ; Казанский гос. ун-т. – Казань : КГУ, 2005. – 43 с.

20 **Караванов, М. Ю.** Карманный персональный компьютер Reson / М. Ю. Караванов // Геопрофи. – 2004. – № 3. – С. 17–20.

21 **Назаров, А. С.** Возрождение ГЛОНАСС / А. С. Назаров // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2012. – № 2 (45). – С. 86–91.

22 **Войтенко, А. В.** Определение пространственных координат точек земной поверхности с использованием метода Precise Point Positioning и оценка точности полученных результатов / А. В. Войтенко // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2011. – № 1 (40). – С. 71–74.

23 **Непоклонов, В. Б.** Космические методы определения системы геодезических параметров земли / В. Б. Непоклонов // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2007. – № 1 (24). – С. 16–20.

24 **Trimble Digital Fieldbook** (редакция А): справки // Trimble Navigation Limited. – 2007. – 157 с.

25 **Атрошко, Е. К.** Инженерная геодезия : учеб.-метод. пособие для студентов транспортных специальностей / Е. К. Атрошко, В. Б. Марендич, С. А. Пожидаев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 309 с.

26 Стандарт организации СТП БЧ 31.-2015 Инженерно-геодезические изыскания. Составление масштабных планов, продольных и поперечных профилей объектов железнодорожного транспорта.

27 СТП БЧ 56.268–2013. Земляное полотно железнодорожного пути. Устройство и содержание.

28 Проектирование сортировочных горок : учеб.-метод. пособие / М. Н. Луговцов [и др.] ; под. общ. ред. В. Я. Негрея. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 170 с.

29 Технический кодекс установившейся практики ТКП 495–2013 (02190). Пункты остановочные железнодорожные. Правила и нормы технологического проектирования : [утв. приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 02.05.2013 № 170-ц].

30 Промежуточные станции : учеб.-метод. пособие / В. Я. Негрей [и др.] ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 248 с.

31 **Венецкий, И. Г.** Основы теории вероятности и математической статистики / И. Г. Венецкий, Г. С. Кильдишев. – М. : Статистика, 1968. – 360 с.

32 **Правдин, Н. В.** Проектирование железнодорожных станций и узлов / Н. В. Правдин, Т. С. Банек, В. Я. Негрей. – Минск : Выш. шк., 1984. – Ч. I – 288 с., Ч. II – 200 с.

33 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. – Нормативное производственно-практическое издание: первая редакция, МПС РФ. – М. : ТЕХИНФОРМ, 2003. – 169 с.

34 Методические указания по расчету производительности компрессорных станций на сортировочных горках. Руководящий документ РБ РД 09 150 15.010.– 2003. – Минск, Бел. ж. д., 2003. – 17 с.

35 Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях / Ю. А. Муха [и др.] – М. : Транспорт, 1985. – 248 с.

36 Методика технико-экономических расчетов при развитии транспортных узлов / К. Ю. Скалов [и др.]; под ред. К. Ю. Скалова. – М. : Транспорт, 1972. – 568 с.

37 Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. – М. : Оргтрансстрой, 1973. – 440 с.

38 Пропускная и перерабатывающая способность сооружений и устройств железнодорожного транспорта : учеб.-метод. пособие / В. Я. Негрей [и др.] ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 183 с.

39 Методические указания по расчету норм времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожном транспорте. – М. : Техинформ, 1998. – 84 с.

40 **Правдин, Н. В.** Взаимодействие различных видов транспорта (примеры и расчеты) / И. Е. Савченко, Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев; под ред. Н. В. Правдина. – М. : Транспорт, 1989. – 208 с.

41 **Савченко, И. Е.** Устройства для пассажирского движения на железнодорожном транспорте (расчеты и проектирование) / И. Е. Савченко. – М. : Транспорт, 1979. – 272 с.

42 **Берлин, Н. П.** Комплексная механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных и складских работ на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / Н. П. Берлин, В. Я. Негрей, Н. П. Негрей. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 227 с.

43 Методические рекомендации по расчету пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных станций и устройств : утв. приказом № 1043 первого заместителя Начальника Белорусской железной дороги 3.09.2009 г. – Минск, 2009. – 120 с.

44 Железные дороги колеи 1520 мм. СНБ 3.03.01–98. М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Минск, 1998. – 27 с.

45 Методические рекомендации по расчету количества путей в парках сортировочных и участковых станций Белорусской железной дороги : утв. приказом № 364НЗ первого заместителя Начальника Белорусской железной дороги от 02.06.2006 г. – Минск, 2006. – 62 с.

46 **Гизатуллина, В. Г.** Расходные ставки: методика расчета и применения для оценки показателей эксплуатационной работы : учеб.-метод. пособие / В. Г. Гизатуллина, Д. Н. Кушнеров. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 113 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 СОЕДИНЕНИЯ ПУТЕЙ	4
1.1 Стрелочные переводы и их взаимное расположение	4
1.2 Соединение двух путей	25
1.3 Стрелочные улицы	53
1.4 Параллельное смещение и сплетение путей	76
2 ПРИМЕНЕНИЕ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТАХ И РАЗ- МЕЩЕНИИ УСТРОЙСТВ	83
2.1 Габариты на железнодорожном транспорте	83
2.2 Нумерация путей и стрелочных переводов	85
2.3 Размещение предельных столбиков, сигналов, изолирующих стыков и опор контактной сети	89
2.4 Полная, полезная и строительная длина путей	104
3 ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ НОРМАТИВОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ	113
3.1 Среднесуточные размеры работы	113
3.2 Статистические методы расчета параметров транспортной нагрузки ..	119
3.3 Прогнозирование транспортных потоков	128
4 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ СТАНЦИЙ	176
4.1 Путевое развитие сортировочных станций	176
4.2 Пути на пассажирской станции и станции технического обслужива- ния пассажирского подвижного состава	191
4.3 Путевое развитие участковых и грузовых станций	203
4.4 Устройства для обслуживания пассажиров	210
4.5 Грузовые устройства	214
4.6 Устройства локомотивного предприятия	239
5 КОНСТРУКЦИЯ ГОРЛОВИН	248
5.1 Промежуточные и участковые станции	248
5.2 Сортировочные станции	264
5.3 Пассажирские станции и станции технического обслуживания пасса- жирского подвижного состава	282
6 СОРТИРОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА	288
6.1 Силы, действующие на отцеп при скатывании с горки	288
6.2 Расстояние от вершины горки до первого разделительного стрелочно- го перевода	295
6.3 Профиль сортировочной горки	317
6.4 Аналитический расчет скоростей движения отцепов	320
6.5 Анализ и проектирование продольного профиля спускной части сор- тировочной горки с применением сплайновых моделей	327
7 ПРОПУСКНАЯ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СТАНЦИЙ	338
7.1 Горловины, парки и пути	338
7.2 Сортировочные горки, вытяжные пути и погрузочно-разгрузочные фронты	363

7.3	Пассажирские устройства	378
7.4	Устройства локомотивного и вагонного предприятий	384
8	ПЕРЕУСТРОЙСТВО СТАНЦИЙ	403
8.1	Выполнение инженерно-геодезической съемки путевого развития железнодородных станций	403
8.2	Промежуточные станции	443
8.3	Грузовые и участковые станции	457
8.4	Сортировочные станции	466
8.5	Пассажирские комплексы	477
9	ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ	482
9.1	Реконструкция станций	482
9.2	Проектирование станций	487
9.3	Развитие сортировочных горок	496
10	ПОЭТАПНОЕ РАЗВИТИЕ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ	531
10.1	Железнодорожный узел	531
10.2	Сортировочная станция	548
11	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ СТАНЦИЙ	559
11.1	Выбор оптимального варианта реконструкции станции	559
11.2	Переустройство промежуточной станции	564
11.3	Переустройство сортировочных станций	572
12	ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ УЗЛЫ	588
12.1	Размещение устройств	588
12.2	Путепроводные развязки	603
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	621

Учебное издание

НЕГРЕЙ Виктор Яковлевич
ПОДКОПАЕВ Виталий Алексеевич
ПОЖИДАЕВ Сергей Александрович и др.

**Железнодорожные станции и узлы
(задачи, примеры, расчеты)**

Учебное пособие

Редакторы: Т. М. Маруняк, А. А. Павлюченкова
Технический редактор В. Н. Кучерова
Корректор Т. А. Пугач

Подписано в печать 03.09.2018 г. Формат бумаги 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 36,32 + 3 вкл. (0,36 усл. печ. л.). Уч.-изд. л. 34,36. Тираж 200 экз.
Зак. № . Изд. № 128.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель