

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ СТАНЦИИ И УЗЛЫ

*Издательство
«Транспорт»*

ЖЕЛЕЗНО- ДОРОЖНЫЕ СТАНЦИИ И УЗЛЫ (задачи, примеры, расчеты)

Издание второе, переработанное
и дополненное

Под общей редакцией
заслуженного деятеля науки и техники БССР
проф. Н. В. ПРАВДИНА

Scan by TRAINER
(Railwayz.info, BelSUT)



МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1984

Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты)/Н. В. Правдин, Т. С. Банек, В. Я. Негрей и др.; Под ред. Н. В. Правдина. — М.: Транспорт, 1984. — 296 с.

В книге даны примеры решения наиболее часто встречающихся практических задач: расчеты соединений путей и технического оснащения железнодорожных станций и узлов; технико-экономические обоснования вариантов переустройства станций различных категорий и размещения их в железнодорожных узлах; определение пропускной и перерабатывающей способности отдельных элементов станций.

Книга предназначена для инженерно-технических работников железных дорог и проектировщиков, занимающихся проектированием и переустройством станций.

Рекомендована Главным управлением учебными заведениями МПС в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений железнодорожного транспорта. Может быть использована преподавателями при проведении практических занятий и разработке вариантов заданий к курсовым проектам и контрольным работам.

Ил. 148, табл. 105, список лит. 26 назв.

Книгу написали: главу I — В. А. Вербилко, Т. С. Банек; главу II — В. Ф. Ляшенко, В. А. Вербилко; главу III — Т. С. Банек, В. А. Подкопаев; главу IV — Н. В. Правдин, Т. С. Банек, В. Я. Негрей, В. А. Вербилко, Е. М. Залесский; главу V — Н. В. Правдин, Т. С. Банек, М. Н. Луговцов; главу VI — Т. С. Банек, М. Н. Луговцов; главу VII — Н. В. Правдин, В. Я. Негрей; главу VIII — Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев, М. Н. Луговцов; главу IX — В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев; главу X — Т. С. Банек, А. И. Шеледяев; главу XI — Н. В. Правдин, Т. С. Банек, А. И. Шеледяев, М. Н. Луговцов, В. Я. Негрей; главу XII — Н. В. Правдин, В. Я. Негрей.

Рецензенты В. Я. Болотный, С. С. Мацкель, У. Т. Туляганов

Заведующий редакцией Г. Б. Шавкин

Редактор В. Ю. Преде

Первое издание книги «Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты)» вышло в 1976 г. За прошедшие годы произошло много изменений в нормах проектирования, методах и методиках расчетов станционных устройств; дальнейшее развитие получило техническое оснащение станций и узлов. Кроме того, авторы получили много отзывов от практических работников, проектировщиков, преподавателей высших и средних учебных заведений, которые содержали интересные мысли и ценные предложения по дальнейшему совершенствованию книги и ее отдельных разделов.

Второе издание значительно переработано и дополнено. По-прежнему методически книга построена по принципу от простого к сложному, от элементарных расчетов габаритов и соединений путей до расчетов станций и элементов узлов. Конечно, некоторые задачи просты для проектировщиков, но, учитывая, что книгой широко пользуются студенты высших и средних учебных заведений, авторы сохранили их, изменив только нормы и учтя новые требования к проектированию.

Ряд задач, как правило, можно решать различными методами, поэтому авторы стараются познакомить читателей с большим числом методик и практических приемов, применяемых в практике проектирования. Например, для расчета числа путей на сортировочных станциях приведены методики — предложенная Ленгипротрансом и утвержденная МПС, а также кафедры «Станции и узлы» БелИИЖТа. Используются и современные методики расчета отдельных элементов и станций в целом, изложенные в учебнике «Железнодорожные станции и узлы» (И. Е. Савченко, С. В. Земблинов, И. И. Страковский) и в утвержденном ГУУЗ МПС учебном пособии «Проектирование железнодорожных станций и узлов» (Н. В. Правдин, Т. С. Банек), а также разработки учебных, научно-исследовательских и проектно-изыскательских институтов.

В новом издании рассмотрены примеры оптимизации проектных решений и этапного развития железнодорожных станций и узлов по методике, разработанной ВНИИЖТом совместно с кафедрами «Станции и узлы» МИИТа, БелИИЖТа и НИИЖТа и одобренной комиссией НТС МПС. Большое внимание уделено технико-эксплуатационным показателям, расчетам пропускной способности, способам интенсификации использования отдельных устройств, надежности работы станций.

Книга, конечно, не может охватить с одинаковой полнотой все вопросы проектирования станций и узлов. Авторы стремились выделить основные из них, несколько сократив описания всех остальных. Во второе издание включены задачи, отражающие отечественную практику проектирования. Большинство их составлено на основе реальных проектов, условия некоторых же, представляющих собой теоретические решения, приближены к практике. Учитывая сложность подготовки исходных данных для разработки проектов станций и узлов, в новом издании этому вопросу посвящена специальная глава.

1. СОЕДИНЕНИЯ ПУТЕЙ

1.1. СТРЕЛОЧНЫЕ ПЕРЕВОДЫ

Пример 1.1. Определим полную длину обыкновенных одиночных стрелочных переводов марок 1/11 и 1/9 (рис. 1.1) и симметричного марки 1/6 (рис. 1.2) на приемо-отправочных путях Тип рельсов Р50.

Исходные параметры стрелочных переводов, м

Марка	m	a_0	b	q
1/11	4,33	10,10	19,10	—
1/9	4,33	11,09	15,64	—
1/6	2,18	7,77	9,21	1,38

Стрелочный угол α для марки 1/6 равен $9^\circ 27' 45''$.

Решение. Полная длина обыкновенного стрелочного перевода $L_{II} = m + a_0 + b$, симметричного $L_{II} = m + a_0 + b_0 + q_1 \cos \frac{\alpha}{2}$.

В примере:

$$L_{II}^{1/11} = 4,33 + 10,10 + 19,10 = 33,53 \text{ м};$$

$$L_{II}^{1/9} = 4,33 + 11,09 + 15,64 = 31,06 \text{ м};$$

$$L_{II}^{1/6c} = 2,18 + 7,77 + 9,21 + (1,38 \cdot 0,996592) = 20,54 \text{ м}.$$

Пример 1.2. Определим расстояние между центрами смежных стрелочных переводов марки 1/11 на приемо-отправочных путях в стесненных условиях в различных вариантах укладки (рис. 1.3). Тип рельсов Р50.

Решение. В зависимости от назначения путей и скорости движения поездов по ним длина вставки f в схемах I, II, III равна 25,00; 12,50; 6,25 и 4,50 м или ее можно вообще не устраивать. Если $f = 6,25$ м, то расстояние между центрами стрелочных переводов соответственно равно:

$$L_{I, II} = 14,43 + 6,25 + 14,43 = 35,11 \text{ м};$$

$$L_{III} = 19,10 + 6,25 + 14,43 = 39,78 \text{ м}.$$

При ответвлении двух параллельных путей в одну (схема IV) и в разные (схема V) стороны расстояние между центрами переводов зависит от ширины междупутья:

$$L_{IV, V} = e / \sin \alpha.$$

Если $e = 5,30$ м и $\sin 5^\circ 11' 40'' = 0,090536$, то $L_{IV, V} = 5,30 / 0,090536 = 58,54$ м.

Пример 1.3. Для условий примера 1.2 определим длину прямой вставки f в схемах IV и V (см. рис. 1.3)

Решение. Расстояние между центрами стрелочных переводов $L_{IV} = b_1 + f + a_2$; $L_V = b_1 + f + b_2$, но $L_{IV, V} = e / \sin \alpha$.

Следовательно,

$$f_{IV} = e / \sin \alpha - (b_1 + a_2) = 58,54 - (19,10 + 14,43) = 25,01 \text{ м};$$

$$f_V = e / \sin \alpha - (b_1 + b_2) = 58,54 - (19,10 + 19,10) = 20,34 \text{ м}.$$

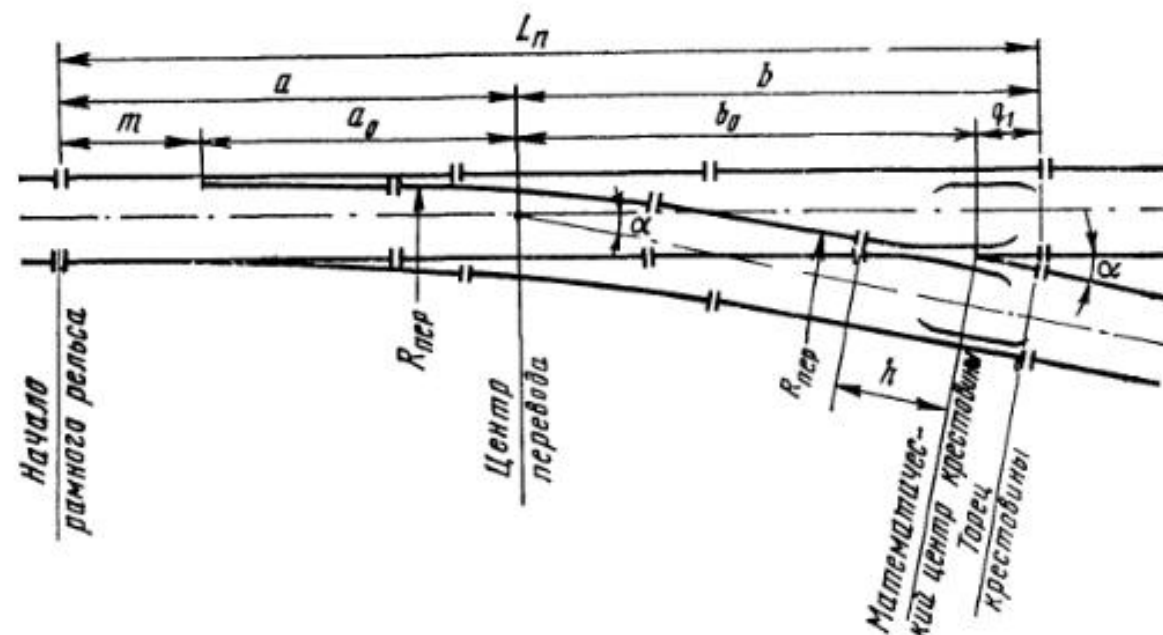


Рис. 1.1. Обыкновенный стрелочный перевод

α — угол крестовины, $R_{пер}$ — радиус переводной 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, q_1 — расстояние от центра крестовины до ее заднего стыка, b — расстояние от центра перевода до торца крестовины, h — прямая вставка перед крестовиной

Пример 1.4. На приемо-отправочных путях в нормальных условиях надо уложить стрелочный перевод марки 1/9 на хорде кривой AFD (рис. 1.4) и определить расчетные элементы. Тип рельсов Р50, радиус существующей кривой $R = 300$ м, сопрягающей кривой $r = 272$ м, длина, необходимая для укладки перевода, $L_{II} = 38$ м.

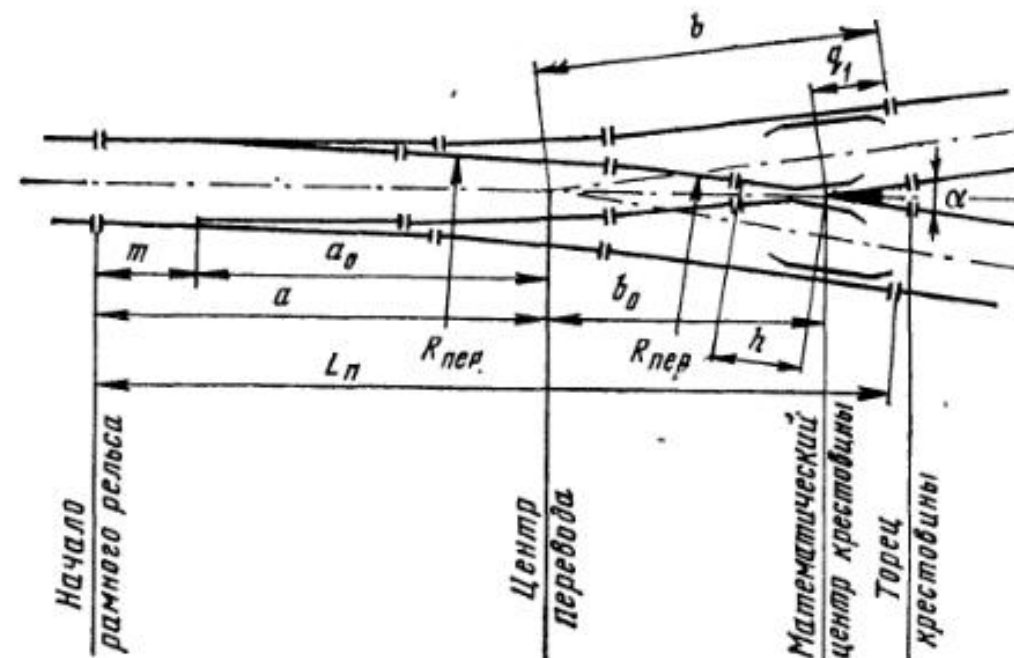


Рис. 1.2. Симметричный стрелочный перевод

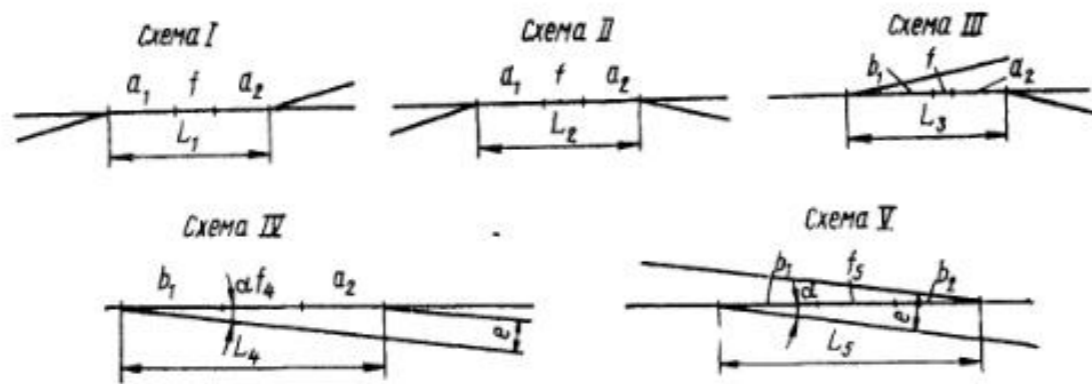


Рис 1.3 Схемы взаимного расположения стрелочных переводов

Решение. Из прямоугольного треугольника OO_1M $\frac{L}{2} / O_1O = \sin \varphi$, или $\frac{L}{2(R-r)} = \sin \varphi$, откуда $\varphi = \arcsin \left[\frac{L}{2(R-r)} \right] = \arcsin \left[\frac{38}{2(300-272)} \right] = 42^\circ 44'$

Определим расстояние $f = OF - r - OM$, но $OF = R$, а $OM = (R-r) \cos \varphi$
Тогда $f = R - r - (R-r) \cos \varphi$, или $f = (300 - 272) (1 - 0,734520) = 7,434$ м

Длины дуг

$$\cup AF = \cup FD = \frac{\pi}{180} R \varphi^\circ = 0,017453 \cdot 300 \cdot 42,73 = 223,73 \text{ м;}$$

$$\cup AB = \cup CD = \frac{\pi}{180} r \varphi^\circ = 0,017453 \cdot 272 \cdot 42,73 = 202,85 \text{ м.}$$

Тангенс сопрягающей кривой

$$T_1 = r \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = 272 \cdot 0,391225 = 106,41 \text{ м}$$

Координаты точек B и F относительно точки A

$$y_1 = r (1 - \cos \varphi) = 272 (1 - 0,734520) = 72,21 \text{ м;}$$

$$x_1 = r \sin \varphi = 272 \cdot 0,678571 = 184,57 \text{ м,}$$

$$y_2 = R (1 - \cos \varphi) = 300 (1 - 0,734520) = 79,64 \text{ м,}$$

$$x_2 = R \sin \varphi = 300 \cdot 0,678571 = 203,57 \text{ м.}$$

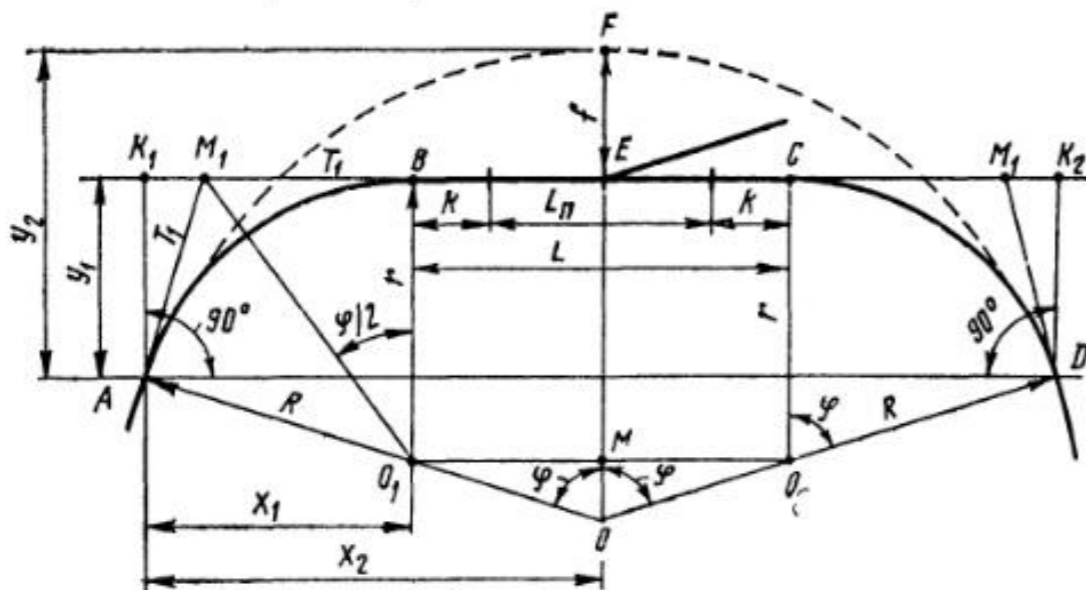


Рис 1.4. Схема стрелочного перевода в кривой

1.2. СОЕДИНЕНИЕ ДВУХ ПУТЕЙ

Пример 1.5 Рассчитаем одиночное конечное соединение прямо отправочных путей в нормальных условиях с искривлением одного пути (рис 1.5) Расстояние между осями путей $e = 5,30$ м, марка стрелочного перевода 1/9, радиус сопрягающей кривой $R = 200$ м Тип рельсов Р50

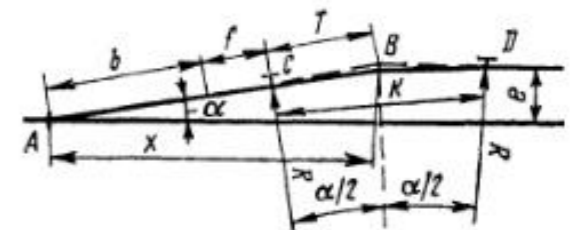


Рис 1.5 Одиночное соединение с искривлением одного пути

Решение. 1 Координаты вершины угла поворота

$$x = e / \operatorname{tg} \alpha, \quad y = e,$$

$$x = 5,30 / 0,111113 = 47,70 \text{ м,} \quad y = 5,30 \text{ м.}$$

2 Расстояние T от начала или конца кривой до вершины угла поворота (тангенс кривой)

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,08 \text{ м.}$$

3 Длина кривого участка пути

$$K = \pi R \alpha^2 / 180 = 0,017453 \cdot 200 \cdot 6,33 = 22,09 \text{ м}$$

4. Длина вставки между концом стрелочного перевода и началом кривой

$$f = e / \sin \alpha - (b + T)$$

должна быть не менее длины прямого участка для разгонки уширения колеи в кривой r и прямой вставки за торцом крестовины k_1 (r зависит от назначения пути, радиуса кривой и ширины колеи в прямых и кривых участках, k_1 — от марки крестовины и типа рельсов) В данном примере при $k_1 = 8,06$ м и $r = 8$ м

$$f = 5,30 / 0,110433 - (15,64 + 11,08) = 21,27 \text{ м} > 8,06 \text{ м} > 8 \text{ м}$$

Пример 1.6. Рассчитаем одиночное сокращенное соединение путей перронного парка, между которыми сооружена высокая платформа (рис 1.6) Расстоя

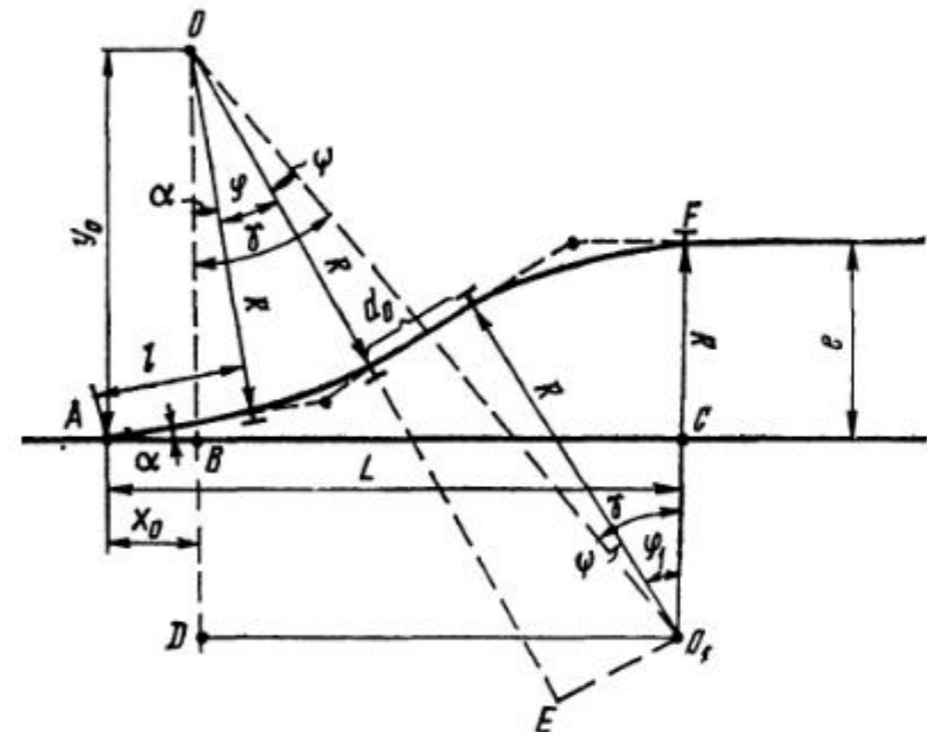


Рис 1.6. Одиночное сокращенное соединение путей

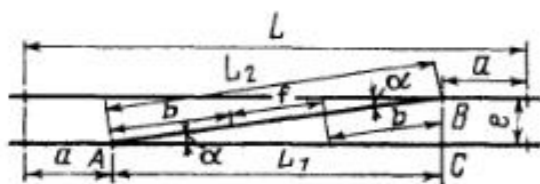


Рис. 1.7. Несокращенный съезд Σ между параллельными путями

ние между осями путей $e = 10,00$ м, угол крестовины $\alpha = 6^\circ 20' 25''$, расстояние до начала кривой $l = 24$ м, радиус сопрягающих кривых $R = 200$ м. Прямая вставка между обратными кривыми $d_0 = 15$ м.

Решение. В расчет элементов соединения вводим вспомогательный угол ψ . Из треугольника OO_1E (см рис. 1.6)

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \psi &= d_0/2R = 15/(2 \cdot 200) = 0,037500, \\ \psi &= 2^\circ 08' 52''. \end{aligned}$$

Полная длина соединения $L = AB + BC$, где $AB = x_0$ и $BC = DO_1 = (y_0 + R - e) \operatorname{tg} \gamma$ (из треугольника ODO_1). Координаты

$$x_0 = l \cos \alpha - R \sin \alpha = 24 \cdot 0,993884 - 200 \cdot 0,110433 = 1,77 \text{ м},$$

$$y_0 = l \sin \alpha + R \cos \alpha - 24 \cdot 0,110433 + 200 \cdot 0,993884 = 201,43 \text{ м}.$$

Из треугольника ODO_1

$$\cos \gamma = \frac{OD}{OO_1} = (y_0 + R - e)/d_0 \operatorname{cosec} \psi = \frac{201,43 + 200 - 10}{15 \cdot 26,6830} = 0,977976;$$

$$\gamma = 12^\circ 02' 50'', \quad \operatorname{tg} \gamma = 0,213418$$

Тогда $L = x_0 + (y_0 + R - e) \operatorname{tg} \gamma = 1,77 + (201,43 + 200 - 10) \cdot 0,213418 = 85,31$ м

Углы поворота

$$\varphi_1 = \gamma - \psi = 12^\circ 02' 50'' - 2^\circ 08' 52'' = 9^\circ 53' 58'';$$

$$\varphi = \gamma - \psi - \alpha = 9^\circ 53' 58'' - 6^\circ 20' 25'' = 3^\circ 33' 33''$$

Пример 1.7. Определим расчетные элементы L_1 , L_2 , L обыкновенного съезда (рис. 1.7), уложенного между двумя параллельными путями. Тип рельсов Р50, марка стрелочных переводов 1/11, расстояние между осями путей 5,30 м.

Решение. Из прямоугольного треугольника ABC

$$L_1 = e/\operatorname{tg} \alpha = eN,$$

где N — знаменатель марки крестовины

$$\text{Тогда } L_1 = eN = 5,30 \cdot 11 = 58,30 \text{ м},$$

$$L_2 = e/\sin \alpha = 5,30/0,090536 = 58,54 \text{ м}$$

Полная длина съезда

$$L = L_1 + 2a = eN + 2a = 58,30 + 28,86 = 87,16 \text{ м}$$

Иногда необходимо знать и так называемую фактическую длину съезда L_ϕ , т.е. фактическое расстояние между стыками рамных рельсов двух стрелочных переводов съезда

$$L_\phi = 2a + L_2 = 28,86 + 58,54 = 87,40 \text{ м}$$

Пример 1.8. Для условий примера 1.7 определим расчетные элементы L_1 , L_2 , L перекрестного съезда, уложенного между параллельными путями (рис. 1.8), и минимальное междупутье, в котором можно его уложить.

Решение. Расчетные элементы определяем аналогично примеру 1.7

$$L_1 = e \operatorname{ctg} \alpha = 58,30 \text{ м},$$

$$L_2 = e/\sin \alpha = 58,54 \text{ м},$$

$$L = L_1 + 2a = 87,16 \text{ м}.$$

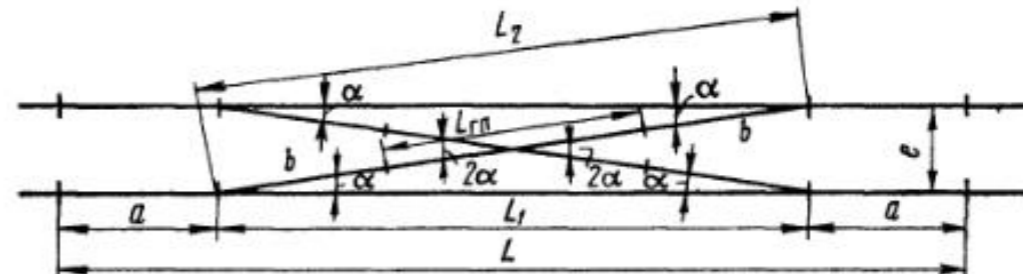


Рис. 1.8. Перекрестный съезд

Минимальное междупутье определяет возможность укладки глухого пересечения между корнями крестовин стрелочных переводов

$$L_2 \geq L_{гп} + 2b,$$

где $L_{гп}$ — длина глухого пересечения, равная по эюре 19,24 м. Подставим в формулу значение $L_2 = e/\sin \alpha$ и найдем междупутье $e = (L_{гп} + 2b) \sin \alpha = (19,24 + 2 \cdot 19,10) \cdot 0,090536 = 5,20$ м

Пример 1.9. Рассчитаем съезд с крестовинами марок 1/11 и 1/9 между параллельными путями (рис. 1.9). Расстояние между осями путей $e = 5,30$ м, угол крестовины первого стрелочного перевода $\alpha_1 = 5^\circ 11' 40''$, второго $\alpha = 6^\circ 20' 25''$, радиус сопрягающей кривой $R = 300$ м, расстояние от центра первого стрелочного перевода до начала кривой $l_1 = 26$ м.

Решение. Расчет съезда такого вида сводится к определению тангенсов кривой T , расстояния от центра второго стрелочного перевода до начала кривой l и полной длины соединения L .

$$T = R \operatorname{tg} (\alpha - \alpha_1)/2 = R \operatorname{tg} 0^\circ 34' 22'' = 300 \cdot 0,009978 = 2,99 \text{ м}$$

Проектируя контур ABC на вертикальную ось (начало координат в точке A), получим $AD = (l_1 + T) \sin \alpha_1$, $DE = (l + T) \sin \alpha$. Отсюда

$$l = \frac{DE}{\sin \alpha} - T, \text{ но } DE = AE - AD, \text{ т.е. } DE = e - (l_1 + T) \sin \alpha_1$$

Значит,

$$l = [e - (l_1 + T) \sin \alpha_1] / \sin \alpha - T = [5,30 - (26 + 2,99) \cdot 0,090536] / 0,110433 - 2,99 = 21,24 \text{ м}$$

Проектируя контур ABC на горизонтальную ось, получим

$$\begin{aligned} L &= (l_1 + T) \cos \alpha_1 + (l + T) \cos \alpha = \\ &= (26 + 2,99) \cdot 0,995893 + (21,24 + 2,99) \cdot 0,993884 = 52,95 \text{ м} \end{aligned}$$

Пример 1.10. Рассчитаем съезд с крестовинами марок 1/11 и 1/9, если угол между путями $\beta = 2^\circ$ (рис. 1.10). Угол крестовины первого стрелочного перевода

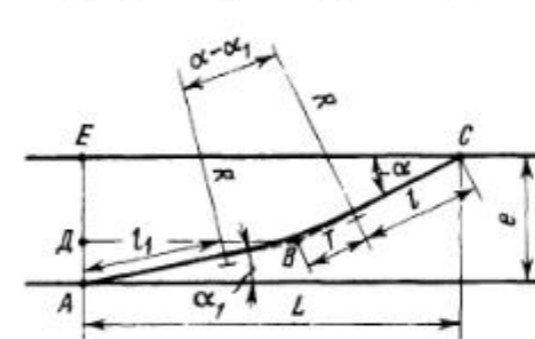


Рис. 1.9. Обыкновенный съезд с крестовинами разных марок между прямыми параллельными путями

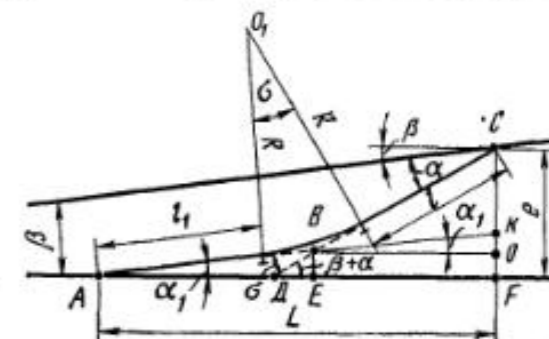


Рис. 1.10. Обыкновенный съезд между прямыми непараллельными путями

$\alpha_1 = 5^\circ 11' 40''$, второго $\alpha = 6^\circ 20' 25''$, радиус сопрягающей кривой $R = 200$ м, расстояние между осями путей $e = 6,50$ м, расстояние от центра первого стрелочного перевода до начала кривой $l_1 = 26$ м

Решение. Расчет заключается в определении полной длины соединения, расстояния от центра второго стрелочного перевода до начала кривой и угла σ . Из треугольников BCK и $BKO \angle OBC = \angle OBK + \angle KBC$, но $\angle OBK = \alpha_1$, а $\angle KBC = \sigma$. Значит,

$$\sigma = (\beta + \alpha) - \alpha_1 = 2^\circ + 6^\circ 20' 25'' - 5^\circ 11' 40'' = 3^\circ 08' 45'';$$

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\sigma}{2} = R \operatorname{tg} 1^\circ 34' 22'' = 200 \cdot 0,027457 = 5,49 \text{ м.}$$

Проектируя контур ABC на вертикальную ось, получим:

(треугольник ABE) $BE = AB \sin \alpha_1 = (l_1 + T) \sin \alpha_1$;
 (треугольник DBE) $DB = BE / \sin (\beta + \alpha) = (l_1 + T) \sin \alpha_1 / \sin (\beta + \alpha)$;
 (треугольник DCF) $DC = DB + BC = e / \sin (\alpha + \beta)$, где $BC = T + l$.

Подставив значения DB и BC , получим

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

откуда

$$l = e / \sin (\beta + \alpha) - T - (l_1 + T) \sin \alpha_1 / \sin (\beta + \alpha) = 6,50 / 0,145052 - 5,49 - (26 + 5,49) \cdot 0,090536 / 0,145052 = 19,65 \text{ м.}$$

Проектируя контур ABC на горизонтальную ось, получим

$$L = (l_1 + T) \cos \alpha_1 + (l + T) \cos (\beta + \alpha). \text{ Тогда}$$

при $\beta + \alpha = 8^\circ 20' 25''$

$$L = (26 + 5,49) \cdot 0,995893 + (19,65 + 5,49) \cdot 0,989425 = 56,23 \text{ м.}$$

1.3. СТРЕЛОЧНЫЕ УЛИЦЫ

Пример 1.11. Рассчитаем простейшую стрелочную улицу под углом крестовины (рис 1.11) на путях отстоя пассажирских вагонов. Стрелочные переводы марки 1/9 ($a = 15,42$ м, $b = 15,64$ м), радиус сопрягающей кривой $R = 200$ м, расстояние между осями путей $e = 5,30$ м

Решение. Для разбивки стрелочной улицы на местности необходимо определить l, l_1, T , координаты центров переводов и вершины угла поворота (точки B), проверить, хватит ли расчетной вставки f для разгонки уширения колеи ($f \leq p$) при $p = 8$ м.

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,08 \text{ м,}$$

$$K = 0,017453 R \alpha^2 = 0,017453 \cdot 200 \cdot 6,33 = 22,09 \text{ м;}$$

$$f = e / \sin \alpha - (b + T) = 5,30 / 0,110433 - (15,64 + 11,08) = 21,27 \text{ м} > 8,0 \text{ м.}$$

Длина соединительной прямой от хвоста крестовины до стыка рамного рельса следующего перевода

$$d_1 = e / \sin \alpha - L_{II} = 5,30 / 0,110433 - (15,42 + 15,64) = 16,93 \text{ м.}$$

Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$l = e / \sin \alpha = 5,30 / 0,110433 = 47,99 \text{ м.}$$

Проекция этого расстояния

$$l_1 = e / \operatorname{tg} \alpha = eN = 5,30 \cdot 9 = 47,70 \text{ м.}$$

Длина стрелочной улицы (проекция на горизонтальную ось) от центра первого перевода до вершины угла поворота крайнего пути

$$L_1 = \sum e / \operatorname{tg} \alpha = \sum eN = 4 \cdot 5,30 \cdot 9 = 190,80 \text{ м.}$$

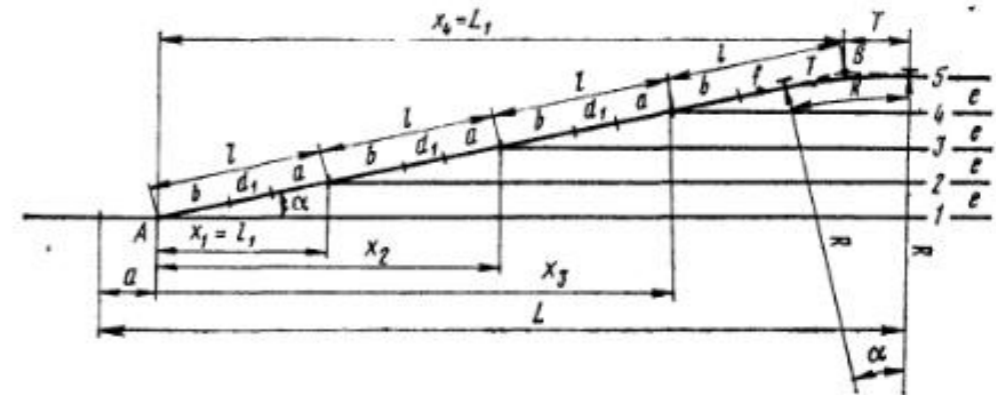


Рис. 1.11 Простейшая стрелочная улица под углом крестовины

Полная длина (проекция) $L = a + L_1 + T = 15,42 + 190,80 + 11,08 = 217,30$ м

Приняв центр первого перевода за начало координат и проектируя на горизонтальную и вертикальную оси известные расстояния с учетом угла наклона, находим координаты центров переводов и вершин угла поворота:

$$\begin{aligned} x_1 &= l_1 = e / \operatorname{tg} \alpha = eN = 47,70 \text{ м; } y_1 = e = 5,30 \text{ м; } \\ x_2 &= x_1 + eN = 2eN = 95,40 \text{ м; } y_2 = 2e = 10,60 \text{ м, } \\ x_3 &= x_2 + eN = 3eN = 143,10 \text{ м, } y_3 = 3e = 15,90 \text{ м, } \\ x_4 &= x_3 + eN = L_1 = 190,80 \text{ м, } y_4 = 4e = 21,20 \text{ м.} \end{aligned}$$

Пример 1.12. Рассчитаем простейшую стрелочную улицу на основном пути парка отстоя локомотивов в резерве (рис 1.12) тип рельсов Р38, марка стрелочных переводов 1/9, радиус сопрягающей кривой пути $2 R_2 = 200$ м, $a = 12,83$, $b = 15,41$, $e = 5,30$ м

Решение. Расчет аналогичен примеру 1.11. Радиус сопрягающей кривой каждого последующего пути возрастает по сравнению с радиусом предыдущего на величину междупутья, т. е.

$$R_3 = R_2 + e, \quad R_4 = R_2 + 2e, \quad R_5 = R_2 + 3e$$

Тогда $T_2 = R_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,08 \text{ м,}$

$$T_3 = R_3 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = (200 + 5,30) \cdot 0,055386 = 11,37 \text{ м;}$$

$$T_4 = R_4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = (200 + 10,60) \cdot 0,055386 = 11,66 \text{ м;}$$

$$T_5 = R_5 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = (200 + 15,90) \cdot 0,055386 = 11,96 \text{ м;}$$

$$K_2 = 0,017453 R_2 \alpha^2 = 0,017453 \cdot 200 \cdot 6,33 = 22,09 \text{ м,}$$

$$K_3 = 0,017453 R_3 \alpha^2 = 0,017453 \cdot 205,30 \cdot 6,33 = 22,68 \text{ м;}$$

$$K_4 = 0,017453 R_4 \alpha^2 = 0,017453 \cdot 210,60 \cdot 6,33 = 23,26 \text{ м,}$$

$$K_5 = 0,017453 R_5 \alpha^2 = 0,017453 \cdot 215,90 \cdot 6,33 = 23,85 \text{ м,}$$

$$f_2 = e / \sin \alpha - (b + T_2) = 5,30 / 0,110433 - (15,41 + 11,08) = 21,50 \text{ м;}$$

$$f_3 = 2e / \sin \alpha - (b + T_3) = 2 \cdot 5,30 / 0,110433 - (15,41 + 11,37) = 69,20 \text{ м;}$$

$$f_4 = 3e / \sin \alpha - (b + T_4) = 3 \cdot 5,30 / 0,110433 - (15,41 + 11,66) = 116,90 \text{ м;}$$

$$f_5 = 4e / \sin \alpha - (b + T_5) = 4 \cdot 5,30 / 0,110433 - (15,41 + 11,96) = 74,60 \text{ м.}$$

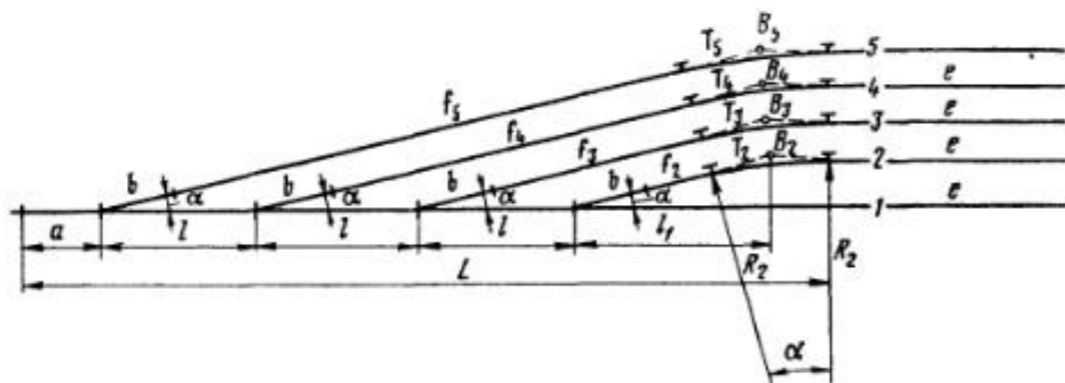


Рис 1 12 Простейшая стрелочная улица на основном пути

Расстояние между центрами стрелочных переводов

$$l = e / \sin \alpha = 5,30 / 0,110433 = 47,99 \text{ м.}$$

Координаты центров переводов и вершин углов поворота:

$$x_1 = l = e / \sin \alpha = 47,99 \text{ м, } y_1 = 0,$$

$$x_2 = 2l = 2e / \sin \alpha = 95,98 \text{ м, } y_2 = 0,$$

$$x_3 = 3l = 3e / \sin \alpha = 143,97 \text{ м, } y_3 = 0,$$

$$x_4 = x_{B2} = 3l + l_1 = 3e / \sin \alpha + e / \tan \alpha = 143,97 + 47,70 = 191,67 \text{ м;}$$

$$x_{B3} = 2l + 2e / \tan \alpha = 95,98 + 95,40 = 191,28 \text{ м;}$$

$$x_{B4} = l + 3e / \tan \alpha = 47,99 + 143,10 = 191,09 \text{ м,}$$

$$x_{B5} = 4e / \tan \alpha = 190,80 \text{ м,}$$

$$y_{B2} = e = 5,30 \text{ м, } y_{B3} = 2e = 10,60 \text{ м,}$$

$$y_{B4} = 3e = 15,90 \text{ м, } y_{B5} = 4e = 21,20 \text{ м,}$$

$$L = a + x_4 + T_2 = 12,83 + 191,67 + 11,08 = 215,58 \text{ м.}$$

Пример 1.13. Рассчитаем стрелочную улицу под тройным углом крестовины (рис 1 13) на прямо отправочных путях в нормальных условиях. Рельсы Р50, угол крестовины $\alpha = 5^\circ 11' 40''$, междупутье $e = 5,30$ м, радиусы сопрягающих кривых $R_1 = R_3 = R_4 = R_5 = 300$ м, расстояние от стыка рамного рельса до центра перевода $a = 14,43$ м, расстояние от центра перевода до торца крестовины $b = 19,10$ м, расстояние между центрами переводов 1-4 и 4-6 $l = 39,78$ м.

Решение. Расчету подлежат элементы кривых для углов поворота α , 2α и 3α , координаты центров переводов и вершин углов поворота, полная длина стре-

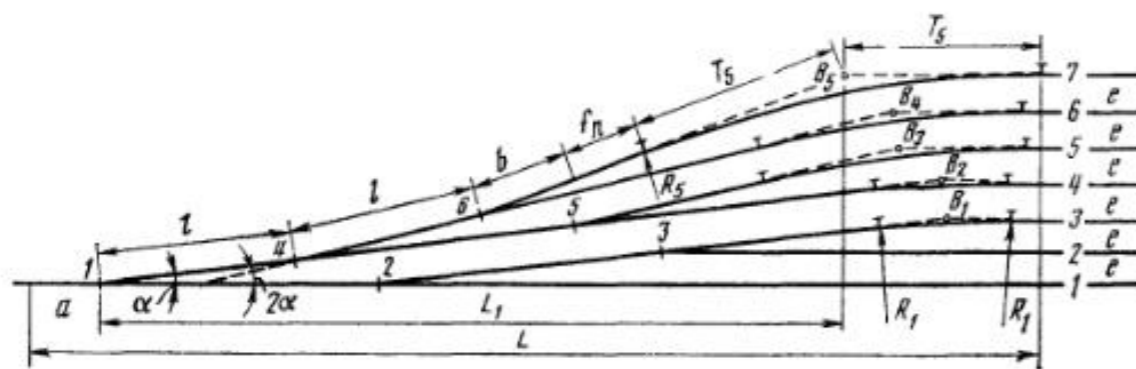


Рис 1 13 Стрелочная улица под тройным углом крестовины

лочной улицы. Так как кривые путей 3 и 4 concentричны, то $R_2 = R_1 + e = 305,30$ м. Тогда

$$T_1 = R_1 \tan \frac{\alpha}{2} = 300 \cdot 0,045361 = 13,61 \text{ м,}$$

$$T_2 = R_2 \tan \frac{\alpha}{2} = 305,30 \cdot 0,045361 = 13,85 \text{ м,}$$

$$T_3 = R_3 \tan \frac{2\alpha}{2} = 300 \cdot 0,090909 = 27,27 \text{ м,}$$

$$T_4 = R_4 \tan \frac{2\alpha}{2} = 300 \cdot 0,090909 = 27,27 \text{ м,}$$

$$T_5 = R_5 \tan \frac{3\alpha}{2} = 300 \cdot 0,136835 = 41,05 \text{ м,}$$

$$K_1 = 0,017453 R_1 \alpha^\circ = 0,017453 \cdot 300 \cdot 5,194 = 27,20 \text{ м,}$$

$$K_2 = 0,017453 R_2 \alpha^\circ = 0,017453 \cdot 305,30 \cdot 5,194 = 27,68 \text{ м,}$$

$$K_3 = 0,017453 R_3 \alpha^\circ = 0,017453 \cdot 300 \cdot 5,194 = 27,20 \text{ м,}$$

$$K_4 = 0,017453 R_4 \alpha^\circ = 0,017453 \cdot 300 \cdot 10,389 = 54,40 \text{ м,}$$

$$K_5 = 0,017453 R_5 \alpha^\circ = 0,017453 \cdot 300 \cdot 15,583 = 81,59 \text{ м}$$

Проектируя на оси координат известные расстояния с учетом углов наклона, получим координаты центров переводов и вершин углов поворота

$$x_2 = e / \sin \alpha = 5,30 / 0,090536 = 58,54 \text{ м, } y_2 = 0,$$

$$x_3 = x_2 + e / \tan \alpha = 58,54 + 5,30 / 0,090909 = 116,84 \text{ м,}$$

$$y_3 = e = 5,30 \text{ м,}$$

$$x_{B1} = x_2 + 2e / \tan \alpha = 58,54 + 10,60 / 0,090909 = 175,14 \text{ м,}$$

$$y_{B1} = 10,60 \text{ м,}$$

$$x_4 = l \cos \alpha = 39,78 \cdot 0,995893 = 39,62 \text{ м,}$$

$$y_4 = l \sin \alpha = 39,78 \cdot 0,090536 = 3,62 \text{ м,}$$

$$x_5 = x_4 + (e / \sin \alpha) \cos \alpha = 39,62 + 5,30 \cdot 0,995893 = 97,92 \text{ м;}$$

$$y_5 = (l + e / \sin \alpha) \sin \alpha = (39,78 + 5,30 / 0,090536) \cdot 0,090536 = 8,90 \text{ м,}$$

$$x_{B2} = 3e / \tan \alpha = 15,60 / 0,090909 = 174,90 \text{ м, } y_{B2} = 3e = 15,90 \text{ м,}$$

$$x_{B3} = x_5 + (4e - y_5) \tan 2\alpha = 97,92 + (21,20 - 8,90) / 0,183334 = 165,01 \text{ м,}$$

$$y_{B3} = 4e = 21,20 \text{ м,}$$

$$x_6 = x_4 + l \cos 2\alpha = 39,62 + 39,78 \cdot 0,983606 = 78,75 \text{ м,}$$

$$y_6 = y_4 + l \sin 2\alpha = 3,62 + 39,78 \cdot 0,180328 = 10,79 \text{ м,}$$

$$x_{B4} = x_6 + (5e - y_6) \tan 2\alpha = 78,75 + (26,50 - 10,79) / 0,183334 = 164,44 \text{ м,}$$

$$y_{B4} = 5e = 26,50 \text{ м,}$$

$$x_{B5} = L_1 = x_6 + (\Sigma e - y_6) \tan 3\alpha = 78,75 + (31,80 - 10,79) / 0,278891 = 154,08 \text{ м,}$$

$$y_{B5} = 6e = 31,80 \text{ м,}$$

$$L = a + L_1 + T = 14,42 + 154,08 + 41,05 = 209,55 \text{ м}$$

Вставка на крайнем пути

$$l_{\Pi} = (y_{B5} - y_6) / \sin 3\alpha - (b + T_5) =$$

$$= (31,80 - 10,79) / 0,268640 - (19,10 + 41,05) = 18,06 \text{ м}$$

Пример 1.14. Рассчитаем сокращенную стрелочную улицу под углом наклона $\beta > \alpha$ (рис 1 14). Стрелочные переводы марки 1/9, минимальное расстояние от центра перевода до начала кривой $b_1 = 24$ м, нормальное расстояние между осями путей $e = 5,30$ м, радиус сопрягающей кривой $R = 200$ м, минимальное

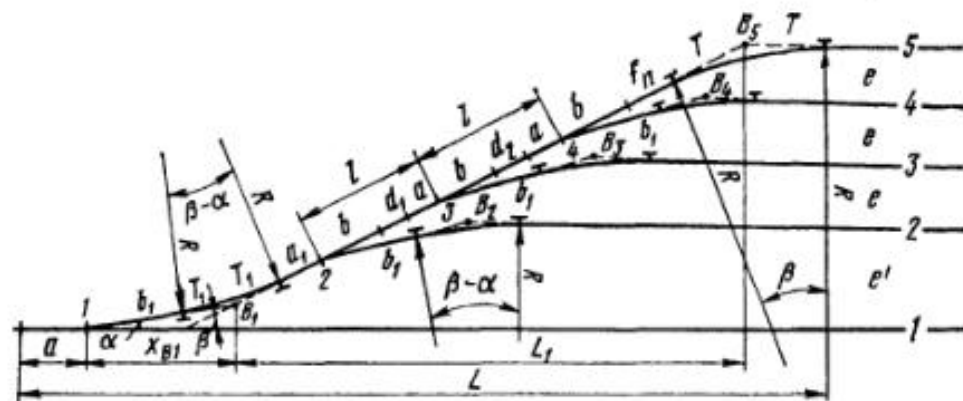


Рис. 1.14. Сокращенная стрелочная улица

расстояние между центрами переводов на прямом участке пути $l = 35,56$ м. Длина прямого участка для разгонки уширения в кривой $p = 8$ м.

Решение. Расстояние между центрами стрелочных переводов по стрелочной улице $l = b + d + a = e/\sin \beta$. Отсюда $\sin \beta = e/l = 5,30/35,56 = 0,149043$; $\beta = 8^\circ 34' 17''$.

Зная угол β , определяем необходимую расчетную ширину первого между-путья e' . Находим тангенсы T_1 и T для углов $\beta - \alpha$ и β :

$$T_1 = R \operatorname{tg} \frac{\beta - \alpha}{2} = 200 \cdot 0,019473 = 3,89 \text{ м,}$$

где $(\beta - \alpha)/2 = (8^\circ 34' 17'' - 6^\circ 20' 25'')/2 = 1^\circ 6' 56''$;

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 200 \cdot 0,074937 = 14,99 \text{ м, где } \beta/2 = 4^\circ 17' 8''.$$

Тогда $e' = (b_1 + T_1) \sin \alpha + (T_1 + a_1) \sin \beta + (b_1 + T_1) \sin (\beta - \alpha)$,

где $a_1 = a + p = 15,42 + 8 = 23,42$ м;

$$e' = (24 + 3,89) 0,110433 + (3,89 + 23,42) 0,149043 + (24 + 3,89) 0,03893 = 8,22 \text{ м.}$$

Координаты вершин углов поворота и центров переводов:

$$x_{B1} = (b_1 + T_1) \cos \alpha = (24 + 3,89) 0,993884 = 27,71 \text{ м;}$$

$$y_{B1} = (b_1 + T_1) \sin \alpha = (24 + 3,89) 0,110433 = 3,07 \text{ м;}$$

$$x_2 = x_{B1} + (T_1 + a_1) \cos \beta = 27,71 + (3,89 + 23,42) 0,988831 = 54,71 \text{ м;}$$

$$y_2 = y_{B1} + (T_1 + a_1) \sin \beta = 3,07 + (3,89 + 23,42) 0,149043 = 7,14 \text{ м;}$$

$$x_{B2} = x_2 + (e' - y_2)/\operatorname{tg} (\alpha - \beta) = 54,71 + (8,22 - 7,14)/0,038960 = 82,43 \text{ м,}$$

$$y_{B2} = e' = 8,22 \text{ м,}$$

$$x_3 = x_2 + (y_3 - y_2)/\operatorname{tg} \beta = 54,71 + (12,43 - 7,14)/0,150725 = 89,80 \text{ м;}$$

$$y_3 = y_2 + l \sin \beta = 7,14 + 35,56 \cdot 0,149043 = 12,43 \text{ м,}$$

$$x_{B3} = x_3 + (y_{B3} - y_3)/\operatorname{tg} (\alpha - \beta) = 89,80 + (13,52 - 12,43)/0,038960 = 117,78 \text{ м;}$$

$$y_{B3} = e' + e = 8,22 + 5,30 = 13,52 \text{ м,}$$

$$x_4 = x_3 + (y_4 - y_3)/\operatorname{tg} \beta = 89,80 + (17,73 - 12,43)/0,150725 = 124,96 \text{ м;}$$

$$y_4 = y_3 + l \sin \beta = 12,43 + 35,56 \cdot 0,149043 = 17,73 \text{ м;}$$

$$x_{B4} = x_4 + (y_{B4} - y_4)/\operatorname{tg} (\beta - \alpha) = 124,96 + (18,82 - 17,73)/0,038960 = 152,94 \text{ м;}$$

$$y_{B4} = e' + 2e = 8,22 + 2 \cdot 5,30 = 18,82 \text{ м;}$$

$$x_{B5} = x_{B1} + (\sum e - y_{B1})/\operatorname{tg} \beta = 27,71 + (24,12 - 3,07)/0,150725 = 167,37 \text{ м;}$$

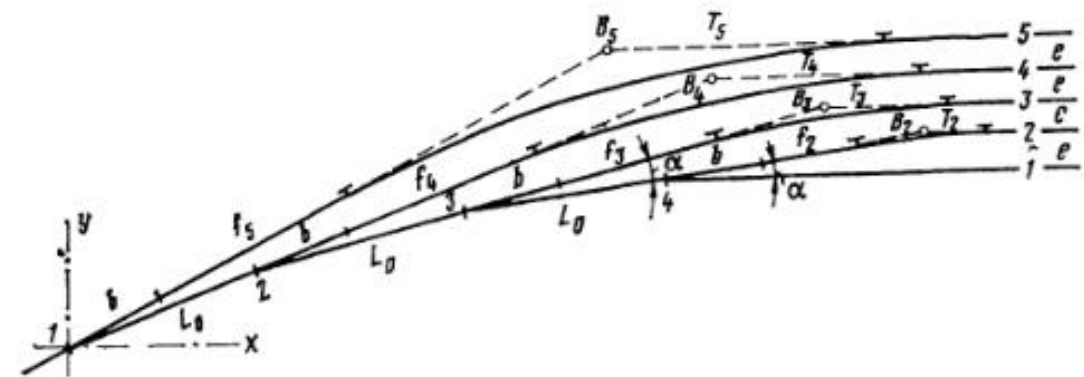


Рис. 1.15. Верная стрелочная улица

$$y_{B5} = \sum e = e' + 3e = 8,22 + 3 \cdot 5,30 = 24,12 \text{ м.}$$

Проверяем длину вставки f_{II} на крайнем пути:

$$f_{II} = (\sum e - y_2)/\sin \beta - (\sum l + b + T) \geq p;$$

$$f_{II} = (24,12 - 7,14)/0,149043 - (2 \cdot 35,56 + 15,64 + 14,99) = 12,18 > 8;$$

$$L_1 = [\sum e - (b_1 + T_1) \sin \alpha]/\operatorname{tg} \beta = [24,12 - (24 + 3,89) 0,110433]/0,150725 = 139,66 \text{ м;}$$

$$L = a + x_{B1} + L_1 + T = 15,42 + 27,71 + 139,66 + 14,99 = 197,78 \text{ м.}$$

Пример 1.15. По исходным данным примера 1.11 рассчитаем верную стрелочную улицу (рис. 1.15) на территории локомотивного хозяйства. Расстояние между центрами стрелочных переводов (прямая вставка 6,25 м) $L_0 = 37,31$ м.

Решение. Проецируя на оси X и Y элементы стрелочной улицы, рассчитываем координаты центров переводов и вершин углов поворота и определяем элементы кривых для известных углов $\alpha, 2\alpha, 3\alpha, 4\alpha$. Приняв за начало координат центр перевода I , получаем:

$$x_2 = L_0 \cos 3\alpha = 37,31 \cdot 0,945400 = 35,27 \text{ м;}$$

$$y_2 = L_0 \sin 3\alpha = 37,31 \cdot 0,325912 = 12,15 \text{ м,}$$

$$x_3 = x_2 + L_0 \cos 2\alpha = 35,27 + 37,31 \cdot 0,975609 = 71,66 \text{ м,}$$

$$y_3 = y_2 + L_0 \sin 2\alpha = 12,15 + 37,31 \cdot 0,219515 = 20,34 \text{ м;}$$

$$x_4 = x_3 + L_0 \cos \alpha = 71,66 + 37,31 \cdot 0,993884 = 108,74 \text{ м,}$$

$$y_4 = y_3 + L_0 \sin \alpha = 20,34 + 37,31 \cdot 0,110433 = 24,46 \text{ м,}$$

$$x_{B2} = x_4 + e/\operatorname{tg} \alpha = 108,74 + 47,70 = 156,44 \text{ м,}$$

$$y_{B2} = y_4 + e = 24,46 + 5,30 = 29,76 \text{ м,}$$

$$x_{B3} = x_3 + [2e + (y_4 - y_3)]/\operatorname{tg} 2\alpha = 71,66 + [10,60 + (24,46 - 20,34)]/0,225003 = 137,08 \text{ м,}$$

$$y_{B3} = y_4 + 2e = 24,46 + 10,60 = 35,06 \text{ м,}$$

$$x_{B4} = x_2 + [3e + (y_4 - y_2)]/\operatorname{tg} 3\alpha = 35,27 + [15,90 + (24,46 - 12,15)]/0,344734 = 103,83 \text{ м,}$$

$$y_{B4} = y_4 + 3e = 24,46 + 15,90 = 40,36 \text{ м;}$$

$$x_{B5} = (4e + y_4)/\operatorname{tg} 4\alpha = (21,20 + 24,46)/0,474003 = 96,32 \text{ м;}$$

$$y_{B5} = y_4 + 4e = 24,46 + 21,10 = 45,66 \text{ м.}$$

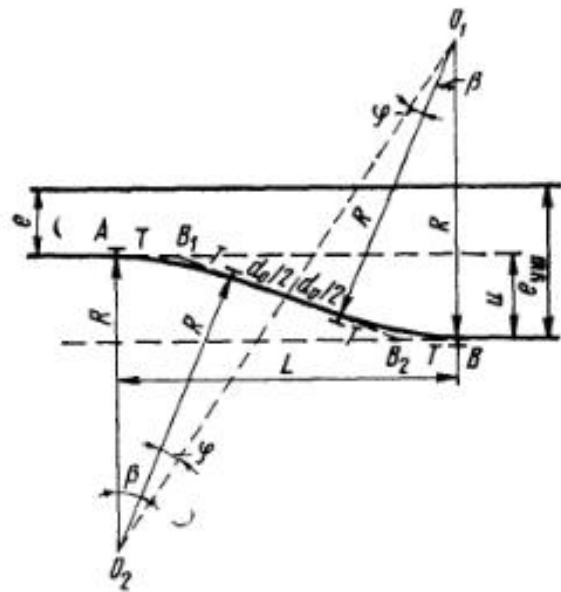


Рис. 1.16. Раздвижка путей с параллельным смещением одного из них при изменении величины междупутья

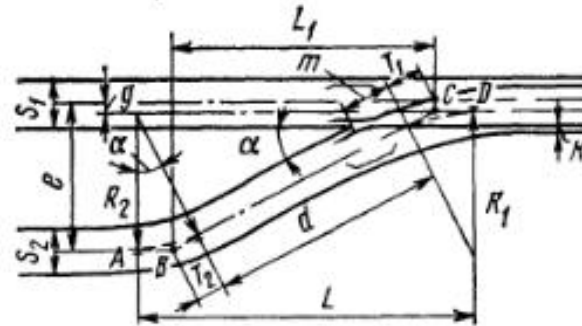


Рис. 1.17 Сплетение путей

$$(2R/\cos \varphi) \cos (\beta + \varphi) = 2R - u, \text{ т е. } \cos (\beta + \varphi) = [(2R - u)/2R] \cos \varphi;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 75/2 \cdot 3000 = 0,012500, \quad \varphi = 0^\circ 43'.$$

$$\cos (\beta + \varphi) = \left(1 - \frac{u}{2R}\right) \cos \varphi = (1 - 2,2/2 \cdot 3000) 0,999922 = 0,999555;$$

$$\beta + \varphi = 1^\circ 42' 32'', \quad \beta = 1^\circ 42' 32'' - 0^\circ 43' = 0^\circ 59' 32''.$$

Определив угол β , находим

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 3000 \cdot 0,008659 = 25,98 \text{ м},$$

$$K = 0,017453 R \beta^\circ = 0,017453 \cdot 3000 \cdot 0,992188 = 51,95 \text{ м},$$

$$L = 2T + (2T + d_0) \cos \beta = 2 \cdot 25,98 + (2 \cdot 25,98 + 75) 0,999850 = 178,90 \text{ м};$$

$$L = 2R \sin \beta + d_0 \cos \beta = 2 \cdot 3000 \cdot 0,017317 + 75 \cdot 0,999850 = 178,90 \text{ м}.$$

Пример 1.17. Рассчитаем сплетение путей (рис. 1.17) колен $S_1 = 1520$ мм и $S_2 = 1435$ мм на пограничной станции Тип рельсов Р50, угол крестовины $\alpha = 5^\circ 11' 40''$, расстояние между осями путей $e = 5,30$ м, радиусы сопрягающих кривых $R_1 = R_2 = 200$ м, расстояние между рабочими гранями сближенных рельсов $\kappa = 310$ мм, расстояние от математического центра крестовины до начала кривой $m = 2,65$ м

Решение. Сплетение путей — частный случай параллельного смещения (см. пример 1.16). Угол β в этом случае равен углу крестовины α . Расстояние между рабочими гранями сближенных рельсов κ зависит от типа рельсов и способа укладки (без подкладок или на подкладках, уложенных вплотную). Расстояние между осями смещенных путей

$$g = (S_1 - S_2)/2 + \kappa = (1520 - 1435)/2 + 310 = 352,5 \text{ мм} \approx 353 \text{ мм}$$

Проецируя на горизонтальную ось элементы контура ABC , найдем

$$L = L_1 + R_1 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + R_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = (e - g)/\operatorname{tg} \alpha + (R_1 + R_2) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \\ = (5,300 - 0,353)/0,090909 + (200 + 200) 0,045361 = 72,54 \text{ м}.$$

Проецируя линию BC на вертикальную ось, получим длину прямой вставки между обратными кривыми

$$d = (e - g)/\sin \alpha - (R_1 + R_2) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = (5,300 - 0,353)/0,090536 - \\ - (2 \cdot 200) 0,045361 = 36,49 \text{ м}.$$

Соответственно:

$$T_2 = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 200 \cdot 0,055386 = 11,08 \text{ м};$$

$$K_2 = 0,017453 R \alpha^\circ = 0,017453 \cdot 200 \cdot 6,33 = 22,09 \text{ м},$$

$$T_3 = R \operatorname{tg} \frac{2\alpha}{2} = 200 \cdot 0,111113 = 22,22 \text{ м};$$

$$K_3 = 0,017453 R 2\alpha^\circ = 0,017453 \cdot 200 \cdot 12,67 = 44,21 \text{ м};$$

$$T_4 = R \operatorname{tg} \frac{3\alpha}{2} = 200 \cdot 0,167529 = 33,50 \text{ м};$$

$$K_4 = 0,017453 R 3\alpha^\circ = 0,017453 \cdot 200 \cdot 19,02 = 66,37 \text{ м},$$

$$T_5 = R \operatorname{tg} \frac{4\alpha}{2} = 200 \cdot 0,225003 = 45,00 \text{ м},$$

$$K_5 = 0,017453 R 4\alpha^\circ = 0,017453 \cdot 200 \cdot 25,36 = 88,50 \text{ м},$$

$$f_2 = e/\sin \alpha - (b + T_2) = 5,30/0,110433 - (15,64 + 11,08) = 21,27 \text{ м},$$

$$f_3 = (y_{в3} - y_3)/\sin 2\alpha - (b + T_3) = (35,06 - 20,34)/0,219515 - \\ - (15,64 + 22,22) = 29,19,$$

$$f_4 = (y_{в4} - y_4)/\sin 3\alpha - (b + T_4) = (40,36 - 12,15)/0,325912 - \\ - (15,64 + 33,50) = 37,41 \text{ м},$$

$$f_5 = y_{в5}/\sin 4\alpha - (b + T_5) = 45,66/0,428322 - (15,64 + 45,00) = 45,96 \text{ м}.$$

1.4. РАЗДВИЖКА И СПЛЕТЕНИЕ ПУТЕЙ

Пример 1.16. Рассчитаем раздвижку путей с параллельным смещением одного из них при переходе от междупутья 5,30 м к междупутью 7,50 м (рис. 1.16) для размещения пассажирской платформы. Радиус сопрягающей кривой $R = 3000$ м. Прямая вставка между концами круговых кривых $d_0 = 75$ м. Переходные кривые не устраивают

Решение. Проецируя на вертикальную ось контур AO_2O_1B , получим

$$O_1O_2 \cos (\beta + \varphi) = 2R - u.$$

$$\text{Но } O_1O_2 = 2R/\cos \varphi; \operatorname{tg} \varphi = d_0/2R, \text{ откуда}$$

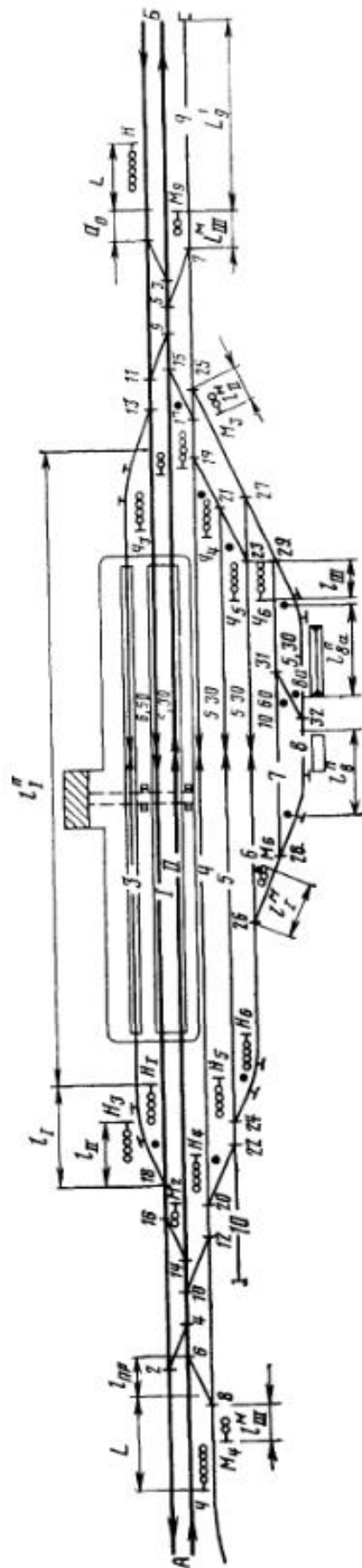


Рис 2.2 Схема промежуточной станции

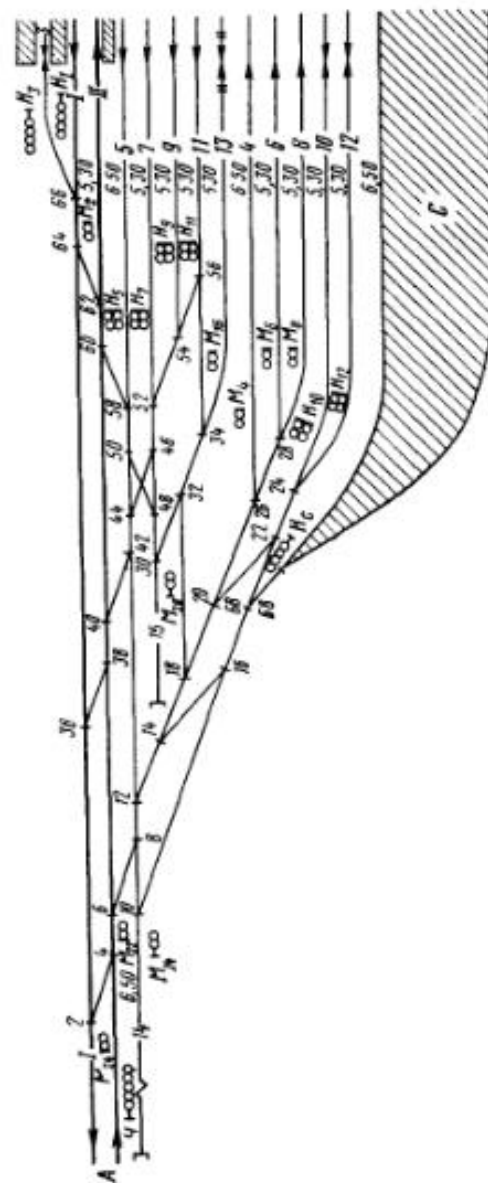


Рис 2.3 Схема Γ расстановки поездных и маневровых сигналов в горловине участковой станции

ные — арабскими, начиная с номера, следующего за номером главного пути пути, предназначенные для приема четных поездов, — четными, нечетных — нечетными. На данной промежуточной станции приемо отправочные пути с двухсторонней специализацией и пути, предназначенные для выполнения грузовых операций, нумеруют порядковыми числами вслед за главными от пассажирского здания в полевую сторону (3, 4, 5, 6, 7, 8). Порядковые номера тупиковых путей 9, 10.

Стрелочные переводы начинают нумеровать с входных стрелок станции расположенных в горловине станции со стороны прибытия четных поездов присваивают четные номера (2, 4, 6, 8 и т.д.), со стороны прибытия нечетных поездов — нечетные (1, 3, 5 и т.д.). Границей, разделяющей четную и нечетную нумерацию стрелок, служит ось станции, совпадающая, как правило, с осью пассажирского здания. Спаренные стрелки, а также стрелки, входящие в одну стрелочную улицу, обозначают последовательными четными или нечетными номерами (1—3, 5—7, 19—21—23).

Пример 2.6. Пронумеруем главные приемо отправочные пути и стрелочные переводы в четной горловине участковой станции (рис 2.3).

Решение. Главные пути для нечетных поездов — I, для четных — II. Парки станции специализированы для приема четных и нечетных грузовых поездов. Приемо отправочным путям присваиваем соответствующие четные и нечетные номера (арабские цифры) вслед за главными путями четный парк — 4, 6, 8, 10, 12, нечетный парк — 5, 7, 9, 11, 13. Порядковые номера тупиковых путей 14, 15. Стрелочным переводам в четной горловине станции присваиваем четные номера.

2.2. РАЗМЕЩЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СТОЛБИКОВ, СИГНАЛОВ И ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Пример 2.7. Определим расстояние от центров стрелочных переводов до предельных столбиков, расположенных между расходящимися в стороны прямыми путями (рис 2.4, а), путями, идущими после разветвления параллельно друг другу (рис 2.4, б), расходящимися путями, когда один из них расположен на кривой (рис 2.4, в). Марки крестовин стрелочных переводов 1/11, радиусы кривых $R = 300$ м, расстояния от оси предельного столбика до оси пути $P = 2,05$ м, от центра пере-

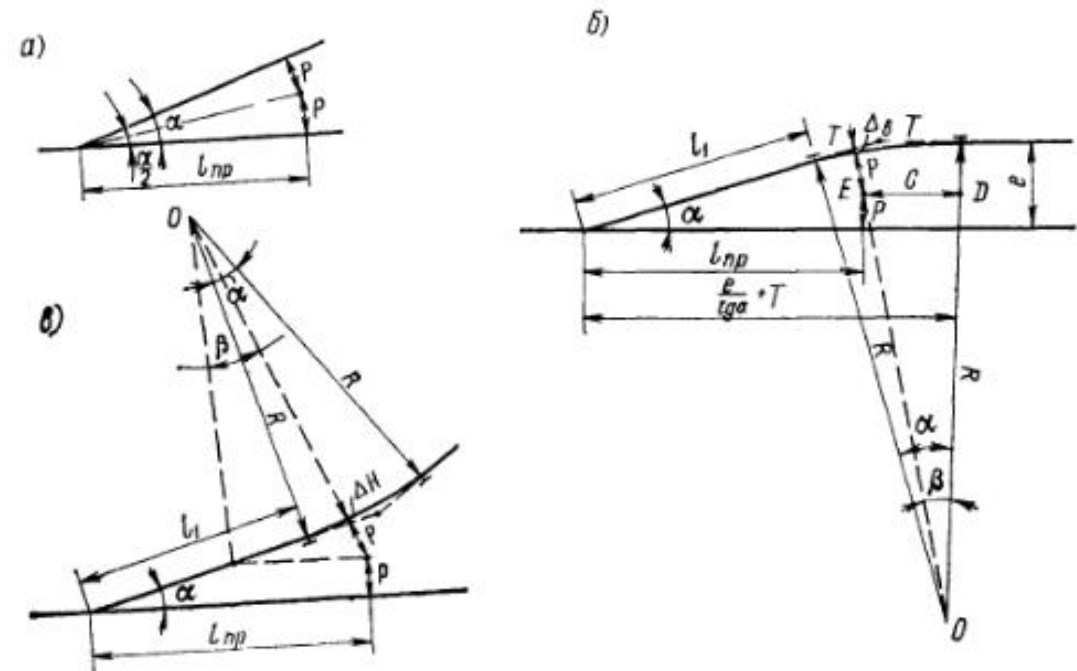


Рис. 2.4 Схемы установки предельных столбиков

вода до начала кривой $l_1 = 26$ м, ширина междупутья 5,30 м. Увеличения расстояний до сооружений, расположенных с внутренней Δ_B или наружной Δ_H стороны кривой:

Радиус кривой, м	140	160	180	200	250	300	400	500
Δ_B	0,26	0,23	0,20	0,18	0,14	0,12	0,09	0,07
Δ_H	0,26	0,23	0,20	0,18	0,14	0,12	0,09	0,07

Решение. Расстояние до предельного столбика (см. рис. 2.4, а)

$$l_{пр} = P / \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \approx 2P / \operatorname{tg} \alpha = 2P \operatorname{ctg} \alpha = 4,10 \cdot 10,99997 = 45,10 \text{ м.}$$

На рис. 2.4, б расстояние до предельного столбика зависит не только от марки крестовины стрелочного перевода, но и от радиуса кривой и ширины междупутья:

$$l_{пр} = e / \operatorname{tg} \alpha + T - C,$$

при этом

$$C = OD \operatorname{tg} \beta = (R - e + P) \operatorname{tg} \beta;$$

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 300 \cdot 0,045361 = 13,61 \text{ м.}$$

Значение угла β при $e > 2P + \Delta$ определим из равенства

$$\cos \beta = OD/OE = (R - e + P) / (R - P - \Delta_B) = (300 - 5,30 + 2,05) / (300 - 2,05 - 0,12) = 0,996374;$$

$$\beta = 4^\circ 52' 50''; \operatorname{tg} \beta = 0,085388; C = (300 - 5,30 + 2,05) \cdot 0,085388 = 25,34 \text{ м.}$$

Тогда $l_{пр} = 5,30 / 0,090909 + 13,61 - 25,34 = 46,57$ м. На рис. 2.4, в

$$l_{пр} = l_1 \cos \alpha - R \sin \alpha + (R + P + \Delta_H) \sin \beta;$$

$\sin \beta$ определим через

$$\cos \beta = (R \cos \alpha + l_1 \sin \alpha - P) / (R + P + \Delta_H) = (300 \cdot 0,995893 + 26 \cdot 0,090536 - 2,05) / (300 + 2,05 + 0,12) = 0,989746;$$

$$\beta = 8^\circ 12' 44''; \sin \beta = 0,142840.$$

Тогда

$$l_{пр} = 26 \cdot 0,995893 - 300 \cdot 0,090536 + (300 + 2,05 + 0,12) \times 0,142840 = 42,98 \text{ м.}$$

Пример 2.8. Рассчитаем расстояние $l_{пр}$ от центра стрелочного перевода до предельного столбика между кривыми путями (рис. 2.5). Угол марки крестовины $\alpha = 6^\circ 20' 25''$; радиусы сопрягающих кривых $R_B = R_H = 200$ м; $T_H = 11,08$ м; $P = 2,05$ м; $\Delta_B = \Delta_H = 0,18$ м; расстояния от центра перевода до начала кривых $l_B = l_H = 26$ м.

Решение. Искомое расстояние

$$l_{пр} = l_B + K_B = l_B + 0,017453 R_H \beta,$$

где $\beta = \gamma - \delta$.

Из треугольника

$$O_B M O_H \operatorname{tg} \gamma = A / B.$$

Так как $R_B = R_H$, то $O_B M = EF$, т. е.

$$B = (l_H + T_H) \sin \alpha = (26 + 11,08) \cdot 0,110433 = 4,09 \text{ м.}$$

Из равенства $A + l_B = (l_H + T_H) \cos \alpha + T_H$ находим:

$$A = (l_H + T_H) \cos \alpha + T_H - l_B,$$

или $A = (26 + 11,08) \cdot 0,993884 + 11,08 - 26 = 21,93$ м.

Тогда $\operatorname{tg} \gamma = 21,93 : 4,09 = 5,36186$; $\gamma = 79^\circ 26' 08''$.

По теореме косинусов $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$. В нашем примере

$$(R_H - P - \Delta_H)^2 = (R_B + P + \Delta_B)^2 + C^2 - 2(R_B + P + \Delta_B) C \cos \delta.$$

Отсюда

$$\cos \delta = \frac{(R_B + P + \Delta_B)^2 - (R_H - P - \Delta_H)^2 + C^2}{2(R_B + P + \Delta_B) C}.$$

Преобразовав это выражение для случая, когда

$$R_B = R_H = R \text{ и } \Delta_B = \Delta_H = \Delta, \text{ получим}$$

$$\cos \delta = \frac{4R(P + \Delta) + C^2}{2(R + P + \Delta)C},$$

где $C = B \sec \gamma$ (из треугольника $O_B M O_H$).

При $\sec \gamma = 5,45431$ $C = 4,09 \cdot 5,45431 = 22,31$ м.

$$\text{Тогда } \cos \delta = [4 \cdot 200(2,05 + 0,18) + 497,74] / [2(200 + 2,05 + 0,18) \cdot 22,31] = 0,252866;$$

$$\delta = 75^\circ 21' 50'';$$

$$\beta = 79^\circ 26' 08'' - 75^\circ 21' 50'' = 4^\circ 04' 18'' = 4,07^\circ;$$

$$l_{пр} = 26 + 0,017453 \cdot 200 \cdot 4,07 = 40,24 \text{ м.}$$

Пример 2.9. На схеме промежуточной станции (см. рис. 2.2) определим местоположение входных, выходных и маневровых сигналов. На главных и приемо-отправочных путях (рельсы Р50) уложены стрелочные переводы марки 1/11. Радиусы кривых 300 м. Пути оборудованы рельсовыми цепями. Ширина междупутий показана на схеме станции. Погрузочно-выгрузочные пути не оборудованы рельсовыми цепями, тип рельсов Р43, стрелочные переводы марки 1/9, радиусы кривых 200 м.

Решение. Входные сигналы H и $Ч$, разрешающие поезду вход на станцию, устанавливаются с правой стороны по направлению движения. Удаление сигнала H от центра первого противоположного стрелочного перевода

$$L'_{сиг} = a_0 + L,$$

где a_0 — расстояние от начала острьяков стрелочного перевода до центра перевода ([15], табл. 16.1); $L = 50$ м при тепловозной и $L = 250 \div 300$ м при электрической тяге.

Таким образом, удаление входного сигнала H от центра перевода I марки 1/11 при тепловозной тяге

$$L'_{сиг} = 10,15 + 50 = 60,15 \text{ м.}$$

Расстояние от входного сигнала $Ч$ до центра первого пошерстного стрелочного перевода $б$ (см. рис. 2.4)

$$L''_{сиг} = l_{пр} + L,$$

где $l_{пр}$ — расстояние предельного столбика от центра стрелочного перевода (табл. 2.1).

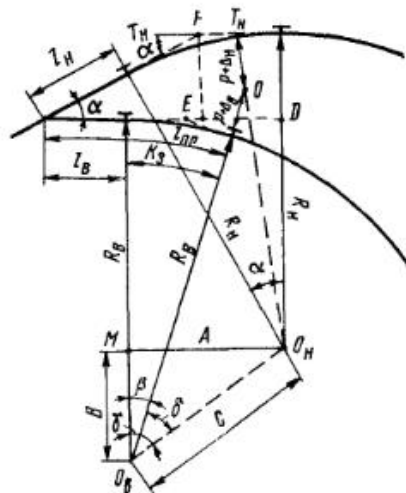


Рис. 2.5. Схема установки предельного столбика

Таблица 2.1

Расстояние от центра стрелочного перевода до предельного столбика на путях, оборудованных рельсовыми цепями, м

Междупутье, м	Марка крестовины и радиус, м, закрестовинной кривой					
	1/9		1/11		1/18	1/22
	R=200	R=300	R=300	R=400	R=1000	R=1500
4,8—5,0	43,36	43,36	53,06	53,06	78,40	97,61
5,3	43,36	43,36	46,81	46,81	78,40	97,61
6,0	43,36	43,36	46,81	46,81	78,40	91,36
6,5	37,10	43,36	46,81	46,81	78,40	91,36

Расстояние от центра стрелочного перевода 6 марки 1/11 до входного сигнала Ч при тепловозной тяге

$$L_{\text{сиг}}^{\text{т}} = 46,81 + 50 = 96,81 \text{ м.}$$

Специализация приемо-отправочных путей на промежуточных станциях с продольным и полупродольным их расположением, как правило, односторонняя, на станциях с поперечным расположением — двусторонняя. Светофоры, разрешающие отправление поездов с путей станции, устанавливаются с правой стороны по направлению движения. Учитывая специализацию путей данной станции (см. рис. 2.2), необходимо обеспечить отправление поездов с пути 1 в нечетном направлении А, с пути II — в четном направлении Б, а с путей 3, 4, 5, 6 — в обоих направлениях. Для этого у путей 1, II устанавливаются по одному выходному сигналу (H_I , $Ч_{II}$), а у путей 3, 4, 5, 6 — по два, один из которых позволяет отправлять поезда в направлении А (H_3 , H_4 , H_5 , H_6), другой — в направлении Б ($Ч_3$, $Ч_4$, $Ч_5$, $Ч_6$).

Возможны три варианта установки выходных светофоров.

1. Выходной сигнал (H_I , $Ч_{II}$, $Ч_3$, $Ч_4$, $Ч_5$, $Ч_6$, H_6) находится в одном междупутье с предельным столбиком, ограничивающим длину данного пути в этом конце. Расстояние от центра перевода до соответствующего сигнала определяем так же, как и до предельного столбика, учитывая, что минимальное расстояние между осями путей при установке в междупутье светофоров с лестницей 5,2 м, т. е. $l_I = l_C$ (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Расстояние от центра стрелочного перевода до сигнала, м

Междупутье, м	Марка крестовины и радиус закрестовинной кривой					
	1/9		1/11		1/18	1/22
	R=200	R=300	R=300	R=400	R=1000	R=1500
5,3	60	65	72	74	113	136
6,0	50	51	60	61	98	118
6,5	49	49	59	59	95	116

Расстояние от центра стрелочного перевода до маневрового сигнала, м

Таблица 2.3

Междупутье, м	Марка крестовины и радиус закрестовинной кривой					
	1/9		1/11		1/18	1/22
	R=200	R=300	R=300	R=400	R=1000	R=1500
4,8	47	47	57	57	81	99
5,3	47	47	51	51	78	95

2. Выходной сигнал (H_3 , H_4 , H_5) и предельный столбик, ограничивающий длину пути, находятся в разных междупутьях. Удаление сигнала от центра стрелочного перевода определяется положением предельного столбика

$$l_{II} = l_{\text{пр}} + 3,5,$$

где $l_{\text{пр}}$ — расстояние от центра перевода до предельного столбика;

3,5 — удаление изолирующего стыка, у которого стоит сигнал, от предельного столбика, м.

В соответствии с табл. 2.1

$$l_{II} = 46,81 + 3,5 = 50,31 \text{ м.}$$

3. Выходной сигнал ($Ч_6$) при противошерстном стрелочном переводе устанавливается в створе со стыком рамного рельса на расстоянии a от центра перевода ([15], табл. 16.2); $l_{III} = a_{1/11} = 14,48 \text{ м.}$

В качестве маневровых сигналов используют карликовые (M_2 , M_3 , M_6) или при недостаточной видимости маячковые (M_4 , M_6). Расстановка маневровых сигналов аналогична выходным.

1. Маневровый сигнал (M_2 , M_6) находится в одном междупутье с предельным столбиком. Расстояние от центра перевода до сигнала определяется минимально допустимой шириной междупутья (табл. 2.3): $l_{II}^M = l_{\text{см}}^{1/11} = 51 \text{ м.}$

2. Маневровый сигнал находится в разных междупутьях с предельным столбиком (M_3). Место его установки определяется положением последнего:

$$l_{II}^M = l_{\text{пр}} + 3,5.$$

Пользуясь табл. 2.2, для марки перевода 1/11 находим

$$l_{II}^M = 46,81 + 3,5 = 50,31 \text{ м.}$$

3. Маневровый сигнал (M_4 , M_6) устанавливается у противошерстного стрелочного перевода. Для марки перевода 1/9 ([15], табл. 16.2)

$$l_{III}^M = a_{1/9} = 15,46 \text{ м.}$$

Пример 2.10. Расставим поездные и маневровые сигналы в горловине участковой станции (см. рис. 2.3).

Решение. 1. *Поездные сигналы:* маячковые светофоры H_1 и H_3 у главного пути 1, у пассажирского пути 3 — выходные; с путей сортировочного парка отправлять поезда можно по четырехзначному маячковому светофору H_C ; с при-

1. Обусловлено тем, что у некоторых локомотивов расстояние от оси первой колесной пары до буферного бруса (навесная часть) составляет около 3,5 м.

Для путей I, II, 3, 4, 7, 8 $l_{II} = P + 2a_0$,

где P — расстояние между центрами стрелочных переводов, ведущих на путь;
 a_0 — расстояние от начала острья стрелочного перевода до центра перевода ([15], табл. 16.2).

Тогда $l_I = l_9 = 961 + 2 \cdot 10,15 = 981,30$ м;
 $l_{II} = 1160$ м + $2 \cdot 10,15 = 1180,30$ м;
 $l_4 = 1150$ м + $2 \cdot 10,15 = 1170,30$ м;
 $l_5 = 1000$ м + $2 \cdot 10,15 = 1020,30$ м;
 $l_7 = l_8 = 550 + 2 \cdot 11,13 = 572,26$ м.

Полная длина пути 6 вследствие того, что остряки ведущих на него стрелочных переводов 23 и 24 направлены в одну сторону, соответствует расстоянию между их центрами и в данном случае равна $l_6 = l_{23-24} = 938$ м.

Полезная длина станционного пути — часть его полной длины, в пределах которой может находиться подвижной состав, не создавая опасности для движения по соседним путям. В различных случаях ее ограничивают выходные и маневровые сигналы, предельные столбики, остряки стрелочных переводов, упоры. При односторонней специализации путей (I, II) полезная длина их однозначна, при двусторонней (3, 4, 5, 6) различаются значения для четного и нечетного направлений. Полезная длина пути I, предназначенного для приема и отправления нечетных поездов, — это расстояние между выходным сигналом H_I и предельным столбиком стрелки 13 в противоположном конце:

$$l_I^n = P_{13-18} - l_c^{H_I} - l_{пр} = 961 - 59 - 46,81 = 855,19 \text{ м,}$$

где $l_c^{H_I}$ — удаление сигнала H_I от центра стрелочного перевода 18 (при ширине междупутья 6,5 м $l_c = 59$ м);

$l_{пр}$ — расстояние от центра стрелочного перевода 13 до предельного столбика (см. табл. 2.1).

Полезную длину пути II находим аналогично:

$$l_{II}^n = 1160 - 55 - 46,81 = 1054,19 \text{ м.}$$

Полезная длина прямо-отправочного пути 3 для нечетного направления

$$l_{3нч}^n = P_{13-18} - l_c^{H_3} - l_{пр} = 961 - 50,31 - 46,81 = 863,88 \text{ м;}$$

для четного

$$l_{3ч}^n = P_{13-18} - l_c^{H_3} - l_{пр} = 961 - 59 - 46,81 = 855,19 \text{ м.}$$

Таблица 2.5

Расстояние от центра стрелочного перевода до предельного столбика на путях, не оборудованных электрическими рельсовыми цепями, м

Междупутье, м	Марка крестовины и радиус закрестовинной кривой			
	1/9		1/11	
	R=200	R=300	R=300	R=400
4,5	43	45	51	52
4,8	40	42	48	49
5,0	40	41	48	48
5,3	39	39	47	47
6,0	38	39	46	46
6,5	37	38	46	46

Аналогично

$$l_{4нч}^n = P_{19-20} - l_c^{H_4} - l_{пр} = 1150 - 50,31 - 46,81 = 1052,88 \text{ м;}$$

$$l_{4ч}^n = P_{19-20} - l_c^{H_4} - l_{пр} = 1150 - 72 - 46,81 = 1031,19 \text{ м;}$$

$$l_{5нч}^n = P_{21-24} - l_c^{H_5} - l_{пр} = 1000 - 50,31 - 46,81 = 902,88 \text{ м;}$$

$$l_{5ч}^n = P_{21-24} - l_c^{H_5} - l_{пр} = 1000 - 72 - 46,81 = 881,19 \text{ м.}$$

Полезная длина пути 6 для нечетного направления ограничена выходным сигналом H_6 и концом острья стрелочного перевода 23:

$$l_{6нч}^n = P_{23-24} - l_c^{H_6} - a_0 = 938 - 72 - 10,15 = 855,85 \text{ м;}$$

для четного направления

$$l_{6ч}^n = P_{23-24} - l_c^{H_6} - l_{пр} = 938 - 14,48 - 46,81 = 876,71 \text{ м.}$$

Полезная длина тупикового пути 9 — расстояние между маневровым сигналом M_9 и упором (расчет l_9^m см. в примере 2.9)

$$l_9^n = P_{19-упор} - l_9^m = 570 - 15,46 = 554,54 \text{ м;}$$

погрузочно-выгрузочного пути 8 и выставочного 7, не оборудованных маневровыми сигналами, ограничена предельными столбиками стрелочных переводов 28 и 29:

$$l_{7,8}^n = P_{28-29} - 2l_{пр} = 550 - 2 \cdot 39 = 472 \text{ м,}$$

где P_{28-29} — расстояние между центрами стрелочных переводов 28 и 29;

$l_{пр}$ — расстояние от центра стрелочного перевода до предельного столбика (табл. 2.5). При междупутье 5,3 м $l_{пр} = 39$ м.

3. КОНСТРУКЦИИ ГОРЛОВИН

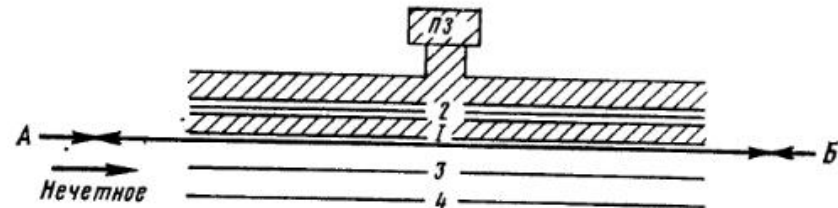


Рис. 3.1. Схема взаимного расположения прямо-отправочных путей и пассажирских устройств на промежуточной станции

3.1. ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ И УЧАСТКОВЫЕ СТАНЦИИ

Пример 3.1. Разработаем конструкцию горловины для промежуточной станции поперечного типа на однопутной линии. Топографические условия нормальные. Для освоения заданных размеров движения поездов и грузовой работы на станции должны быть 3 прямо-отправочных пути, не считая главного, и грузовые устройства с лутевым развитием туликового типа (пути погрузочно-выгрузочный, выставочный и вытяжной). Грузовые устройства следует разместить со стороны, противоположной пассажирскому зданию, примкнув их лутевое развитие к нечетной горловине. Устройства для обслуживания пассажиров разместим так, как показано на рис. 3.1 (ширина низкой промежуточной пассажирской платформы 4 м).

Решение. В горловинах станции необходимо обеспечить прием (отправление) грузовых и пассажирских поездов с обоих направлений на главный и все прямо-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 (рис. 3.2):

для выполнения маневровой работы и изоляции ее от приема и отправления поездов в нечетной горловине предусматриваем вытяжной путь 8 и секционирование прямо-отправочных путей, в четной — предохранительный тупик 9;

ширину междупутий между главным 1 и прямо-отправочными путями 3 и 4 принимаем равной 5,3 м [6]. Минимальная ширина междупутья между путями 1 и 2 определяется конструкцией промежуточной пассажирской платформы (см. пример 2.2). Принимаем его равным 7,5 м. Расстояние между осями главного 1 и вытяжного 8 (продолжении прямо-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 прямо-отправочного пути нецелесообразно, так как это увеличит строительные затраты.) Расстояние между осями прямо-отправочного 4 и выставочного 5 путей принимаем равным 15,9 м. Это позволит в перспективе дополнительно уложить здесь два прямо-отправочных пути с нормальной шириной междупутий;

все прямо-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 горловины:

в четной горловине, соблюдая принцип правопутности (первая входная стрелка отклоняется вправо), первым укладываем стрелочный перевод 2 (рис. 3.2, а). От него по схеме V [6] взаимного расположения стрелочных пере-

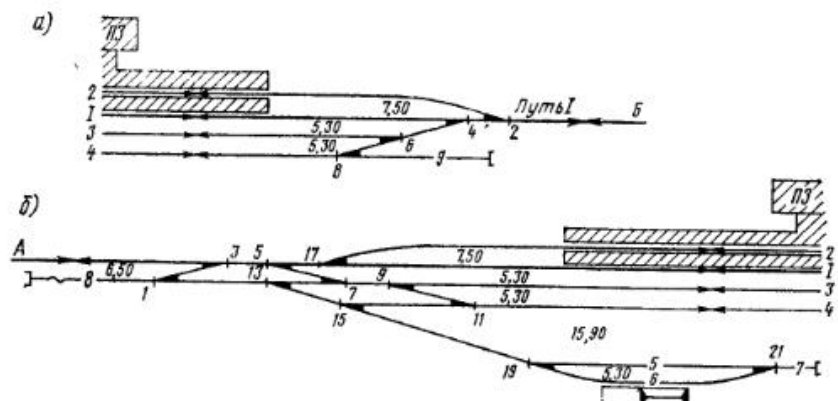


Рис. 3.2. Пример конструкции горловины промежуточной станции; а — четной; б — нечетной

водов¹ 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 укладываем съезд 9—11 (рис. 3.2, 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 1. От стрелочного перевода 5 по схеме V находим центр стрелочного перевода 17, который соединит путь 2 с главным 1, и по схеме II в сторону перегона размещаем съезд 1—3 для выхода с прямо-отправочного пути 2 на вытяжной 8. После стрелочного перевода 7 по схеме III 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 подаче (уборке) с путей 3 и 4 к грузовым устройствам. Центр стрелочного перевода 19 находим на пересечении оси пути 5 и ответвления стрелочного перевода 13. Чтобы уменьшить строительные затраты, это соединение целесообразно выполнить сокращенным (см. пример 1.6). Место укладки стрелочного перевода 21 (в каждом конкретном случае) определяется размерами грузовых устройств. Место расположения стрелочного перевода 15 находим на пересечении продолжения прямо-отправочного пути 4 и соединительного пути к грузовым устройствам. Соединение 11—15 обеспечивает изоляцию маневровой работы со сборными поездами, принимаемыми на путь 4, от маршрутов приема и отправления поездов на пути 1—3.

¹ Далее в тексте выражение «I (II, III, IV, V) схема взаимного расположения стрелочных переводов» заменим выражением «схема I (II, III, IV, V)».

водом 30 по схеме I укладываем стрелочный перевод 36, соединив, таким образом, ходовой путь 10 с путями, ведущими в локомотивное хозяйство. 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 V от стрелочного перевода 32 укладываем стрелочный перевод 58, продолжение ответвления которого соединяем с приемо-отправочным путем 5. К нему же стрелочным переводом 60 подключаем вытяжную путь 12. По схеме II от стрелочного перевода 60 укладываем стрелочный перевод 64 и от него стрелочную улицу парка ПО-1 (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-1 предусматриваем соединение 70—62. Парк ПО-1 с перегонем связываем укладкой за стрелочным переводом 58 съездов 16—14, 12—10, которые также обеспечивают выход на перегон из сортировочного парка. Возможно и другое решение: прямую связь СП с перегонем можно обеспечить укладкой съездов после стрелочного перевода 62. Однако это увеличит длину горловины и число стрелочных переводов. Парк ПО-11 соединяем 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-1.

Грузовой двор соединяем с путем 12 стрелочным переводом 22 по схеме V относительно стрелочного перевода 20. Пути отстоя составов пригородных и местных поездов, заканчивающих движение на станции, рекомендуется по возможности проектировать в том районе, где расположены устройства вагонного и локомотивного хозяйства. В соответствии с этим пути ПСПС подключаем к путям, предназначенным для пассажирского движения, с помощью съезда 52—54 и стрелочного перевода 56. Пути стоянки пожарного и восстановительного поездов размещаем вблизи локомотивного хозяйства, обеспечивая выход с них на главный путь I в обоих направлениях (в четном — по стрелочным переводам 108, 8, 6, в нечетном — 109, 4, 2). Объединенную базу ПЧ, ШЧ и других хозяйств также примыкаем к вытяжному пути 12, предусматривая прямую связь 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 1, 2; подача или уборка локомотивов от пассажирских поездов с путей 1 и 2 в локомотивное хозяйство; прием грузовых поездов в ПО-11; подача или уборка локомотивов от поездов, прибывающих в ПО-11, по ходовому пути 10;

отправление поездов из ПО-1 на Б; уборка или подача локомотивов в ПО-1 из локомотивного хозяйства; прием или отправление поездов из СП в нечетном направлении.

Число параллельных операций определяется числом 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-1 в локомотивное хозяйство и маневровая работа на вытяжном пути 12.

Нечетная горловина

Особенность данной горловины — тупик для подачи и уборки локомотивов от четных поездов. Кроме того, здесь можно проектировать сортировочные устройства 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 (рис. 3.5). Затем на продолжении приемо-отправочного пути 4 устраиваем вытяжную путь 11, предусмотрев расстояние между ним и главным не менее 6,5 м. На продолжении пути 6 укладываем локомотивный тупик 13. От его упора на расстоянии полезной длины, которую принимают равной длине не менее двух поездных локомотивов плюс a (см, рис.

1), наносим центр стрелочного перевода 15, которым соединяем тупик 13 и ходовой путь 10. От стрелочного перевода 15 по схеме III укладываем съезд 13—11 и за ним стрелочный перевод 27 на путь 8. По схеме V от стрелочного перевода 27 устраиваем съезд 23—25, которым соединяем путь 4 с локомотивным тупиком. После стрелочного перевода 11 по схеме I укладываем съезд 9—7, предусматривая выход из парка ПО-11 на перегон. Центр стрелочного перевода 5 определяем 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 подключаем пути 3, 5, 7. От центра перевода 5 по схеме V укладываем стрелочный перевод 29, а к его ответвлению подсоединяем пути сортировочного парка. От стрелочного перевода 29 по схеме III укладываем стрелочный перевод 31, а за ним стрелочную улицу парка ПО-1. Чтобы повысить маневренность станции и сократить враждебные передвижения при уборке (подаче) поездных локомотивов из ПО-1 в СП, ходовой путь 10 подключаем к стрелочной улице парка стрелочным переводом 33. От стрелочного перевода 5 по схеме I предусматриваем съезд 3—1 для приема поездов в парк ПО-1 и СП. От центра стрелочного перевода 3 по схеме III наносим центр перевода 39 и за ним соединение 39—41, чтобы можно было одновременно принимать поезда и выполнять маневровую работу на вытяжном пути 11. Междупутье между соединениями 5—29 и 39—41 позволяет устроить здесь сортировочные устройства малой мощности. Также для повышения маневренности станции — обеспечения выхода с путей 1 и 2 на вытяжной путь 11 для отцепки вагонов от пассажирских поездов — укладываем 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 1 и 2, подача или уборка поездных локомотивов с пути 10 или из парка ПО-11 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-11, прием поездов в парк ПО-1 и маневровая работа на пути 11;

отправление поездов с путей 1, 2 и из парка ПО-11, подача или уборка локомотивов из тупика 13 по пути 10, маневровая работа на вытяжном пути 11.

Пример 3.3. Разработаем конструкции горловины участковой станции полупродольного типа на двухпутной линии. Размеры движения — 42 пары грузовых поездов со сменной локомотивов. Число путей в парках: приемо-отправочном четном — 4; нечетном — 5; сортировочном — 6; число маневровых вытяжных путей — 3. Размещение локомотивного хозяйства и грузового двора принять согласно рис. 3.6.

Решение. Проектируя горловины станций на двухпутных линиях, следует соблюдать принцип двухпутности, обеспечивая одновременный прием и отправ-



Рис. 3.6. Взаимное размещение основных устройств и специализация путей на участковой станции полупродольного или продольного типа (двухпутная линия)

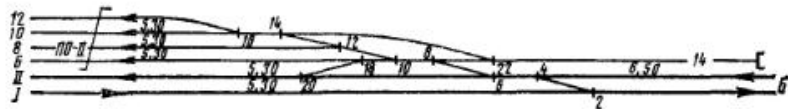


Рис. 3.7. Конструкция четной горловины на участковой станции полупродольного типа (двухпутная линия)

ление грузовых и пассажирских поездов. Технологические операции на станциях такого типа в основном те же, что и на станциях поперечного типа, лишь распределение их по горловинам различно.

Четная горловина (рис. 3.7)

Вычерчиваем главные и приемо-отправочные пути парка *ПО-11*, а также примыкающий к нему вытяжной путь *14*. Указав ширину междупутий, специализацию и нумерацию путей, укладываем горловину, начиная со съезда *6-8* и стрелочной улицы парка *ПО-11* (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* укладываем 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-11* из *Б* по неправильному пути. Съезд *18-20* размещаем так, чтобы не увеличить длину горловины. В данном случае его удобно уложить 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-11* к транзитным поездам. Число параллельных линий в данной горловине позволяет выполнять одновременно 3 операции.

Нечетная горловина (рис. 3.8)

Вычерчиваем перронный, главные, приемо-отправочные, вытяжной и сортировочные пути, указываем ширину междупутий, специализацию парков и нумерацию путей. Укладку горловины начинаем с присоединения путей парка *ПО-1* к главному 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* подключаем первую секцию с помощью съезда *11-13* и стрелочных переводов *41, 43*. По схеме *III* от стрелочного перевода *13* укладываем перевод *9*, а на его ответвлении — стрелочную улицу второй секции. По схеме *V* от стрелочного перевода *9* располагаем стрелочный перевод *45*, на ответвлении которого проектируем стрелочную улицу сортировочного парка (переводы *101, 103, 105, 107, 109, 111*). По схеме *III* от стрелочного перевода *45* укладываем съезды *7-5* и *3-1*, обеспечивая связь второй секции и сортировочного парка с перегоном. Такое взаимное расположение стрелочных улиц парков *ПО-1* и *СП*, а также соединение *15-101* позволяют изолировать маневровую работу на вытяжном пути *13*, путях *9* и *11* парка *ПО-1* от приема поездов в первую секцию. Кроме того, соединения *9-45-101* и *15-101* обеспечивают возможность сооружения сортировочного устройства малой мощности и отправления поездов своего формирования непосредственно с путей сортировочного парка. Для приема (отправления) пассажирских поездов на пути *11* и *4* укладываем съезды *21-23, 25-27, 29-31*, взаимно располагая два последних так, чтобы обеспечить (см. специализацию путей) одновременный прием на главный путь *11* и отправление с пути *4*. Место расположения определяется полезной длиной перронных путей.

Так как рассматриваемая схема станции полупродольного типа, пути стоянки пассажирских составов (*ПСПС*) разместить со стороны локомотивного и вагонного хозяйств сложно. Их целесообразно запроектировать в данной горловине. Связь *ПСПС* с путями, предназначенными для пассажирского движения, обеспечивают съезды *33-35, 37-39* и соединение *27-39*. Для перестановки составов из парка *ПО-11* на вытяжной путь *13* укладываем съезд *17-19*. Данная горловина обеспечивает выполнение четырех параллельных операций.

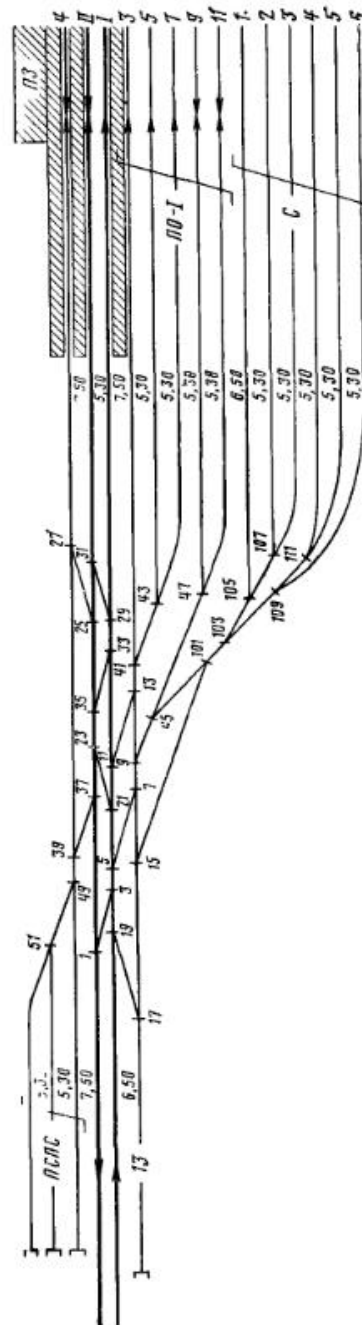


Рис. 3.8. Конструкция нечетной горловины участковой станции полупродольного типа (двухпутная линия)

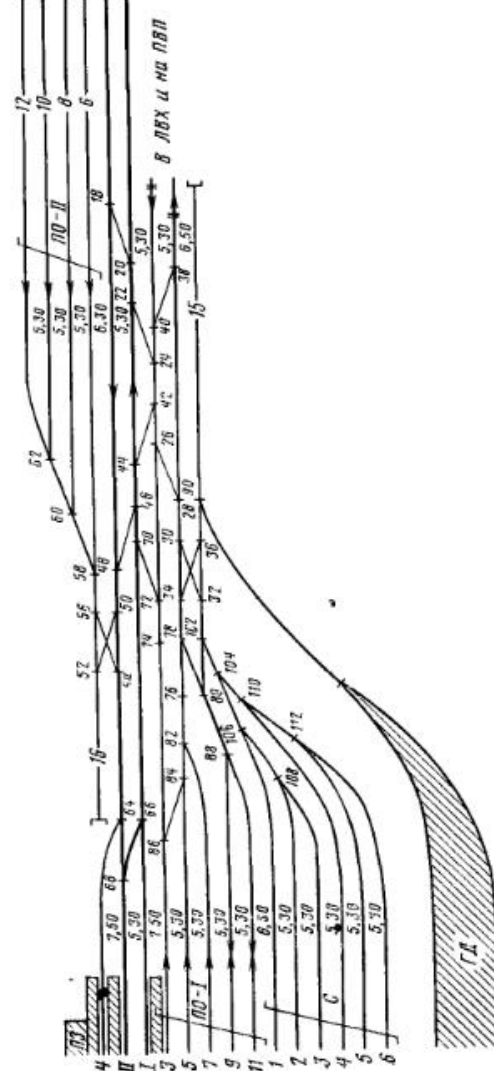


Рис. 3.9. Конструкция центральной горловины участковой станции полупродольного типа (двухпутная линия)

Центральная горловина (рис. 3.9)

Расположение приемо-отправочных парков по обе стороны от главных путей и их продольное смещение относительно друг друга накладывают особенности на конструкцию станции. В центральной горловине ее предусматриваем соединительные пути, ведущие в локомотивное хозяйство, и вытяжной путь 15 для маневровой работы с местными вагонами, а для подачи (уборки) поездных локомотивов из парка ПО—11 в ЛВХ — локомотивный тупик 16 (местимостью не менее двух локомотивов). После подготовительного этапа укладку горловины начинаем с присоединения перронного пути 4 стрелочным переводом 64 и путей парка ПО—11 к главному 11. В створе с центром стрелочного перевода 64 размещаем упор локомотивного тупика 16 — продолжения пути 6 парка ПО—11. Отложив его полезную длину плюс *a*, находим центр стрелочного перевода 52, после чего укладываем перекрестный съезд 52—50, 54—56 и стрелочную улицу парка ПО—11. По схеме III от стрелочного перевода 64 укладываем съезд 68—66 (для одновременного приема поездов на путь 4 и отправления с пути 11).

Увязываем нижнюю часть горловины. Пути 7, 9, 11 парка ПО—1 подключаем 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 укладываем перевод 102, на его ответвлении — стрелочную улицу сортировочного парка. После стрелочного перевода 102 укладываем съезды 32—30, 28—26, 24—22 и 20—18, которыми связываем пути 9 и 11 и СП с главными и соединительными в локомотивное хозяйство, и съезды 48—46, 44—42 и 40—38, соединяющие локомотивный тупик 16 с соединительными путями¹. По схеме III от стрелочного перевода 78 укладываем съезды 76—74 и 72—70, изолируя маршруты отправления поездов с путей 3, 5 и 7 от маршрутов подачи и уборки локомотивов с путей 9 и 11. По схеме V от стрелочного перевода 82 укладываем съезд 84—86 и от стрелочного перевода 78 — съезд 34—36 для связи путей 3, 5, 7 с маневровым вытяжным 15. Путевое развитие грузового двора подключаем к вытяжному пути 15 стрелочным переводом 90, укладываемым по схеме V от перевода 36. Примыкание стрелочной улицы С к вытяжному пути 15 стрелочным переводом 102 изолирует маневровую работу от отправления поездов из ПО—1.

Маршруты основных операций, предусмотренных в центральной горловине, следующие:

- прием пассажирских поездов на путь 4 по стрелочным переводам 18, 48, 50, 54, 64 и на путь 11 дополнительно через стрелочный перевод 68;
- отправление поездов с пути 1 через стрелочные переводы 66, 70, 46, 44, 22 и 20, с пути 11, кроме того, через съезд 68—66;
- отправление грузовых поездов из ПО—11 по стрелочной улице 58, 60, 62 и съезду 54—56;
- подача и уборка локомотивов из ПО—11 в локомотивное хозяйство через локомотивный тупик 16 и съезды 52—50, 48—46, 44—42 и 40—38;
- отправление грузовых поездов из ПО—1 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—1 (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 38.

Число параллельных линий в центральной горловине обеспечивает 6 параллельных операций.

Пример 3.4. Спроектируем центральную горловину участковой станции продольного типа. Размеры грузового движения (со сменой локомотивов) превы-

¹ Взаимное расположение съездов 32—30, 28—26, 24—22, 20—18, 48—46, 44—42, 40—38 уточняется при масштабной накладке плана станции, так как в рабочей схеме горловины невозможно установить смещение парков, которое определяется полезной длиной перронных путей.

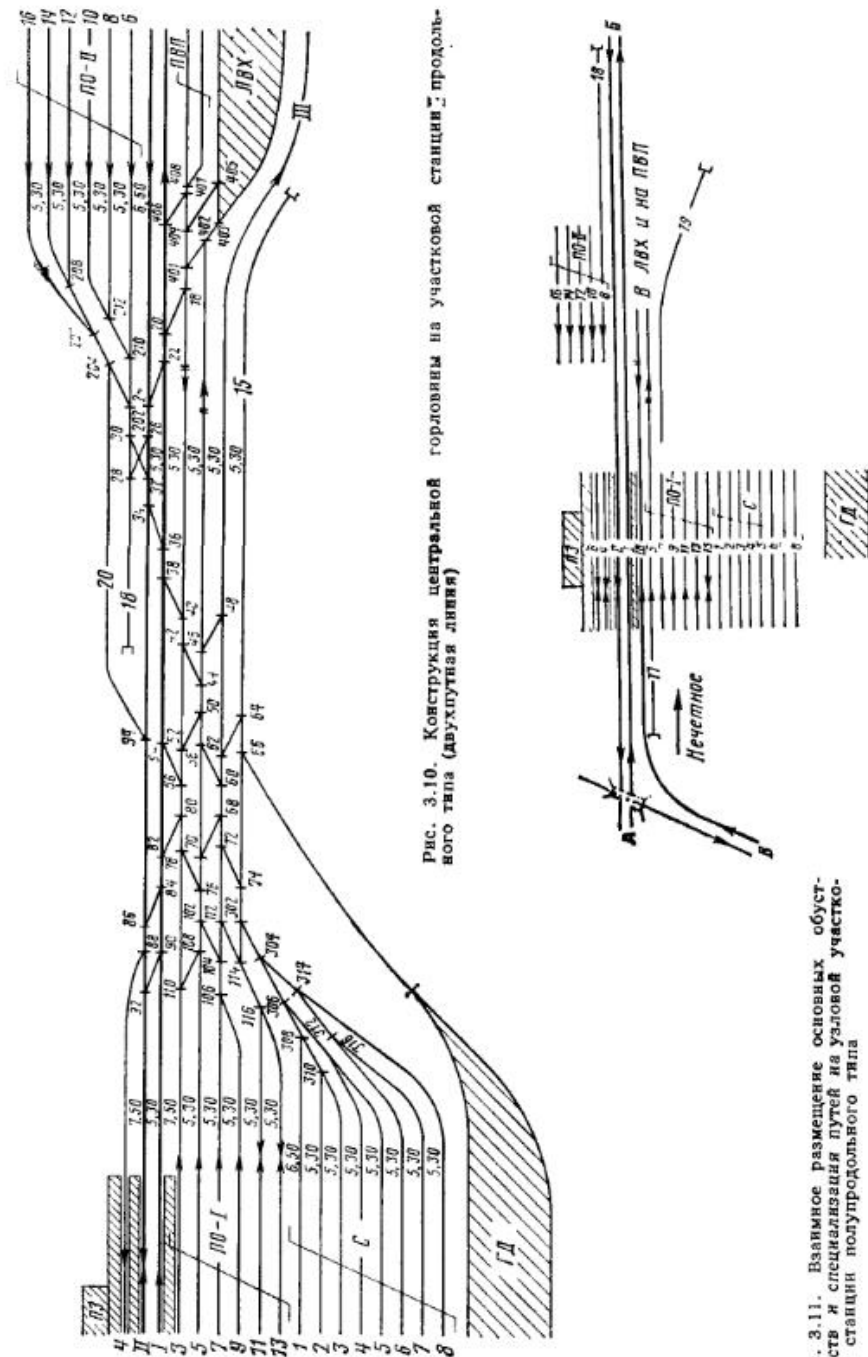


Рис. 3.10. Конструкция центральной горловины на участковой станции продольного типа (двухпутная линия)

Рис. 3.11. Взаимное размещение основных сооружений и специализация путей на узловом участке станции продольного типа

шают 60 пар поездов в сутки. Число путей в парках приемо-отправочных четном и нечетном — по 6, сортировочном — 8. Взаимное расположение локомотивного хозяйства и грузового двора принять аналогично рис. 3.6.

Решение. Центральная горловина (рис. 3.10) этой станции отличается от станции полупродольного типа таким смещением приемо-отправочного парка *ПО-11* в продольном направлении, что обеспечивается непосредственная связь его с путями парков *ПО-1* и сортировочного. Это необходимо, если рядом с *ПО-11* не проектируют сортировочных путей. 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, 38—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 хозяйства, а на станциях продольного или полупродольного типа (при смене локомотивов у всех поездов) в выходной горловине смещенного парка, кроме того, укладывать путь в обход локомотивного тупика [6], предусматриваем 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-1* и путей, предназначенных для пассажирского движения, с главным путем III и отправления поездов в обход локомотивного хозяйства.

Пример 3.5. Разработаем конструкцию нечетной горловины вновь проектируемой узловой участковой станции полупродольного типа с двумя приемо-отправочными (в четном — 5, нечетном — 6 путей) и сортировочным (8 путей) парками. Для маневровой работы требуются 3 вытяжных пути. Подходы магистральных линий, размещение локомотивного хозяйства и грузового двора принять в соответствии с рис. 3.11.

Решение. В отличие от предыдущих решений в горловине узловой участковой станции должна быть обеспечена возможность одновременного приема поездов со всех примыкающих направлений. Для этого пути приемо-отправочных парков секционизируют по линиям примыкания 5, 7, 9 объединяют для приема поездов из *A*, а 11, 13 и 15 — из *B* (рис. 3.12). Главные пути, по которым осуществляется прием поездов, соединяются, как правило, за пассажирским зданием. Для одновременного отправления поездов на *A* и *B* при больших размерах движения или загрузке горловины целесообразно укладывать дополнительный путь (штриховая линия). При меньших размерах поездопотока движение по линиям примыкания может разветвляться в выходной горловине (стрелочный перевод 1). Кроме того, в горловине предусматриваем ряд соединений, чтобы увеличить пропускную способность и маневренность станции и повысить безопасность выполнения основных операций. Конструкция нечетной горловины (см. рис. 3.12) узловой участковой станции позволяет выполнять 4 параллельных операции в различной комбинации.

3.2. СОРТИРОВОЧНЫЕ СТАНЦИИ

Пример 3.6. Разработаем конструкции горловины предгорочного парка сортировочной станции с последовательным расположением парков. Схема подходов и размещение устройств показаны на рис. 3.13.

Решение. 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 следующие параллельные операции [6]:

одновременный прием поездов с разных примыкающих к парку направлений; уборку поездных локомотивов от поездов, прибывающих с направления, противоположного направлению сортировки,

заезд горочного локомотива на часть путей за составами, подлежащими роспуску с горки.

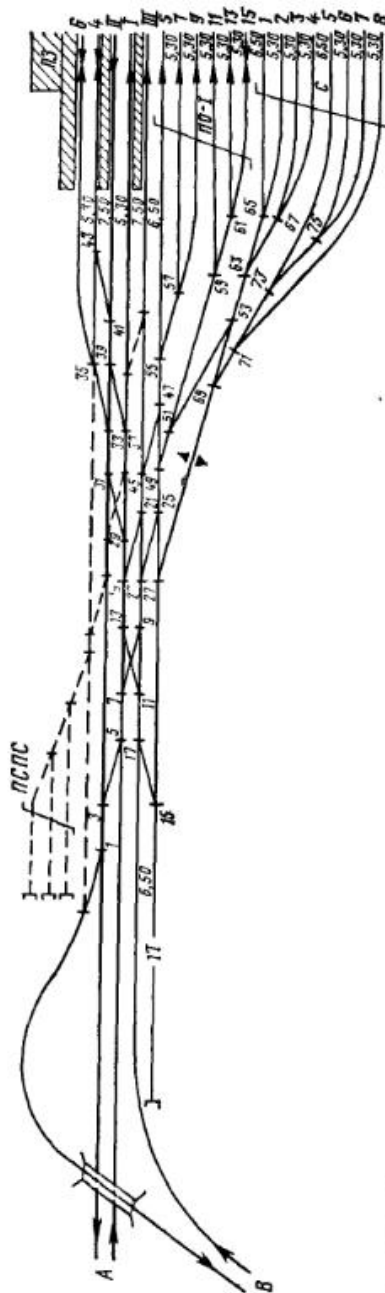


Рис. 3.12. Конструкция нечетной горловины узловой участковой станции полупродольного типа

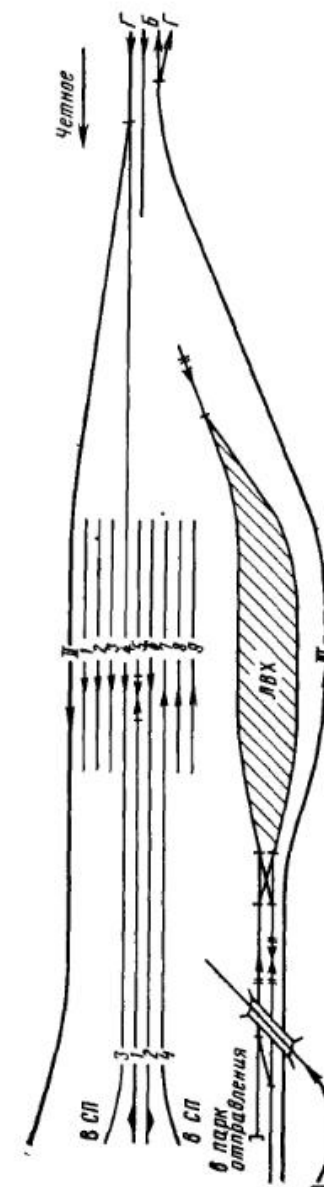


Рис. 3.13. Специализация путей предгорочного парка на сортировочной станции

Одновременный прием поездов с примыкающих направлений обеспечивается секционированием парка по линиям (рис. 3.14): пути 1 и 2 — для приема из Г; 3, 4, 6 — из Б и 7—9 — с направления А, противоположного направлению сортировки. Чтобы наряду с приемом поездов обеспечить одновременно заезд горочного локомотива за составом и уборку поездных локомотивов от поездов, прибывающих с направления А, укладываем локомотивные тупики 12 и 11: первый — на продолжении пути 5, второй — на продолжении пути 7, и к нему примыкает ходовой путь в локомотивное хозяйство через стрелочный перевод 124. В необходимых случаях ходовой путь используют для приема поездов, а горочные локомотивы пропускают 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 (рис. 3.15) предгорочного парка предусматриваем выполнение следующих параллельных операций:

- прием поездов с направления, противоположного направлению сортировки;
- заезд горочного локомотива за очередным составом;
- надвиг и роспуск составов с горки;
- уборку поездных локомотивов с части путей парка.

Предусматриваем и связь путей предгорочного парка с главным. Это повышает маневренность станций и обеспечивает взаимозаменяемость парков в сложных условиях работы.

Пример 3.7. Для станции с последовательным расположением парков спроектируем выходную горловину сортировочного парка (32 пути). Стрелочные улицы уложим переводами марки 1/9; примкнем к сортировочному парку три вытяжных пути для маневровой работы — окончания формирования поездов.

Решение. Конструкция выходной горловины сортировочного парка определяется принципиальной схемой станции, числом путей в парке, маневровых вытяжек, конструкцией стрелочных переводов, а также способом формирования поездов и подбором местных вагонов. Горловину делим на маневровые районы. Их число зависит от числа примыкающих к сортировочному парку вытяжных путей. В каждом районе с помощью стрелочных переводов пути парка объединяем в пучки (с примерно одинаковым числом 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 (рис. 3.16) 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.

Пример 3.8. Разработаем конструкцию горловин объединенного парка отправления сортировочной станции с последовательным расположением парков. Путьевое развитие, схема расположения подходов и специализация главных и станционных путей показаны на рис. 3.17.

Решение. Во входной горловине (рис. 3.18) объединенного парка отправления предусматриваем 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.

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

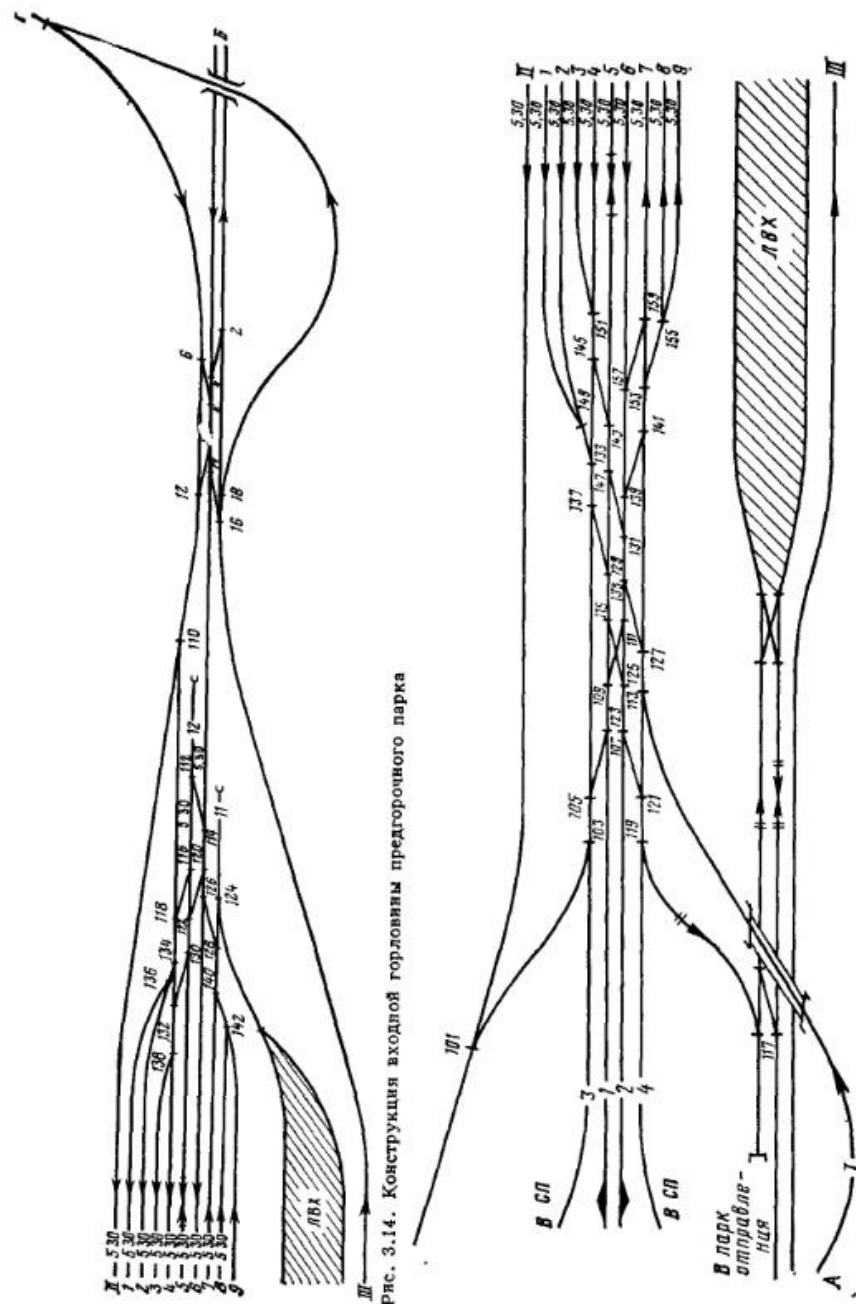


Рис. 3.14. Конструкция входной горловины предгорочного парка

Рис. 3.15. Конструкция выходной горловины предгорочного парка

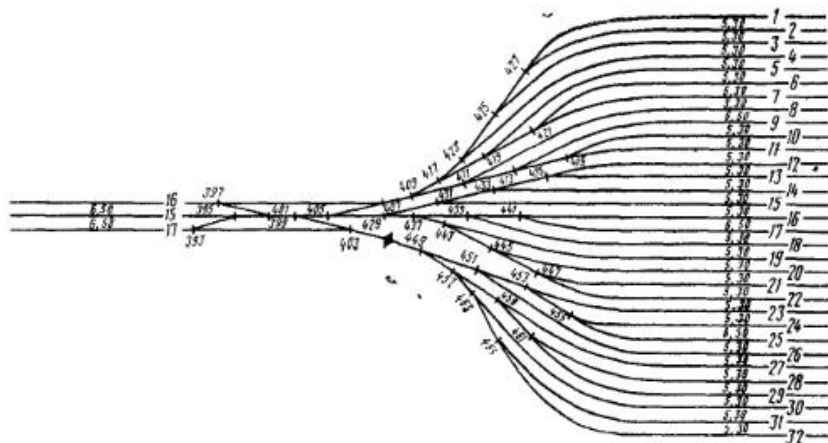


Рис. 3.16. Конструкция выходной горловины сортировочного парка

с вытяжными путями, изолируем прием и отправление поездов от вывода составов из сортировочного парка.

В горловине одновременно можно выполнять 6 операций в различной комбинации.

В выходной горловине (рис. 3.19) объединенного парка отправления обеспечиваем не менее трех параллельных операций:

- прием поездов в нечетный транзитный парк;
- отправление поездов из четного транзитного или отправочного парка;
- подачу или уборку поездных локомотивов и передвижение маневрового, 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 рис. 3.19 — 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 4 параллельные операции в различных комбинациях.

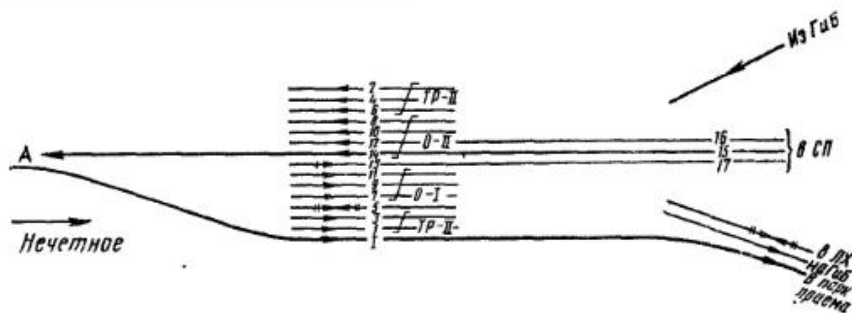


Рис. 3.17. Специализация путей объединенного парка отправления на сортировочной станции

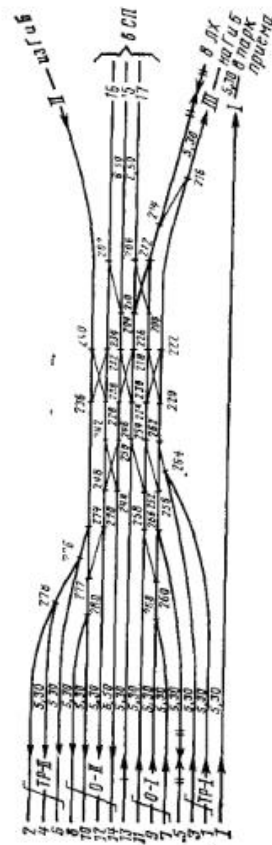


Рис. 3.18. Конструкция входной горловины объединенного парка отправления

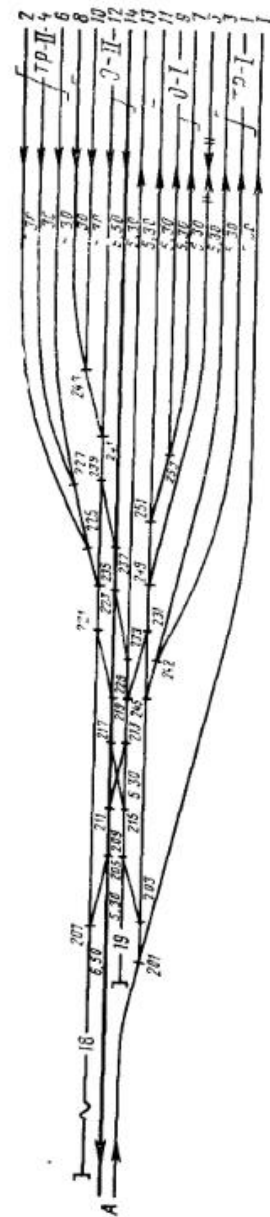


Рис. 3.19. Конструкция выходной горловины объединенного парка отправления

3.3. ПАССАЖИРСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАССАЖИРСКИЕ СТАНЦИИ

Пример 3.9. Разработаем конструкция горловин пассажирской станции сквозного типа, через которую предусмотрен пропуск грузовых поездов. Путевое развитие, специализация путей и взаимное расположение основных устройств показаны на рис. 3.20.

Решение. В горловинах пассажирских станций должно быть наименьшее число враждебных маршрутов. При этом надо обеспечить маневренность так, чтобы число параллельных операций было равно числу главных и ходовых путей. При значительных размерах движения, когда приемо-отправочных путей много, следует проектировать параллельные сортировочные улицы для всех или части путей в зависимости от их специализации или характера работы. Учитывая, что в примере технический парк и локомотивное хозяйство расположены между главными путями со стороны А, в горловинах целесообразно максимально изолировать пропуск грузовых и пассажирских транзитных поездов от выполнения операций — обслуживания пассажирских составов конечных поездов.

В четной горловине (рис. 3.21) путь 2 для пропуска грузовых поездов подключаем к главному пути 1 через стрелочные переводы 26, 22, 20/18, 16/14 и путь 10 к главному пути 11 стрелочным переводом 2. Пути 1 и 9, специализируемые для приема и отправления пассажирских транзитных и пригородных поездов, следующих по маятниковому графику, соединяем соответственно с главными путями 1 и 11 стрелочными переводами 14/16, 18/20, 22, 26 и 56/58, 60. Внутренние пути, предназначенные в основном для приема и отправления конечных пассажирских и пригородных поездов, 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 путями 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 вытяжную 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.

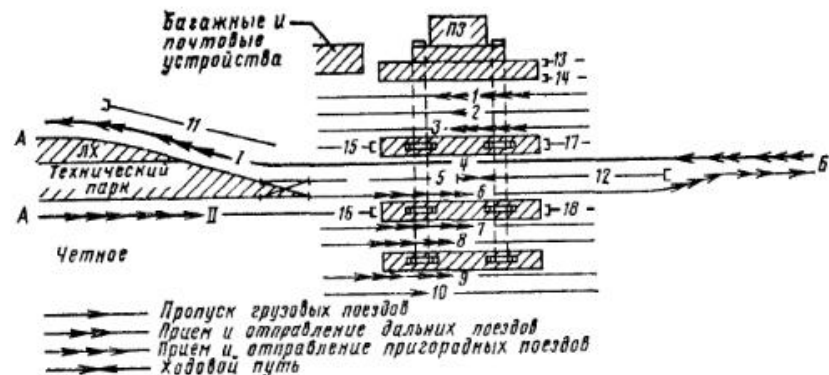


Рис. 3.20. Взаимное расположение основных устройств и специализация путей на пассажирской станции сквозного типа

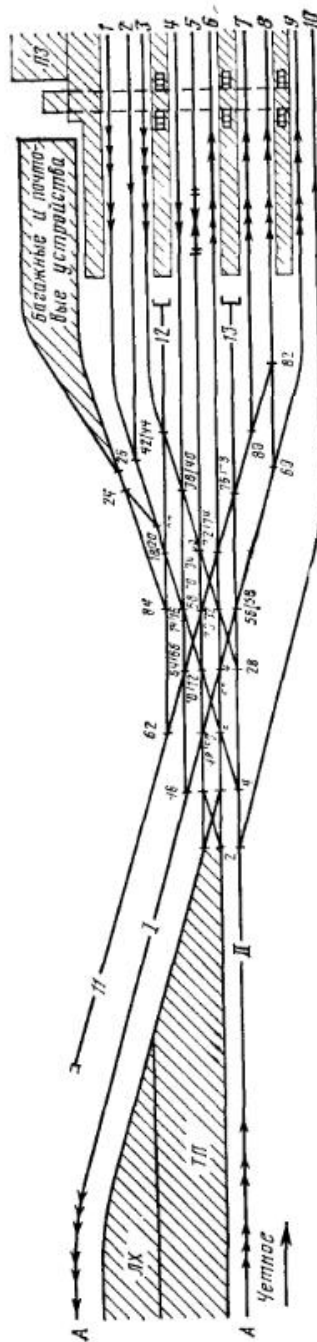


Рис. 3.21. Конструкция четной горловины пассажирской станции сквозного типа (обозначения те же, что на рис. 3.20)

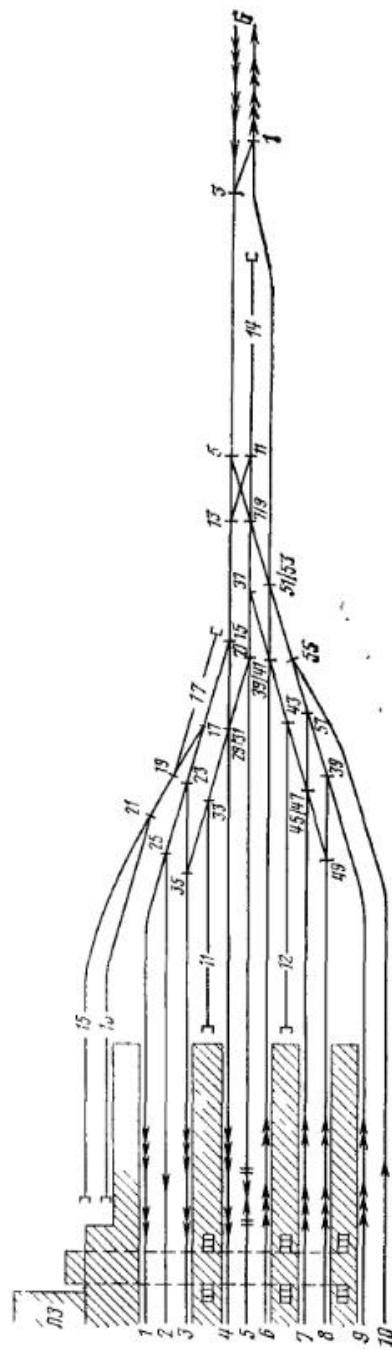


Рис. 3.22. Конструкция нечетной горловины пассажирской станции сквозного типа (обозначения те же, что на рис. 3.20)

Рис. 3.23. 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 главной обработки вагонов

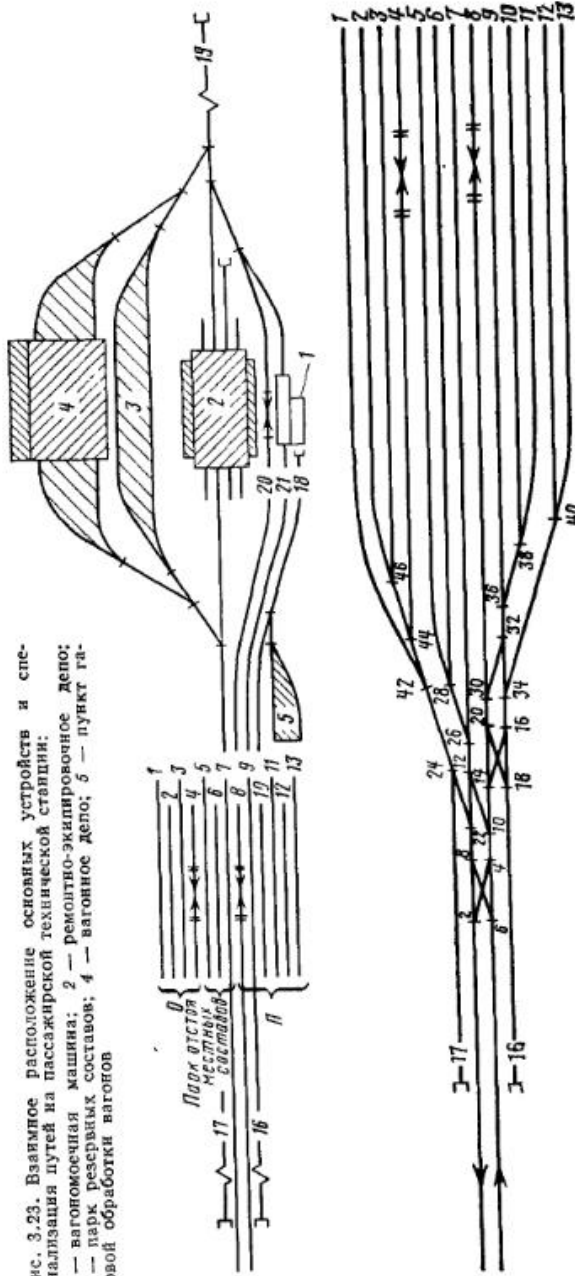


Рис. 3.24. Конструкция четной горловины на пассажирской технической станции

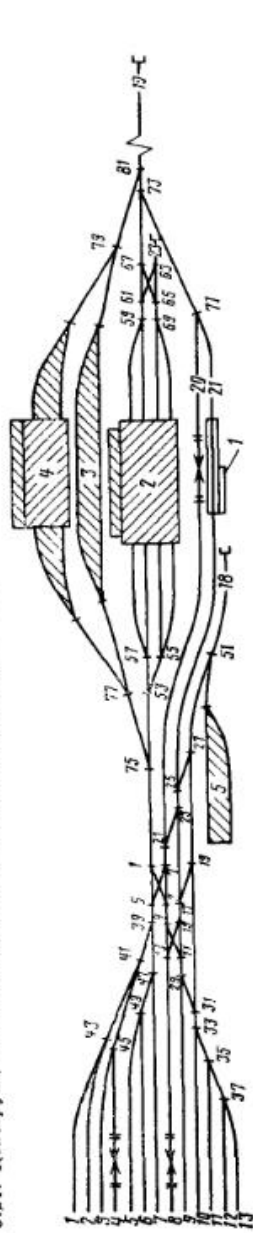
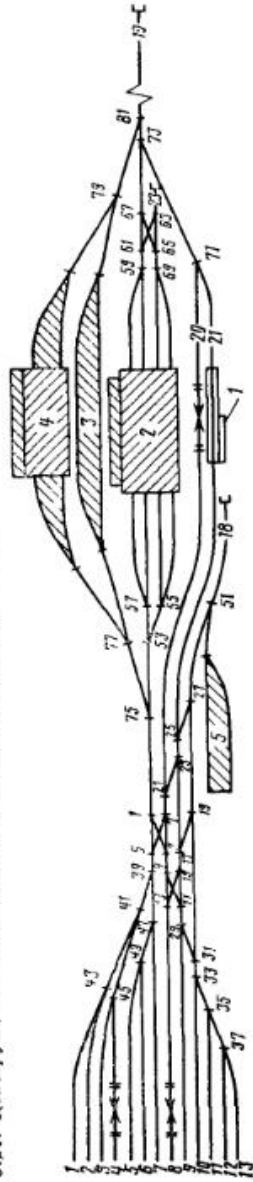


Рис. 3.25. Конструкция нечетной горловины на пассажирской технической станции



Аналогична конструкция *нечетной горловины* (рис. 3.22). 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 3.10. Разработаем конструкции горловин пассажирской технической станции, предусмотрев в парке приема 6, ремонтно-экипировочном депо 4, парке отправления 4, парке местных составов 3 пути и в цехе наружной обмывки составов 1 путь. Взаимное расположение парков станции, ремонтно-экипировочного и вагонного депо приведено на рис. 3.23.

Решение. Учитывая, что техническая станция соединена с пассажирской двухпутной линией, в *четной горловине* (рис. 3.24) целесообразно прежде всего изолировать маршруты приема в парк отстоя местных составов и отправления с путей 1—4 дальних пассажирских составов, уложив съезд 10—12. Затем стрелочными переводами 26 и 28 увязываем в горловину пути парка местных составов.

В утренние часы в парке прибытия и в вечерние в парке отправления скапливается много составов. Чтобы сократить расходы на путевое развитие, целесообразно часть путей парка приема использовать для отстоя, а парка отправления — для приема составов. Поэтому для отправления составов из парка прибытия укладываем съезд 2—4, для приема в парк отправления — съезд 6—8. Пассажирские составы в парк прибытия можно принимать по съездам 14—16 и 30—32. Последний укладываем так, чтобы изолировать маршруты приема на пути 9—11 и маневровой работы — перестроения составов на вытяжном пути 16. Для соединения пути 16 с ходовым 8 предусматриваем съезд 18—20. Остальные пути парка приема увязываем в горловину стрелочными переводами 34, 36, 38 и 40. Пути парка отправления и туликовский путь 17, предназначенный для заезда локомотивов, соединяют стрелочными переводами 22, 24, 42, 44 и 46.

В *нечетной горловине* (рис. 3.25) парка прибытия для заезда маневрового локомотива за составом укладываем съезды 9—11 и 29—31. Для обеспечения маневровой работы пути парка приема связываем съездами 13—15 и 17—19 с вытяжным путем 18. Парки отправления и отстоя местных составов соединяем с вытяжным путем 18 и пунктом дезинфекции вагонов съездами 5—7, 21—23, 25—27. Выход с путей ремонтно-экипировочного депо на пути парка приема обеспечит съезд 1—3. Пути парков приема, отправления, местных составов и ремонтно-экипировочного депо увязываем в горловину аналогично с четной горловиной.

4. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ СТАНЦИЙ

4.1. ПАРКИ ТРАНЗИТНЫЙ, ПРИЕМА И ОТПРАВЛЕНИЯ

Пример 4.1. Рассчитаем требуемое число путей для транзитных поездов на сортировочной станции H на двухпутном ходу. 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 $\epsilon_{\text{пасс}}^{\text{ч}} = 1,54$, для нечетного $\epsilon_{\text{пасс}}^{\text{н}} = 1,33$, соответственно сборными $\epsilon_{\text{сб}}^{\text{ч}} = 1,6$; $\epsilon_{\text{сб}}^{\text{н}} = 1,5$. Продолжительность операций с транзитным поездом $t_{\text{оп}} = 0,5$ ч. Год эксплуатации станции — 10-й. Расчетные размеры движения с учетом неравномерности и ошибок прогноза:

Транзит:	Направление движения	
	нечетное	четное
без переработки	39	28
с переработкой	36	40
Сборные ¹	2	3
Пассажирские	24	36

¹ Сборные поезда не включены в транзит с переработкой.

Решение. Число путей $m_{\text{тр}}$ для приема транзитных поездов рассчитываем отдельно по направлениям движения:

$$m_{\text{тр}} = (t_{\text{оп}} + \Delta t) / I_{\text{р}},$$

где $t_{\text{оп}}$ — время на выполнение операций с транзитным поездом (ввод в парк, обработка, вывод), ч;
 Δt — дополнительный простой в ожидании отправления по графику, ч;
 $I_{\text{р}}$ — расчетный интервал прибытия транзитных поездов, ч;

$$\Delta t = \frac{\rho_{\text{вых}}^2 (\gamma_{\text{вх}}^2 + \gamma_{\text{вых}}^2)}{2\lambda_{\text{тр}} (1 - \rho_{\text{вых}})};$$

$\rho_{\text{вых}}$ — загрузка выходного из транзитного парка участка;
 $\gamma_{\text{вх}}, \gamma_{\text{вых}}$ — коэффициенты вариации соответственно входящего и выходящего потоков транзитных поездов и интервалов отправления на графике;
 $\lambda_{\text{тр}}$ — расчетная плотность потока транзитных поездов, прибывающих в парк.

Загрузка выходного участка для транзитных поездов

$$\rho_{\text{вых}} = \frac{N_{\text{тр}}^{\text{р}}}{N_{\text{max}} / \alpha_{\text{рез}} - N_{\text{сб}}^{\text{р}} \epsilon_{\text{сб}} - N_{\text{тр.с}}^{\text{р}} - N_{\text{пас}}^{\text{р}} \epsilon_{\text{пас}}},$$

где $N_{\text{тр}}^{\text{р}}, N_{\text{сб}}^{\text{р}}, N_{\text{тр.с}}^{\text{р}}, N_{\text{пас}}^{\text{р}}$ — расчетное число транзитных, сборных, транзитных с переработкой, пассажирских поездов на линии в четном или нечетном направлении;
 N_{max} — максимальная пропускная способность направления;
 $\alpha_{\text{рез}}$ — коэффициент резерва: для двухпутных линий — 1,15, для однопутных — 1,20.

Для нечетного направления

$$\rho_{\text{вых}}^{\text{неч}} = 39 / [162 : 1,15 - 24 \cdot 1,33 - 2 \cdot 1,5 - 36] = 0,56;$$

четного

$$\rho_{\text{вых}}^{\text{ч}} = 28 / [162 : 1,15 - 36 \cdot 1,54 - 3 \cdot 1,5 - 42] = 0,72.$$

Расчетная плотность потока транзитных поездов

$$\lambda_{\text{тр}} = N_{\text{тр}}^{\text{р}} / 24.$$

Для нечетного направления $\lambda_{\text{тр}}^{\text{н}} = 39/24 = 1,63$ поезда/ч, четного $\lambda_{\text{тр}}^{\text{ч}} = 28/24 = 1,17$ поезда/ч.

Коэффициенты вариации зависят от загрузки входных и выходных каналов:

$$\gamma_{\text{вх}} = 1/\sqrt{k_{\text{вх}}}, \quad \gamma_{\text{вых}} = 1/\sqrt{k_{\text{вых}}},$$

где $k_{\text{вх}}, k_{\text{вых}}$ — параметры распределения Эрланга для входных и выходных интервалов между поездами. В средних условиях $k_{\text{вх}}$ и $k_{\text{вых}}$ можно принять равными 2—4 (большее значение для линий с высокой загрузкой). Принимаем для нечетного направления $k_{\text{вх}} = k_{\text{вых}} = 2$, для четного $k_{\text{вх}} = k_{\text{вых}} = 3$. Тогда

$$\gamma_{\text{вх}}^{\text{ч}} = \gamma_{\text{вых}}^{\text{ч}} = 1/\sqrt{2} = 0,71; \quad \gamma_{\text{вх}}^{\text{н}} = \gamma_{\text{вых}}^{\text{н}} = 1/\sqrt{3} = 0,58.$$

Дополнительный простой в ожидании нитки графика в транзитном парке:

$$\Delta t^{\text{н}} = [0,56^2 (0,71^2 + 0,71^2)] / [2 \cdot 1,63 (1 - 0,56)] = 0,22 \text{ ч};$$

$$\Delta t^{\text{ч}} = [0,72^2 (0,58^2 + 0,58^2)] / [2 \cdot 1,17 (1 - 0,72)] = 0,53 \text{ ч}.$$

Расчетный интервал прибытия

$$I_{\text{р}} = (I_{\min} + \bar{T}) / 120, \quad (4.1)$$

где I_{\min} — минимальный; \bar{T} — средний интервал прибытия транзитных поездов поездам:

$$\bar{T} = \left\{ 1440 - \frac{1440}{N_{\text{max}}} [\alpha_{\text{рез}} (N_{\text{пас}} \epsilon_{\text{пас}} + N_{\text{сб}}^{\text{р}} \epsilon_{\text{сб}}) + (\alpha_{\text{рез}} - 1) \times \right. \\ \left. \times (N_{\text{тр}}^{\text{р}} + N_{\text{тр.с}}^{\text{р}})] \right\} / N_{\text{тр}}^{\text{р}}. \quad (4.2)$$

Нечетное направление

$$\bar{T}^{\text{н}} = \left\{ 1440 - \frac{1440}{162} [1,15 (24 \cdot 1,33 + 2 \cdot 1,5) + (1,15 - 1) (39 + 36)] \right\} / 39 = \\ = 26,4 \text{ мин.}$$

Четное направление

$$\bar{T}^{\text{ч}} = \left\{ 1440 - \frac{1440}{162} [1,15 (36 \cdot 1,54 + 3 \cdot 1,5) + (1,15 - 1) (28 + 42)] \right\} / 28 = \\ = 29,1 \text{ мин.}$$

Расчетные интервалы движения:

$$I_{\text{р}}^{\text{н}} = (8 + 26,4) / 120 = 0,29 \text{ ч}; \quad I_{\text{р}}^{\text{ч}} = (8 + 29,1) / 120 = 0,31 \text{ ч}.$$

Таблица 4.1

Исходные данные для решения примера 4.2

Подход	Расчетное число поездов				Коэффициент съема грузовых поездов		Коэффициент резерва	Минимальный интервал, мин
	Транзит с переработкой	Сборные ¹	Транзит без переработки	Пассажирские	пассажирскими	сборными		
1	39	2	25	43	1,30	1,40	1,15	8
2	22	2	29	24	1,54	1,50	1,15	8
3	12	1	5	6	1,41	1,40	1,20	12

¹ Не включены в транзит с переработкой.

Потребное число путей для транзитных поездов:

нечетное направление — $m_{тр}^н = (0,5 + 0,22)/0,29 = 2,48 \approx 3$ пути¹;четное направление — $m_{тр}^ч = (0,5 + 0,53)/0,31 = 3,3 \approx 3$ пути.

Если к транзитному парку примыкают два и более подходов, то число путей рассчитывают отдельно для каждого из них (пути специализированы по подходам) и, кроме того, добавляют дополнительно

$$m_{д} = k - 1 + m_x, \quad (4.3)$$

где k — число подходов; m_x — число ходовых путей.

Пример 4.2. Рассчитаем число путей в парке приема сортировочной станции. Горочный технологический интервал 12,5 мин, продолжительность обработки поезда в парке 30 мин. Один путь парка ходовой.

Решение. Число путей в парке приема

$$m_n = (t_{зан} + t_{доп}^{пп}) / \bar{T}_p^{пп} + m_{д}, \quad (4.4)$$

где $t_{зан}$ — технологическое время занятия пути поездом, прибывшим в разборку, мин;

$t_{доп}^{пп}$ — дополнительное время занятия пути поездом в ожидании расформирования, мин;

$\bar{T}_p^{пп}$ — средневзвешенное значение расчетного интервала прибытия поездов в парк приема со всех направлений;

$m_{д}$ — дополнительное число путей, определяемое по формуле (4.3).

Расчетный интервал прибытия поездов $I_p^{пп}$ определяем по формуле (4.1), предварительно рассчитав средний интервал:

$$\bar{T} = \frac{\left\{ 1440 - \frac{1440}{N_{\max}} [\alpha_{рез} (N_{пас} e_{пас} + N_{сб} e_{сб}) + (\alpha_{рез} - 1) \times \right. \\ \left. \times (N_{тр}^п + N_{тр.с}^п + N_{сб}^п)] \right\}}{(N_{тр.с}^п + N_{сб}^п)};$$

¹ Округляется в большую сторону, если дробная часть больше 0,4.

для каждого подхода:

$$\bar{T}_1 = \{1440 - 1440/162 [1,15 (43 \cdot 1,30 + 2 \cdot 1,4) + (1,15 - 1) (39 + 2 + 25)]\} :$$

$$: (39 + 2) = 18,3 \text{ мин};$$

$$\bar{T}_2 = \{1440 - 1440/162 [1,15 (24 \cdot 1,54 + 2 \cdot 1,5) + (1,15 - 1) (22 + 2 + 29)]\} : (22 + 2) = 21,8 \text{ мин};$$

$$\bar{T}_3 = \{1440 - 1440/42 [1,20 (6 \cdot 1,41 + 1 \cdot 1,40) + (1,20 - 1) (12 + 1 + 5)]\} : (12 + 1) = 70,1 \text{ мин}.$$

Расчетный интервал на каждом подходе:

$$I_{p1}^{пп} = (8 + 18,3)/2 = 13,2 \text{ мин}; \quad I_{p2}^{пп} = (8 + 21,8)/2 = 14,9 \text{ мин};$$

$$I_{p3}^{пп} = (12 + 70,1)/2 = 41,1 \text{ мин}.$$

Средневзвешенное значение расчетного интервала прибытия поездов в парк

$$\bar{T}_p^{пп} = 1 / \sum_{s=1}^k \frac{1}{I_{ps}^{пп}},$$

или

$$\bar{T}_p^{пп} = 1 / [1/13,2 + 1/14,9 + 1/41,1] = 5,98 \approx 6 \text{ мин}.$$

Дополнительное время занятия пути поездом в ожидании расформирования

$$t_{доп}^{пп} = 52 - 196 \rho_{гор} (1 - \rho_{гор}),$$

где $\rho_{гор}$ — уровень загрузки горки:

$$\rho_{гор} = \left[\sum_{s=1}^k (N_{тр.с}^п + N_{сб}^п) / 1440 \right] t_r;$$

$$\rho_{гор} = (39 + 2 + 22 + 2 + 12 + 1) / 1440 \cdot 12,5 = 0,68;$$

$$t_{доп}^{пп} = 52 - 196 \cdot 0,68 (1 - 0,68) = 9,4 \text{ мин}.$$

Зная $\bar{T}_p^{пп}$, $t_{доп}^{пп}$ и $t_{зан}$, получим по формуле (4.4)

$$m_n = (30 + 9,4)/6 + (3 - 1 + 1) = 6,57 + 3 \approx 10 \text{ путей}.$$

Пример 4.3. Рассчитаем потребное число путей в парке отправления, работающем на два направления (четное и нечетное). Технологическое время ввода, обработки и отправления формируемых поездов $t_{от} = 45$ мин. Максимальная пропускная способность линий в обоих направлениях 162 поезда; минимальный интервал отправления $I_{мин}^п = 8$ мин; коэффициент резерва — 1,15. Остальные исходные данные см. в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Число поездов и коэффициенты съема

Направление движения	Транзит с переработкой	Сборные ¹	Транзит без переработки	Пассажирские	$e_{пас}$	$e_{сб}$
Нечетное	36	2	39	24	1,33	1,5
Четное	42	3	28	36	1,54	1,5

¹ Включены в транзит с переработкой.

Решение. Число путей для отправления поездов собственного формирования определяем отдельно для каждого направления по формуле

$$m_{от} = (t_{от} + \Delta t_{от}) / I_0,$$

где $\Delta t_{от}$ — дополнительный простой в ожидании отправления;
 I_0 — расчетный интервал отправления составов:

$$I_0 = (I_{мин} + \bar{T}_0) / 2,$$

где \bar{T}_0 — средний интервал отправления составов:

$$\bar{T}_0 = \left\{ 1440 - \frac{1440}{N_{max}} [\alpha_{рез} (N_{пас} e_{пас} + N_{сб}^p e_{сб}) + (\alpha_{рез} - 1) \times \right. \\ \left. \times (N_{ф}^p + N_{тр.с}^p)] / N_0^{тр} \right\}$$

$N_0^{тр}$ — расчетное число поездов, отправляемых из парка.

Для нечетного направления

$$\bar{T}_0^н = \{ 1440 - 1440/162 [1,15 (24 \cdot 1,33 + 2 \cdot 1,5) + \\ + (1,15 - 1) (39 + 36)] \} / 36 = 28,6 \text{ мин};$$

четного

$$\bar{T}_0^ч = \{ 1440 - 1440/162 [1,15 (36 \cdot 1,54 + 3 \cdot 1,5) + \\ + (1,15 - 1) (28 + 42)] \} / 42 = 19,4 \text{ мин}.$$

Расчетный интервал:

$$I_0^н = (8 + 28,6) / 2 = 18,3 \text{ мин}; \quad I_0^ч = (8 + 19,4) / 2 = 13,7 \text{ мин}.$$

Дополнительный простой поездов в парке отправления, вызываемый ожиганием поездного локомотива:

$$\Delta t_{от} = 92,5 - 2,93\alpha_d + 0,03458\alpha_d^2 \quad (4)$$

(α_d — резерв локомотивного парка, %; для средних условий $\alpha_d = 15 \div 20$ %).
 Приняв $\alpha_d = 20$ %, получим

$$\Delta t_{от} = 92,5 - 2,93 \cdot 20 + 0,03458 \cdot 20^2 = 47,7 \text{ мин}.$$

Число путей в парке:

$$m_0^н = (45 + 47,7) / 18,3 = 5,1; \quad m_0^ч = (45 + 47,7) / 13,7 = 6,8,$$

а всего

$$m_{от} = 5,1 + 6,8 = 11,9 \approx 12 \text{ путей}.$$

4.2. СОРТИРОВОЧНЫЕ И ВЫТЯЖНЫЕ ПУТИ

Пример 4.4. Определим потребное число путей в парке формирования односторонней станции на 10-й год эксплуатации, если в среднем в сутки она формирует 72 состава. Учитывая неравномерность движения и ошибку в прогнозе прибытия поездов на станцию, к расчету принимаем 80 составов (расчет среднего квадратичного отклонения и ошибки прогноза см. в гл. 12).

Решение. Число путей в парке формирования

$$m_c = m_n + m_k + m_{мс},$$

где m_n — число путей для накопления составов по назначениям плана формирования;

m_k — то же дополнительно для погашения колебаний размеров движения

$m_{мс}$ — то же дополнительно для местных нужд, отсевных и специальных вагонов.

Таблица 4.3

Зависимость числа сортировочных путей от числа формируемых поездов

Расчетное число формируемых за сутки поездов	Число назначений плана формирования		Число сортировочных путей			
	Сквозные	Сборные	для назначений плана формирования	отсевных, для местных вагонов и др.	для погашения колебаний вагонопотоков	Всего
24	8	1	10	4	0	14
36	10	2	15	4	0	19
48	13	2—3	20	4	0	24
60	14	3	22—24	4	1	27—29
72	16	3	26—28	5	1	32—34
84	18	3	28—30	5	1	34—36
96	19	3—4	32—34	6	2	40—42
108	20	4	38—40	6	3	47—49
120	21	4	40—42	6	4	50—52
132	23	4—5	42—44	6	5	53—55

Учитывая, что число назначений плана формирования и их мощность не заданы, путевое развитие определим по табл. 4.3.

При $N_0^о = 80$ поездов интерполированием данных табл. 4.3 получаем, что на станции необходимо запроектировать сортировочный парк на $m_c = 27 + 5 + 1 = 33$ пути.

Пример 4.5. Предварительными технико-экономическими расчетами установлено, что следует проектировать станцию с сортировочно-отправочным парком. Определим число сортировочно-отправочных путей при следующих исходных данных: расчетное число формируемых и отправляемых поездов — 60, время занятия пути технологическими операциями (с учетом отправления поезда) $t_{от} = 45$ мин. Минимальный интервал отправления 10 мин. Максимальная пропускная способность линии 130 поездов. Пропускает она 10 пассажирских, 18 транзитных без переработки и 3 сборных. Коэффициент резерва $\alpha_p = 1,15$; коэффициент съема грузовых поездов пассажирскими 1,35, сборными 1,4.

Решение. Дополнительный простой поездов в ожидании отправления при $\alpha_p = 15$ % [см формулу (4.5)]

$$\Delta t_{от} = 92,5 - 2,93 \cdot 15 + 0,03458 \cdot 15^2 = 56,3 \text{ мин}.$$

Средний интервал отправления

$$\bar{T}_0 = \{ 1440 - 1440/130 [1,15 (10 \cdot 1,35 + 3 \cdot 1,4) + \\ + (1,15 - 1) (60 + 18)] \} \cdot 60 = 18,6 \text{ мин}.$$

Расчетный интервал отправления $I_0 = (10 + 18,6) / 2 = 14,3$ мин. Число путей в сортировочно-отправочном парке рассчитываем по формуле

$$m_{со} = m_n + m_k + m_{мс} + (t_{от} + \Delta t_{от}) / I_0.$$

Из табл. 4.3 устанавливаем, что при $N_p = 60$ поездов $m_n = 23$; $m_k = 1$; $m_{мс} = 4$. Тогда

$$m_{со} = 23 + 1 + 4 + (45 + 56,3) / 14,3 = 35 \text{ путей}.$$

Пример 4.6. Рассчитаем оптимальное число вытяжных путей для окончания формирования поездов на проектируемой сортировочной станции, если она будет формировать в среднем за сутки 72 поезда (4 сборных, 6 участковых, 4 двухгрупп-

ных и 58 одногруппных). 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 $\gamma_{н} = 0,8$, а времени окончания формирования $\gamma_{оф} = 0,3$. Продолжительность перерывов в использовании вытяжного пути $\sum T_{пост} = 1$ ч. Среднее число вагонов в формируемом составе $\bar{m} = 52$, стоимость 1 вагоно-ч $e_{в-ч} = 0,3$ руб. Капитальные затраты на строительство вытяжного пути $K_{в} = 176,7$ тыс. руб., расходы на содержание $E_{сод} = 25,7$ тыс. руб. На каждом вытяжном пути работает один маневровый локомотив. Приведенная стоимость 1 ч его работы $e_{л-ч} = 8,2$ руб.

Решение. Оптимальное число вытяжных путей в хвосте 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:

$$m_{в} = \frac{\sum_{j=1}^n N_j t_j}{(24 - \sum T_{пост})} + \left[\frac{\sum_{j=1}^n N_j t_j}{(24 - \sum T_{пост})} \right] \times \sqrt{\frac{12 (\gamma_{н}^2 + \gamma_{оф}^2) e_{в-ч} \bar{m} (1 + \beta) \gamma'}{E_{пр}^в}}, \quad (4.6)$$

где N_j — число 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 $\beta = 0,10 \div 0,18$, на 20-й $\beta = 0,18 \div 0,30$;

$\gamma' = 0,8 \div 0,9$ — коэффициент, учитывающий неопределенность состояния парка отправления и позволяющий оценить реальный эффект от сокращения простоя вагонов в сортировочном парке;

$E_{пр}^в$ — суточные приведенные расходы на строительство вытяжного пути, приобретение маневрового локомотива и их содержание:

$$E_{пр}^в = (E_{н} K_{в} + E_{сод}^в) / 365 + 24 e_{л-ч};$$

$E_{н} = 0,12$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Для условий примера

$$E_{пр}^в = (0,12 \cdot 176\,700 + 25\,700) / 365 + 24 \cdot 8,2 = 325,3 \text{ руб.}$$

Продолжительность формирования поезда категории j на вытяжном пути

$$t_j = t_{оф j} + t_{выст} + t_{возв}, \quad (4.7)$$

где $t_{оф j}$ — время на окончание формирования поезда категории j . В средних условиях для одногруппных поездов 0,13—0,20, участковых 0,30—0,40, двухгруппных 0,28—0,38, многогруппных 0,55—0,80 ч;

$t_{выст}$ — продолжительность вывода состава в парк отправления:

$$t_{выст} = (a + b \bar{m}) / 60;$$

$t_{возв}$ — время для возвращения маневрового локомотива на вытяжной путь:

$$t_{возв} = a / 60;$$

a, b — параметры полурейса (табл. 4.4).

Длина полурейса вывода состава в парк отправления $t_{выст} = 390 + 480 + 370 + 1050 = 2290$ м; время $t_{выст} = (4,29 + 0,062 \cdot 52) / 60 = 0,13$ ч.

Параметры полурейса для тепловозов и электровозов

Расстояние передвижения маневрового локомотива в пределах, м	а	b, если тормоза в составе	
		включены	не включены
301—380	1,21	0,024	0,042
381—460	1,32	0,026	0,046
461—540	1,44	0,028	0,050
541—620	1,56	0,030	0,054
621—700	1,69	0,032	0,058
701—800	1,82	0,034	0,062
801—900	1,96	0,036	0,066
901—1000	2,10	0,038	0,070
1001—1100	2,25	0,040	0,074
1101—1200	2,40	0,042	0,078
1401—1501	2,89	0,048	0,090
1701—1800	3,43	0,054	0,102
2001—2200	4,06	0,060	0,114
2201—2400	4,29	0,062	0,118
2401—2600	4,53	0,064	0,122
2601—2800	4,78	0,066	0,126
2801—3000	5,04	0,068	0,130

Примечание. При расстоянии более 3000 м время на передвижение определяю по допустимой скорости.

Длина полурейса возвращения локомотива на вытяжной путь $l_{возв} = 2 \cdot 350 + 1050 + 370 + 480 + 390 = 2990$ м; время $t_{возв} = 5,04 / 60 = 0,08$ ч. Продолжительность формирования поезда категории j [см. формулу (4.7)]:

$$t_{одн} = 0,20 + 0,13 + 0,08 = 0,41 \text{ ч};$$

$$t_{уч} = 0,35 + 0,13 + 0,08 = 0,56 \text{ ч};$$

$$t_{двух} = 0,32 + 0,13 + 0,08 = 0,53 \text{ ч};$$

$$t_{мног} = 0,70 + 0,13 + 0,08 = 0,91 \text{ ч}.$$

Время формирования поездов всех категорий на вытяжных путях

$$\sum_{j=1}^n N_j t_j = 58 \cdot 0,41 + 6 \cdot 0,56 + 4 \cdot 0,53 + 4 \cdot 0,91 = 32,9 \text{ ч.}$$

Оптимальное число вытяжных путей [см формулу (4.6)]

$$m_{в} = 32,9 / (24 - 1) + [28 / (24 - 1)] \sqrt{12 (0,8^2 + 0,3^2) 0,3 \cdot 52 (1 + 0,14) 0,9 / 325,3} = 2,4 \approx 3.$$

4.3. ПУТИ НА ПАССАЖИРСКОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИЯХ

Пример 4.7. Рассчитаем число сквозных приемо-отправочных путей в перроне парка пассажирской станции (пути взаимозаменяемы) на 10-й год эксплуатации. Исходные данные см. в табл. 4.5.

Исходные данные для решения примера

Подход	Число поездов ¹			Время занятия пути поездом			Минимальный интервал движения, мин	Время, необходимое для текущего содержания линии, мин	Надежность работы подходов
	дальних	местных	пригородных	дальним	местным	пригородным			
A—H	6	8	32	20	30	20	8	60	0,95
B—H	6	10	24	20	30	20	10	60	0,95
C технической станции	2	18	15	40	40	30	18	60	0,95

¹ Среднесуточные размеры движения в месяц максимальных перевозок.

Решение. Число путей в перронном парке

$$m_{\text{п}} = I_{\text{зан}} (1 + q_{\text{от}}) (1 + P_3) / I_{\text{рп}} + m_{\text{д}}, \quad (4.8)$$

где $I_{\text{зан}}$ — расчетное время занятия пути одним поездом;
 $q_{\text{от}} = 0,01 \div 0,02$ — коэффициент, учитывающий отказы технических устройств;
 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 технической станции);
 $m_{\text{д}}$ — число дополнительных путей для пропуска грузовых и других поездов, регламентированных ИПСУ.
 В средних условиях $P_3 = 0,08 \div 0,14$ для двухпутных и $0,04 \div 0,08$ для однопутных линий. Расчетное время занятия пути

$$T_{\text{зан}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} \bar{N}_{ij} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{N}_{ij},$$

где t_{ij} — время занятия пути поездом категории j , прибывающим с подхода i ;
 \bar{N}_{ij} — средние размеры движения поездов категории j в месяц максимальных перевозок на подходе i .

$$T_{\text{зан}} = (20 \cdot 6 + 8 \cdot 30 + 20 \cdot 32 + \dots + 40 \cdot 2 + 18 \cdot 40 + 15 \cdot 30) : (6 + 8 + 30 + \dots + 2 + 18 + 15) = 26,5 \text{ мин.}$$

Исследования кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» БелИИЖТа показали, что интервалы между пассажирскими поездами описываются распределением Пирсона типа III (рис. 4 1):

$$f(I) = \frac{b^a}{\Gamma(a)} (I - I_{\text{min}})^{a-1} e^{-b(I - I_{\text{min}})},$$

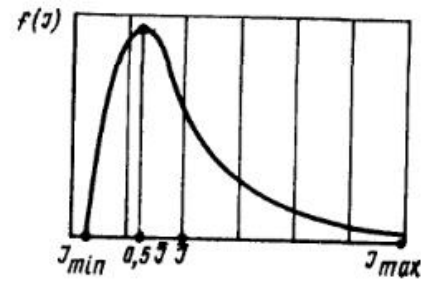


Рис. 4.1. Распределение интервалов движения между пассажирскими поездами

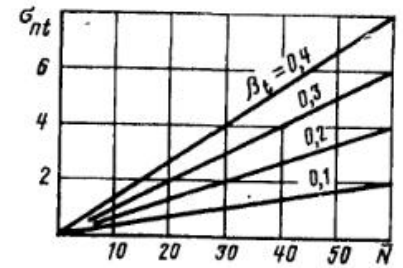


Рис. 4.2. Зависимость среднего квадратического отклонения от средних размеров движения на линии и относительной ошибки прогноза

где b, a — параметры распределения:

$$a = 1,8 \div 2,0; \quad b = a / (\bar{I} - I_{\text{min}});$$

$\Gamma(a)$ — гамма-функция;

\bar{I} — средний интервал движения;

I_{min} — минимальный интервал движения на линии.

Для практических целей расчетный интервал движения на линии i достаточно определить по формуле

$$I_i = (0,5 \bar{I}_i + I_{i \text{ min}}) / 2.$$

Средний интервал движения пассажирских поездов на линии i

$$\bar{I}_i = (1440 - \sum t_{\text{техн}}) P / \sum_{j=1}^n N_{ij}^{\text{п}},$$

где $\sum t_{\text{техн}}$ — время, необходимое на текущее содержание устройств;
 P — надежность работы технических устройств; для средних условий $P = 0,90 \div 0,95$;

$\sum_{j=1}^n N_{ij}^{\text{п}}$ — суммарные расчетные размеры движения поездов на линии i ;

$$\sum_{j=1}^n N_{ij}^{\text{п}} = \sum_{j=1}^n \bar{N}_{ij} + t_{\beta} \sigma_{\text{пт}i}; \quad (4.9)$$

$\sigma_{\text{пт}i}$ — среднее квадратическое отклонение ошибки прогноза. Для прогнозных моделей оптимальной сложности ошибку прогноза определяем по формуле

$$\sigma_{\text{пт}i} = \left(\beta_t \sum_{j=1}^n N_{ij} \right) / 3;$$

β_t — относительная ошибка прогноза в году t .

Для облегчения расчетов значения $\sigma_{\text{пт}i}$ приведены на рис. 4.2.

Для направлений A—H и B—H ошибка в прогнозе потока поездов с технической станции составит:

$$\sigma_{\text{пт}}^{(AH)} = 0,08 \cdot 46/3 = 1,2; \quad \sigma_{\text{пт}}^{(BH)} = 0,08 \cdot 40/3 = 1,1;$$

$$\sigma_{\text{пт}}^{(\text{тс})} = 0,08 \cdot 35/3 = 0,9.$$

Расчетные значения потока поездов на направлениях А—Н, Б—Н и с технической станции [см. формулу (4.9)]:

$$\sum_{j=1}^n N_{ij}^p(АН) = 46 + 1,65 \cdot 1,2 = 48; \quad \sum_{j=1}^n N_{ij}(БН) = 40 + 1,65 \cdot 1,1 = 42;$$

$$\sum_{j=1}^n N_{ij}(ТС) = 35 + 1,65 \cdot 0,9 = 37.$$

Средние значения интервалов движения на подходах:

$$\bar{T}_{АН} = (1440 - 60) 0,95/48 = 27,3 \text{ мин};$$

$$\bar{T}_{БН} = (1440 - 60) 0,95/42 = 31,2 \text{ мин};$$

$$\bar{T}_{ТС} = (1440 - 60) 0,95/37 = 35,4 \text{ мин}.$$

Расчетные значения интервалов движения на подходах:

$$I_{АН} = (0,5 \cdot 27,3 + 8)/2 = 10,8; \quad I_{БН} = (0,5 \cdot 31,2 + 10)/2 = 12,8;$$

$$I_{ТС} = (0,5 \cdot 35,4 + 18)/2 = 17,9.$$

Расчетный интервал прибытия поездов на станцию со всех направлений

$$I_{рп} = 1 / \left(\sum_{i=1}^m \frac{1}{T_i} + 2 \sum_{i=1}^m r_{i, i+1} \frac{1}{I_i I_{i+1}} \right),$$

где $r_{i, i+1}$ — коэффициент взаимной корреляции между потоками поездов с линий i и $i+1$. Для магистральных подходов $r = 0,4 \div 0,7$; для соединительной линии между пассажирской и технической станциями $r = 0,2 \div 0,4$.

$$I_{рп} = \frac{1}{1/10,8 + 1/12,8 + 1/17,9 + 2 [0,5 \cdot 1/(10,8 \cdot 12,8) + 0,3 \cdot 1/(10,8 \cdot 17,9) + 0,3 \cdot 1/(12,8 \cdot 17,9)]} = 4,1 \text{ мин}.$$

Путевое развитие пассажирской станции [см. формулу (4.8)]

$$m_{п} = 26,5 (1 + 0,01) (1 + 0,08)/4,1 + 2 = 9,05 \approx 9 \text{ путей}.$$

Пример 4.8*. Определим число путей общее и в отдельных парках пассажирской технической станции, если число прибывающих за сутки приписных составов 16, из них 12 дальних и 4 (в том числе 1 короткопобежный) местных; оборачивающихся на станции 8 составов, из них 7 дальних и 1 местный; технологическое время нахождения на пассажирской технической станции состава своего формирования дальнего 12 ч, местного 11 ч и короткопобежного 6 ч; оборачивающихся на станции дальних 10 ч, местных 7 ч; среднее время опоздания пассажирского поезда и подачи состава на техническую станцию $t_{оп} = 0,6$ ч. Экипировочные пути надо 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; среднее время нахождения составов различных категорий под операциями, включающее дополнительные простои в ожидании маневрового локомотива, приема и уборки на обслуживающих устройствах, приведено в табл. 4.6.

Решение. Для определения числа путей в экипировочном парке и цехе наружной обмывки вагонов предварительно рассчитываем: среднечасовую плотность потока составов

$$\lambda = N_{сут}/24 = (12 + 3 + 7 + 1 + 1)/24 = 1 \text{ состав/ч};$$

* Пример разработан доц. И. А. Еловым.

Среднее время простоя состава, мин

Обслуживающее сооружение или устройство	Состав			
	приписной		оборачивающийся	
	дальний	местный	дальний	местный
Цех обмывки	40	40	30	15
Парк прибытия	77	57	47	32
Пути переформирования 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

средневзвешенное время нахождения состава на пассажирской технической станции

$$T_p = 12 : 24 \cdot 12 + 3 : 24 \cdot 11 + 7 : 24 \cdot 10 + 1 : 24 \cdot 7 + 1 : 24 \cdot 6 \approx 10,8 \text{ ч};$$

то же подготовки состава в рейс (см. табл. 4.6)

$$t^п = 12 : 24 \cdot 444 + 3 : 24 \cdot 364 + 7 : 24 \cdot 239 + 1 : 24 \cdot 204 + 1 : 24 \cdot 364 = 361 \text{ мин} \approx 6 \text{ ч};$$

то же выполнения операций в цехе наружной обмывки

$$t^м = 12 : 24 \cdot 40 + 3 : 24 \cdot 40 + 7 : 24 \cdot 30 + 1 : 24 \cdot 15 + 1 : 24 \cdot 40 = 35 \text{ мин} \approx 0,6 \text{ ч}.$$

простой на путях парка прибытия

$$t_{ван}^п = 12 : 24 (77 + 40) + 3 : 24 (57 + 40) + 7 : 24 (47 + 20) + 1 : 24 (32 + 20) + 1 : 24 (57 + 40) = 96,4 \text{ мин} \approx 1,6 \text{ ч};$$

нахождение на экипировочных путях

$$t_{ван}^{ЭК} = 12 : 24 \cdot 240 + 3 : 24 \cdot 180 + 7 : 24 \cdot 100 + 1 : 24 \cdot 100 + 1 : 24 \cdot 180 = 183,3 \text{ мин} \approx 3,1 \text{ ч};$$

простой в ожидании операций технологического процесса или подачи на перронные пути

$$t_{ож} = T - t^п - t_{оп} = 10,8 - 6 - 0,6 = 4,2 \text{ ч}.$$

Интервал подачи (уборки) на экипировочные пути или в цех наружной обмывки с достаточной степенью достоверности определим из графика (рис. 4.3): $I_{выб} = 0,83 \text{ ч}.$

Число экипировочных путей

$$m_{ЭК} = t_{ван}^{ЭК} / I_{выб} = 3,1/0,83 \approx 4,$$

Число путей моечного цеха

$$m_{М} = t_{М} / I_{выб} = 0,6/0,83 \approx 1.$$

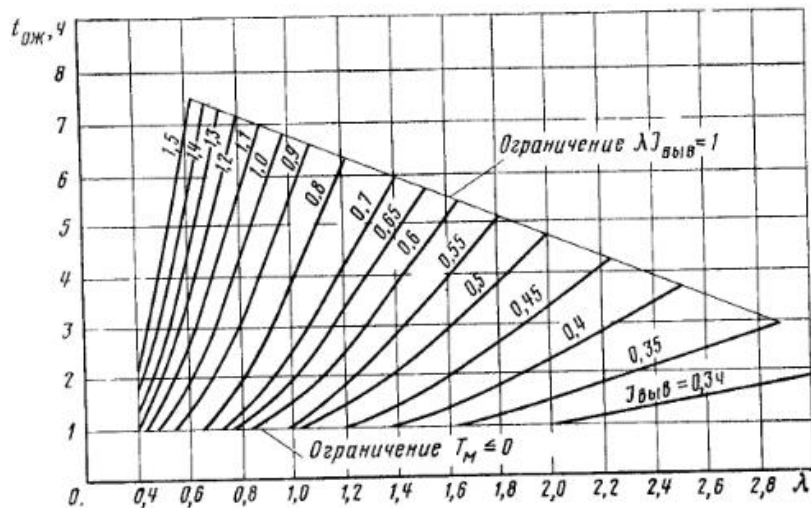


Рис. 4.3. Зависимость $t_{ож} = f(\lambda, I_{выб})$

Теперь определим максимальный период накопления составов на путях приёма:

$$T_M = 10,5 - 1/[0,0872 I_{выб} (1,1684 - 0,1457\lambda)] = \\ = 10,5 - 1/[0,0872 \cdot 0,83 (1,1684 - 0,1457 \cdot 1)] = 8,4 \text{ ч}$$

и число путей в парке прибытия:

$$\text{если } T_M > t_{зан}, \text{ то } m_{пп} = N_{\max}(T_M, \lambda) - (T_M - t_{зан})/I_{выб} + m'_x;$$

$$\text{если } T_M \leq t_{зан}, \text{ то } m_{пп} = N_{\max}(t_{зан}, \lambda) + m'_x,$$

где $N_{\max}(T_M, \lambda)$ — максимальное число составов, поступающих на станцию в течение периода T (рис. 4.4).

Так как в нашем примере $T_M > t_{зан}$ ($8,4 > 1,6$), число путей в парке прибытия

$$m_{пп} = 14,5 - (8,4 - 1,6)/0,83 + 1 \approx 8.$$

Число путей в парке отправления:

если часть путей парка прибытия используется для отстоя подготовленных в рейс составов, то

$$m'_o = m'_{об} - m'_{эк} - m'_m - m'_{пп} + m'_x;$$

при жесткой специализации путей парков прибытия и отправления

$$m'_o = (t_{ож} + t_o)/I_{выб} + m'_x,$$

$m'_{об}$ — общее число путей на пассажирской технической станции без ходовых, специальных и других: $m'_{об} = N_{\max}(T', \lambda)$ (см. рис. 4.4);

T' — действительное время нахождения состава на пассажирской технической станции:

$$T' = T_p - t_{оп} = 10,8 - 0,6 = 10,2,$$

Рис. 4.4. Зависимость $N_{\max} = f(T, \lambda)$

где $m'_{пп}$ — число путей в парке прибытия без ходовых;

m'_x — число ходовых путей в парке отправления;

t_o — технологическое время, необходимое для выполнения операций на путях парка отправления.

Приемо-отправочные пути парков прибытия и отправления взаимозаменяемы, поэтому общее их число по номограмме (см. рис. 4.4) $m'_{об} = 18$. Тогда в парке отправления

$$m'_o = 18 - 4 - 1 - 7 + 1 = 7 \text{ путей.}$$

Общее число путей в парках пассажирской технической станции

$$m'_o = m'_{об} + m'_x + m'_x = 18 + 1 + 1 = 20.$$

4.4. ПУТЕВОЕ РАЗВИТИЕ ГРУЗОВЫХ СТАНЦИЙ

Пример 4.9. Рассчитаем число приемо-отправочных путей на грузовой станции (10-й год эксплуатации), если в среднем в сутки прибывает на нее $\bar{m}_{гс} = 200$ вагонов, масса груза в вагоне 59 т, а тара вагона 22 т. Коэффициент вариации интервалов поступления передач $\gamma_{пер} = 0,8$, отправления $\gamma_{выб} = 0,5$, времени расформирования $\gamma_{рд} = 0,3$, обслуживания в парке отправления $\gamma_{об} = 0,3$. Продолжительность занятия пути технологическими операциями по прибытию $t_{10}^a = 0,8$ ч, по отправлению $t_{10}^o = 1$ ч. Загрузка маневровых локомотивов $\rho_{л} = 0,7$, выходного участка $\rho_{вых} = 0,65$. Движение обслуживает тепловоз ТЭМ2, условия пропуска передач близки к среднесетевым. Расстояние от сортировочной станции до грузовой $L_{дв} = 7$ км.

Решение. Число приемо-отправочных путей на грузовой станции

$$m'_{по} = (N_{п} t_{зан} + N_o t_{зо}) (1 + \beta_{п}) / (24 - \sum T_{пост}),$$

где $N_{п}$, N_o — соответственно расчетное число передач по прибытию и отправлению;

$t_{зан}$, $t_{зо}$ — время занятия приемо-отправочного пути передачей при приеме и отправлении;

$\beta_{п}$ — коэффициент, учитывающий отказы в работе устройств, равный 0,01 ч;

$\sum T_{пост}$ — время выполнения постоянных операций на пути (текущий ремонт, уборка от снега и др.).

Расчетное число прибывающих передач

$$N_{п} = (\bar{m}_{гс} + \tau_{в} \sigma_{гс}) P_{бр} / Q_{п}, \quad (4.10)$$

где $\tau_{в} = 1,65$ — число нормированных средних квадратичных отклонений;

$\sigma_{гс}$ — среднее квадратичное отклонение расчетных размеров движения;

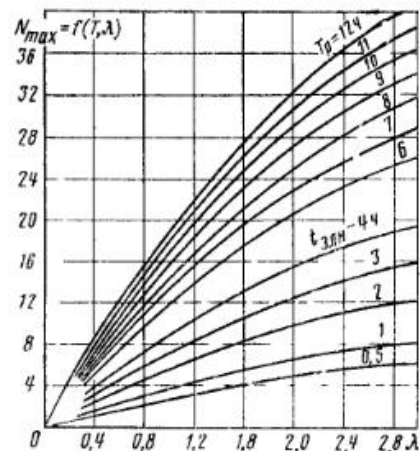
$P_{бр}$ — масса вагона брутто, т;

$Q_{п}$ — оптимальная масса передачи, т:

$$Q_{п} = \sqrt{(OL_{дв} + H) \bar{m}_{гс} P_{бр} / (\Phi + \gamma L_{дв} \bar{m}_{гс} P_{бр} \cdot 10^{-6})}.$$

Для условий примера $O = 0,0653$; $H = 6,6447$; $\Phi = 0,0363$; $\gamma = 0,03036$ [12], а

$$Q_{п} = \sqrt{\frac{(0,0653 \cdot 7 + 6,6447) 200 (59 + 22)}{0,0363 + 0,03036 \cdot 7 \cdot 200 (59 + 22) 10^{-6}}} = 1701 \text{ т.}$$



Среднее квадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_n^2}$$

где σ_k — среднее квадратичное отклонение посуточных, а σ_n — прогнозных размеров движения от их действительных значений.

Но

$$\sigma_k = a \bar{m}_{гс}^b, \quad \sigma_n = \beta_t \bar{m}_{гс} / 3,$$

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

$$\sigma_k^n = 1,345 \cdot 200^{0,653} = 42,8 \text{ вагона};$$

$$\sigma_k^o = 1,214 \cdot 200^{0,610} = 30,8 \text{ вагона};$$

$$\sigma_n = 0,11 \cdot 200 / 3 = 7,3 \text{ вагона};$$

$$\sigma_{гс}^n = \sqrt{42,8^2 + 7,3^2} = 43,4 \text{ вагона};$$

$$\sigma_{гс}^o = \sqrt{30,8^2 + 7,3^2} = 31,7 \text{ вагона}.$$

Расчетное число передач [см. формулу (4.10)]:

$$N_n = (200 + 1,65 \cdot 43,4) (59 + 22) / 1701 = 13;$$

$$N_o = (200 + 1,65 \cdot 31,7) (59 + 22) / 1701 = 12.$$

Время занятия прямо-отправочного пути прибывающей передачей

$$t_{зан} = t_{то}^n + t_{ож.р} + t'_{пер}.$$

где $t'_{пер}$ — время занятия пути при перестановке передачи на вытяжной путь, равное 0,07 ч;

$t_{ож.р}$ — время ожидания расформирования передачи:

$$t_{ож.р} = 12 \rho_n^2 (\gamma_{пер}^2 + \gamma_{рп}^2) / [N_n (1 - \rho_n)];$$

$$t_{ож.р} = 12 \cdot 0,7^2 (0,8^2 + 0,3^2) / [13 (1 - 0,7)] = 1,1 \text{ ч}; \quad t_{зан} = 0,8 + 1,1 + 0,07 = 1,97 \text{ ч}.$$

Время занятия пути отправлением передачи

$$t_{зо} = t_{то}^o + t_{ож.пер}.$$

где $t_{ож.пер}$ — среднее время ожидания отправления:

$$t_{ож.пер} = 12 \rho_{вых}^2 (\gamma_{вых}^2 + \gamma_{об}^2) / N_o (1 - \rho_{вых});$$

$$t_{ож.пер} = 12 \cdot 0,65^2 (0,5^2 + 0,3^2) / [12 (1 - 0,65)] = 0,41 \text{ ч}.$$

Тогда $t_{зо} = 1,0 + 0,41 = 1,41 \text{ ч}.$

Число прямо-отправочных путей

$$m_{по}^r = (13 \cdot 1,97 + 12 \cdot 1,41) 1,01 / (24 - 2) = 2.$$

Пример 4.10. Определим оптимальное число укороченных сортировочных путей на грузовой станции, если число передач $N_n = 12$, среднее число вагонов в передаче $\bar{m}_n = 23$, а число назначений $c = 7$. Приведенные расходы на строительство и содержание пути $E_n = 6000$ руб. Стоимость 1 локомотиво-ч $c_{л-ч} = 8$ руб.; 1 вагоно-ч $e_{в-ч} = 0,3$ руб. Параметры $A = 0,030$; $B = 0,0023$; $E = 0,03$; $D = 0,0005$.

Расчетное число сортировочных путей

$$m_c^{rp} = 1 + \sqrt{\frac{365 N_n (c_{л-ч} + c_{в-ч} \bar{m}_n) [2A(c-1) + (c^2-1) \bar{m}_n B]}{730 N_n (c_{л-ч} + c_{в-ч} \bar{m}_n) (E + D m_n) + 2 E_n}} =$$

$$= 1 + \sqrt{\frac{365 \cdot 12 (8 + 0,3 \cdot 23) [2 \cdot 0,03 (7-1) + (7^2-1) 23 \cdot 0,0023]}{730 \cdot 12 (8 + 0,3 \cdot 23) (0,03 + 0,0005 \cdot 23) + 2 \cdot 6000}} \approx 6.$$

Пример 4.11. Рассчитаем число путей для отстоя вагонов в ожидании подачи,

если число передач $\sum_{i=1}^m X_i = 15$, загрузка маневрового локомотива 0,7, коэффициент вариации интервалов вывода передач с отсевных путей $\gamma_{под} = 0,3$, а коэффициент вариации интервалов вывода с сортировочных путей $\gamma_{выст} = 0,7$. Время выполнения технологических операций $t_{тех}^{под} = 0,3$ ч, работы локомотива в сутки $T_p = 23$ ч.

Решение. Число выставочных путей

$$m_{от.тс} = \frac{(t_{тех}^{под} + t_{ож.п}) \sum_{i=1}^n X_i}{T_p (1 - t_{р} \gamma_{под})},$$

где $t_{ож.п}$ — время ожидания подачи вагонов на грузовые пункты:

$$t_{ож.п} = \frac{12 \rho_n^2 (\gamma_{выст}^2 + \gamma_{под}^2)}{\sum_{i=1}^m X_i (1 - \rho_n)} = \frac{12 \cdot 0,7^2 (0,7^2 + 0,3^2)}{15 (1 - 0,7)} = 0,76 \text{ ч}.$$

Тогда $m_{от.тс} = (0,3 + 0,76) 15 / 23 (1 - 1,65 \cdot 0,3) = 1,4 \approx 2$ пути.

Пример 4.12. Определим оптимальное число сортировочных путей на грузовой горочной станции для формирования подачи. Число прибывающих передач $N_n = 40$; среднее число вагонов в передаче $m_n = 50$, в подаче $m_{под} = 33$; число

назначений в передаче $c_{пер} = 30$, подаче $c_{под} = 20$; число подач $\sum_{i=1}^n X_i = 60$.

Стоимость 1 локомотиво-ч $e_{л-ч} = 8$ руб., 1 вагоно-ч $e_{в-ч} = 0,3$ руб., сооружения 1 км сортировочного пути $c_n = 42$ тыс. руб., укладки одного стрелочного перевода $c_{стр} = 3,5$ тыс. руб., содержание в течение года 1 км пути и 1 стрелочного перевода $\rho_n = 2,34$ тыс. руб., $\rho_{стр} = 1,34$ тыс. руб. Длина вагона $l_n = 15$ м. Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений $E_n = 0,1$. Параметры $a = 0,8$; $b = 0,03$; $f_1 = 22,0$ тыс. руб. и $\varphi_2 = 6,33$ тыс. руб. — механизированная горка; $f_2 = 16,0$ тыс. руб. и $\varphi_2 = 11,82$ тыс. руб. — немеханизированная горка.

Решение. Число сортировочных путей: механизированная горка

$$m_c^m = 1 + \sqrt{\frac{\sum X_i b (e_{л-ч} + e_{в-ч} m_{под}) (m_{под} + m_n) \times}{60} \times \left(1 + \frac{m_{под} (c_{под} - 1)^3}{(m_{под} - 1) c_{под}^2} \right) - \frac{N_n (e_{л-ч} + e_{в-ч} m_n) l_n (m_n - 1)}{2000 [4,49 (c_{пер} - 1) + 0,52 (m_n - 1)]}}{\frac{1}{365} \left[E_n \left(\frac{n_{сут} l_n c_n}{2000 \sum X_i} + 2 c_{стр} + f_2 \right) + \left(\varphi_2 + 2 \rho_{стр} + \frac{\rho_n n_{сут} l_n}{2000 \sum X_i} \right) \right] + \frac{2a \sum X_i (e_{л-ч} + e_{в-ч} m_{под})}{60} \left(1 - \frac{m_{под} (c_{под} - 1)^2}{(m_{под} - 1) c_{под}^2} \right)}$$

$$m_c^n = 1 +$$

$$+ \sqrt{\frac{\sum X_i b (e_{л-ч} + e_{в-ч} m_{под}) (m_{под} + m_n) \times \left(1 + \frac{m_{под} (c_{под} - 1)^3}{(m_{под} - 1) c_{под}}\right) - N_n (e_{л-ч} + e_{в-ч} m_n) l_{в} (m_n - 1)}{2000 [2,905 (c_{пер} - 1) + 0,535 (m_{пер} - 1)]} + \frac{1}{365} \left[E_n \left(\frac{n_{сут} l_{в} c_n}{2000 \sum X_i} + 2c_{стр} + f_2 \right) + \left(\varphi_2 + 2p_{стр} + \frac{p_n n_{сут} l_{в}}{2000 \sum X_i} \right) \right] + \frac{2a \sum X_i (e_{л-ч} + e_{в-ч} m_{под}) \left(1 - \frac{m_{под} (c_{под} - 1)^2}{(m_{под} - 1) c_{под}^2}\right)}$$

где $n_{сут}$ — среднесуточный вагонопоток на грузовую станцию:

$$n_{сут} = N_n m_n.$$

Подставив исходные данные в приведенные формулы, получим

$$m_c^m = 1 +$$

$$+ \sqrt{\frac{60 \cdot 0,03 (9,0 + 0,3 \cdot 33) (50 + 33) \left(1 + \frac{33 (20 - 1)^3}{(33 - 1) 20^2}\right) - 40 (9 + 0,3 \cdot 50) 15 (50 - 1)}{2000 [4,49 (30 - 1) + 0,52 (50 - 1)]} + \frac{1}{365} \left[0,1 \left(\frac{2000 \cdot 15 \cdot 42000}{2000 \cdot 60} + 2 \cdot 3500 + 22000 \right) + (6330 + 2 \cdot 1340 + \frac{2340 \cdot 2000 \cdot 15}{2000 \cdot 60}) \right] + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 60 (9 + 0,3 \cdot 33)}{60} \times \left(1 - \frac{33 (20 - 1)^2}{(33 - 1) 20^2}\right) = 1 + 4,92 \approx 6 \text{ путей,}$$

$$m_c^n = 1 +$$

$$+ \sqrt{\frac{60 \cdot 0,03 (9 + 0,3 \cdot 33) (50 + 33) \left(1 + \frac{33 (20 - 1)^3}{(33 - 1) 20^2}\right) - 40 (9 + 0,3 \cdot 50) 15 (50 - 1)}{2000 [2,505 (30 - 1) + 0,535 (50 - 1)]} + \frac{1}{365} \left[0,1 \left(\frac{2000 \cdot 15 \cdot 42000}{2000 \cdot 60} + 2 \cdot 3500 + 1600 \right) + (11820 + 2 \times 1340 + \frac{2340 \cdot 2000 \cdot 15}{2000 \cdot 20}) \right] + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 60 (9 + 0,3 \cdot 33)}{60} \times \left(1 - \frac{33 (20 - 1)^2}{(33 - 1) 20^2}\right) = 1 + 4,08 \approx 5 \text{ путей.}$$

4.5. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ

Пример 4.13. Рассчитаем площадь основных помещений вокзала для дальних, местных и пригородных пассажиров. Расчетные годовые пассажиропотоки $A_{год}$ на 10-й год эксплуатации: в дальнем сообщении — 170 000, в местном — 450 000, в пригородном — 975 000 пассажиров. Коэффициенты месячной и суточной неравномерности пассажиропотока k_1 и k_2 принять для дальнего сообщения соответственно 1,95 и 1,1, для местного — 1,35 и 1,2, для пригородного — 1,25 и 1,3.

Решение. По годовым пассажиропотокам определяем расчетные размеры суточных потоков

$$A_{сут} = A_{год} k_1 k_2 / 365$$

для каждого вида сообщений

$$A_{сут}^д = 170\,000 \cdot 1,95 \cdot 1,1 / 365 \approx 1000 \text{ пассажиров;}$$

$$A_{сут}^м = 450\,000 \cdot 1,35 \cdot 1,2 / 365 \approx 2000 \text{ пассажиров;}$$

$$A_{сут}^{пр} = 975\,000 \cdot 1,25 \cdot 1,3 / 365 \approx 4400 \text{ пассажиров.}$$

Расчетная вместимость вокзала определяется числом пассажиров, одновременно находящихся в нем в часы наибольшей загрузки:

$$U_{вок} = \sum A_{сут} n k / 100,$$

где n — норма расчетной вместимости вокзала, % от суточного отправления пассажиров;

для дальних и местных пассажиров

$A_{сут}^д$ и $A_{сут}^м$	До 500	501—1000	1001—2000	2001—3000	3001—5000	5001—7000	Более 7000
n	42—46	38—42	34—38	31—34	28—31	26—28	24—26
для пригородных пассажиров							
$A_{сут}^{пр}$, тыс.	2—5			5—7		7 и более	
n	5—4			4—3		3—2	

k — коэффициент, учитывающий прибывающих пассажиров, встречающих и провожающих, для дальнего и местного пассажиропотоков $k = 1,1 \div 1,25$, для пригородного $k = 1$ [10].

В нашем примере норма расчетной вместимости вокзалов для дальних пассажиров — 40 %, местных — 36 % и пригородных — 4 %. Тогда

$$U_{вок} = 1000 \cdot 40 \cdot 1,2 / 100 + 2000 \cdot 36 \cdot 1,1 / 100 + 4400 \cdot 4 \cdot 1 / 100 = 1440 \text{ чел.}$$

Исходя из расчетной вместимости устанавливаем, что проектируемый вокзал относится к категории больших. Нормы площадей основных помещений для них утверждены МПС. Способ определения площадей основных помещений зависит от категории вокзала:

Расчетная вместимость, чел.

Малый	До 300	Типовой проект Нормы, утвержденные МПС Расчет
Средний	От 300 до 900	
Большой	» 900 » 1500	
Особо большой	Свыше 1500	

Расчетную вместимость принимаем $U_{\text{вок}} = 1500$ чел. Площади основных помещений определяем в зависимости от норм площади, приходящейся на одного пассажира [10]:

	Площадь, м ²
Вестибюль без касс	1440 · 1,2 = 1728
Кассы	5 · 8 = 40
Зал ожидания	1440 · 1,7 = 2448
Комната матери и ребенка	5,5 · 45 = 241
Комната длительного отдыха	6,2 · 50 = 320
Багажное отделение	1440 (1,5 + 0,22) = 2477
Камера хранения ручного багажа	1440 (1,4 + 0,15) = 2232

Аналогично рассчитываем площади остальных служебных и пассажирских помещений.

Пример 4.14. Определим размеры пассажирских платформ для обслуживания пригородного движения при обращении на пригородных участках электропоездов типа ЭР10 (населенность поезда $U_{\text{п}} = 1000$ чел, число вагонов $m = 8$, дверей в вагоне $n = 2$). Принимаем для расчетов время высадки из вагона одного пассажира $t_{\text{выс}} = 2$ с; площадь платформы, занимаемую одним пассажиром, $F_{\text{пл}} = 1$ м²; скорость передвижения пассажиров по платформе $v = 1,2$ м/с

Решение. Длину платформы для высадки-посадки пассажиров (при обращении электропоездов ЭР10 длиной $L = 196$ м) с учетом удлинения составов в перспективе принимаем равной 300 м. Потребная ширина платформы

$$b_{\text{пл}} = (U_{\text{п}} F_{\text{пл}} / L) k + \Delta b + 1,0,$$

где Δb — добавочная ширина платформы для каких-либо устройств (опор контактной сети и др);
 k — коэффициент, учитывающий скопление пассажиров на платформе:

$$k = T_{\text{прох}} / T_{\text{выс}};$$

$T_{\text{прох}}$ — время прохода пассажиром расстояния, равного длине состава L , со скоростью v , с

$$T_{\text{прох}} = L/v;$$

$T_{\text{выс}}$ — общее время высадки пассажиров из поезда, с:

$$T_{\text{выс}} = U_{\text{п}} t_{\text{выс}} / (m n a_{\text{п}});$$

$a_{\text{п}}$ — число пассажиров, выходящих одновременно через одну дверь ($a_{\text{п}} = 1$).

$$T_{\text{прох}} = 196/1,2 = 163 \text{ с};$$

$$T_{\text{выс}} = 1000 \cdot 2 / (8 \cdot 2 \cdot 1) = 125 \text{ с};$$

$$k = 163/125 = 1,3;$$

$$b_{\text{пл}} = (1000 \cdot 1 / 196) 1,3 + 1,0 = 7,63 \text{ м}.$$

Следовательно, размеры платформ для пригородных пассажиров $7,63 \times 300$ м².

Пример 4.15. Рассчитаем потребное число остановочных пунктов городского транспорта на привокзальной площади тупикового типа, если прибывает на станцию в течение суток 40 000 пассажиров; доля отвлечения пассажиров на такси (а также пассажиров, не пользующихся массовым городским транспортом) $\varphi = 0,3$; время работы городского транспорта $T_{\text{р}} = 1200$ мин/сут; суммарное время перерывов в работе городского транспорта $T_{\text{п}} = 300$ мин/сутки; 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; время занятия остановочного пункта посадкой, высадкой пассажиров $T_{\text{с}} = 3$ мин; время на подъезд экипажа к остановочному пункту $\tau = 10$ с; средняя затрата времени на ускорение при отпавлении и на замедление при торможении $r = 15$ с.

Решение. Число остановочных пунктов на привокзальной площади

$$n_0 = (T_{\text{с}} + \tau + r) / I_{\text{рс}},$$

где $I_{\text{рс}}$ — расчетный интервал движения единиц городского транспорта — полусумма интервалов движения минимально возможного $I_{\text{мин}}$ и равнорного $I_{\text{р}}$ в течение рабочего времени:

$$I_{\text{рс}} = (I_{\text{мин}} + I_{\text{р}}) / 2; \quad I_{\text{р}} = (T_{\text{с}} - \sum T_{\text{п}}) / M_{\text{А}};$$

$M_{\text{А}}$ — потребное число единиц городского транспорта для вывоза заданного числа пассажиров:

$$M_{\text{А}} = A_{\text{сут}} (1 - \varphi) / U_{\text{гор}},$$

$$M_{\text{А}} = 40\,000 \cdot 0,7 / 70 = 400 \text{ машин};$$

$$I_{\text{р}} = (1200 - 300) / 400 = 2,25 \text{ мин};$$

$$I_{\text{рс}} = (0,75 + 2,25) / 2 = 1,5 \text{ мин};$$

$$n_0 = (180 + 10 + 15) / 90 \approx 3 \text{ остановки}.$$

4.6. ГРУЗОВЫЕ УСТРОЙСТВА

Пример 4.16. Определим площадь и длину крытого склада для хранения тарно-штучных грузов, число подач (уборок), а также установим, соответствует ли длина склада погрузочно-выгрузочному фронту со стороны железнодорожного и автомобильного транспорта — взаимодействие в работе станции и грузовых фронтов. Годовой грузооборот по прибытии тарно-упаковочных грузов $Q_{\text{г}} = 251\,220$ т; коэффициент неравномерности прибытия $k = 1,2$; коэффициент, учитывающий перегрузку прибывающего груза непосредственно из вагона в автомобиль, $\beta = 0,25$; время маневров — подачи и уборки вагонов $t_{\text{пу}} = 2$ ч (подборка $t_{\text{м}}^{\text{г}} = 0,5$ ч; сортировка, объединение и расстановка вагонов у фронтов погрузки выгрузки $t_{\text{ф}} = 0,2$ ч; подача вагонов с путей сортировочного парка на грузовой двор, если $l = 3$ км, $t_{\text{под}} = 1,3$ ч [18]); параметр накопления вагонов $c = 12$ ч — средняя нагрузка вагона $g_{\text{н}}^{\text{сп}} = 45$ т. На подаче и уборке вагонов работает маневровый локомотив ТЭМ2. Стоимость локомотива $K_{\text{л}} = 136\,000$ руб., себестоимость 1 маневрового локомотиво-ч $E_{\text{л}}^{\text{пр}} = 5,66$ руб., стоимость вагона $K_{\text{в}} = 3500$ руб.; расчетный коэффициент эффективности капитальных вложений $E = 0,12$, себестоимость 1 подаче-км $c_{\text{НС}}^{\text{под}} = 0,645$ руб., 1 подаче-ч $c_{\text{НН}}^{\text{под}} = 5,13$ руб.

Решение. Площадь для переработки и складирования тарно-штучных грузов (в м²)

$$F_{\text{ск}} = Q_{\text{г}} k t_{\text{хр}} k_{\text{пр}} (1 - \beta) / 365 P_{\text{н}},$$

где $t_{\text{хр}}$ — срок хранения грузов по прибытии (2 сут);

$k_{\text{пр}}$ — коэффициент, учитывающий размеры дополнительной площади, необходимой для проходов, проездов и др. (1,7—2,0);

$P_{\text{н}}$ — среднее количество груза, укладываемого на 1 м² площади склада (0,65 т/м²)*.

Общая площадь крытых складов по прибытии

$$F_{\text{ск}} = 251\,220 \cdot 1,20 \cdot 2,0 \cdot 1,7 (1 - 0,25) / (365 \cdot 0,65) = 3\,240 \text{ м}^2.$$

Длина склада определяется по расчетной площади и типовой ширине помещений. При ширине $b_{\text{ск}} = 18$ м** и расчетной площади $F_{\text{ск}} = 3240$ м² общая длина

$$L_{\text{ск}} = \frac{F_{\text{ск}}}{b_{\text{ск}}} = \frac{3240}{18} = 180 \text{ м}.$$

* Значения $t_{\text{хр}}$, $k_{\text{пр}}$, $P_{\text{н}}$ зависят от рода груза и способа его хранения. Принимают их согласно Инструкции по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР ВСН 56—78 (п. 7.29).

** У крытых складов устраивают рампы шириной 3,2 м со стороны железнодорожного пути и 1,7 м со стороны подъезда автомобилей. Общая ширина склада $18 + 3,2 + 1,7 = 22,9$ м.

Если длина одного склада 60 м, потребное число прирельсовых складов $180 : 60 = 3$.

Ежесуточно под выгрузку в крытый склад прибывает с тарно-упаковочными грузами

$$m_{\text{сут}} = Q_{\Gamma} / (365 g_{\text{н}}^{\text{ср}}) = 251\,220 / (365 \cdot 45) = 15,3 \text{ вагона.}$$

Оптимальное число подач и уборок

$$x_{\text{пу}} = \sqrt{\frac{m_{\text{сут}} E_{\text{нН}}^{\text{пр}} (c + 24)}{t_{\text{пу}} E_{\text{МН}}^{\text{пр}}}},$$

где $E_{\text{нН}}^{\text{пр}}$ — стоимость 1 вагоно-ч простоя вагона, руб; $E_{\text{нН}}^{\text{пр}} = 0,18$ руб.;

$E_{\text{МН}}^{\text{пр}}$ — стоимость 1 маневрового локомотиво-ч, руб.; для локомотива ТЭМ2

$$E_{\text{МН}}^{\text{пр}} = 5,66 \text{ руб.}$$

Тогда $x_{\text{пу}} = \sqrt{15,3 \cdot 0,18 (12 + 24) / (2 \cdot 5,66)} \approx 3$ подачи

На основании технико-экономических расчетов

$$x_{\text{пу}} = \sqrt{\frac{E_{\text{нН}}^{\text{пр}} m_{\text{сут}} (c + 24)}{E_{\text{МН}}^{\text{пр}} (t_{\text{м}}^{\text{пр}} + t_{\text{ф}}^{\text{пр}}) + c_{\text{НС}}^{\text{пр}} \cdot 2l_{\text{под}} + c_{\text{НН}}^{\text{пр}} t_{\text{з}}^{\text{пр}} + E (c_{\text{к}}^{\text{пр}} + m_{\text{под}} c_{\text{к}}^{\text{пр}}) t_{\text{под}}}}, \quad (4.11)$$

где $c_{\text{к}}^{\text{пр}}$ — стоимость локомотива, приходящаяся на 1 ч, руб:

$$c_{\text{к}}^{\text{пр}} = \frac{K_{\text{л}} \alpha_{\text{рем}}^{\text{пр}}}{365 \cdot 24} = \frac{136\,000 \cdot 1,1}{365 \cdot 24} = 17,1 \text{ руб.};$$

$\alpha_{\text{рем}}^{\text{пр}}$ — коэффициент, учитывающий долю локомотивов, находящихся в ремонте. Для среднесетевых условий $\alpha_{\text{рем}}^{\text{пр}} = 1,1$;

$c_{\text{к}}^{\text{в}}$ — стоимость вагона (без учета грузовой массы), приходящаяся на 1 ч, руб.

$$c_{\text{к}}^{\text{в}} = \frac{K_{\text{в}} \alpha_{\text{рем}}^{\text{в}}}{365 \cdot 24} = \frac{3500 \cdot 1,1}{365 \cdot 24} = 0,44 \text{ руб.};$$

$\alpha_{\text{рем}}^{\text{в}}$ — коэффициент, учитывающий долю вагонов, находящихся в ремонте.

Для среднесетевых условий $\alpha_{\text{рем}}^{\text{в}} = 1,1$.

Подставив значения всех величин в формулу (4.10), получим

$$x_{\text{пу}} = \sqrt{\frac{0,18 \cdot 15,3 (12 + 24)}{5,66 (0,5 + 0,2) + 0,645 \cdot 2 \cdot 3 + 5,13 \cdot 0,2 + 0,12 (17,1 + 16 \cdot 0,44) \cdot 3}} \approx 3 \text{ подачи.}$$

Определим потребную длину фронта погрузочно-разгрузочных работ как со стороны железнодорожного пути, так и со стороны подъезда автомобилей. Длина фронта (в м) погрузочно-разгрузочных работ со стороны железнодорожного пути, необходимая для операций одновременно со всеми вагонами поданной группы (подачи):

$$l_{\text{фр}} = m_{\text{сут}} l_{\text{в}} / x_{\text{пу}},$$

где $l_{\text{в}}$ — длина фронта, занимаемая одним вагоном, с учетом промежутков при расстановке вагонов у дверей склада, м, определяемая по процентному соотношению вагонов (роду и осности) в подаче; для ориентировочных расчетов $l_{\text{в}} = 15$:

$$l_{\text{фр}} = 15,3 \cdot 15 / 3 = 76,5 \text{ м.}$$

Длина фронта (в м) со стороны автомобильного транспорта

$$l_{\text{фа}} = \frac{Q_{\Gamma} k_{\text{а}} l_{\text{а}} t_{\text{а}}}{365 q_{\text{а}} T_{\text{гд}}},$$

где $k_{\text{а}}$ — коэффициент суточной неравномерности вывоза груза автотранспортом, равный 1,35—1,50;

$l_{\text{а}}$ — фронт, потребный для одного автомобиля, м; зависит от расположения автомобилей у склада: $l_{\text{а}} = l_{\text{м}} + l'$ при установке вдоль склада и $l_{\text{а}} = b_{\text{м}} + l''$ — перпендикулярно складу;

$l_{\text{м}}$ — длина автомобиля 4,50—7,75 м;

l' — расстояние между последовательно стоящими автомобилями 4,2—4,5 м;

$b_{\text{м}}$ — ширина автомобиля 2,0—2,6 м;

l'' — расстояние между рядом стоящими машинами 1,5 м;

$t_{\text{а}}$ — средняя продолжительность погрузки или выгрузки одного автомобиля 0,5—0,7 ч;

$q_{\text{а}}$ — средняя загрузка одного автомобиля 1,5—5,0 т;

$T_{\text{гд}}$ — продолжительность работы грузового двора, ч.

Потребный фронт работ (при установке автомобилей вдоль склада) составит

$$l_{\text{фа}} = 251\,220 \cdot 1,50 (5,0 + 4,5) 0,6 / (365 \cdot 3,0 \cdot 24) = 95 \text{ м.}$$

Сравнивая $l_{\text{ск}} = 180$ м, $l_{\text{фр}} = 76,5$ м и $l_{\text{фа}} = 95$ м, видим, что общая длина трех складов обеспечивает потребную длину фронта погрузочно-разгрузочных работ как со стороны пути, так и со стороны подъезда автомобилей. Взаимодействие грузовой работы станции с технической, графиком движения поездов и с работой других видов транспорта обеспечено, если суммарное время на выполнение всех грузовых операций (выгрузка, перестановка, погрузка, перевеска и др.) в данном пункте $T_{\text{гр}} \leq 24$: $x_{\text{пу}} \leq 24 : 3 \leq 8$ ч.

Когда простой вагонов на станции $t_{\text{пр}}$ задан, то число подач

$$x_{\text{пу}} \geq (c + 24) / (t_{\text{пр}} - \sum t_{\text{тех}}),$$

где $\sum t_{\text{тех}}$ — суммарное время, необходимое для выполнения технических операций с местным вагоном (прибытие, расформирование, подача, расстановка, объединение, уборка, накопление, формирование, отправление и др.); согласно хронометражным данным $\sum t_{\text{тех}} = 8$ ч.

Если $t_{\text{пр}} = 12$ ч, то $x_{\text{пу}} = (12 + 24) / (12 - 8) \approx 9$ подач.

Пример 4.17. Определим площадь, длину и ширину площадки для переработки трехтонных контейнеров двухконсольным козловым и мостовым кранами. Ежедневно на площадку прибывает 20 четырехосных полувагонов с местными контейнерами (в адрес станции) и 10 с транзитными; среднесуточный остаток под накоплением — 25 контейнеров; число подач и уборок вагонов на грузовой двор — 3.

Решение. Площадь контейнерной площадки $F_{\text{к}}$ зависит от ее вместимости $E_{\text{к}}$ и площади $F_{\text{к}}^0$, занимаемой одним контейнером, с учетом проходов и проездов $k_{\text{пр}}$:

$$F_{\text{к}} = E_{\text{к}} F_{\text{к}}^0 k_{\text{пр}}.$$

Общая вместимость контейнерной площадки, контейнеро-мест:

$$E_{\text{ск}} = E_{\text{к}}^{\text{м}} + E_{\text{к}}^{\text{тр}} + E_{\text{к}}^{\text{с}},$$

где $E_{\text{к}}^{\text{м}}$, $E_{\text{к}}^{\text{тр}}$, $E_{\text{к}}^{\text{с}}$ — вместимость площадок для переработки в среднем в сутки контейнеров соответственно местных, транзитных и для накопления (при сортировке) по назначениям плана формирования.

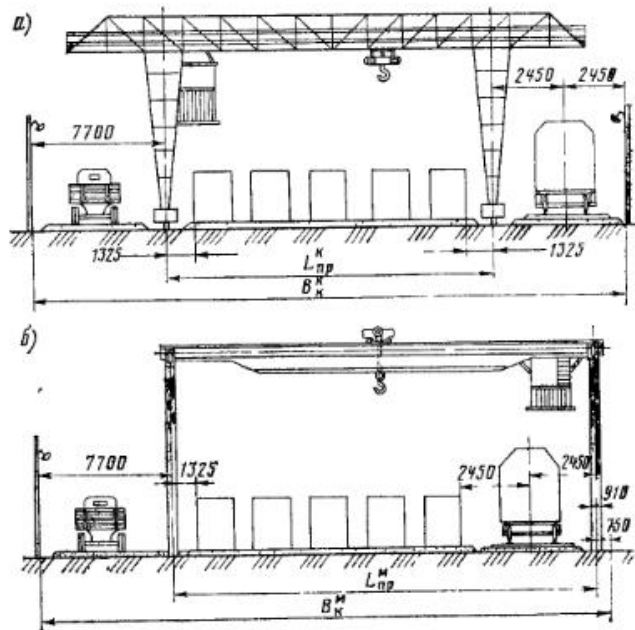


Рис. 4.5. Схема механизации переработки контейнеров: а — козловым краном; б — мостовым краном

Для каждой категории перерабатываемых контейнеров (местных k_M , транзитных $k_{ТР}$, сортируемых k_C): $E_K^M = 4,2 k_M$ — при среднесуточной погрузке до 10 вагонов; $E_K^M = 3,15 k_M$ — свыше 10 вагонов;

$$E_K^{TP} = 1,5 \omega_K k_{ТР}; \quad E_K^C = 1,56 T_H k_C.$$

где ω_K — доля транзитных контейнеров, устанавливаемых на площадку под накопление (0,3—0,4); T_H — расчетный срок хранения контейнеров под накоплением, $T_H = 1$ сут, $4,2; 3,15, \left. \begin{array}{l} \right\} \\ 1,5; 1,56 \end{array} \right\}$ — коэффициенты, учитывающие сгущенную подачу вагонов под выгрузку-погрузку, уменьшение потребной вместимости площадки при передаче груза непосредственно на автотранспорт, вместимость склада для неисправных контейнеров, сроки хранения

Вместимость одного полувагона — 12 трехтонных контейнеров. Значит, станция перерабатывает $12 \cdot 20 = 240$ местных и $12 \cdot 10 = 120$ транзитных контейнеров, сортирует (по условию) — 25. Тогда

$$E_K^M = 3,15 \cdot 240 = 756; \quad E_K^{TP} = 1,5 \cdot 0,4 \cdot 120 = 72;$$

$$E_K^C = 1,56 \cdot 1 \cdot 25 = 39 \text{ контейнеров.}$$

Площадь, занимаемая одним контейнером, $F_K^0 = 2,12 \cdot 1,325 = 2,81 \text{ м}^2$, коэффициент для учета проходов и проездов принимаем равным $k_{HP} = 1,5$. Полезная площадь контейнерной площадки для хранения контейнеров

$$F_K = (756 + 72 + 39) \cdot 2,81 \cdot 1,5 = 3654 \text{ м}^2.$$

Ширина ее зависит от принятого способа механизации: двухконсольный козловой кран грузоподъемностью 5 т с пролетом $L_{пр}^K = 16 \text{ м}$ (рис. 4.5, а)

$$b_K^K = 16 - 2 \cdot 1,325 = 13,35 \text{ м};$$

мостовой кран (рис. 4.5, б) грузоподъемностью 10 т с пролетом $L_{пр}^M = 22,5 \text{ м}$

$$b_K^M = 22,5 - 2 \cdot 2,45 - 1,325 - 0,91/2 = 15,865 \text{ м.}$$

Длина контейнерной площадки: двухконсольный козловой кран

$$L_K^K = F_K / b_K^K = 3654 / 13,35 = 273 \text{ м};$$

мостовой кран

$$L_K^M = F_K / b_K^M = 3654 / 15,865 = 234 \text{ м.}$$

Длину контейнерной площадки необходимо сопоставить с фронтом погрузочно-разгрузочных работ со стороны железнодорожных путей и подъезда автомобилей. Расчет аналогичен примеру 4.16. Потребный фронт работ: со стороны железнодорожных путей

$$l_{фр} = 30 \cdot 14,41/3 = 432,3/3 = 144,1 \text{ м};$$

со стороны подъезда автомобилей

$$l_{фа} = E_K^M k_a l_a t_a / (k_M^a T_{гд}) = 756 \cdot 1,5 (5,0 + 4,5) \cdot 0,7 / (2 \cdot 24) = 157 \text{ м},$$

где k_M^a — число контейнеров, устанавливаемых на автомобиль;

14,41 — длина четырехосного полувагона, м.

В нашем примере $l_{фр} < L_K > l_{фа}$. Следовательно, к проектированию принимаем площадку длиной 273 (с двухконсольным козловым краном) или 234 м (с мостовым краном). Общая ширина площадки с учетом автомобильной дороги и железнодорожных путей $B_K^K = 16 + 7,7 + 2 \cdot 2,45 = 28,6 \text{ м}$ (см. рис. 4.5, а) и $B_K^M = 22,5 + 7,7 + 0,75 = 30,95 \text{ м}$ (см. рис. 4.5, б).

Пример 4.18. Определим кладскую площадь для переработки и хранения круглого леса и пиломатериалов а также длину и ширину площадки при переработке лесных грузов двухконсольным козловым краном. Годовой грузооборот лесных грузов по прибытию $Q_{г} = 50$ тыс. т (500 тыс. т — круглый лес; 100 тыс. т — пиломатериалы); число одач и уборок вагонов на грузовой двор $\chi_{пу} = 4$, коэффициент перегрузки груза из вагона на автомобиль $\beta = 0,25$.

Решение. Полезная площадь склада

$$F_{л} = F_{шт} n_{шт} k_{пр},$$

где $F_{шт}$ — площадь, занимаемая одним штабелем, м^2 ;

$$F_{шт} = b_{шт} l_{шт};$$

$n_{шт}$ — число штабелей;

$l_{шт}$ — длина;

$b_{шт}$ — ширина одного штабеля.

Ширина штабеля при принятом способе укладки (рис. 4.6) обычно равна длине бревна (доски), а длина для круглого леса — до 400 м, для пиломатериалов — удвоенной длине доски. При длине бревна 6 м и длине доски 4 м площадь одного штабеля круглого леса (если длина штабеля $l_{шт} = 50 \text{ м}$) $F_{шт}^1 = 6 \cdot 50 = 300 \text{ м}^2$, пиломатериалов $F_{шт}^2 = 2 \cdot 4 \cdot 4 = 32 \text{ м}^2$. Число штабелей

$$n_{шт} = Q_{г} (1 - \beta) t_{хр} / 365 E_{шт}. \quad (4.12)$$

Вместимость штабеля в зависимости от его объема $V_{шт}$, плотности груза γ и коэффициента плотности укладки ψ

$$E_{шт} = V_{шт} \gamma \psi.$$

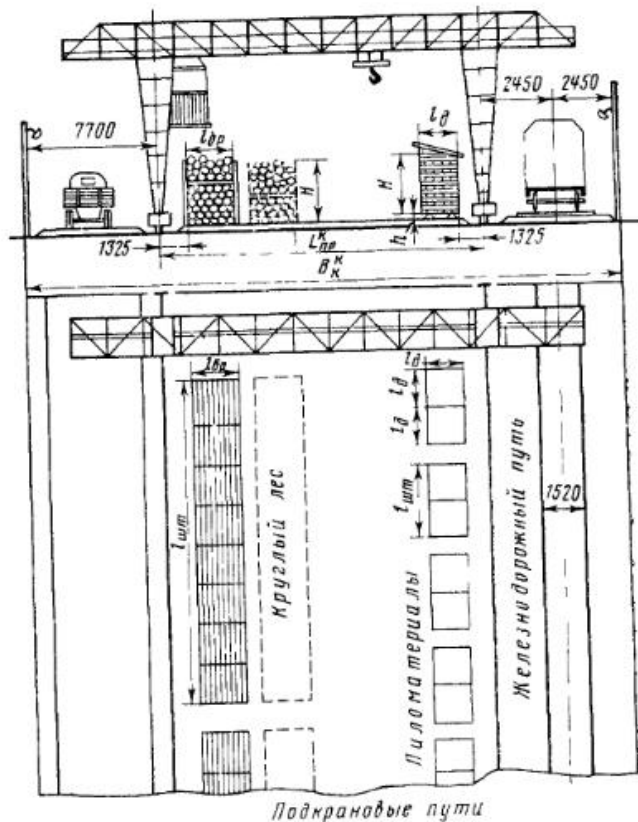


Рис. 4.6. Схема механизации переработки лесных грузов козловым краном

Объем штабеля круглого леса, м³

$$V_{шт}^n = l_{шт}^n l_{бр} H;$$

пиломатериалов

$$V_{шт}^n = l_{д} 2l_{д} (H - h),$$

где $l_{шт}$ — длина штабеля пиломатериалов, м:

$$l_{шт} = 2l_{д};$$

$l_{д}$, $l_{бр}$ — длина доски и бревна, м;

H — высота штабеля, м;

h — высота подштабельного основания, м.

При $l_{шт} = 50$ м; $H = 5$ м; $l_{бр} = 6$ м; $l_{д} = 4$ м и $h = 0,2$ м объем штабеля

круглого леса $V_{шт}^n = 50 \cdot 6 \cdot 5 = 1500$ м³;

пиломатериалов $V_{шт}^n = 4 \cdot 2 \cdot 4 (5 - 0,2) = 153,6$ м³.

Вместимость штабеля при $\gamma = 0,56$ т/м³ и $\psi = 0,6$ соответственно:

$$E_{шт}^n = 1500 \cdot 0,56 \cdot 0,6 = 504 \text{ т};$$

$$E_{шт}^n = 153,6 \cdot 0,56 \cdot 0,6 = 51,6 \text{ т};$$

число штабелей [см. формулу (4.12)]:

$$n_{шт}^n = 500\,000 (1 - 0,25) 2,5 / (365 \cdot 504) = 5;$$

$$n_{шт}^n = 100\,000 (1 - 0,25) 2,5 / (365 \cdot 51,6) = 10.$$

Полезная площадь для хранения лесоматериалов, исходя из площади одного штабеля $F_{шт}^n = 300$ м² и $G_{шт}^n = 32$ м² и коэффициента дополнительной площади на проезды и проходы $k_{пр} = 1,6$:

$$F_{шт}^n = 300 \cdot 5 \cdot 1,6 = 2400 \text{ м}^2;$$

$$F_{шт}^n = 32 \cdot 10 \cdot 1,6 = 512 \text{ м}^2.$$

Общая потребная площадь склада

$$F_{пл} = 2400 + 512 = 2912 \text{ м}^2.$$

При оборудовании площадки козловым краном с пролетом $L_{кр} = 16$ м полезная ее ширина

$$B_{пл} = 16 - 2 \cdot 1,325 = 13,35 \text{ м},$$

а длина

$$L_{пл} = F_{пл} / B_{пл} = 2912 / 13,35 = 218 \text{ м}.$$

Сравним площадку $L_{пл} = 218$ м с потребным фронтом работ со стороны железнодорожных путей и подъезда автомобилей (методика расчета изложена в примере 4.16). При суточном прибытии $m_{сут} = Q_r / 365 q_n^{пр} = 600\,000 / (365 \cdot 20) = 82$ вагонов с лесными грузами потребная длина фронта погрузочно-разгрузочных работ:

со стороны железнодорожных путей $l_{фр} = 82 \cdot 14,41 / 4 = 296$ м;

со стороны подъезда автомобилей $l_{фа} = 600\,000 \cdot 1,5 (5,0 + 4,5) 0,7 / (365 \times 3,0 \cdot 24) = 228$ м.

Так как $l_{фр} > l_{фа} > L_{пл}$, к проектированию принимаем длину площадки 296 м.

Пример 4.19. Определим длину и высоту повышенного пути для выгрузки угля из полувагонов; рассчитаем его вместимость. Ежедневно под выгрузку прибывает $m_{сут} = 54$ четырехосных полувагона, число подач-уборок их на грузовой двор $x_{пу} = 3$.

Решение. Длина разгрузочной части повышенного пути

$$l_{разгр} = m_{сут} l_{в} / x_{пу} + a,$$

где $l_{в}$ — длина вагона, м;

a — величина, учитывающая неточность установки всей подачи на разгрузочном фронте, м; принимается равной длине 1—3 вагонов в зависимости от общей длины подачи.

Длина разгрузочного фронта при длине четырехосного полувагона $l_{в} = 14,41$ м

$$l_{разгр} = 54 \cdot 14,41 / 3 + 2 \cdot 14,41 \approx 288 \text{ м}.$$

Высота повышенного пути

$$h_{пп} = \sqrt{m_{фр} q_n / \gamma \psi l_{в} \text{ctg } \rho} - 0,5,$$

где $m_{фр}$ — число полувагонов, разгружаемых на одном месте (принимается равным 2);

q_n — масса груза в одном полувагоне, т (уголь в полувагонах — $q_n = 60$ 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, град (для угля $\rho = 45^\circ$).

Подставив эти значения в формулу, получим

$$h_{пп} = \sqrt{2 \cdot 60 / 0,85 \cdot 0,9 \cdot 14,41} - 0,5 = 2,817 \text{ м}.$$

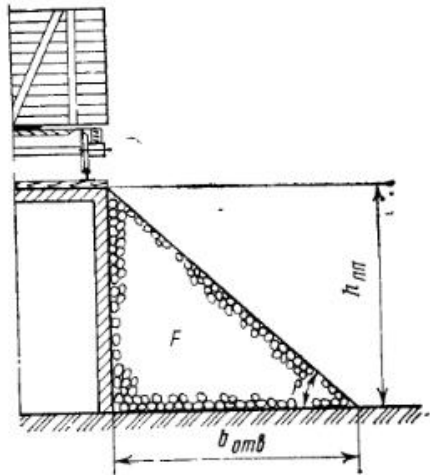


Рис. 4.7. Схема для определения вместимости склада у повышенного пути

Принимаем типовую высоту повышенного пути — 3 м. Длина наклонной части повышенного пути (при $i = 15 \div 20 \%$)

$$l_{\text{накл}} = 1000h_{\text{пп}}/i = 1000 \cdot 3/20 = 150 \text{ м.}$$

Вместимость склада с обеих сторон повышенного пути

$$E_{\text{пп}} = 2Fi_{\text{рагр}}\psi,$$

где F — площадь сечения груза в отвале, м^2 (рис. 4.7):

$$F = h_{\text{пп}}b_{\text{отв}}/2;$$

$b_{\text{отв}}$ — ширина отвала, м (зависит от высоты повышенного пути и угла естественного откоса при $h_{\text{пп}} = 3$ м и $\rho = 45^\circ$ $b_{\text{отв}} = 3$ м);

ψ — коэффициент заполнения отвала (для угля $\psi = 0,80 \div 0,90$).

При $F = 3 \cdot 3/2 = 4,5 \text{ м}^2$; $i_{\text{рагр}} = 288$ м; $\gamma = 0,85 \text{ т/м}^3$ и $\psi = 0,80$ вместимость склада с обеих сторон повышенного пути составит

$$E_{\text{пп}} = 2 \cdot 4,5 \cdot 288 \cdot 0,85 \cdot 0,80 = 1764 \text{ т,}$$

а масса груза в одной подаче

$$Q_{\text{п}}^{\text{под}} = m_{\text{суг}} q_{\text{н}}/x_{\text{пу}} = 54 \cdot 60/3 = 1080 \text{ т.}$$

Как видим, вместимость склада значительно превышает массу груза в одной подаче. Следовательно, к проектированию принимаем $i_{\text{рагр}} = 288$ м.

Пример 4.20. Определим площадь склада для выгрузки и хранения угля, оборудованного повышенным путем в сочетании с козловым двухконсольным краном (пролет 32 м). Годовой грузооборот угля по прибытии $Q_{\text{г}} = 1\,182\,600 \text{ т}$; 30 % груза перегружается непосредственно из отвалов на автотранспорт; длина штабеля у нижнего основания $l_{\text{шт}} = 50$ м; общая высота штабеля $H_{\text{шт}} = 5$ м; угол естественного откоса для угля $\rho = 45^\circ$.

Решение. Полезная площадь склада, его ширина и длина зависят от средств механизации выгрузки угля и принятого способа его хранения (рис. 4.8). Объем штабеля при кагатном хранении

$$V_{\text{шт}} = \left[\frac{1}{6} b_{\text{шт}} h'_{\text{шт}} (2l_{\text{шт}} + l'_{\text{шт}}) \right] + l_{\text{шт}} b_{\text{шт}} h_{\text{шт}},$$

где $l_{\text{шт}}$, $b_{\text{шт}}$, $h_{\text{шт}}$ — геометрические размеры (длина, ширина, высота) штабеля у основания, м;

$l'_{\text{шт}}$, $h'_{\text{шт}}$ — геометрические размеры (длина, высота) верхней части штабеля, м.

Ширина штабеля у основания $b_{\text{шт}}$ зависит от средств механизации. При ширине повышенного пути $b_{\text{пп}} = 2,6$ м, ширине отвала $b_{\text{отв}} = 3$ м (пример 4.19), пролете крана $L_{\text{пр}}^{\text{к}} = 32$ м

$$b_{\text{шт}} = [L_{\text{пр}}^{\text{к}} - (2 \cdot 1,325 + 2b_{\text{отв}} + b_{\text{пп}} + 2 \cdot 0,700)]/2 = [32 - (2,650 + 2 \cdot 3 + 2,6 + 1,4)]/2 \approx 9,6 \text{ м.}$$

Высота верхней $h'_{\text{шт}}$ и нижней $h_{\text{шт}}$ частей штабеля и длина поверху $l'_{\text{шт}}$:

$$h'_{\text{шт}} = b_{\text{шт}}/2 \text{ tg } \rho = 9,6/2 \text{ tg } 45^\circ = 4,8 \cdot 1 = 4,8 \text{ м;}$$

$$h_{\text{шт}} = H_{\text{шт}} - h'_{\text{шт}} = 5,0 - 4,8 = 0,2 \text{ м;}$$

$$l'_{\text{шт}} = l_{\text{шт}} - 2h'_{\text{шт}}/\text{tg } \rho = 50 - 2 \cdot 4,8/\text{tg } 45^\circ = 50 - 9,6 = 40,4 \text{ м.}$$

Тогда объем штабеля (кагата)

$$V_{\text{шт}} = 1/6[9,6 \cdot 4,8 (2 \cdot 50 + 40,4)] + 50 \cdot 9,6 \cdot 0,2 \approx 1174 \text{ м}^3.$$

При плотности угля $\gamma = 0,85 \text{ т/м}^3$ вместимость штабеля

$$E_{\text{шт}} = V_{\text{шт}}\gamma = 1174 \cdot 0,85 = 998 \text{ т.}$$

Число штабелей (см. пример 4.18)

$$n_{\text{шт}} = 1\,182\,600 (1 - 0,3) 2,5/(365 \cdot 998) \approx 6.$$

Полезная площадь для хранения угля с учетом дополнительной на проходы и проезды ($k_{\text{пр}} = 1,5$)

$$F_{\text{пл}} = F_{\text{шт}} n_{\text{шт}} k_{\text{пр}} = 50 \cdot 9,6 \cdot 6 \cdot 1,5 = 4320 \text{ м}^2.$$

При полезной ширине $B_{\text{пл}} = 2b_{\text{шт}} = 2 \cdot 9,6 = 19,2$ м длина площадки

$$L_{\text{пл}} = F_{\text{пл}}/B_{\text{пл}} = 4320/19,2 = 224 \text{ м.}$$

Потребная длина фронта погрузочно-разгрузочных работ со стороны железнодорожных путей $l_{\text{фр}} = l_{\text{рагр}} = 288$ м (см. пример 4.19), а со стороны подъезда автомобилей (при установке вдоль склада)

$$l_{\text{фа}} = 1\,182\,600 \cdot 1,5 (5,0 + 4,5) 0,7/(365 \cdot 3,0 \cdot 24) = 450 \text{ м,}$$

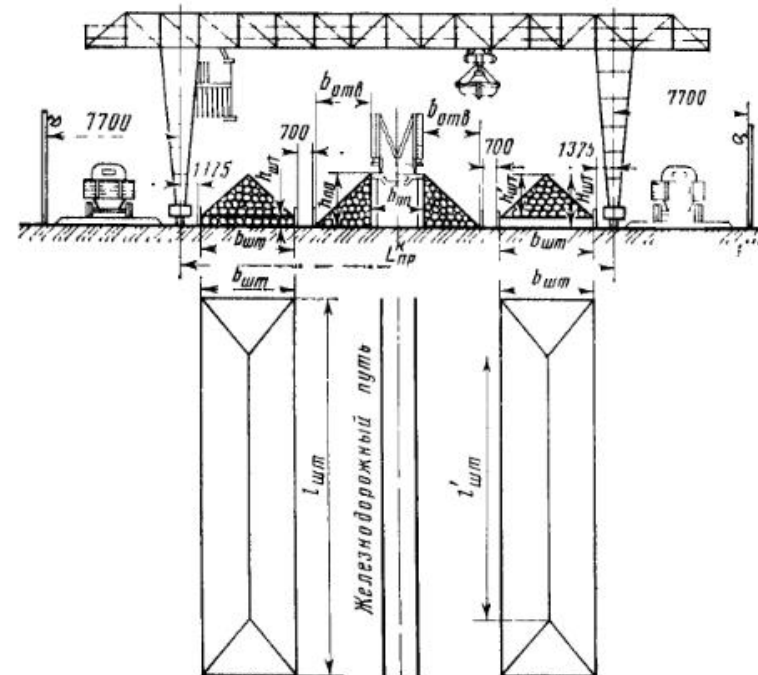


Рис. 4.8. Схема механизации переработки угля

Ремонтные периоды, тыс. км/сутки (месяцы, годы)

Вид и серия тепловоза и дизель-поезда	Техническое обслуживание ТО-3	Текущий ремонт			Капитальный ремонт	
		ТР-1	ТР-2	ТР-3	КР-1	КР-2
Тепловозы грузовые и пассажирские:						
Т10	7,2 17 сут	29,0 2,3 мес	115,0 9,2 мес	210,0 18 мес	680,0 4,5 года	1360,0 9 лет
ТЭ3, ТЭ7, 3ТЭ3	7,5 18 сут	30,0 2,5 мес	120,0 10 мес	210,0 18 мес	720,0 5 лет	1440,0 10 лет
ТЭП60, 2ТЭП60, ТЭП70	7,5 18 сут	37,5 3,0 мес	150,0 9,0 мес	300,0 18 мес	900,0 4,5 года	1800,0 9 лет
М62, 2М62	8,0 18 сут	40,0 3,0 мес	120,0 9,0 мес	240,0 18 мес	720,0 4,5 года	1440,0 9 лет
2ТЭ116	8,0 18 сут	40,0 3,0 мес	200,0 15 мес	400,0 30 мес	800,0 5 лет	1600,0 10 лет
Тепловозы маневровые, вывозные и передаточные:						
ТЭМ1, ТЭМ2, ЧМЭ3	30 сут	7,5 мес	15 мес	30 мес	7,5 лет	15 лет
ТГМ3, ТГМ7	10 сут	2 мес	8 мес	16 мес	5 лет	10 лет
ЧМЭ2, ТЭ1, ТЭ2 и др.	15 сут	4 мес	8 мес	16 мес	5 лет	10 лет
Дизельные поезда:						
Д	10 сут	2 мес	—	120,0 12 мес	480,0 4 года	960,0 8 лет
Д ₁	10 сут	2 мес	—	150,0 15 мес	600,0 5 лет	1200,0 10 лет
ДР ₁	10 сут	2 мес	—	100,0 12 мес	200,0 24 мес	600,0 6 лет
						1200,0 12 лет

где $L_{КР-2}$, $L_{КР-1}$, $L_{ТР-3}$, $L_{ТР-2}$, $L_{ТР-1}$, $L_{ТО-3}$ — нормы пробегов соответственно между капитальными и текущими ремонтами и техническим обслуживанием ТО-3 (табл. 4.7).

Соответственно:

$$P_{КР-2} = 18,43 \cdot 10^6 / (1440 \cdot 10^3) = 12,80;$$

$$P_{КР-1} = [18,43 \cdot 10^6 / (720 \cdot 10^3)] - 12,80 = 12,80;$$

$$P_{ТР-3} = [18,43 \cdot 10^6 / (210 \cdot 10^3)] - 25,60 = 62,16;$$

т. е. по $450 : 2 = 225$ м с каждой стороны. Так как $L_{пл} < l_{фр} > l_{фа}/2$, к проектированию принимаем длину площадки, равную длине фронта со стороны железнодорожного пути 288 м.

Пример 4.21. Определим площадь для стоянки автомобилей перед въездом на грузовой двор Годовой грузооборот последнего $Q_G = 1250$ тыс. т.

Решение. Потребная площадь для стоянки автомобилей перед въездом на грузовой двор

$$F_a = \frac{Q_G k_a f_a t_c}{365 q_a T_{гд}},$$

где f_a — площадь, необходимая для стоянки одного автомобиля, м² (зависит от схемы размещения автомобилей и может быть принята равной 40 м²); t_c — время стоянки автомобиля, ч (ориентировочно равно 0,5 ч).

Остальные обозначения см. в примере 4.16.

При $k_a = 1,5$; $q_a = 3,0$ т; $T_{гд} = 24$ ч

$$F_a = 1\,250\,000 \cdot 1,5 \cdot 40 \cdot 0,5 / (365 \cdot 3,0 \cdot 24) = 1427 \text{ м}^2.$$

4.7. УСТРОЙСТВА ЛОКОМОТИВНОГО ХОЗЯЙСТВА

Пример 4.22. Определим число ремонтных стоек в здании основного депо станции Н. Станции А и Б (рис 4.9) — пункты оборота локомотивов. Участки обслуживаются тепловозами серии ТЭ3 Размеры движения на участках: А—Н—28; Б—Н—25 пар поездов К депо приписаны три маневровых локомотива серии ТЭМ2. Подъемочный ремонт локомотивов производится в специализированном депо.

Решение. Число ремонтных стоек определяем на основании годовой программы ремонтов и продолжительности нахождения локомотивов в ремонте. Число ремонтов за год устанавливаем по годовым пробегам приписных локомотивов и пробегам или срокам между ремонтами. Годовой пробег локомотивов, приписанных к депо,

$$S = 365 \cdot 2 \sum lN,$$

где l — длина участка, км;

N — число пар поездов, обращающихся на участке в сутки;

$$S = 365 \cdot 2 (500 \cdot 28 + 450 \cdot 25) = 18,43 \text{ млн. локомотиво-км.}$$

Годовая программа ремонта для поездных локомотивов:
капитальный ремонт КР-2

$$P_{КР-2} = S/L_{КР-2};$$

капитальный ремонт КР-1

$$P_{КР-1} = S/L_{КР-1} - P_{КР-2};$$

текущий ремонт ТР-3

$$P_{ТР-3} = S/L_{ТР-3} - (P_{КР-2} + P_{КР-1});$$

текущий ремонт ТР-2

$$P_{ТР-2} = S/L_{ТР-2} - (P_{КР-2} + P_{КР-1} + P_{ТР-3});$$

текущий ремонт ТР-1

$$P_{ТР-1} = S/L_{ТР-1} - (P_{КР-2} + P_{КР-1} + P_{ТР-3} + P_{ТР-2});$$

техническое обслуживание ТО-3

$$P_{ТО-3} = S/L_{ТО-3} - (P_{КР-2} + P_{КР-1} + P_{ТР-3} + P_{ТР-2} + P_{ТР-1});$$

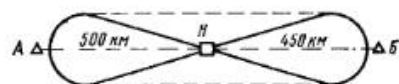


Рис. 4.9. Схема участков обращения локомотивов

$$P_{\text{ТР-2}} = [18,43 \cdot 10^6 / (120 \cdot 10^3)] - 87,76 = 65,82;$$

$$P_{\text{ТР-1}} = [18,43 \cdot 10^6 / (30 \cdot 10^3)] - 153,58 = 460,75;$$

$$P_{\text{ТО-3}} = [18,43 \cdot 10^6 / (7,5 \cdot 10^3)] - 614,33 = 1843,01.$$

Годовая программа ремонтов маневровых локомотивов:
капитальный ремонт КР-2

$$P_{\text{КР-2}}^M = M_m / T_{\text{КР-2}};$$

капитальный ремонт КР-1

$$P_{\text{КР-1}}^M = M_m / T_{\text{КР-1}} (1 - T_{\text{КР-1}} / T_{\text{КР-2}});$$

текущий ремонт ТР-3

$$P_{\text{ТР-3}}^M = 12M_m / T_{\text{ТР-3}} - M_m / T_{\text{КР-1}};$$

текущий ремонт ТР-2

$$P_{\text{ТР-2}}^M = M_m / T_{\text{ТР-2}} (1 - T_{\text{ТР-2}} / T_{\text{ТР-3}});$$

текущий ремонт ТР-1

$$P_{\text{ТР-1}}^M = M_m / T_{\text{ТР-1}} (1 - T_{\text{ТР-1}} / T_{\text{ТР-2}});$$

техническое обслуживание ТО-3

$$P_{\text{ТО-3}}^M = 365 M_m / T_{\text{ТО-3}} - 12M_m / T_{\text{ТР-1}};$$

где M_m — 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;
 $T_{\text{ТО-3}}$ — период между техническими обслуживаниями
ТО-3, сутки.

Используя данные табл. 4.7, получим:

$$P_{\text{КР-2}}^M = 3/15 = 0,2;$$

$$P_{\text{КР-1}}^M = 3/7,5 (1 - 7,5/15) = 0,2;$$

$$P_{\text{ТР-3}}^M = 12 \cdot 3/30 - 3/7,5 = 0,8;$$

$$P_{\text{ТР-2}}^M = 3/15 (1 - 15/30) = 0,1;$$

$$P_{\text{ТР-1}}^M = 3/7,5 (1 - 7,5/15) = 0,2;$$

$$P_{\text{ТО-3}}^M = 365 \cdot 3/30 - 12 \cdot 3/7,5 = 31,7.$$

Учитывая, что капитальный ремонт тепловозов производится на ремонтных заводах, число стойл для ремонтов в основном депо приписки следующее:
позиции ТО-3

$$A_{\text{ТО-3}} = \sum (P_{\text{ТО-3}} t_{\text{ТО-3}} / 24D) \psi;$$

позиции ТР-1

$$A_{\text{ТР-1}} = \sum (P_{\text{ТР-1}} t_{\text{ТР-1}} / 24D) \psi;$$

позиции ТР-2

$$A_{\text{ТР-2}} = \sum (P_{\text{ТР-2}} t_{\text{ТР-2}} / D);$$

Продолжительность осмотра или ремонта

Тепловоз и дизельный поезд	ТО-3, ч	ТР-1, ч	ТР-2, сут	ТР-3, сут
Тепловозы:				
ТЭП60	10	36	4	5
ТЭ10	10	36	5	6
3ТЭ3, 3ТЭ10	12	36	5	6
ТЭ3	8	36	4,5	4,5
ТЭМ2, ЧМЭ2, ЧМЭ3	5	24	5	6
Дизельный поезд	8	24	10	12

позиции ТР-3 (каждое стойло — на секцию тепловоза)

$$A_{\text{ТР-3}} = \sum (P_{\text{ТР-3}} t_{\text{ТР-3}} / D) c,$$

где $t_{\text{ТО-3}}, t_{\text{ТР-1}}, t_{\text{ТР-2}}, t_{\text{ТР-3}}$ — время занятия стойла соответствующими видами ремонтов и осмотров (табл. 4.8);

D — число рабочих дней в году. Для расчета ТР-2 и ТР-3 принимаем D равным 253, а ТО-3, ТР-1 и позиции испытаний с учетом работы в четыре смены без выходных дней — 365;

ψ — коэффициент, учитывающий неравномерность постановки локомотивов в стойло для ТО-3 и ТР-1 и реостатных испытаний. Принимается равным 1,1—1,2;
 c — число секций тепловоза.

Знак Σ показывает сумму данных для тепловозов различных серий.

$$A_{\text{ТО-3}} = \frac{1843,01 \cdot 8}{24 \cdot 365} 1,2 + \frac{31,7 \cdot 5}{24 \cdot 365} 1,2 = 2;$$

$$A_{\text{ТР-1}} = \frac{460,75 \cdot 36}{24 \cdot 365} 1,2 + \frac{0,2 \cdot 24}{24 \cdot 365} 1,2 = 2,3 \approx 3;$$

$$A_{\text{ТР-2}} = \frac{65,82 \cdot 4,5}{253} + \frac{0,1 \cdot 5}{253} = 1,2 \approx 2;$$

$$A_{\text{ТР-3}} = \frac{62,16 \cdot 4,5}{253} 2 + \frac{0,8 \cdot 6}{253} = 2,3 \approx 3.$$

Число стойл для испытаний тепловозов под нагрузкой с реостатной или инверторной установкой (каждое стойло для одной секции) зависит от годовой программы ремонтов, после которых необходимы испытания под нагрузкой:

$$A_{\text{И}} = \frac{(P_{\text{ТР-2}} t_{\text{ТР-2}}^{\text{И}} + P_{\text{ТР-3}} t_{\text{ТР-3}}^{\text{И}})}{24D} \psi c,$$

где $t_{\text{ТР-2}}^{\text{И}}, t_{\text{ТР-3}}^{\text{И}}$ — время испытаний тепловоза, включая подключение и отключение кабелей и приборов установки, ч. Для испытаний после ТР-2 это время составляет 5—6 ч, а после ТР-3 3—4 ч;

$$A_{\text{И}} = \frac{(65,82 \cdot 6 + 62,16 \cdot 4)}{24 \cdot 365} 1,2 \cdot 2 = 0,2 \approx 1.$$

Таблица 4.9

Расход топлива тепловозом, кг на 10 000 т·км брутто

Масса поезда, т	ТЭ3 (две секции) при типе профиля				ТЭ10 (одна секция) при типе профиля			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
2000	—	—	—	—	26,5	31,5	38,5	—
2500	24,2	27,2	32,6	38,0	23,0	25,8	31,4	—
3000	23,0	25,8	30,3	34,8	21,8	24,6	29,3	—
3500	21,8	24,7	28,5	32,6	20,7	23,5	—	—
4000	20,7	23,5	27,0	—	19,6	—	—	—
4500	19,6	22,4	25,6	—	18,6	—	—	—
5000	18,6	21,3	—	—	17,6	—	—	—
5500	17,6	20,3	—	—	16,5	—	—	—
6000	16,5	19,3	—	—	—	—	—	—
6500	15,8	—	—	—	—	—	—	—
7000	15,0	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Для 2ТЭ10Л и 2ТЭ11Б коэффициент 1,4.

Кроме того, в здании депо надо предусмотреть одно-два стойла для выкатки колесных пар, одно стойло для обточки их бандажей без выкатки и стойло для устранения последствий отказа локомотивов в межремонтный период. Общее число стойл равно 14.

Пример 4.23. Определим число резервуаров дизельного топлива для снабжения грузовых локомотивов на станции основного депо. Тепловозы серии ТЭ3 обслуживают участки длиной 500 и 450 км (см. рис. 4.9). Число поездов, локомотивы которых снабжаются топливом в депо, равно на участках: $H-A-28$; $A-H-25$; $H-B-25$; $B-H-25$. Масса поездов 3500 т, тип профиля пути 1. На станции работают три маневровых локомотива ТЭ1. Время работы каждого из них в течение суток 23,5 ч. Средняя температура наружного воздуха в наиболее холодном месяце — 15 °С.

Решение. Общую вместимость склада дизельного топлива определяют по заданным размерам движения грузовых и пассажирских поездов с учетом всех видов непоездной работы. Для данного примера

$$E_{ск} = (E_{п} + E_{м} + E_{р} + E_{рем}) T_{з} k_{т} + P_{з},$$

где $E_{п}$, $E_{м}$, — суточный расход натурального дизельного топлива соответственно поездными и маневровыми локомотивами на резервный пробег и реостатные испытания после ремонтов, т;
 $T_{з}$ — число суток, на которое создается запас топлива, как правило, 30, а при дальности подвоза не более 300 км — 10–15;
 $k_{т}$ — поправочный коэффициент, учитывающий увеличение расхода топлива в зимний период. Принимается в зависимости от средней температуры наиболее холодного месяца:

$t, ^\circ\text{C}$	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
$k_{т}$	1,038	1,057	1,064	1,076	1,089	1,102	1,115

$P_{з}$ — специальный запас топлива для длительного хранения, устанавливаемый распоряжением МПС, т (в примере не учитывается).

Суточный расход дизельного топлива на данном складе для снабжения поездных грузовых локомотивов

$$E_{п} = 2 \sum INQe_{т}a_{т}/(10^4 \cdot 10^3),$$

где Q — масса грузового поезда, т;
 $e_{т}$ — норма расхода топлива на 10^4 т·км брутто, кг (табл. 4.9);
 $a_{т}$ — коэффициент, учитывающий часть топлива, подаваемого на локомотивы из данного склада. Если экипировка производилась в основном депо, то для пункта оборота $a_{т} = 0,5$, а для станции основного депо $a_{т} = 1,0$ и наоборот;

$$E_{п} = [(500 \cdot 28 + 500 \cdot 25 + 2 \cdot 450 \cdot 25) 3500 \cdot 21,8 \cdot 1] : (10^4 \cdot 10^3) = 385,31 \text{ т.}$$

Суточный расход дизельного топлива маневровыми локомотивами

$$E_{м} = M_{м} t e_{м} \cdot 10^{-3},$$

где $M_{м}$ — число маневровых локомотивов;
 t — время работы маневрового локомотива в течение суток, ч;
 $e_{м}$ — норма расхода топлива маневровым локомотивом в течение 1 ч работы, кг. Для ТЭ1 и ТЭМ1 равна 17,5 кг;

$$E_{м} = 3 \cdot 23,5 \cdot 17,5 \cdot 10^{-3} = 1,23 \text{ т.}$$

Расход топлива на резервный пробег

$$E_{р} = L_{р} e_{р} / (10^2 \cdot 10^3),$$

где $L_{р}$ — суточный резервный пробег тепловозов, км (из-за непарности числа поездов). На участке $H-A$ $L_{р} = (28 - 25) 500 = 1500$ км;
 $e_{р}$ — удельный расход топлива на 10^2 локомотиво-км пробега, кг (равен 115,5 кг при скорости движения локомотива 60 км/ч);

$$E_{р} = 1500 \cdot 115,5 / (10^2 \cdot 10^3) = 1,73 \text{ т.}$$

Расход топлива на реостатные испытания после ремонтов

$$E_{рем} = \sum M_{рем_i} e_{рем_i} 10^{-3},$$

где $M_{рем_i}$ — суточное число тепловозов, находящихся в процессе испытаний, — отношение годовой программы ТР-1, ТР-2 и ТР-3 к числу суток в году (пример 4.22, $M_{рем} = (460,75 + 65,82 + 62,16) / 365 = 1,61$);

$e_{рем_i}$ — расход топлива на реостатные испытания после ремонта i одной секции в зависимости от серии тепловоза и вида ремонта, кг (для тепловозов ТЭ2, ТЭ1, ТЭМ2, ТЭМ1 на один ремонт ТР-1 $e_{рем} = 400$ кг, на один ремонт ТР-2 или ТР-3 $e_{рем} = 900$ кг; для тепловозов других серий соответственно 800 и 1500 кг);

$$E_{рем} = (1,61 \cdot 800 \cdot 2 + 1,61 \cdot 1500 \cdot 2) / 10^3 = 7,41 \text{ т.}$$

Общая вместимость склада дизельного топлива

$$E_{ск} = (385,31 + 1,23 + 1,73 + 7,41) 30 \cdot 1,076 = 12 772,55 \text{ т.}$$

Зная $E_{ск}$ и приняв вместимость одного резервуара $V_{рез} = 2000$ м³, определим число резервуаров:

$$n_{рез} = E_{ск} / (V_{рез} \gamma) = 12 772,55 / (2000 \cdot 0,84) = 7,60 \approx 8,$$

где $\gamma = 0,84$ — плотность дизельного топлива.

Пример 4.24. Для условий примера 4.23 рассчитаем вместимость складов сырого и сухого песка на территории основного депо.

Средние нормы расхода песка грузовыми тепловозами, м³ на 1 млн·т·км брутто

Т а б л и ц а 4.10

Серия тепловоза	Тип профиля пути	Масса поезда, т								
		2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000 и выше
ТЭЗ (две секции)	I	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	II	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
	III	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	—	—	—
	IV	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	—	—	—	—
2ТЭ10 или ТЭ10 (две секции)	I	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
	II	0,13	0,14	0,16	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
	III	0,18	0,20	0,21	0,23	0,25	0,25	0,25	0,25	—
	IV	0,27	0,28	0,30	0,31	0,33	0,33	—	—	—
2ТЭ10Л	I	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	II	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
	III	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	—
	IV	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	—	—	—
2ТЭ116	I	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15
	II	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,16	0,16	0,16	0,18
	III	0,14	0,15	0,17	0,19	0,20	0,21	0,21	0,21	—
	IV	0,21	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28	—	—	—
М62	I	0,07	0,07	0,06	0,06	—	—	—	—	—
	II	0,08	0,08	0,07	0,07	—	—	—	—	—
	III	0,10	0,09	0,09	0,08	—	—	—	—	—
	IV	0,15	0,14	0,13	0,12	—	—	—	—	—

Решение. Основные параметры складов и мощности пескосушилок определяем по суточному расходу песка для снабжения локомотивов:

$$P_n = P_n^n + P_n^m,$$

где P_n^n — суточный расход песка для поездных локомотивов:

$$P_n^n = 2 \sum INQe_n^n a_n / 10^6;$$

P_n^m — суточный расход песка для маневровых локомотивов:

$$P_n^m = M_m e_n^m;$$

e_n^n — норма расхода песка локомотивами, м³/10⁶ т·км брутто; зависит от типа локомотивов, массы поезда и профиля пути. Нормы даны для среднезимних условий (табл. 4.10);

a_n — коэффициент, учитывающий долю песка, подаваемого на локомотивы в данном пункте экипировки; определяется так же, как и доля топлива,

e_n^m — норма расхода песка маневровым локомотивом; принимаем равной 0,065—0,07 м³ в сутки.

В нашем примере:

$$P_n^n = 2 (500 \cdot 13 + 450 \cdot 10) 3500 0,04 \cdot 1/10^6 = 3,08 \text{ м}^3;$$

$$P_n^m = 3 \cdot 0,07 = 0,21 \text{ м}^3;$$

$$P_n = 3,08 + 0,21 = 3,29 \text{ м}^3.$$

Вместимость склада сырого песка на территории депо

$$W = 30,4 P_n T_3 \alpha k,$$

где 30,4 — расчетное число суток в месяце;

T_3 — норма запаса песка на зимний период для расчетного района, мес;

α — коэффициент, учитывающий отходы сырого песка при обработке и расходы на хозяйственные нужды депо ($\alpha = 1,10 \div 1,15$);

k — коэффициент неравномерности расхода песка ($k = 1,1 \div 1,3$),

$$W = 30,4 \cdot 3,29 \cdot 4 \cdot 1,15 \cdot 1,3 = 598,10 \text{ м}^3.$$

В соответствии с нормами технологического проектирования сырой песок складировать, как правило, на открытой площадке около здания пескосушилки. Размеры склада определяются размерами площадки. Высоту штабеля принимаем равной 3—4 м. При низком горизонте грунтовых вод разрешается заглублять основание склада до 1 м. Сроки хранения запаса песка (в месяцах) при средней температуре наружного воздуха в наиболее холодном месяце года следующие:

Температура, °С	До -6	До -8	До -13	До -17	-17 и ниже
Сырой песок	2	3	3	4	5
Сухой песок	2	2	3	3	Не менее 5

Запас сухого песка на осенне-зимний период

$$P_3 = 365 V_n^{сух} k / (k + \psi),$$

где ψ — отношение рабочего периода к нерабочему. Если пескосушилка работает 7 месяцев, $\psi = 7/(12 - 7) = 1,4$;

$$P_3 = 365 \cdot 3,29 \cdot 1,3 / (1,3 + 1,4) = 578,19 \text{ м}^3.$$

Учитывая, что современные склады сухого песка — открытые помещения железобетонной конструкции башенного типа вместимостью 3000 м³, для условий примера принимаем 1 склад.

Пример 4.25. Определим потребность в доборе топлива и песка на станции основного депо локомотивами, работающими по кольцу и экипирующимися в оборотных депо станций А и Б. Исходные данные те же, что в примере 4.23

Решение. Размещение экипировочных устройств на участках обращения и в зонах обслуживания определяется в первую очередь наибольшим пробегом между экипировками, который лимитируется вместимостью песочниц всех локомотивов и топливных баков тепловозов. Наибольший пробег тепловозов между пунктами снабжения топливом

$$L_T = 0,9 V_{бак} \cdot 10^3 / (Qe^T),$$

где 0,9 — коэффициент, учитывающий остаток (10 %) топлива в баках тепловоза,

$V_{бак}$ — общая вместимость топливных баков, кг;

e^T — см. пример 4.23;

$$L_T = 0,9 \cdot 2 \cdot 5440 \cdot 10^3 / (3500 \cdot 21,8) = 1283 \text{ км}.$$

Таблица 4.11

Максимальные нормы расхода песка грузовыми тепловозами, м³ на 1 млн. т·км брутто

Серия тепловоза	Гип профиля пути	Масса поезда, т								
		2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000 и выше
ТЭ3 (две секции)	I	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11
	II	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15
	III	0,21	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18
	IV	0,34	0,32	0,31	0,31	0,30	—	—	—	—
2ТЭ10 или ТЭ10 (две секции)	I	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
	II	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	III	0,31	0,33	0,34	0,36	0,38	0,38	0,38	0,38	—
	IV	0,45	0,47	0,49	0,50	0,52	0,52	—	—	—
2ТЭ10Л	I	0,18	0,19	0,21	0,22	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
	II	0,21	0,22	0,24	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
	III	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	—
	IV	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39	0,41	—	—	—
2ТЭ116	I	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
	II	0,20	0,21	0,23	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
	III	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	—
	IV	0,31	0,33	0,35	0,36	0,36	0,36	—	—	—
М62	I	0,12	0,12	0,11	0,11	—	—	—	—	—
	II	0,13	0,13	0,12	0,12	—	—	—	—	—
	III	0,17	0,16	0,16	0,15	—	—	—	—	—
	IV	0,23	0,22	0,21	0,20	—	—	—	—	—

Расчетные запасы экипировочных материалов для тепловозов следующие:

	ТЭ3	2ТЭ10Л	2ТЭ116	2ТЭП60	2ТГ102
Топливо, кг	2×5440	2×6300	2×6500	2×6500	2×6000
Песок, м ³	0,63	1,31	1,70	0,19	1,20

Наибольший пробег локомотивов между пунктами снабжения песком

$$L_{\text{п}} = 0,9V_{\text{пес}} \cdot 10^6 / (Qe_{\text{п}}^{\text{п}}),$$

где 0,9 — коэффициент, учитывающий остаток (10%) песка в песочных бункерах локомотива;

$V_{\text{пес}}$ — общая расчетная вместимость песочных бункеров локомотива;

$e_{\text{п}}^{\text{п}}$ — максимальная норма расхода песка локомотивами, м³/10⁶ т·км брутто (табл. 4.11);

$$L_{\text{п}} = 0,9 \cdot 0,63 \cdot 10^6 / (3500 \cdot 0,13) = 1231 \text{ км.}$$

Сопоставляя $L_{\text{т}} = 1283$ км и $L_{\text{п}} = 1231$ км с заданными длинами участков обращения локомотивов $A-H = 500$ км и $B-H = 450$ км, устанавливаем, что для локомотивов, работающих по кольцу и экипирующихся в оборотных депо, добора топлива и песка на станции основного депо не требуется, так как $500 + 450 < 1231 < 1283$.

Пример 4.26. Рассчитаем число позиций для экипировки и технического осмотра грузовых локомотивов на территории основного тепловозного депо станции H (см. рис. 4.9). Размеры движения на прилегающих участках: $A-H = 28$ пар (из них 23 транзитных); $B-H = 25$ пар (из них 23 транзитных) поездов; 65% локомотивов транзитных поездов работают по кольцу. Маневровых локомотивов на станции — 3. Общая продолжительность экипировки, совмещенной с техническим осмотром ТО-2, с учетом установки тепловоза на позицию 60 мин.

Решение. Число мест осмотра и экипировки в депо рассчитываем по максимальному количеству экипируемых локомотивов и продолжительности их экипировки:

$$n = \frac{M_{\text{эк}} (t_{\text{эк}} + t_{\text{ос}})}{T_{\text{эк}}} \varphi,$$

где $M_{\text{эк}}$ — число локомотивов, поступающих на экипировку и технический осмотр в течение суток;

$t_{\text{эк}}$ — продолжительность занятия экипировочной позиции одним локомотивом, мин;

$t_{\text{ос}}$ — время установки локомотива на позицию, мин;

$T_{\text{эк}}$ — суточный фонд рабочего времени позиции ($T_{\text{эк}} = 1440$ мин);

φ — коэффициент неравномерности поступления локомотивов на экипировочную позицию, учитывающий одновременность подхода их на экипировку (зависит от графика движения поездов и принимается в пределах 1,2—1,5);

$$n = [28 - (23 \cdot 0,65) + 25 - (23 \cdot 0,65) + 3 \cdot 60] \cdot 1,5 / 1440 = 1,62 \approx 2.$$

Пример 4.27. Рассчитаем длину путей для стоянки локомотивов в ожидании работы и в резерве. Тип локомотива ТЭ3. Число локомотивов эксплуатируемого парка $M_{\text{экс}} = 109$ (тепловозы, обслуживающие грузовые и пассажирские поезда; выполняющие маневровую работу; обслуживающие вывозные, передаточные и хозяйственные поезда; занятые в подталкивании и в прочих видах работы).

Решение. Общая длина путей для отстоя локомотивов в ожидании работы

$$L_{\text{гр}} = \alpha_{\text{от}} M_{\text{экс}} l_{\text{л}};$$

где $\alpha_{\text{от}}$ — доля локомотивов, требующих стоянки в ожидании работы. Для ориентировочных расчетов $\alpha_{\text{от}} = 10 \div 15\%$;

$l_{\text{л}}$ — длина пути для стоянки одного локомотива с учетом неточности установки. Для тепловоза ТЭ3 $l_{\text{л}} = 36$ м;

$$L_{\text{гр}} = 0,15 \cdot 109 \cdot 36 = 589 \text{ м.}$$

На каждый путь ставят на отстой 5—6 локомотивов. Общая длина путей для стоянки локомотивов в резерве

$$L_{\text{р}} = 0,2 M_{\text{экс}} l_{\text{л}},$$

где 0,2 — принятая к расчету доля локомотивов, находящихся в резерве, % от расчетного числа локомотивов эксплуатируемого парка;

$$L_{\text{р}} = 0,2 \cdot 109 \cdot 36 = 785 \text{ м.}$$

На каждый путь ставят 8—10 локомотивов.

5. СОРТИРОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

β — угол между направлением ветра и осью участка пути, по которому движется отцеп.

С допустимой погрешностью, если угол $\beta < 30^\circ$,

$$v_p = v_{cp} \pm v_B \text{ и } \alpha = \frac{\beta}{2}.$$

Знак «+» в формулах следует принимать при встречном ветре, знак «-» — при попутном. При скорости попутного ветра выше средней скорости скатывания отцепа сопротивление от воздушной среды w_{cp} необходимо принимать со знаком «-». В нашем примере:

отцеп из одного крытого четырехосного вагона:

$$v_p^2 = 5^2 + 5^2 + 2 \cdot 5 \cdot 5 \cos 30^\circ = 93,3 \text{ (м/с)}^2; v_p = 9,66 \text{ м/с};$$

$$\alpha = \arcsin \frac{5 \sin 30^\circ}{9,66} = \arcsin 0,2587 = 15^\circ;$$

$$w_{cp} = 17,8 \cdot 1,55 \cdot 9,7 \cdot 93,3 / [(273 - 20) \cdot 30] = 3,28 \text{ Н/кН};$$

отцеп из двух четырехосных полувагонов:

$$w_{cp} = 17,8 (1,75 \cdot 8,5 + 0,76 \cdot 8,5) \cdot 93,3 / [(273 - 20) \cdot 168] = 0,83 \text{ Н/кН}.$$

Пример 5.2. Определим работу всех сил сопротивления при движении плохого бегуна (четыреосного крытого вагона на подшипниках скольжения) по симметричному стрелочному переводу марки 1/6 (Р43) со средней скоростью 6 м/с при встречном лобовом ветре $v_B = 4$ м/с. Расчетная температура воздуха $t = -25^\circ\text{C}$. Расчетная масса плохого бегуна $q = 30$ т. Стрелочный перевод находится на спускной части горки на расстоянии 160 м от ее вершины.

Решение. Работа всех сил сопротивлений (Н·м) в пределах стрелочного перевода

$$A_{\text{пол}} = \sum qg' [L_{\text{п}}(w_0 + w_{cp}) + 9\alpha_c + 20], \quad (5.1)$$

где $\sum q$ — масса отцепа, т;
 g' — ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся частей вагона;

$L_{\text{п}}$ — полная длина стрелочного перевода, м;

w_0 — основное удельное сопротивление, Н/кН;

w_{cp} — удельное сопротивление от воздушной среды и ветра, Н/кН;

9 — дополнительная удельная работа сил сопротивления в кривых стрелочных переводах на 1° угла поворота, Н·м/кН;

α_c — угол поворота в пределах переводной кривой, град;

20 — работа от ударов на остриях и крестовине одного стрелочного перевода, Н·м/кН.

Приняв нормированное отклонение основного удельного сопротивления движению вагонов от средних значений равным 1,8, определяем (из приложения 1, табл. 3 [6]) основное удельное сопротивление $w_0 = 5,8$ Н/кН. Удельное сопротивление от воздушной среды и ветра

$$w_{cp} = \frac{17,8 C_x \cdot S}{(273 + t^\circ) q} v_p^2 = \frac{17,8 \cdot 1,12 \cdot 9,7}{(273 - 25) \cdot 30} 100 = 2,60 \text{ Н/кН}.$$

Угол поворота, преодолеваемый отцепом в пределах переводной кривой для симметричных стрелочных переводов равен половине угла крестовины, а для обыкновенных при следовании отцепа на боковой путь — углу крестовины, при следовании отцепа по прямому пути — нулю.

Подставив исходные величины в формулу (5.1), получим $A_{\text{пол}} = 30 \cdot 9,3 \times \times 17,37 (5,8 + 2,60) + 9 \cdot 4,73 + 20 = 58 \cdot 166 \text{ Н·м}$.

Пример 5.3. Определим угол поворота второго пути (вершина угла 5б) сортировочного парка (рис. 5.1), используя данные табл. 5.1 и 5.2. Все стрелочные переводы симметричные марки 1/6.

5.1. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ОТЦЕП ПРИ СКАТЫВАНИИ С ГОРКИ

Пример 5.1. Определим дополнительное удельное сопротивление от воздушной среды и ветра при движении по спускной части горки:

одного крытого четырехосного вагона массой 30 т брутто;

двух четырехосных полувагонов массой каждый 84 т брутто.

Средняя скорость движения отцепов 5 м/с. Ветер встречный под углом $\beta = 30^\circ$ к направлению движения отцепов. Скорость ветра 5 м/с. Расчетная температура воздуха $t^\circ = -20^\circ\text{C}$.

Решение. Дополнительное удельное сопротивление движению отцепа от воздушной среды и ветра, Н/кН:

для одиночных вагонов

$$\pm w_{cp} = \frac{17,8 C_x S}{(273 + t^\circ) q} v_p^2,$$

для отцепов

$$\pm w_{cp} = 17,8 \frac{C_x S + \sum_2^n C_{xxj} S_j}{(273 + t^\circ) \sum_1^n q} v_p^2,$$

где C_x — коэффициент воздушного сопротивления одиночных вагонов или первого вагона в отцепе;

C_{xxj} — то же последующих вагонов в отцепе (кроме первого);

S, S_j — площадь поперечного сечения (мидель) соответственно одиночного или первого и последующих вагонов в отцепе, м²;

q — масса вагона, т;

$\sum_1^n q$ — масса отцепа из n вагонов, т;

t° — расчетная температура воздуха, $^\circ\text{C}$;

v_p — результирующая относительная скорость отцепа с учетом направления ветра, м/с.

Коэффициенты воздушного сопротивления C_x и C_{xxj} выбирают в зависимости от рода вагона и угла α между результирующим вектором движения отцепа и направлением ветра (см приложение 1, табл. 5 [6]). Результирующую скорость v_p и угол α можно вычислить по формулам:

$$v_p^2 = v_{cp}^2 + v_B^2 \pm 2v_{cp}v_B \cos \beta;$$

$$\alpha = \arcsin [v_B \sin \beta / v_p],$$

где v_{cp} — средняя скорость скатывающегося отцепа на участке, м/с;

v_B — скорость ветра, принимаемая постоянной на всем протяжении горки, м/с;

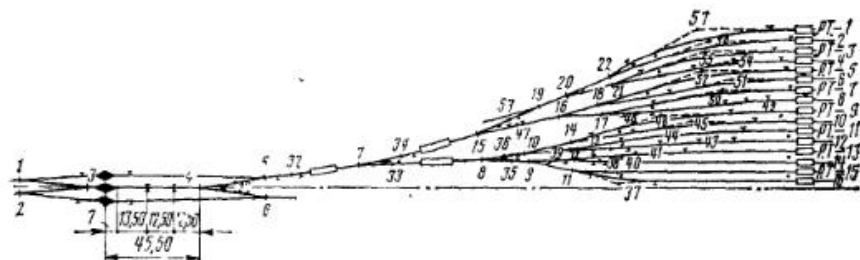


Рис. 5.1. План головы сортировочного парка на 32 пути

Таблица 5.1

Характеристики кривых плана горловины сортировочного парка

Номер вершины угла	Угол поворота, град	Номер вершины угла	Угол поворота, град	Номер вершины угла	Угол поворота, град
31	4° 43' 53"	40	1° 35' 30"	49	6° 00' 00"
32	3° 19' 14"	41	7° 52' 16"	50	10° 34' 37"
33	0° 32' 51"	42	6° 08' 00"	51	10° 34' 37"
34	4° 16' 30"	43	6° 08' 00"	52	20° 02' 22"
35	1° 53' 00"	44	9° 23' 16"	53	3° 10' 00"
36	1° 53' 00"	45	9° 23' 16"	54	10° 45' 45"
37	13° 18' 15"	46	18° 51' 01"	55	20° 13' 30"
38	3° 50' 30"	47	1° 45' 10"	56	20° 13' 30"
39	2° 15' 00"	48	5° 04' 00"	57	29° 41' 15"

Таблица 5.2

Расчетные элементы (длина) горловины сортировочного парка

От точки	До точки	Длина, м	От точки	До точки	Длина, м
4	31	18,85	33	8	63,46
31	5	18,85	8	35	13,88
5	32	12,72	35	9	10,22
32	7	42,00	9	11	24,87
7	33	11,55	9	39	14,53
10	13	24,84	15	47	19,08
10	14	24,84	47	16	23,08
39	12	10,87	16	17	24,84
8	36	13,88	19	20	19,12
36	10	10,22	20	21	24,87
53	19	16,12	20	22	24,87
7	34	18,05	16	18	24,84
34	15	58,15	15	53	16,12

Решение. Угол поворота любого пути сортировочного парка — алгебраическая сумма углов поворота всех элементов пути, лежащих на маршруте следования отцепы от вершины горки до расчетной точки. Обозначим углы, поворачивающие путь против часовой стрелки, знаком «+», а по часовой стрелке «-». Угол поворота второго пути равен

$$\begin{aligned} \angle 56 = & \frac{\alpha_4}{2} - \frac{\alpha_5}{2} + \angle 31 + \angle 32 + \frac{\alpha_7}{2} + \angle 34 + \frac{\alpha_{15}}{2} + \angle 53 - \frac{\alpha_{19}}{2} + \\ & + \frac{\alpha_{20}}{2} - \frac{\alpha_{22}}{2} = 4^\circ 43' 53'' + 3^\circ 19' 14'' + 4^\circ 16' 30'' + 3^\circ 10' + 4^\circ 43' 53'' = 20^\circ 13' 30''. \end{aligned}$$

5.2. РАССТОЯНИЯ ОТ ВЕРШИНЫ ГОРКИ ДО ПЕРВОЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТРЕЛКИ

Пример 5.4. Определим минимальное расстояние от вершины горки до остяков первой разделительной стрелки марки 1/6 при расположении за ней тормозной позиции. Между вершиной горки и первой разделительной стрелкой нет измерительного участка. Ветер встречный. Расчетная скорость его $v_{в} = 5$ м/с. Расчетная температура воздуха $t = -20^\circ\text{C}$. Расчетная масса плохого бегуна $q = 30$ т.

Решение. Расстояния от вершины горки до первой разделительной стрелки рассчитывают для всех сортировочных горок, в том числе и для автоматизированных, при размещении измерительных участков по схеме, представленной на рис. 5.2, а. Исключение составляют сортировочные горки большой и средней мощности, оборудованные системой автоматического регулирования скоростей (АРС) скатывания вагонов, когда между вершиной и первой разделительной стрелкой устраиваются измерительные участки (рис. 5.2, б). Длина измерительного участка АРС превышает расстояние от вершины горки до первой разделительной стрелки, и расчет теряет смысл.

Расстояние от вершины горки до первой разделительной стрелки (или первого замедлителя) и уклон профиля на этом участке должны обеспечить при заданном темпе работы интервалы между последовательно скатывающимися плохим и хорошим бегунами (П—Х и Х—П), достаточные для перевода остяков (или замедлителя из ветормозного положения в тормозное), расчетную скорость ролпуска и исключить нагон отцепов на измерительном участке. Минимально необходимое расстояние от вершины горки до остяков первой разделительной

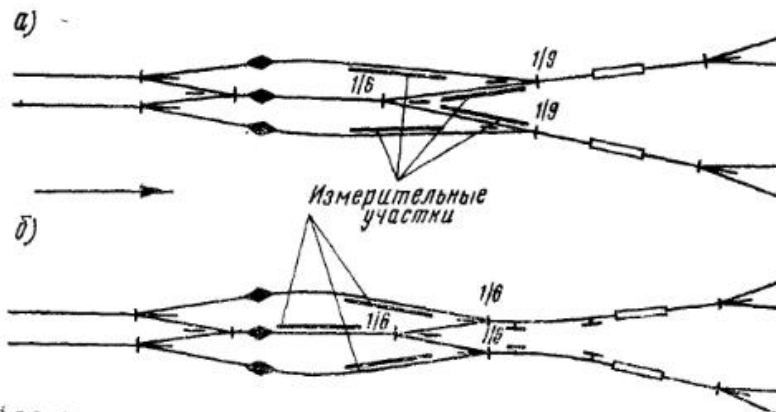


Рис. 5.2. Схемы размещения измерительных участков: а — за первой разделительной стрелкой; б — до первой разделительной стрелки

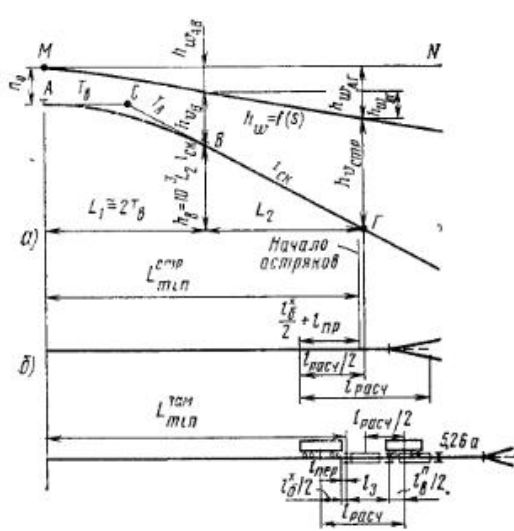


Рис. 5.3. Схемы расчета минимального расстояния от вершины горки: а — до начала острьяков первой разделительной стрелки; б — до изолирующего стыка первой тормозной позиции, расположенной перед первой разделительной стрелкой

Так как длина по осям автосцепки четырехосного крытого $l_B^П = 14,73$ м, а четырехосного полувагона $l_B^X = 14,19$ м, то

$$t_0^{П-X} = (14,73 + 14,19)/(2 \cdot 2) = 7,24 \text{ с.}$$

Минимальное расстояние от вершины горки до острьяков первой разделительной стрелки (см. рис. 5.3, а)

$$L_{\min}^{\text{стр}} = L_1 + L_2 - l_{\text{расч}}/2 + l_6^X/2 + l_{\text{пр}}, \quad (5.2)$$

где L_1 — расстояние от вершины горки до конца вертикальной сопрягающей кривой в профиле, м:

$$L_1 = 2T_B = 2 \frac{R_B \Delta i}{2000};$$

- T_B — тангенс вертикальной сопрягающей кривой, м;
 - R_B — радиус вертикальной сопрягающей кривой ($R_B = 350$ м);
 - Δi — алгебраическая разность сопрягаемых уклонов, ‰;
 - L_2 — расстояние от конца вертикальной сопрягающей кривой в профиле до середины расчетного участка, м;
 - $l_{\text{расч}}$ — длина расчетного участка стрелочного перевода, м;
 - l_6^X — длина колесной базы хорошего бегуна;
 - $l_{\text{пр}}$ — длина предстрелочного участка ($l_{\text{пр}} = 6$ м).
- Приняв $\Delta i = i_{\text{СК}} = 40\text{‰}$, находим

$$L_1 = 2 \cdot 350 \cdot 40/2000 = 14 \text{ м.}$$

Длина расчетного участка $l_{\text{расч}}$ (рис. 5.4) — сумма длин изолированного участка $l_{\text{из}}$, половины колесной базы хорошего $l_6^X/2$ и плохого $l_6^П/2$ бегунов.

стрелки (рис. 5.3, а) $L_{\min}^{\text{стр}}$ рассчитываем при скорости надвига $v_0 = 2$ м/с и неблагоприятных зимних условиях скатывания.

Скорость 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

$$t_{\text{стр}}^{П-X} = t_0^{П-X} - \Delta t,$$

где $t_0^{П-X}$ — начальный интервал на вершине горки между плохим и хорошим бегунами, с:

$$t_0^{П-X} = (t_B^П + l_B^X)/2v_0;$$

Δt — «диф», или разность времени хода плохого и хорошего бегунов при скатывании их с вершины горки до первой разделительной стрелки (принимается 0,8—1,0 с).

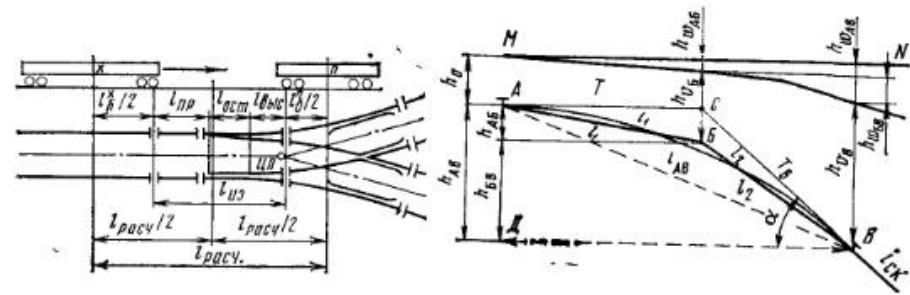


Рис. 5.4. Схема для расчета минимального расстояния между последовательно скатывающимися отцепами

Рис. 5.5. Схема замены криволинейного участка профиля ломаным

Изолированный участок состоит из предстрелочного участка, острьяков и части пути до изолирующего стыка:

$$l_{\text{из}} = l_{\text{пр}} + l_{\text{ост}} + l_{\text{густ}} = 6 + 4,34 + 1,04 = 11,38 \text{ м;}$$

$$l_{\text{расч}} = 11,38 + 10,45/2 + 11,63/2 = 22,42 \text{ м.}$$

Для расчета расстояния от конца вертикальной сопрягающей кривой до середины расчетного участка составим уравнение энергетических высот точек В и Г (см. рис. 5.3)

$$h_{v_B} + h_B = h_{w_{BG}} + h_{v_{\text{стр}}}.$$

Подставив в уравнение значения $h_B = 10^{-3} L_2 i_{\text{СК}}$ и $h_{w_{BG}} = 10^{-3} L_2 w_{BG}$, получим

$$L_2 = (h_{v_{\text{стр}}} - h_{v_B}) / 10^{-3} (i_{\text{СК}} - w_{BG}), \quad (5.3)$$

где $h_{v_{\text{стр}}}$ — энергетические высоты, эквивалентные скоростям плохого бегуна h_{v_B} соответственно в середине расчетного участка и в точке В, м; w_{BG} — суммарное удельное сопротивление плохого бегуна на участке В—Г, Н/кН.

Энергетическая высота, эквивалентная скорости плохого бегуна в середине расчетного участка,

$$h_{v_{\text{стр}}} = v_{\text{стр}}^2 / 2g'_{\text{П}},$$

где $g'_{\text{П}}$ — ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся частей вагона.

Плохой бегун за интервал времени $t_{\text{ф}}$ должен пройти расчетный участок $l_{\text{расч}}$, и его средняя скорость составит (в середине расчетного участка)

$$v_{\text{стр}} = l_{\text{расч}} / t_{\text{стр}}^{П-X} = 22,42 / (7,24 - 1,0) = 3,59 \text{ м/с.}$$

Следовательно,

$$h_{v_{\text{стр}}} = 3,59^2 / (2 \cdot 9,3) = 0,69 \text{ м.}$$

Для расчета h_{v_B} определим скорость плохого бегуна в точке В, заменив криволинейный участок профиля А—В (рис. 5.5) ломаной АБВ. Чтобы условная ломаная линия профиля была близка к кривой, надо принять $l_1 = l_2$; $i_1 = 0,167 i_{\text{СК}} = 0,167 \cdot 40 = 6,68\text{‰}$; $i_2 = 0,833 i_{\text{СК}} = 0,833 \cdot 40 = 33,32\text{‰}$. Так как угол ВАС мал, то с достаточной степенью точности $l_1 = l_2 = T_B = 7$ м.

После замены криволинейного участка профиля ломаным скорость плохого бегуна в точках В и В определяется через энергетические высоты h_{v_B} и h_{v_B} :

$$v_B = \sqrt{2g'_{\text{П}} h_{v_B}}; \quad v_B = \sqrt{2g'_{\text{П}} h_{v_B}}.$$

или, используя закон изменения кинетической энергии,

$$\left. \begin{aligned} v_B &= \sqrt{v_0^2 + 2g_{\Pi}^* l_1 (i_1 - \omega_{AB}) 10^{-3}}; \\ v_B &= \sqrt{v_0^2 + 2g_{\Pi}^* l_2 (i_2 - \omega_{BB}) 10^{-3}}, \end{aligned} \right\} (5.4)$$

где ω_{AB} , ω_{BB} — суммарные удельные сопротивления бегуна, скатывающегося при неблагоприятных условиях соответственно на участках А—В и В—В, Н/кН

$$\omega_{AB} = \omega_0 + \omega_{cp}^{AB}.$$

Приняв армированное отклонение основного удельного сопротивления движению вагонов от средних значений равным 1,8, интерполяцией данных в приложении 1, табл. 3 [6] для плохого бегуна массой 30 т (подшипники скольжения, расстояние от вершины горки 0—140 м) определяем основное удельное сопротивление $\omega_0 = 6$ Н/кН. Из-за незначительной разницы удельных сопротивлений от среды и ветра в точках В, В и Г (см. рис. 5.3, а) можно принимать ω_{cp} постоянным для всего участка А—Г. Средняя скорость плохого бегуна на участке А—Г

$$v_{cp} = (v_0 + v_{cr})/2 = (2 + 3,59)/2 = 2,8 \text{ м/с},$$

а результирующая относительная скорость $v_p = v_{cr} + v_B = 2,8 + 5 = 7,8$ м/с.

Подставляя исходные данные в формулу (5.1), получим

$$\omega_{cp} = 17,8 \cdot 1,12 \cdot 9,7 \cdot 7,8^2 / [(273 - 20) 30] = 1,55 \text{ Н/кН}$$

Так как кривых на участке А—Г нет, суммарное удельное сопротивление плохого бегуна на каждом из участков А—В, В—В и В—Г

$$\omega_{AB} = \omega_{BB} = \omega_{BG} = 6 + 1,55 = 7,55 \text{ Н/кН}.$$

Подставив в формулу (5.4) значение исходных величин, получим

$$v_B = \sqrt{2^2 + 2 \cdot 9,3 \cdot 7 (6,68 - 7,55) 10^{-3}} = 1,97 \text{ м/с}.$$

Скорость отцепа в точке В не может быть ниже скорости надвига 2 м/с. Снижение скорости отцепа в точке В говорит о том, что движущей силы для ускоренного движения на участке А—В недостаточно. В точке В отрыва отцепа от надвигаемого состава не произойдет и его скорость будет равна скорости надвига $v_B = v_0 = 2$ м/с. Аналогично скорость в точке В

$$v_B = \sqrt{2^2 + 2 \cdot 9,3 \cdot 7 (33,32 - 7,55) 10^{-3}} = 2,71 \text{ м/с},$$

следовательно,

$$h_{v_B} = v_B^2 / 2g_{\Pi}^* = 2,71^2 / (2 \cdot 9,3) = 0,39 \text{ м}.$$

Подставив в формулу (5.8) рассчитанные величины, найдем

$$l_2 = (0,69 - 0,39) / [10^{-3} (40 - 7,55)] = 9,24 \text{ м}$$

и

$$L_{\min}^{\text{стр}} = L_1 + l_2 - l_{\text{расч}}/2 + l_B^X/2 + l_{np} = 14 + 9,24 - 22,42/2 + 10,45/2 + 6 = 23,25 \text{ м}.$$

Тогда расстояние от вершины горки до центра стрелочного перевода 29,44 м. Если между вершиной горки и первой разделительной стрелкой необходимо устроить измерительный участок, это расстояние определяют специальным расчетом.

Пример 5.5. Определим минимальное расстояние от вершины горки до острых первой разделительной стрелки. Тормозная позиция из двух замедлителей КНП-5-73 на сортировочной горке расположена до первой разделительной стрелки (см. рис. 5.3, б). Расчетная температура воздуха $t = -20$ °С. Ветер встречный

$v_B = 5$ м/с. Расчетная масса плохого бегуна $q = 30$ т. Горка не оборудована системой АРС ЦНИИ.

Решение. Вначале рассчитаем расстояние от вершины горки до первого изолирующего стыка тормозной позиции $L_{\min}^{\text{зам}}$ аналогично примеру 5.4. За время хода от вершины горки до первого изолирующего стыка тормозной позиции по скоростному уклону скорость плохого бегуна должна возрасти до $v_{\text{зам}}$, которая обеспечила бы проход расстояния $l_{\text{расч}}$ (см. рис. 5.3, б) за интервал между плохим и следующим за ним хорошим бегуном t_0 (п-х) — Δt :

$$l_{\text{расч}} = l_B^X/2 + l_{\text{пер}} + l_3 + l_B^{\Pi}/2,$$

где $l_{\text{пер}}$ — расстояние, проходимое отцепом за время перевода замедлителя из одного положения в другое: $l_{\text{пер}} = v_{\text{зам}} t_{\text{пз}}$;

l_3 — длина изолированной секции замедлителя; для замедлителя КНП-5-73 $l_3 = 13,48$ м;

$$l_{\text{расч}} = 10,45/2 + v_{\text{зам}} t_{\text{пз}} + 13,48 \text{ м} + 11,63/2 = 24,52 \text{ м} + v_{\text{зам}} t_{\text{пз}}.$$

Как и в примере 5.4, t_0 (п-х) — $\Delta t = 6,24$ с. Минимально необходимая скорость плохого бегуна на замедлителе

$$v_{\text{зам}} = l_{\text{расч}} / (t_0 \text{ (п-х)} - \Delta t) = (24,52 + v_{\text{зам}} t_{\text{пз}}) / 6,24 = 24,52 / (6,24 - t_{\text{пз}}) = 4,35 \text{ м/с}.$$

Аналогично, как и в примере 5.4, скорости отцепа в точках В и В:

$$v_B = \sqrt{v_0^2 + 2g_{\Pi}^* l_1 (i_1 - \omega_{AB}) 10^{-3}};$$

$$\omega_{AB} = \omega_{BB} = \omega_{BG} = \omega_0 + \omega_{cp}; \quad \omega_0 = 6,0 \text{ Н/кН}.$$

Средняя скорость плохого бегуна на участке А—Г:

$$v_{cp} = (2 + 4,35)/2 = 3,18 \text{ м/с};$$

$$\omega_{cp} = 17,8 \cdot 1,12 \cdot 9,7 \cdot 3,18^2 / [(273 - 20) 30] = 1,70 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_{AB} = \omega_{BB} = \omega_{BG} = 6,00 + 1,70 = 7,70 \text{ Н/кН};$$

$$v_B = \sqrt{2^2 + 2 \cdot 9,3 \cdot 7 (6,7 - 7,70) 10^{-3}} = 1,97 \text{ м/с}.$$

В точке В отрыва отцепа от надвигаемого состава не произойдет и, следовательно, скорость его будет равна скорости надвига состава $v_B = v_0 = 2$ м/с. Так как $\omega_{AB} = \omega_{BB} = 7,70$ Н/кН, а значения $l_1 = 7$ м, $i_1 = 33,3\%$ определены в примере 5.4, то

$$v_B = \sqrt{2^2 + 2 \cdot 9,3 \cdot 7 (33,3 - 7,70) 10^{-3}} = 2,71 \text{ м/с}.$$

Из рис. 5.3,б

$$L_{\min}^{\text{зам}} = L_1 + L_2 + l_{\text{расч}}/2 - l_B^{\Pi}/2 - l_3;$$

$$L_1 = 2T_B = l_1 + l_2 = 7 + 7 = 14,$$

L_2 находим по формуле

$$L_2 = (h_{v_{\text{зам}}} - h_{v_{\text{вх}}}) / 10^{-3} (i_{\text{ск}} - \omega_{BG}),$$

где $h_{v_{\text{зам}}}$ — энергетическая высота, эквивалентная скорости входа расчетного бегуна на замедлитель;

$$h_{v_{\text{зам}}} = 4,35^2 / (2 \cdot 9,3) = 1,03;$$

$$h_{v_B} = 2,71^2 / (2 \cdot 9,3) = 0,39 \text{ м};$$

$$L_2 = (1,03 - 0,39) / [10^{-3} (40 - 7,70)] = 19,81 \text{ м};$$

$$L_{\min}^{\text{зам}} = 14 + 19,81 + (24,52 + 2,61)/2 - 11,63/2 - 13,48 = 28,08 \text{ мм}.$$

Расстояние от вершины горки до острия первой разделительной стрелки в этом случае (см рис. 5.3, б)

$$l_{\min}^{\text{стр}} = l_{\min}^{\text{зам}} + 2l_a + 5,26 + m,$$

где 5,26 — расстояние от последнего изолирующего стыка тормозной позиции до стыка рамных рельсов первой разделительной стрелки;
 m — расстояние от стыка рамных рельсов до начала острия. Для симметричного стрелочного перевода марки 1/6 $m = 0,74$ м;

$$l_{\min}^{\text{стр}} = 28,08 + 2 \cdot 13,48 + 5,26 + 0,74 = 61,04 \text{ м.}$$

Максимально допустимое расстояние от вершины горки до начала первой тормозной позиции определяется условием: скорость входа шестисосного полувагона массой 127 т на роликовых подшипниках на первую тормозную позицию должна быть не выше максимально допустимой при благоприятных условиях скатывания, а именно

$$l_{\max} = T_{\text{в}} + (v_{\text{вх}}^2(\max) - v_0^2(\max)) 10^3 / [2g' (i_{\text{ск}} - \omega_0 \pm \omega_{\text{сп}})].$$

Принимая $i_{\text{ск}} = 40\text{‰}$ и $v_0(\max) = 2,2$ м/с, пренебрегая удельным сопротивлением от воздушной среды и ветра, получим

$$l_{\max} = 7 + (7^2 - 2,2^2) 10^3 / [2 \cdot 9,7 (40 - 0,5)] = 64,62 \text{ м.}$$

Возможный диапазон в размещении первой тормозной позиции относительно вершины горки при $i_{\text{ск}} = 40\text{‰}$ не ближе 28,08 м и не далее 64,62 м.

5.3. ВЫСОТА ГОРКИ И МОЩНОСТЬ ТОРМОЗНЫХ ПОЗИЦИЙ

Пример 5.6. Определим расчетные климатические условия для проектирования сортировочной горки: температуру наружного воздуха, скорость и направление ветра. Расчетная скорость ветра по направлениям, средняя месячная температура воздуха для трех зимних месяцев для района проектирования горки приведены в табл. 5.3. Направление сортировки вагонов и углы β см на рис 5.6. Масса расчетного плохого бегуна равна 50 т.

Решение. За расчетные климатические условия проектирования сортировочной горки принимают такие, при которых в зимний период получается наибольшая сумма основного удельного сопротивления и дополнительного сопротивления от среды и ветра. Определяют основное удельное сопротивление по расчетным средним температурам трех зимних месяцев и рассчитывают сопро-

Таблица 5.3

Средняя скорость ветра, м/с

Месяц	Направление ветра								Средняя месячная температура воздуха, °С
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Декабрь	6,1	5,4	5,3	4,9	5,1	5,8	6,4	6,3	-6,5
Январь	6,0	5,1	5,4	4,8	5,0	5,2	5,9	5,7	-9,0
Февраль	5,8	6,0	6,5	5,1	4,7	5,4	5,8	6,2	-8,4

тивления от среды и ветра при четырех неблагоприятных направлениях ветра в каждом зимнем месяце. Расчетная средняя суточная температура

$$t^\circ = t_{\text{ср}}^\circ - 11,$$

где $t_{\text{ср}}^\circ$ — средняя месячная температура воздуха, полученная многолетними наблюдениями местными метеостанциями

В примере сопротивление от воздушной среды рассчитываем для четырех неблагоприятных направлений ветра: северного С, северо-восточного СВ, северо-западного СЗ и восточного В при величине углов β между направлениями сортировки вагонов и ветра соответственно 20°, 25°, 65° и 70° (табл. 5.4). Расчетные формулы и порядок определения их параметров см. в примере 5.1. Результат расчета для данного района можно принять два равнозначных расчетных условия проектирования, а именно: средняя суточная температура января $t = -20$ °С, встречный северный ветер под углом 20° с расчетной скоростью 6 м/с или средняя суточная температура февраля $t = -19,4$ °С, встречный северо-восточный ветер под углом $\beta = 25^\circ$ с расчетной скоростью 6 м/с.

Пример 5.7. Определим трудный и легкий пути для головы сортировочного парка (см рис 5.1): найдем соотношение суммарных удельных работ, совершаемых расчетным бегуном на преодоление всех сил сопротивления при движении на легкий и трудный пути сортировочного парка. Расчетная температура воздуха зимой $t = -20$ °С, ветер встречный под углом 20° к направлению сортировки вагонов, скорость его $v_{\text{в}} = 6$ м/с. Расчетная масса плохого бегуна $q = 50$ т.

Решение. Трудный расчетный путь головы сортировочного парка тот, на котором работа всех удельных сопротивлений при следовании плохого бегуна от вершины горки до расчетной точки при неблагоприятных условиях наибольшая; легкий — соответственно тот, где эта работа наименьшая. Удельная работа сил сопротивления на каждом пути

$$A = L(\omega_0 + \omega_{\text{сп}}) + 9 \sum \alpha^\circ + 20n,$$

где L — расстояние от вершины горки до расчетной точки пути, м;
 $\sum \alpha^\circ, n$ — соответственно сумма углов поворота на круговых и переводных кривых, число стрелочных переводов на маршруте скатывания отцепы от вершины горки до расчетной точки пути

Основное удельное сопротивление ω_0 см в приложении 1, табл. 1 [6] (для отцепов с подшипниками скольжения): $\omega_0 = 4,9$ Н/кН. Для расчета удельного сопротивления воздушной среды и ветра необходимо определить среднюю скорость скатывания плохого бегуна от вершины горки до расчетной точки и угол между результирующим вектором направлений движения отцепы и ветра. Используя табл. 6 приложения 1 [6], найдем среднюю скорость плохого бегуна как средневзвешенную величину

$$v_{\text{ср}} = (v_{\text{ср}}' l_1 + v_{\text{ср}}'' l_2) / L,$$

где l_1 — расстояние от вершины горки до последнего предельного столбика горловины сортировочного парка, м;

l_2 — расстояние от предельного столбика до расчетной точки, м;

$v_{\text{ср}}$ — средняя скорость движения расчетного плохого бегуна на спускной части горки, м/с,

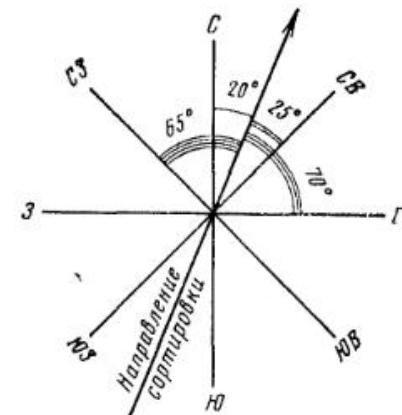


Рис. 5.6. Направление сортировки и величины углов β

Расчет удельных сопротивлений движению отцепов (основного и от воздушной среды)

Месяц	Направление ветра (румб)	Угол между направлением сортировки и вет. ра ф. град	Расчетная скорость ветра v_p , м/с		Средняя скорость расчетного плохого бегуна v_{cp} , м/с	Относительная скорость отцепов с учетом направления ветра v_p , м/с	Угол между направлением основной и сортировки α	Коэффициент сопротивления воздуха C_x	Сопроотивление воздуха w_p , Н/кН	Температура воздуха t_{cp} , С		Основное удельное сопротивление движению вагонов $w_{уд}$, Н/кН	Сумма основного удельного сопротивления от воздуха $w_{уд} + w_{cp}$, Н/кН
			расчетная	средняя месячная									
Декабрь	C	20	6,1	4,13	4,13	10,08	12	1,50	2,06	-6,5	4,80	6,86	
	CB	25	5,4	4,13	4,13	9,31	14	1,53	1,79	-17,5	4,80	6,59	
	C3	65	6,3	4,13	4,13	8,87	40	1,25	1,33	-17,5	4,80	6,13	
Январь	B	70	5,3	4,13	4,13	7,75	40	1,25	1,01	-6,5	4,80	5,81	
	C	20	6,0	4,13	4,13	9,98	12	1,50	2,04	-9,0	4,90	6,94	
	CB	25	5,1	4,13	4,13	9,01	14	1,53	1,70	-20,0	4,90	6,60	
Февраль	C3	65	5,7	4,13	4,13	8,33	38	1,32	1,25	-9,0	4,90	6,15	
	B	70	5,4	4,13	4,13	7,84	40	1,25	1,05	-20,0	4,90	5,95	
	C	20	5,8	4,13	4,13	9,78	12	1,50	1,95	-8,4	4,88	6,83	
	CB	25	6,0	4,13	4,13	9,89	15	1,55	2,06	-8,4	4,88	6,94	
	C3	65	6,2	4,13	4,13	8,78	40	1,25	1,31	-8,4	4,88	6,19	
	B	70	6,5	4,13	4,13	8,81	44	1,12	1,18	-19,4	4,88	6,06	

v'_{cp} — средняя скорость движения расчетного плохого бегуна на подгорочных путях, м/с.

l_1 и l_2 определяем по плану головы сортировочного парка, а v'_{cp} и v''_{cp} — по табл. 6 приложения 1 [6]. Тогда $v_{cp} = (4,8 \cdot 319,35 + 2 \cdot 100) / 419,35 = 4,13$ м/с. Чтобы определить угол α , найдем:

$$v_p = \sqrt{v_{cp}^2 + v_b^2 + 2v_{cp}v_b \cos \beta} = \sqrt{4,13^2 + 6^2 + 2 \cdot 4,13 \cdot 6 \cdot 0,9397} = 9,97 \text{ м/с};$$

$$\alpha = \arcsin [v_b \sin \beta / v_p] = \arcsin [6 \cdot 0,3420 / 9,96] \approx 12^\circ;$$

$$w_{cp} = 17,8 \cdot 1,5 \cdot 9,7 \cdot 99,40 / [(273 - 20) 50] = 2,03 \text{ Н/кН}.$$

Расстояния от вершины горки до расчетных точек находим по плану головы сортировочного парка (см. рис. 5.1), используя данные табл. 5.1 и 5.2. Расстояние от центра стрелочного перевода до предельного столбика принимаем ориентировочно равным 29 м. Расчеты — выбор трудного и легкого пути — сведены в табл. 5.5.

Проектируя голову сортировочного парка, следует стремиться получить наибольший коэффициент γ . В нашем примере

$$\gamma = A_{\text{лег}} / A_{\text{труд}} = 3213 / 3751 = 0,86.$$

Пример 5.8. Для плана головы сортировочного парка (см. рис. 5.1) определим высоту горки. Расчетная температура воздуха зимой $t_p = -20^\circ\text{C}$, ветер встречный под углом 20° к направлению сортировки, расчетная его скорость $v_b = 6$ м/с. Расчетная масса плохого бегуна $q = 50$ т.

Таблица 5.5

Результаты расчета трудного и легкого путей

Номер пути	Расстояние от вершины горки, до расчетной точки L , м	Сумма сопротивлений движению основного удельного и воздушной среды $w_{уд} + w_{cp}$, Н/кН	Работа сил сопротивления движению основного удельного и воздушной среды $L(w_{уд} + w_{cp})$, Н·м/кН	Сумма углов поворота в кривых на пути следования отцепов от вершины горки до расчетной точки $\Sigma \alpha$, град	Дополнительная удельная работа сил сопротивления в кривых $92 \alpha^2$, Н·м/кН	Число стрелочных переводов на пути, отцепов и	Дополнительная удельная работа от ударов на остряхах и крестовинах 20и, Н·м/кН	Удельная работа всех сил сопротивления A , Н·м/кН	Примечание
1	419,35	6,93	2906	78,30	704,7	7	140	3751	Трудный путь
2	419,35	6,93	2906	68,84	619,56	7	140	3666	
3	419,35	6,93	2906	68,84	619,56	7	140	3666	
4	419,35	6,93	2906	59,37	534,33	7	140	3580	
5	410,12	6,93	2842	62,50	562,50	6	120	3525	
6	410,12	6,93	2842	53,03	477,27	6	120	3439	
7	410,12	6,93	2842	53,03	477,27	6	120	3439	
8	410,12	6,93	2842	53,53	481,77	6	120	3444	
9	390,87	6,93	2709	57,71	519,39	6	120	3348	
10	390,87	6,93	2709	48,25	434,25	6	120	3263	
11	390,87	6,93	2709	48,25	434,25	6	120	3263	
12	390,87	6,93	2709	51,12	460,08	6	120	3289	
13	391,43	6,93	2713	48,98	440,82	6	120	3274	
14	391,43	6,93	2713	42,70	384,30	6	120	3217	
15	390,90	6,93	2709	42,70	384,30	6	120	3213	
16	390,90	6,93	2709	52,16	469,44	6	120	3298	

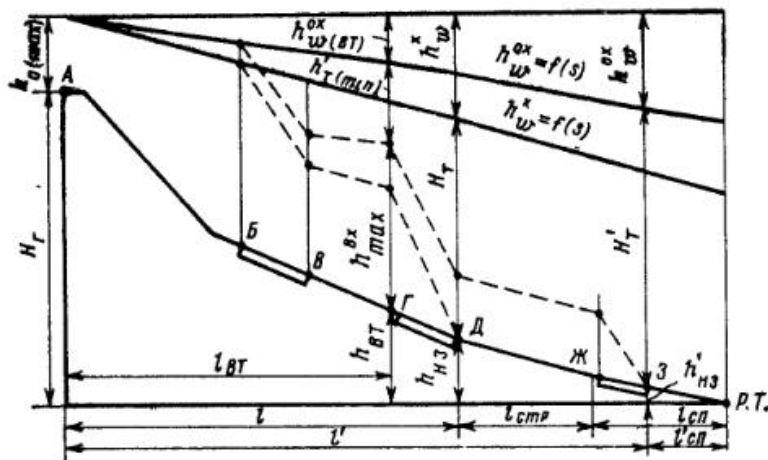


Рис. 5.7. Схема для расчета общей мощности тормозных средств

Решение. Наименьшая расчетная высота горки должна обеспечить проход плохого бегуна при неблагоприятных условиях скатывания до расчетной точки трудного пути:

$$H_r = 10^{-3} [L_p (\omega_o + \omega_{cp}) + 9 \sum \alpha^\circ + 20n] - v_o^2 / 2g'$$

где L_p — расстояние от вершины горки до расчетной точки трудного пути, м;
 ω_o — основное удельное сопротивление движению расчетного плохого бегуна при расчетной зимней температуре, Н/кН;
 ω_{cp} — удельное сопротивление воздушной среды и ветра для расчетного плохого бегуна при неблагоприятных условиях скатывания, Н/кН;
 v_o — расчетная скорость надвига (для горок большой мощности 5 км/ч, малой мощности 3,5 км/ч);
 $v_o^2 / 2g'$ — энергетическая высота, соответствующая скорости надвига состава на горку.

Так как исходные данные настоящего примера те же, что и в примере 5.7, значения L_p , ω_o , ω_{cp} , $\sum \alpha^\circ$, n можно принять по табл. 5.5 для трудного пути. Тогда

$$H_r = 10^{-3} [419,35 (4,9 + 2,03) + 9 \cdot 78,3 + 20 \cdot 7] - 1,4^2 / (2 \cdot 9,4) = 3,65 \text{ м}$$

Пример 5.9. Определим общую мощность механизированных тормозных средств для горки большой мощности высотой $H_r = 3,65$ м. На плане головы сортировочного парка (см. рис. 5.1) найдем расстояние от вершины горки до конца второй тормозной позиции пучка с легким путем $l = 198,79$ м, до конца третьей позиции 368,55 м, от конца второй тормозной позиции до наиболее удаленного предельного столбика $l_{стр} = 92,6$ м, от наиболее удаленного предельного столбика до расчетной точки $l_c = 100$ м. Уклон стрелочной зоны $i_{стр} = 1,5^\circ / 100$, уклон путей головы сортировочного парка $i_{сп} = 1,0^\circ / 100$. Число стрелок и $\sum \alpha^\circ$ на участке l определяем по плану головы сортировочного парка (см. рис. 5.1) и табл. 5.1. Расчетная скорость попутного ветра для летнего периода $v_B = 5$ м/с.

Решение. Суммарная расчетная мощность тормозных средств горки большой и средней мощности должна обеспечить при благоприятных условиях скатывания (попутный ветер) остановку четырехосного вагона массой 80 т брутто с сопротивлением 0,5 Н/кН на последней тормозной позиции (расположенной до первого стрелочного перевода пучка) с учетом торможения на первой позиции до установленной расчетом скорости. Полученную расчетом тормозную мощность проверяют на достаточность остановки шестиосного вагона массой 127 т при тех же

условиях, но на парковой позиции. Для точек А и Д (см. рис. 5.7) справедливо равенство

$$H_r + h_o = h_w^{OX} + H_t + h_{на3}$$

откуда

$$H_t = H_r + h_o - h_w^{OX} - h_{на3}$$

где h_w^{OX} — энергетическая высота, соответствующая суммарной удельной работе всех сил сопротивления при проходе четырехосного полувагона массой 80 т брутто от вершины горки до конца второй тормозной позиции при благоприятных условиях скатывания на легкий путь, м;
 $h_{на3}$ — высота расположения конца последней тормозной позиции над расчетной точкой легкого пути, м

При расчете энергетической высоты h_o принимаем скорость надвига $v_o = 2,2$ м/с.

$$h_o = v_o^2 / 2g' = 2,2^2 / (2 \cdot 9,68) = 0,25 \text{ м}$$

Энергетическая высота, теряемая очень хорошим бегуном на преодоление всех сил сопротивления при проходе расстояния от вершины горки до конца второй тормозной позиции.

$$h_w^{OX} = 10^{-3} [(\omega_o^{OX} \pm \omega_{cp}^{OX}) l + 9 \sum \alpha^\circ + 20n]$$

Для упрощения расчетов принимаем $\omega_{cp}^{OX} = 0$. Сумму углов поворота и число стрелочных переводов на пути следования подсчитывают по плану головы сортировочного парка.

$$\sum \alpha^\circ = 22,79^\circ$$

$$h_w^{OX} = 10^{-3} [(0,5 + 0) 198,79 + 9 \cdot 22,79 + 20 \cdot 3] = 0,36 \text{ м};$$

$$h_{на3} = 10^{-3} (l_{стр} i_{стр} + l_{сп} i_{сп}) = 10^{-3} (92,6 \cdot 1,5) + 100 \cdot 1,0 = 0,24 \text{ м}$$

Общая мощность тормозных позиций, эквивалентная погашенной энергетической высоте,

$$H_t = 3,65 + 0,25 - 0,36 - 0,24 = 3,3 \text{ м}$$

Тормозная мощность, необходимая для остановки очень хорошего бегуна массой 127 т на парковой позиции, определяется из уравнения энергетических высот, составленного для точек А и З:

$$H_t' = H_r + h_o - h_w^{OX1} - h_{на3}'$$

где h_w^{OX1} — энергетическая высота, соответствующая суммарной удельной работе всех сил сопротивления при проходе шестиосного полувагона массой 127 т от вершины горки до конца парковой тормозной позиции,

$$h_w^{OX1} = 10^{-3} (0,5 \cdot 368,55 + 9 \cdot 42,7 + 20 \cdot 6) = 0,69 \text{ м};$$

$h_{на3}'$ — высота расположения конца парковой тормозной позиции над расчетной точкой легкого пути;

$$h_{на3}' = 10^{-3} \cdot 20 \cdot 1,0 = 0,02 \text{ м},$$

$$H_t' = 3,65 + 0,25 - 0,69 - 0,02 = 3,19 \text{ м}$$

Пример 5.10. Определим мощность и длину тормозных позиций на горке при общей мощности $H_t = 3,30$ м и $H_t' = 3,19$ м. Дополнительно к условиям примера 5.9 заданы: максимально допустимая скорость входа на замедлитель $v_{max}^{вх} = 7$ м/с, расстояние от вершины горки до начала второй тормозной позиции $l_{вТ} = 179,69$ м, сумма углов поворота в кривых от вершины горки до начала второй тормозной позиции $\sum \alpha^\circ = 22,79^\circ$.

Решение. Общую мощность тормозных средств следует распределить по тормозным позициям так, чтобы обеспечить безопасность роспуска и максимальную перерабатывающую способность горки. Если известны расчетные скорости входа $v_{вх}$ и выхода $v_{вых}$ отцепы на и с тормозных позиций, мощность их

$$h_T = (v_{вх}^2 - v_{вых}^2) / 2g' + l_T (i_T - \omega) 10^{-3},$$

где l_T — длина тормозной позиции, м;
 i_T — уклон тормозной позиции, ‰;
 ω — суммарное удельное сопротивление движению очень хорошего бегуна на тормозной позиции.

Однако для расчета скоростей входа и выхода необходимы план и профиль 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 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. Эту мощность определим из уравнения энергетических высот, составленного для точек А и Г (см рис. 5.7):

$$h_{T(\min)} = H_T + h_0 - h_{вт} - h_{\max}^{вх} - h_{\omega(вт)}^{OX},$$

где h_{01} — высота расположения начала второй тормозной позиции над расчетной точкой легкого пути, м:

$$h_{вт} = h_{вз} + l_T^* i_T^* 10^{-3} = 0,24 \cdot 30 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 0,51 \text{ м};$$

$h_{\max}^{вх}$ — энергетическая высота, эквивалентная максимально допустимой скорости входа на тормозное устройство, м:

$$h_{\max}^{вх} = v_{\max}^{вх} / 2g' = 7^2 / (2 \cdot 9,6) = 2,55 \text{ м};$$

$h_{\omega(вт)}^{OX}$ — энергетическая высота, теряемая на преодоление всех сил сопротивления при проходе от вершины горки до начала второй тормозной позиции:

$$h_{\omega(вт)}^{OX} = [(w_0^{OX} \pm w_{ср}^{OX}) l_{вт} + 9 \sum \alpha^\circ + 20l] 10^{-3} =$$

$$= [(0,5 + 0) 179,69 + 9 \cdot 22,79 + 20 \cdot 3] 10^{-3} = 0,35 \text{ м};$$

$$h_{T(\min)} = 3,65 + 0,25 - 0,51 - 2,55 - 0,35 = 0,49 \text{ м}$$

Максимальная мощность второй тормозной позиции

$$h_{T(\max)} = (v_{\max}^{вх})^2 / 2g' + l_T^* (i_T^* - \omega_0 - \omega_{ср}) 10^{-3}.$$

Приняв ориентировочно $l_T^* = 19,1$ м, $i_T^* = 9$ ‰, получим

$$h_{T(\max)} = 7^2 / (2 \cdot 9,6) + 19,1 [9 - (0,5 + 0)] 10^{-3} = 2,71 \text{ м}.$$

На новых сортировочных горках рекомендуется укладывать клещевидно-подъемные типа КНП-5-73 или клещевидно-весовые КВ-3-72 замедлители. Учтывая общую потребную мощность тормозных позиций и мощность, гашаемую одним замедлителем, целесообразно для данной горки использовать замедлители КВ-3-72. При укладке на второй позиции двух таких замедлителей (рис. 5.8) мощность ее составит $h_T^* = 2,0$ м. Тогда мощность первой позиции должна быть равна

$h_T^* = H_T - h_T^* = 3,3 - 2,0 = 1,3$ м.

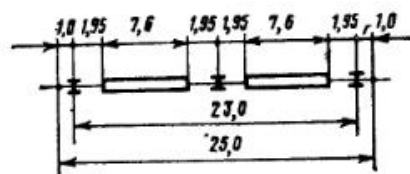


Рис. 5.8. Схема размещения вагонных замедлителей

Мощность парковой тормозной позиции должна быть не менее

$$h_T'' = H_T' - h_T' - h_T'',$$

где h_T' , h_T'' — фактическая мощность первой и второй тормозных позиций при торможении шестисносного полувагона.

На автоматизированных горках мощность парковой позиции зависит от принятой системы АРС. Для АРС ЦНИИ МПС $h_T'' \approx 0,5$ м, а для АРС ГТСС $h_T'' = 0,9 + 1,0$. Реализуются эти мощности, как правило, укладкой двух или четырехзвенных замедлителей ЦНИИ-ЗВ или замедлителей типа РНЗ. Приняв для данной горки систему АРС ЦНИИ МПС, гарантируем остановку шестисносного полувагона массой 127 т на парковой позиции (4,5 > 3,19).

5.4. ПРОФИЛЬ СПУСКНОЙ ЧАСТИ

Пример 5.11. Для плана головы сортировочного парка (см рис. 5.1) рассчитаем профиль спускной части пучка с трудным путем. Высота горки $H_T = 3,65$ м. На первой и второй тормозных позициях уложены по два замедлителя КВ-3-72.

Решение. Разбиваем план трудного пути¹ на шесть участков: скоростной, первая тормозная позиция, между тормозными позициями, вторая тормозная позиция, стрелочная зона, пути подгорочного парка (рис. 5.9). Точки перелома профиля должны находиться от тормозных позиций, острьяков и крестовин на расстоянии, равном тангенсу вертикальной сопрягающей кривой: $T_B = \Delta i \times 250/2000 = 0,125 \Delta i$.

Так как до окончания расчета профиля получить значение Δi невозможно, целесообразно точки перелома профиля намечать в 3—4 м до острьяков или за крестовиной и 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 в 2—3 м от центра в сторону крестовины.

Приняв предварительно скоростной уклон равным 45 ‰, определяем тангенс вертикальной сопрягающей кривой $T_B = 45 \cdot 350 / (2 \cdot 1000) = 8$ м. На плане головы сортировочного парка находим расстояние от вершины горки до начала прямого участка тормозной позиции $l_1 = 101,73$ м и длину скоростного участка $l_{ск} = 101,73 - 8 - 3 = 90,73$ 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 точки, находящейся в 3 м от центра стрелочного перевода в сторону крестовины: $l_{ск}' = 35,19$ м. Тогда $l_{ск}'' = 90,73 - 35,19 = 55,54$ м.

Уклон скоростного участка должен обеспечить максимальную скорость роспуска, но у очень хорошего бегуна при благоприятных условиях скатывания на первой тормозной позиции она не должна превышать максимально допустимую конструкцией замедлителя. Исходя из этого условия высота скоростного уклона

$$h_{ск} = (v_{\max}^2 - v_0^2) / 2g' + (l_{ск} \omega_0^{OX} + 9 \sum \alpha^\circ + 20l) 10^{-3},$$

где v_{\max} — максимально допустимая скорость входа вагона на замедлитель (для КВ-3-72 $v_{\max} = 7$ м/с);

v_0 — максимальная расчетная скорость надвига ($v_0 = 2,5$ м/с);

ω_0^{OX} — основное удельное сопротивление очень хорошего бегуна при благоприятных условиях скатывания ($\omega_0^{OX} = 0,5$ Н/кН);

$$h_{ск} = (7^2 - 2,5^2) / (2 \cdot 9,6) + (90,73 \cdot 0,5 + 9 \cdot 17,51 + 20 \cdot 3) 10^{-3} = 2,48 \text{ м}.$$

¹ От точки перелома профиля на вершине горки (находящейся на расстоянии тангенса вертикальной сопрягающей кривой от вершины) до расчетной точки.



Уклон первой части скоростного участка следует принять $i'_{ск} = 45 \text{‰}$, уклон второй части

$$i''_{ск} = (1000h_{ск} - i'_{ск}L'_{ск})/L''_{ск} = (2480 - 45 \cdot 35,19)/55,54 = 16,14 \text{‰}.$$

Дальше профиль рассчитываем со стороны расчетной точки. Принимаем уклон путей сортировочного парка $i = 1 \text{‰}$, уклон стрелочной зоны $i_{стр} = 1,5 \text{‰}$, длину участка путей сортировочного парка $L_{сп} = 100 \text{ м}$, стрелочной зоны (от конца второй тормозной позиции плюс 3 м до предельного столбика трудного пути) $L_{стр} = 113,42 \text{ м}$ [6]. Уклон второй тормозной позиции должен обеспечить трогание с места остановленного плохого бегуна в зимних условиях, но быть не менее 7‰ ; на автоматизированных горках допускается около 5‰ для уменьшения погрешности в определении скорости выхода отцепов:

$$i''_{т} \geq \omega_0^{\Pi} + \omega_{тр},$$

Рис. 5.9. Схема профиля спускной части горки

зимней температуре ($\omega_0^{\Pi} = 4,9 \text{ Н/кН}$); $\omega_{тр}$ — дополнительное удельное сопротивление троганию с места ($\omega_{тр} = 3,5 \div 4 \text{ Н/кН}$); $i''_{т} = 4,9 + 3,5 = 8,4 \text{‰}$.

Длины участков тормозных позиций $L''_{т} = 3 + L''_{пу} + 3 = 3 + 25,0 + 3 = 31,0 \text{ м}$ и промежуточного уклона $L_{пр} = 45,2 \text{ м}$. Приняв $i_{пр} = i''_{т}$, находим уклон первой тормозной позиции:

$$i'_{т} = [10^3 H_{г} - (i'_{ск}L'_{ск} + i''_{ск}L''_{ск} + i_{пр}L_{пр} + i''_{т}L''_{т} + i_{стр}L_{стр} + i_{сп}L_{сп})]/L'_{т} = [3650 - (45 \cdot 35,19 + 16,14 \cdot 55,54 + 8,4 \cdot 45,20 + 8,4 \cdot 31,0 + 1,5 \cdot 113,42 + 1 \cdot 100)]/31 = 8,38 \text{‰}.$$

Чтобы построить профиль, определим высоту точек его переломов (точек начала элементов профиля) относительно расчетной точки:

$$\begin{aligned} h_{сп} &= 10^{-3} i_{сп} L_{сп} = 10^{-3} \cdot 1 \cdot 100 = 0,1 \text{ м}; \\ h_{стр} &= h_{сп} + 10^{-3} i_{стр} L_{стр} = 0,1 + 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 113,42 = 0,27 \text{ м}; \\ h''_{т} &= h_{стр} + 10^{-3} i''_{т} L''_{т} = 0,27 + 10^{-3} \cdot 8,4 \cdot 31,0 = 0,53 \text{ м}; \\ h_{пр} &= h''_{т} + 10^{-3} i_{пр} L_{пр} = 0,53 + 10^{-3} \cdot 8,4 \cdot 45,20 = 0,91 \text{ м}; \\ h'_2 &= h_{пр} + 10^{-3} i'_2 L'_2 = 0,91 + 10^{-3} \cdot 8,38 \cdot 31 = 1,17 \text{ м}; \\ h'_{ск} &= h'_2 + 10^{-3} i'_{ск} L'_{ск} = 1,17 + 10^{-3} \cdot 45 \cdot 35,19 = 2,07 \text{ м}; \\ h'_{ск} &= h'_{ск} + 10^{-3} i'_{ск} L'_{ск} = 2,07 + 10^{-3} \cdot 45 \cdot 35,19 = 3,65 \text{ м}. \end{aligned}$$

Длина расчетного пути

$$L_{р} = T_{в} + L'_{ск} + L''_{ск} + L'_{т} + L_{пр} + L''_{т} + L_{стр} + L_{сп} = 8 + 35,19 + 55,54 + 31 + 45,20 + 31,0 + 113,42 + 100 = 419,35 \text{ м}.$$

5.5. АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СКОРОСТЕЙ ОТЦЕПОВ

Пример 5.12. Для профиля спускной части горки, рассчитанного в примере 5.11 (см. рис. 5.9), определим скорости входа и выхода с тормозных позиций очень хорошего бегуна при благоприятных условиях скатывания (попутный ветер $v_{в} = 5 \text{ м/с}$, расчетная температура $t_{р} = +17 \text{ °C}$) на легкий путь (см. рис. 5.1). На первой и второй тормозных позициях уложено по два замедлителя КВ-3-72, на третьей — два однозвенных замедлителя ЦНИИ-3В. Отцеп подвергается торможению на одном замедлителе первой и двух замедлителях второй позиций.

Решение. Чтобы упростить решение задачи, условимся считать скоростью входа на тормозные позиции — скоростью отцепа в точках F и E (от этих точек до начала тормозной позиции по 3 м); скоростью выхода с тормозных позиций — скоростью в точках Д и Ж; скоростью отцепа в точке Б равной скорости надвига. Скорость отцепа в конце любого элемента профиля

$$v_{к} = \sqrt{v_{н}^2 + 2g'l(i - \omega_0 - \omega_{ск} \pm \omega_{сп}) 10^{-3} - 2g'h_{т}}, \quad (5.5)$$

где $v_{н}$ — скорость отцепа в начале элемента профиля, м/с;
 g' — ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся частей вагонов (для очень хорошего бегуна $g' = 9,68 \text{ м/с}^2$);
 l — длина элемента профиля, м (см. рис. 5.9);
 i — уклон элемента профиля, ‰ (см. рис. 5.9);
 ω_0 — основное удельное сопротивление отцепа (для очень хорошего бегуна $\omega_0 = 0,5 \text{ Н/кН}$);
 $\omega_{ск}$ — дополнительное удельное сопротивление отцепа от стрелок и кривых на элементе, Н/кН (рассчитывается по плану головы сортировочного парка, см. рис. 5.1);
 $\omega_{сп}$ — удельное сопротивление воздушной среды и ветра в пределах рассматриваемого элемента, Н/кН;
 $h_{т}$ — энергетическая высота, погашаемая на тормозной позиции, м.
 Удельное сопротивление воздушной среды и ветра в пределах рассматриваемого элемента определяем по формуле (5.1), принимая за среднюю скорость движения отцепа в начале расчетного участка. Приняв скорость отцепа в точке Б равной скорости надвига $v_0 = 2 \text{ м/с}$, получим

$$\omega_{сп}^{БВ} = \frac{17,8 \cdot 1,46 \cdot 10,2}{(273 + 17) \cdot 127} (2 - 5)^2 = 0,06 \text{ Н/кН}.$$

Используя план головы сортировочного парка, найдем дополнительно удельное сопротивление кривых и стрелок на участке Б—В:

$$\omega_{ск}^{БВ} = (9 \sum \alpha^{\circ} + 20n)/L'_{ск} = (9 \cdot 9,46/4 + 20 \cdot 0,5)/35,19 = 0,89 \text{ Н/кН}.$$

Подставив исходные данные в формулу (5.5), получим

$$v_{в} = \sqrt{2^2 + 2 \cdot 9,68 \cdot 35,19 (45 - 0,5 - 0,89 + 0,06) 10^{-3} - 2 \cdot 9,68 \cdot 0} = 5,79 \text{ м/с}.$$

Для элемента профиля В—Г:

$$\omega_{сп}^{ВГ} = \frac{17,8 \cdot 1,46 \cdot 10,2}{(273 + 17) \cdot 127} (5,79 - 5)^2 \approx 0;$$

$$\omega_{ск}^{ВГ} = \frac{9 \left(4,73 + 3,32 + 9,46/4 + \frac{9,46}{2} \right) + 20 \cdot 1,5}{55,54} = 2,99 \text{ Н/кН}.$$

Скорость входа на первую тормозную позицию

$$v_{\Gamma} = \sqrt{5,79^2 + 2 \cdot 9,68 \cdot 55,54 (16,14 - 0,5 - 2,99) 10^{-3} - 2 \cdot 9,68 \cdot 0} = 6,86 \text{ м/с.}$$

Удельное сопротивление воздушной среды и ветра на участке $\Gamma-D$

$$w_{\text{ср}}^{\Gamma D} = \frac{17,8 \cdot 1,46 \cdot 10,2}{(273 + 17) 127} (6,86 - 5)^2 = 0,02 \text{ Н/кН.}$$

При торможении очень хорошего бегуна на первой тормозной позиции на одном замедлителе ($h_{\Gamma}^* = 1,0 \text{ м}$) скорость выхода с позиции

$$v_{D} = \sqrt{6,86^2 + 2 \cdot 9,68 \cdot 31 (8,38 - 0,5 - 0,02) 10^{-3} - 2 \cdot 9,68 \cdot 1,0} = 5,69 \text{ м/с.}$$

Для участка $D-E$ удельное сопротивление стрелок и кривых

$$w_{\text{ск}}^{DE} = [9 (0,55 + 4,73) + 20 \cdot 1] / 45,2 = 1,49 \text{ Н/кН;}$$

удельное сопротивление воздушной среды и ветра

$$w_{\text{ср}}^{DE} = \frac{17,8 \cdot 1,46 \cdot 10,2}{(273 + 17) 127} (5,69 - 5)^2 \approx 0.$$

Скорость входа очень хорошего бегуна на вторую тормозную позицию

$$v_{E} = \sqrt{5,69^2 + 2 \cdot 9,68 \cdot 45,2 (8,4 - 0,5 - 1,49) 10^{-3} - 2 \cdot 9,68 \cdot 0} = 6,16 \text{ м/с.}$$

При погашении на второй тормозной позиции 2 м энергетической высоты скорость выхода очень хорошего бегуна

$$v_{\text{Ж}} = \sqrt{6,16^2 + 2 \cdot 9,68 \cdot 31 (8,4 - 0,5) 10^{-3} - 2 \cdot 9,68 \cdot 2} = 2 \text{ м/с.}$$

Для элемента профиля $\text{Ж}-3$:

$$w_{\text{ср}}^{\text{Ж}3} = \frac{17,8 \cdot 1,46 \cdot 10,2}{(273 + 17) 127} (2 - 5)^2 = -0,06 \text{ Н/кН;}$$

$$w_{\text{ск}}^{\text{Ж}3} = [9 (4,73 \cdot 3 + 1,88 + 3,84) + 20 \cdot 3] / 113,42 = 2,11 \text{ Н/кН;}$$

$$v_{3} = \sqrt{2^2 + 2 \cdot 9,68 \cdot 113,42 (1,5 - 0,5 - 2,11 + 0,06) 10^{-3} - 2 \cdot 9,68 \cdot 0} = 1,27 \text{ м/с.}$$

Для участка $3-K$: $w_{\text{ср}}^{3K} = -0,1 \text{ Н/кН; } w_{\text{ск}} = 0.$

При торможении на третьей тормозной позиции на полную мощность скорость выхода с нее

$$v_{K} = \sqrt{1,27^2 + 2 \cdot 9,68 \cdot 49,2 (1 - 0,5 - 0 + 0,1) 10^{-3} - 2 \cdot 9,68 \cdot 0,5} = 0.$$

Запроектированный профиль обеспечит безопасность роспуска при скорости надвига очень хорошего бегуна 2 м/с. Скорость входа на тормозные позиции не превысит максимально допустимую и обеспечит остановку отцепа на третьей тормозной позиции при торможении на первой позиции одним замедлителем.

Пример 5.13. Для профиля спускной части горки (см. рис. 5.9) определим скорость плохого бегуна в точках перелома профиля. Отцеп скатывается при неблагоприятных условиях на трудный путь без торможения. Расчетная температура воздуха $t = -20^{\circ}\text{C}$, ветер встречный под углом 20° , расчетная его скорость 6 м/с. Расчетная масса плохого бегуна $q = 50 \text{ т}$. Трудный путь сортировочного парка — путь I (см. рис. 5.1). Скорость надвига $v_0 = 1,4 \text{ м/с}$.

Решение. Основное удельное сопротивление плохого бегуна в точках перелома профиля принимаем по приложению 1 табл. 2 [6] в зависимости от расположения участков относительно вершины горки ($l = 0 \div 140 \text{ м; } w_0^{\Pi} = 4,8 \text{ Н/кН; } l = 140 \div 200 \text{ м; } w_0^{\Pi} = 4,45 \text{ Н/кН; } l = 240 \div 360 \text{ м; } w_0^{\Pi} = 3,95 \text{ Н/кН}$).

Для определения удельного сопротивления воздушной среды и ветра за среднюю на расчетном участке принимаем скорость движения отцепа в его начале. Такое допущение дает несколько заниженные значения $w_{\text{ср}}$ по сравнению с фактическими на участках с ускоренным движением отцепа и завышенные на участках, где движение замедляется. Чем короче длина элементов, тем ближе значение $w_{\text{ср}}$ к фактическому. Сопротивление от стрелок и кривых на участке $B-B$ рассчитано в примере 5.12. $w_{\text{ск}}^{BB} = 0,85 \text{ Н/кН}$. Удельное сопротивление воздушной среды и ветра на участке $B-B$:

$$v_p^{BB} = \sqrt{1,4^2 + 6^2 + 2 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot 0,9397} = 7,33 \text{ м/с;}$$

$$\alpha = \arcsin [6 \cdot 0,3420 / 7,33] = 16^{\circ};$$

$$w_{\text{ср}}^{BB} = 17,8 \cdot 1,58 \cdot 9,7 \cdot 7,33^2 / (273 - 20) 50 = 1,2 \text{ Н/кН;}$$

$$v_B = \sqrt{1,4^2 + 2 \cdot 9,5 \cdot 35,19 (45 - 4,8 - 0,89 - 1,2) 10^{-3}} = 5,24 \text{ м/с.}$$

Сопротивление стрелок и кривых на участке $B-\Gamma$:

$$w_{\text{ск}}^{B\Gamma} = 2,99 \text{ Н/кН (см. пример 5.12);}$$

$$v_p^{B\Gamma} = \sqrt{5,24^2 + 6^2 + 2 \cdot 5,24 \cdot 6 \cdot 0,9397} = 11,06 \text{ м/с;}$$

$$\alpha = \arcsin (6 \cdot 0,3420) / 11,06 \approx 11^{\circ};$$

$$w_{\text{ср}}^{B\Gamma} = 17,8 \cdot 1,48 \cdot 9,7 \cdot 11,06^2 / [(273 - 20) 50] = 2,47 \text{ Н/кН.}$$

Основное удельное сопротивление на участках $B-\Gamma$ и $\Gamma-D$ примем, как на участке $B-B$, $w_0^{\Pi} = 4,8 \text{ Н/кН}$, а на участке $D-E$ как средневзвешенное

$$w_0^{\Pi} = (4,8 \cdot 10,27 + 4,45 \cdot 34,93) / 45,2 = 4,53 \text{ Н/кН.}$$

Скорость плохого бегуна в точке Γ

$$v_{\Gamma} = \sqrt{5,24^2 + 2 \cdot 9,5 \cdot 55,54 (16,14 - 4,8 - 2,99 - 2,47) 10^{-3}} = 5,80 \text{ м/с.}$$

На участке $\Gamma-D$:

$$w_{\text{ск}}^{\Gamma D} = 0;$$

$$v_p^{\Gamma D} = \sqrt{5,80^2 + 6^2 + 2 \cdot 5,80 \cdot 6 \cdot 0,9397} = 11,62 \text{ м/с;}$$

$$\alpha = \arcsin (6 \cdot 0,3420) / 11,62 \approx 10^{\circ};$$

$$w_{\text{ср}}^{\Gamma D} = 17,8 \cdot 1,46 \cdot 9,7 \cdot 11,62^2 / [(273 - 20) 50] = 2,69 \text{ Н/кН.}$$

Подставив исходные величины в формулу (5.5), получим скорость плохого бегуна в точке D :

$$v_D = \sqrt{5,80^2 + 2 \cdot 9,5 \cdot 31 (8,38 - 4,8 - 2,69) 10^{-3}} = 5,84 \text{ м/с.}$$

Для участка $D-E$ из плана головы сортировочного парка (см. рис. 5.1) табл. 5.1 находим $\sum \alpha^{\circ} = 9,01^{\circ}$, $n = 1$. Тогда

$$w_{\text{ск}}^{DE} = (9 \cdot 9,01 + 20 \cdot 1) / 45,2 = 2,24 \text{ Н/кН;}$$

$$v_p^{DE} = \sqrt{5,84^2 + 6^2 + 2 \cdot 5,84 \cdot 6 \cdot 0,9397} = 11,66 \text{ м/с;}$$

$$\alpha = \arcsin (6 \cdot 0,3420) / 11,66 \approx 10^{\circ};$$

$$w_{\text{ср}}^{DE} = \frac{17,8 \cdot 1,46 \cdot 9,7}{(273 - 20) 50} 11,66^2 = 2,70 \text{ Н/кН;}$$

$$v_E = \sqrt{5,84^2 + 2 \cdot 9,5 \cdot 45,2 (8,4 - 1,53 - 2,24 - 2,7) 10^{-3}} = 5,76 \text{ м/с.}$$

Для участка $E-J$ удельное сопротивление воздушной среды и ветра $w_{\text{ср}}^{EJ} = 2,69$ Н/кН, а $w_0^{\text{П}} = 4,45$ Н/кН; $w_{\text{ск}}^{EJ} = 0$. Тогда

$$v_{\text{Ж}} = \sqrt{5,76^2 + 2 \cdot 9,5 \cdot 31,0 (8,4 - 4,45 - 2,65) 10^{-3}} = 5,83 \text{ м/с.}$$

Для участка $Ж-З$ следует принять:

$$w_0^{\text{П}} = 3,95 \text{ Н/кН;}$$

$$w_{\text{ск}}^{\text{ЖЗ}} = [9 (3,17 + 18,92) + 20 \cdot 4] / 113,42 = 2,46 \text{ Н/кН;}$$

$$v_{\text{р}}^{\text{ЖЗ}} = \sqrt{5,83^2 + 6^2 + 2 \cdot 5,83 \cdot 6 \cdot 0,9397} = 11,66 \text{ м/с;}$$

$$\alpha = \arcsin (6 \cdot 0,3420 / 11,66) \approx 10^\circ;$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{ДЕ}} = 17,8 \cdot 1,46 \cdot 9,7 \cdot 11,66^2 / [(273 - 20) 50] = 2,72 \text{ Н/кН.}$$

Скорость плохого бегуна в точке $З$

$$v_{\text{З}} = \sqrt{5,83^2 + 2 \cdot 9,5 \cdot 113,42 (1,5 - 3,95 - 2,46 - 2,72) 10^{-3}} = 4,19 \text{ м/с.}$$

Для участка $З-И$:

$$\sum \alpha^\circ = 29,69^\circ; \quad n = 0;$$

$$w_{\text{ск}}^{\text{ЗИ}} = 9 \cdot 29,69 / 100 = 2,67 \text{ Н/кН;}$$

$$v_{\text{р}}^{\text{ЗИ}} = \sqrt{4,19^2 + 6^2 + 2 \cdot 4,19 \cdot 6 \cdot 0,9397} = 10 \text{ м/с;}$$

$$\alpha = \arcsin (6 \cdot 0,3420 / 10) \approx 12^\circ;$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{ЗИ}} = 17,8 \cdot 1,5 \cdot 9,7 \cdot 10^2 / [(273 - 20) 50] = 2,0 \text{ Н/кН.}$$

Скорость плохого бегуна в расчетной точке трудного пути

$$v_{\text{И}} = \sqrt{4,19^2 + 2 \cdot 9,5 \cdot 100 (1 - 3,95 - 2,67 - 2) 10^{-3}} = 1,7 \text{ м/с.}$$

Расчетный плохой бегун массой 50 т на подшипниках скольжения (при нормальном отклонении основного удельного сопротивления движению вагонов от средних значений, равном 1,3) дойдет до расчетной точки. Для рассчитываемого конкретного бегуна минимальную высоту горки можно уменьшать на $h = 1,7^2 / (2 \cdot 9,5) = 0,15$ м.

5.6. ПРОВЕРКА ПРОФИЛЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ СРЕДСТВ

Пример 5.14. Проверим профиль горки (см. примеры 5.6—5.11) и размещение на ней тормозных позиций графическим методом. Определим максимальную скорость надвига при последовательном чередовании плохих и хороших бегунов (П—Х) при неблагоприятных условиях скатывания. Расчетные параметры горки: $H_{\text{Г}} = 3,65$ м; $t_{\text{р}} = -20^\circ\text{C}$; ветер встречный под углом 20° к направлению сортировки; $v_{\text{в}} = 6$ м/с; скорость попутного ветра при благоприятных условиях скатывания 5 м/с; расчетная масса плохого бегуна $q_{\text{П}} = 50$ т; на первой и второй тормозных позициях уложено по два замедлителя КВ-3-72, на третьей — два однозвенных замедлителя ЦНИИ-ЗВ; план головы сортировочного парка см. на рис. 5.1, профиль спускной части — на рис. 5.9; трудный путь сортировочного парка — путь 1, соседний с трудным — путь 2, легкий — путь 15 (см. табл. 5.5).

Решение. Профиль горки и размещение на ней тормозных средств проверяют анализом кривых скорости и времени хода плохого и хорошего бегунов при неблагоприятных условиях скатывания. Кривые скорости строят на основе кривых

энергетических высот. Для решения задачи необходимо построить кривые энергетических высот:

плохого бегуна, следующего на трудный путь при неблагоприятных условиях скатывания:

$$h_{\text{в}}^{\text{П}} = f(S);$$

хорошего бегуна, следующего на путь, соседний с трудным, при благоприятных условиях скатывания без торможения:

$$h_{\text{в}}^{\text{Х}} = f(S);$$

хорошего бегуна, следующего на путь, соседний с трудным, при благоприятных условиях скатывания с частичным торможением:

$$h_{\text{в}}^{\text{Х}}(\text{тор}) = f(S);$$

очень хорошего бегуна, следующего на легкий путь при благоприятных условиях скатывания без торможения:

$$h_{\text{в}}^{\text{ОХ}} = f(S);$$

очень хорошего бегуна, следующего на легкий путь при благоприятных условиях скатывания с полным торможением:

$$h_{\text{в}}^{\text{ОХ}}(\text{тор}) = f(S).$$

Последние две кривые необходимы для проверки максимальной скорости входа на тормозные позиции и достаточности мощности тормозных позиций.

Кривые энергетических высот строят (в масштабах: горизонтальный — 1 см = 10 м пути, вертикальный — 1 см = 20 см энергетической высоты) в такой последовательности. Вычерчивают развернутый план трудного, соседнего с трудным и легкого путей в соответствии с масштабным планом головы сортировочного парка (рис. 5.10). Отступая 60—70 мм от плана легкого пути, проводим горизонтальную линию $M'N'$. Вниз от точки M' откладываем отрезок $h'_0 = 2,2^2 / (2 \cdot 9,6) = 0,25$ м, соответствующий максимальной скорости надвига. Полученная точка A обозначает вершину горки. Отложив вверх от нее отрезок $h_0 = 1,4^2 / (2 \cdot 9,4) = 0,10$ м, соответствующий минимальной расчетной скорости надвига, проведем линию MN , параллельную $M'N'$. Вниз от точки A откладываем отрезок $H_{\text{Г}} = 3,65$ м и через точку K проводим линию KL , параллельную линии MN .

По проектным отметкам, указанным внизу чертежа, между точками A и L наносим линию профиля спускной части горки, рассчитанного в примере 5.11. Из точек, ограничивающих стрелочные переводы, кривые и тормозные позиции на расчетных путях, на линию KL опускаем перпендикуляры.

Вверх от линии $M'N'$ по перпендикулярам откладываем в масштабе нарастающим итогом энергетические высоты $h_{\text{вср}}^{\text{П}}$ и $h_{\text{вкр}}^{\text{П}}$, эквивалентные удельным работам отцепов на преодоление сопротивлений стрелок и кривых в пределах участков от вершины горки до расчетных точек трудного, соседнего с трудным и легкого путей. Точки высот соединяем и получаем три ломаные линии, характеризующие удельную работу сил сопротивлений на стрелках и кривых $h_{(w_{\text{ср}}^{\text{П}} + w_{\text{кр}}^{\text{П}})} = f(S)$ при движении расчетного отцепа соответственно по трудному, соседнему с трудным и легкому путям.

Вниз от линии $M'N'$ строим линию энергетических высот, теряемых на преодоление сопротивлений основного удельного и от среды и ветра очень хорошим бегуном при благоприятных условиях скатывания $h_{(w_0 + w_{\text{ср}})} = f(S)$. Такую же линию, но для плохого и хорошего бегунов, скатывающихся в неблагоприятных зимних условиях, строим вниз от линии MN , начиная с точки M . При этом дополнительное удельное сопротивление среды и ветра $w_{\text{ср}}$ пред-

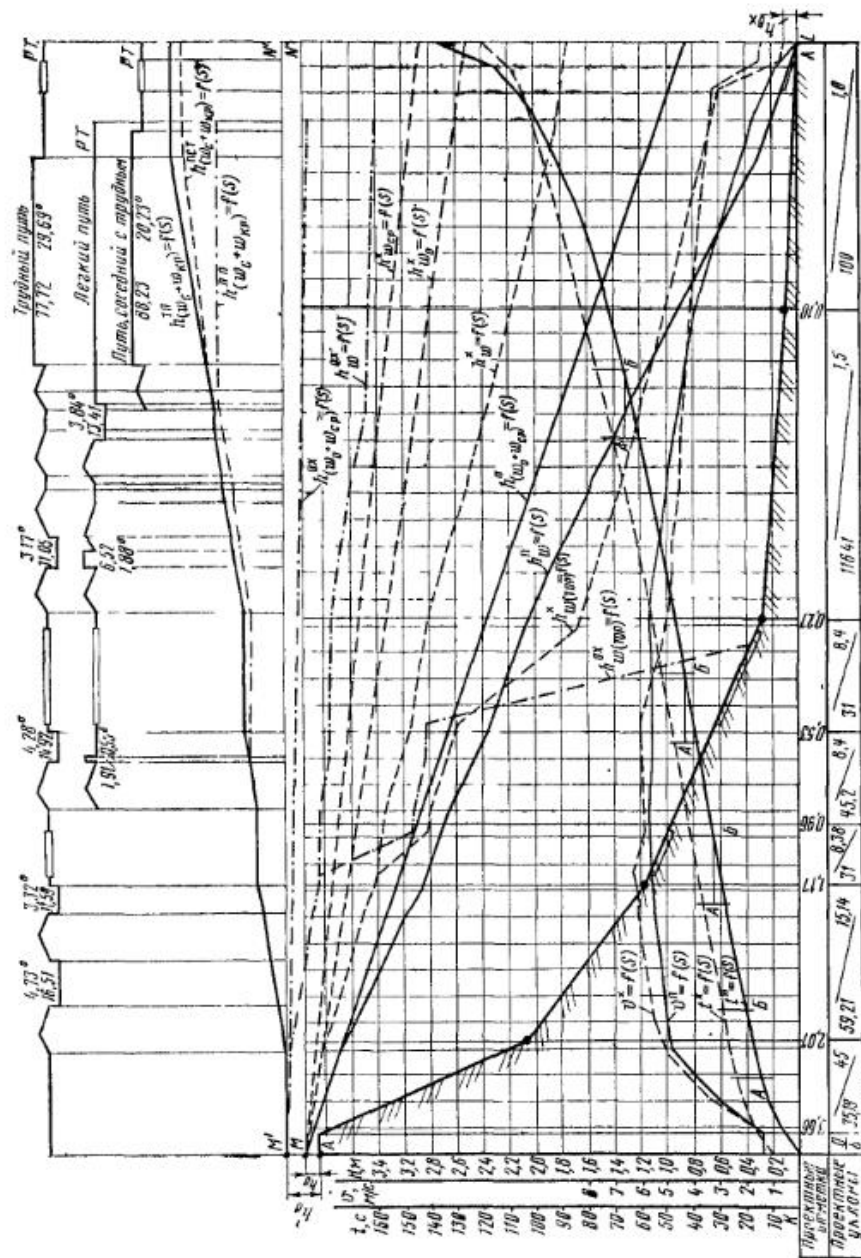


Рис. 5.10. Графический расчет сортировочной горки

полагаем постоянным на всем пути следования отцепов и рассчитываем по средней скорости скатывания. Для плохого бегуна $w_{cp}^{\Pi} = 2,03$ Н/кН (см. пример 5.7), для хорошего $w_{cp}^X = \frac{17,8 \cdot 1,68 \cdot 8,5}{(273 - 20) \cdot 70} (5 + 6)^2 = 1,73$ Н/кН. Это упрощение — существенный недостаток графического метода расчета. Он приводит к значительным погрешностям.

Основное удельное сопротивление хорошего бегуна меняется в зависимости от расстояния от вершины горки. Если вагоны оборудованы буксами на роликовых подшипниках, на протяжении 140 м от вершины горки $w_o^X = 1,05$ Н/кН; 140—240 м $w_o^X = 0,85$ Н/кН и 240—360 м $w_o^X = 0,65$ Н/кН (см. приложение 1, табл. 3 [6]). Линию же энергетических высот, теряемых на преодоление удельного сопротивления среды и ветра, для хорошего бегуна строим отдельно. К ординатам этой линии нарастающим итогом добавляем ординаты, соответствующие потерям энергетической высоты от преодоления основного удельного сопротивления. Новая линия называется линией энергетических высот, потерянных от преодоления основного удельного сопротивления и сопротивления среды и ветра:

$$h_{(w_o + w_{cp})}^X = f(S).$$

Для плохого бегуна основное удельное сопротивление принимаем постоянным $w_o^{\Pi} = 4,9$ Н/кН. Так как силы w_o и w_{cp} постоянны, удельная работа графически изображается наклонной линией. Для ее построения достаточно к точкам M и M' рассчитать еще по одной точке. У расчетной точки энергетическая высота, потерянная от преодоления основного удельного и дополнительного сопротивлений,

$$h_{(w_o + w_{cp})} = L (w_o + w_{cp}) 10^{-3},$$

для очень хорошего бегуна

$$h_{(w_o + w_{cp})}^{OX} = 390,9 (0,5 + 0) 10^{-3} = 0,20 \text{ м};$$

для плохого

$$h_{(w_o + w_{cp})}^{\Pi} = 419,35 (4,9 + 2,03) 10^{-3} = 2,91 \text{ м};$$

для хорошего

$$h_{(w_o + w_{cp})}^X = (419,35 \cdot 1,73 + 140 \cdot 1,05 + 100 \cdot 0,85 + 179,35 \cdot 0,65) = 1,07 \text{ м}.$$

Для построения суммарных кривых энергетических высот, потерянных от преодоления всех сил сопротивлений, необходимо геометрически сложить соответствующие ординаты уже построенных линий (рис. 5.11).

Определение общей мощности тормозных позиций и построение кривой энергетических высот очень хорошего бегуна при благоприятных условиях скатывания на легкий путь с полным торможением показано на рис. 5.12. В нашем примере запроектированной мощности тормозных позиций достаточно для остановки очень хорошего бегуна, надвигаемого на горку со скоростью 2,2 м/с и скатывающегося при благоприятных условиях на легкий путь, в конце второй позиции. Скорость хорошего бегуна в расчетной точке не должна превышать допустимой скорости соударений вагонов, и энергетическая высота соответствующая этой скорости,

$$h_{вх} = 1,4^2 / (2 \cdot 9,6) = 0,10 \text{ м}.$$

Огложив вверх от точки L (см. рис. 5.10) по ординате высоту $h_{вх}$, видим, что хороший бегун должен быть подвергнут торможению, чтобы в расчетной точке его скорость была равна скорости соударения. Энергетическую высоту, подлежащую погашению на тормозных позициях, можно определить, если из

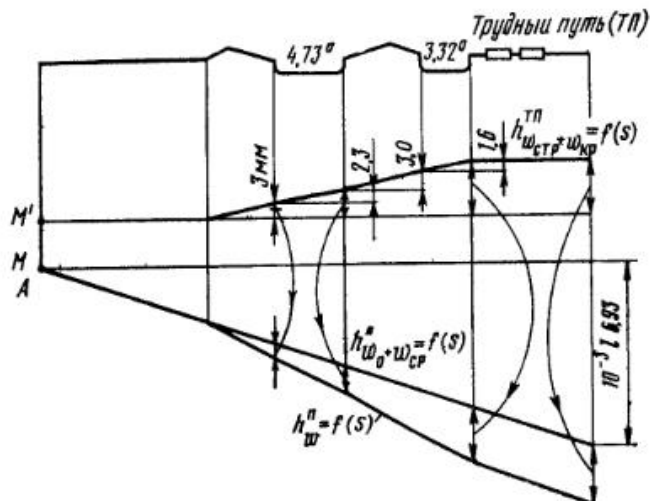


Рис 5 11 Кривые энергетических высот

остаточной (скоростной) высоты хорошего бегуна $h_w^X = f(S)$ в расчетной точке вычесть высоту, соответствующую допустимой скорости соударений, $h_{вх}$

Выбор режима торможения хорошего бегуна (распределение энергетической высоты, подлежащей погашению, на тормозных позициях) зависит от соотношения скоростей плохого и хорошего бегунов, маршрутов их следования, числа и мощности тормозных позиций. Оптимальный режим обеспечит минимальный «диф» между плохим и хорошим бегунами, а следовательно, и максимальную скорость распуска. На автоматизированных горках режим торможения определяет ЭВМ на основании ходовых качеств отцепов и фактических скоростей в контрольных точках. При графическом построении кривой $h_w^X = f(S)$ с частичным торможением следует распределять погашаемую мощность между тормозными позициями так, чтобы среднюю скорость хорошего бегуна сделать примерно равной скорости плохого бегуна. Торможение хорошего бегуна на них позволяет до минимума уменьшить расхождение во времени хода плохого и хорошего бегунов.

Кривые скорости строят для плохого бегуна, скатывающегося на трудный путь, $v^П = f(S)$ и хорошего бегуна, скатывающегося на путь, соседний с труд

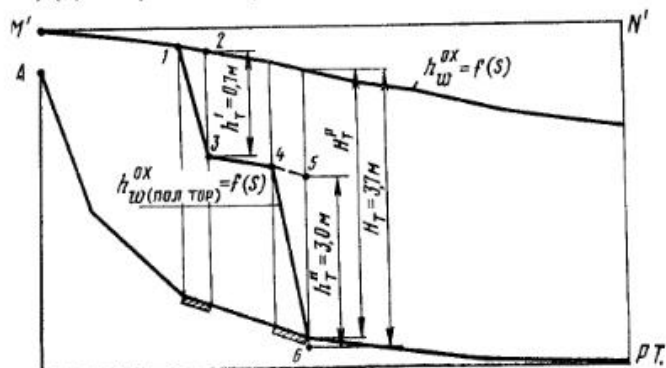


Рис 5 12 Суммарная кривая энергетических высот очень хорошего бегуна с полным торможением

ным, при неблагоприятных условиях с частичным торможением $v^X = f(S)$. Масштаб скорости 1 см = 1 м/с. Остаточную энергетическую высоту, превращающуюся в кинетическую энергию отцепов, можно определить в любой точке горки как ординату между соответствующей суммарной кривой энергетических высот и линией профиля и по формуле $v = \sqrt{2g'h_0}$ найти скорость отцепа в этой точке. Для ускорения вычислений целесообразно построить график зависимости скорости отцепов от энергетической высоты (рис 5 13). Кривую строят, начиная со скорости надвига $v_0 = 1,4$ м/с. Значения скоростей определяют через каждые 10 м пути и дополнительно в точках перелома профиля и суммарных кривых энергетических высот.

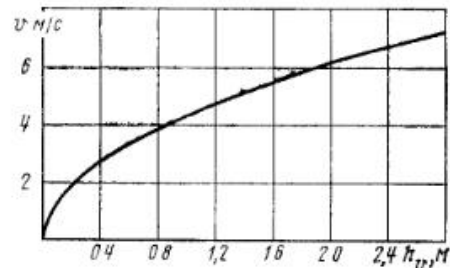


Рис 5 13 Зависимость скорости отцепов от остаточной энергетической высоты

Кривые времени хода $t^П = f(S)$, $t^X = f(S)$ строят для тех же бегунов, что и кривые скорости. Масштаб времени 1 см = 10 с. В примере кривые времени построены методом МПС. На расстоянии 10 мм от начала координат проводится вспомогательная вертикаль (шкала скорости). Для удобства построения целесообразно периодически перемещать условное начало координат и вспомогательную вертикаль к расчетной точке вслед за построением кривой времени. Отрезки пути, в пределах которых определяется средняя скорость, следует брать не более 10 м. Для расчета максимальной скорости надвига необходимо определить фактические и минимально необходимые интервалы на первой и последней стрелках и тормозных позициях по кривым времени хода $t^П = f(S)$ и $t^X = f(S)$. Расчетные схемы приведены на рис 5 14 и 5 15. Положение границ (точек А и Б) и длину расчетного участка на стрелочном переводе $l_{расч} = 25,71$ м определим по схеме на рис 5 16. Длина расчетного участка на первой тормозной позиции (рис 5 17)

$$l_{расч} = \frac{t_6^X}{2} + l_{зам} + \frac{t_6^П}{2} + v_{зам} t_{па} = \frac{10,45}{2} + 11,5 + \frac{11,63}{2} + v_{зам} t_{па} = 22,54 + v_{зам} t_{па}$$

Длины расчетных участков для определения интервалов между плохим и хорошим и между хорошим и плохим бегунами разные. Для определения интервала на первой тормозной позиции между бегунами плохим и хорошим значение

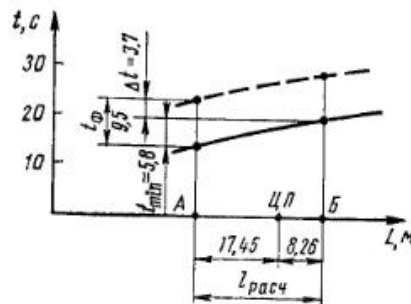


Рис 5 14 Схема для определения интервалов на первой раздельной стрелке

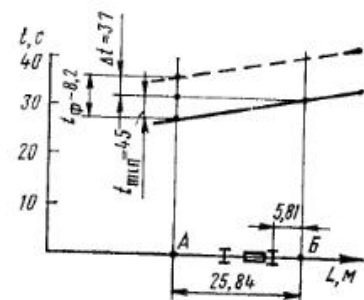


Рис 5 15 Схема для определения интервалов на первой тормозной позиции

скорости плохого бегуна необходимо взять по кривой $v^{\Pi} = f(S)$ в начале первого замедлителя (см рис 5 10, $v_{зам}^{\Pi} = 5,5$ м/с), а время затормаживания $t_{пз} = 0,6$ с (см приложение 1 [6]) Тогда $t_{расч}^{\Gamma} = 22,54 + 5,5 \cdot 0,6 = 25,84$ м.

Аналогично длина расчетных участков на второй тормозной позиции $t_{расч}^{\Gamma} = 22,54 + 5,55 \cdot 0,6 = 25,87$ м

Используя длины расчетных участков, находим на рис. 5 10 фактические $t_{ф}$, минимально необходимые t_{min} интервалы и резервы времени Δt на всех четырех расчетных элементах:

	$t_{ф}$	t_{min}	Δt
Первая разделительная стрелка (4)	9,5	5,8	3,7
Первая тормозная позиция	8,2	4,5	3,7
Вторая тормозная позиция	7,9	4,5	3,4
Последняя стрелка (22)	10,0	5,5	4,5

Анализ показывает, что принятый режим торможения хорошего бегуна на трех тормозных позициях обеспечивает минимальную расчетную скорость надвига при неблагоприятном сочетании отцепов. При следовании хорошего бегуна за плохим ограничивает повышение скорости надвига вторая тормозная позиция. На ней (при скорости надвига 1,4 м/с) наименьший резерв времени между отцепами $\Delta t = 3,4$ с. Исходя из минимального резерва, при заданных условиях можно повысить скорость надвига до $v_0^{max} = (14,73 + 14,19)/[2(10,32 - 3,4)] = 2,08$ м/с

Скорость надвига по условию входа хорошего бегуна на первую тормозную позицию может быть повышена на

$$v_{вх}^{max} - v_{вх}^{\Phi} = 7 - 6,25 = 0,75 \text{ м/с и составит } v_0^{max} = 1,4 + 0,75 = 2,15 \text{ м/с,}$$

где $v_{вх}^{max}$ — максимальная скорость входа отцепов на замедлитель (для КВ-3-72 $v_{вх}^{max} = 7$ м/с),

$v_{вх}^{\Phi}$ — фактическая скорость входа хорошего бегуна на первую тормозную позицию (см рис. 5 10, $v_{вх}^{\Phi} = 6,25$ м/с). Следовательно, максимальная скорость

надвига при благоприятных условиях скатывания на запроектированной горке будет ограничиваться интервалами следования и составит 2,08 м/с. Анализируя кривые энергетических высот и кривые скоростей, можно сделать следующие выводы:

при полном торможении скорость входа очень хорошего бегуна:

$$\text{на первую позицию } v_{вх}^{OX} = \sqrt{2 \cdot 9,7 \cdot 2,5} = 7 \text{ м/с,}$$

$$\text{на вторую позицию } v_{вх}^{OX} = \sqrt{2 \cdot 9,7 \cdot 2,20} = 6,53 \text{ м/с;}$$

при частичном торможении скорость входа хорошего бегуна:

$$\text{на первую позицию } v_{вх}^X = 6,25 \text{ м/с;}$$

$$\text{на вторую позицию } v_{вх}^X = 6,0 \text{ м/с,}$$



Рис. 5.16. Схема расчета минимального расстояния между отцепами на стрелочном переводе

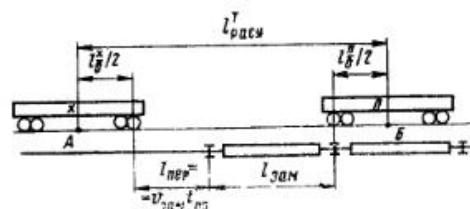


Рис. 5.17. Схема расчета минимального расстояния между отцепами на замедлителе

максимальная скорость плохого бегуна при неблагоприятных условиях не превышает 5,7 м/с;

скорость подхода хорошего бегуна к расчетной точке не превышает допустимой скорости соударений 1,4 м/с,

плохой бегун при самых неблагоприятных условиях доходит до расчетной точки

Таким образом, запроектированная сортировочная горка при неблагоприятных условиях обеспечивает безопасность роспуска при скорости выше расчетной.

5.7. ГОРКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Пример 5.15. Определим параметры механизированной горки малой мощности (рис 5.18). Расчетная средняя суточная температура воздуха $t = -17^{\circ}\text{C}$; расчетная скорость встречного ветра $v_{в} = 4,5$ м/с, $\beta = -20^{\circ}\text{C}$; скорость попутного ветра в летний период 5,0 м/с; расчетная масса плохого бегуна $q_{п} = 30$ т. Доля вагонов, оборудованных буксами с подшипниками качения, 50%. Первая тормозная позиция расположена за первой разделительной стрелкой. Характеристики кривых и элементов головы сортировочного парка приведены в табл 5 6 и 5 7.

Таблица 5.6

Параметры кривых в горловине сортировочного парка

Вершина угла	Угол поворота, град	Радиус, м	Тангенс, м	Вершина угла	Угол поворота, град	Радиус, м	Тангенс, м
8	2°	200	3,49	20	4°	200	6,98
9	5° 07' 20"	200	8,94	21	7° 12' 40"	200	12,60
10	0° 41' 27"	2000	12,20	22	12° 40' 25"	200	22,41
11	8° 46' 18"	200	15,34	23	17° 24' 17"	250	38,28
12	2°	200	3,49	24	2°	200	3,49
13	3° 36' 33"	300	9,45	27	14° 40' 25"	200	25,75
14	13° 04' 18"	200	22,32	28	24° 08' 10"	160	34,21
15	17° 48' 10"	200	31,32	29	28° 52' 02"	180	46,34
16	6° 20'	200	11,05				

Таблица 5.7

Расчетный элемент горловины сортировочного парка

От точки	До точки	Длина, м	От точки	До точки	Длина, м	От точки	До точки	Длина, м
0	1	10,35	4	5	24,0	18	23	68,53
1	2	28,80	5	10	109,47	19	20	20,00
1	16	21,65	5	11	26,10	19	22	53,56
2	3	44,68	6	7	24,00	20	21	42,46
16	17	48,80	6	15	54,71	25	24	10,90
3	8	14,10	7	13	42,10	25	26	24,00
3	12	14,10	7	14	35,15	25	29	66,53
8	4	10,90	17	18	25,00	26	27	53,50
12	6	10,90	17	24	14,10	26	28	46,10
4	9	55,21	18	19	25,00			

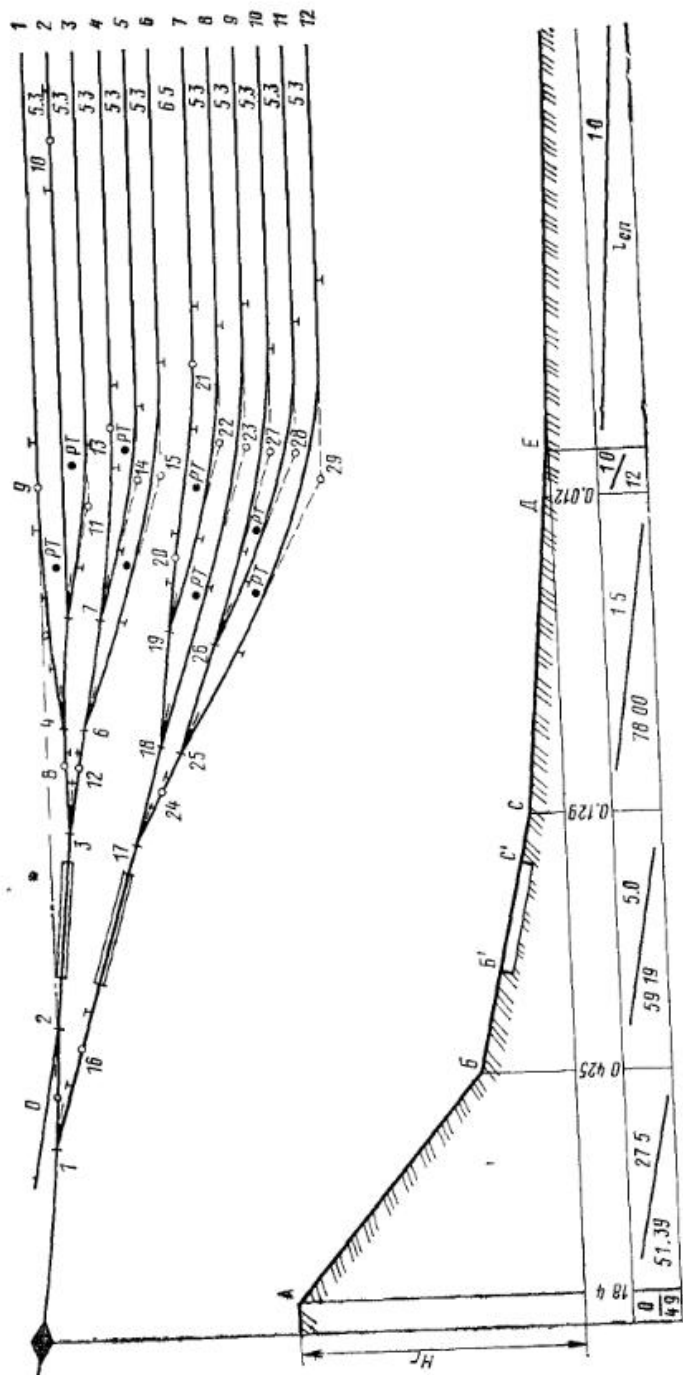


рис. 5.18. План и продольный профиль горки малой мощности

Решение. Для механизированной горки с устройствами ГАЦ и АЗСР расстояние от вершины горки до первой разделительной стрелки принимаем согласно схеме (рис. 5.19) равным 41,89 м. Для нахождения трудного и легкого путей основное удельное сопротивление движения воздушной среды и встречного ветра рассчитываем по табл. 1[6] равным 5,4 Н/кН. Дополнительное

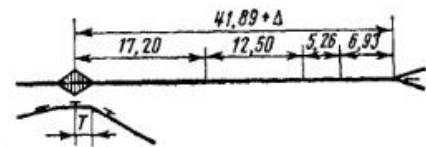


рис. 5.19. Схема определения расстояния от вершины горки до расчетной точки

удельное сопротивление движению воздушной среды и встречного ветра рассчитываем при средней скорости отщела 3 м/с и $\alpha = 20^\circ/2 = 10^\circ$:

$$w_{cp} = 17,8 \cdot 1,46 \cdot 9,7 (3 + 4,5)^2 / [(273 - 17) 30] = 1,85 \text{ Н/кН.}$$

Расстояние от вершины горки до расчетных точек и сумму углов поворота определяют по плану головы сортировочного парка и табл. 5.6 и 5.7. Учитывая, что в ближайшее время весь парк грузовых вагонов будет переведен на подшипники качения, расстояние от предельного столбика пути сортировочного парка до расчетной точки принимаем равным 12 м. Расстояние от центра стрелочного перевода до предельного столбика — ориентировочно 29 м. Расчеты по выбору трудного и легкого путей сведены в табл. 5.8.

Высота горки малой мощности должна обеспечить проход плохого бегуна при неблагоприятных условиях скатывания до расчетной точки трудного пути 5. При торможении вагонов тормозными башмаками высоту горки малой мощности можно рассчитывать при средней зимней температуре до -5°C и временном подъеме горба на зимний период. В данном примере горка оборудована вагон-

Таблица 5.8

Результаты расчета трудного и легкого путей

№ пути	Расстояние от вершины горки до расчетной точки L, м	Сумма сопротивлений движению основного удельного и дополнительного $w_0 + w_{cp}$, Н/кН	Работа сопротивлений основного $L(w_0 + w_{cp})$, Н м/кН	Сумма углов поворота кривых от вершины горки до расчетной точки $\Sigma\alpha^\circ$, град	Дополнительная удельная работа сопротивлений в кривых $92\alpha^\circ$, Н м/кН	Число стрелочных переводов на пути от вершины горки до расчетной точки n	Дополнительная удельная работа сил сопротивлений от ударов на стрелках и крестовинах $20n$, Н м/кН	Удельная работа всех сил сопротивления A, Н м/кН	Примечание
1	181,37	7,25	1315	20,92	188	4	80	1583	Трудный путь
2	205,37	7,25	1489	25,65	231	5	100	1820	
3	205,37	7,25	1489	30,65	276	5	100	1865	
4	205,37	7,25	1489	26,00	234	5	100	1823	
5	205,37	7,25	1489	33,65	303	5	100	1892	
6	181,37	7,25	1315	23,73	214	4	80	1609	Легкий путь
7	203,34	7,25	1474	29,25	263	4	80	1817	
8	203,34	7,25	1474	26,26	236	4	80	1790	
9	178,34	7,25	1293	21,69	195	3	60	1548	
10	202,34	7,25	1467	27,71	249	4	80	1796	
11	202,34	7,25	1467	36,30	327	4	80	1874	
12	178,34	7,25	1293	26,57	239	3	60	1592	

ными замедлителями и высота ее рассчитана на нормальную работу при температуре воздуха -17°C и скорости роспуска 1 м/с :

$$H_r = 10^{-3} [L_p(\omega_o + \omega_{cp}) + 9 \sum \alpha^o + 20n] - v_o^2/2g' = \\ = 10^{-3} [205,37(5,4 + 1,85) + 9 \cdot 33,65 + 20 \cdot 5] - 1^2/(2 \cdot 9,3) = 1,84\text{ м.}$$

Спускную часть горки разбиваем на элементы: скоростной, промежуточный, стрелочной зоны, начало путей сортировочного парка (см. рис. 5.18). Длины элементов устанавливаем, учитывая размещение вертикальных сопрягающих кривых за пределами остряков, крестовин и тормозных устройств. Предварительно, приняв величину скоростного уклона равной 35 ‰ , рассчитаем длину тангенса вертикальной сопрягающей кривой:

$$T_c = \Delta i R_B / 2000 = 35 \cdot 350 / 2000 = 6,1\text{ м.}$$

Точки перелома профиля: конец скоростного уклона в $14,4\text{ м}$ за центром первого стрелочного перевода; конец уклона первой тормозной позиции — центр перевода 3; конец уклона стрелочной зоны — предельный столбик путей 4 и 5. Построение начинаем с расчетной точки. Принимаем уклон путей сортировочного парка 1 ‰ , стрелочной зоны $1,5\text{ ‰}$, уклон тормозной позиции 5 ‰ в связи с автоматизацией горки в перспективе. Уклон скоростного участка

$$i_{ск} = (10^{-3} H_r - l_T i_T - l_{стр} i_{стр} - l_{сп} i_{сп}) / l_{ск} = (1000 \cdot 1,84 - 59,19 \cdot 5 - \\ - 78 \cdot 1,5 - 12) / 50,19 = 28\text{ ‰.}$$

Уточним

$$T_c = 28 \cdot 350 / 2000 = 4,9\text{ м. Тогда } l_{ск} = 51,39\text{ м и } i_{ск} = 27,5\text{ ‰.}$$

Общая мощность тормозных позиций H_T должна обеспечить остановку очень хороших бегунов — четырех- и шестиосных вагонов на подшипниках качения, скатывающихся при благоприятных условиях на легкий путь, на парковой тормозной позиции при полном торможении на всех позициях:

$$H_T = H_r + h_o - (l_{лп} \omega_{OX} + 6,5 \sum \alpha_{лп}^o + 20n_{лп}) 10^{-3},$$

где h_o — энергетическая высота, соответствующая максимальной скорости роспуска состава с горки, м;
 $l_{лп}$ — длина участка легкого пути от вершины горки до конца парковой тормозной позиции, м;
 ω_{OX} — минимальное удельное сопротивление движению очень хорошего бегуна, Н/кН;
 $\sum \alpha_{лп}^o, n_{лп}$ — сумма углов поворота, град, и число стрелочных переводов на участке.

Конец парковой тормозной позиции находится на расстоянии 25 м за предельным столбиком; $\omega_{cp} \approx 0$; $\omega_{OX} = \omega_o^{OX} = 0,5\text{ Н/кН}$:

$$H_T = 1,84 + 1,5^2/2 \cdot 9,7 - (191,34 \cdot 0,5 + 6,5 \cdot 21,69 + 3 \cdot 20) 10^{-3} = 1,66\text{ м.}$$

При 12 сортировочных путях для скорости надвига $1,5\text{ м/с}$ необходима мощность парковой позиции $0,6\text{ м}$. Ее можно получить на трех звеньях замедлителя ЦНИИ-3В;

$$h_T^* = 0,22 \cdot 3 = 0,66\text{ м.}$$

Тогда мощность первой позиции

$$h_T' = H_T - h_T^* = 1,66 - 0,66 = 1\text{ м,}$$

а число звеньев замедлителя ЦНИИ-3В

$$h_{зам} = 1/0,22 \approx 5.$$

При торможении на парковой тормозной позиции $0,6\text{ м}$ погашается двумя башмаками на длине юза $10\text{—}11\text{ м}$.

Скорости очень хорошего бегуна — шестиосного полувагона массой 127 т — при благоприятных условиях скатывания на легкий путь 9: в точке B

$$v_B = \sqrt{1,5^2 + 2 \cdot 9,7 \cdot 51,39 \left(27,5 - 0,5 - \frac{9(4,73 + 1,1) + 20}{51,39} \right) 10^{-3}} = \\ = 5,31\text{ м/с;}$$

вход на первую тормозную позицию

$$v_{B'} = \sqrt{5,31^2 + 2 \cdot 9,7 \cdot 19,3 \left(5 - 0,5 - \frac{9 \cdot 5,23}{19,3} \right) 10^{-3}} = 5,38\text{ м/с;}$$

выход с первой тормозной позиции при полном торможении

$$v_{C'} = \sqrt{5,38^2 + 2 \cdot 9,7 \cdot 20,75 (5 - 0,5) 10^{-3} - 2 \cdot 9,7 \cdot 1,1} = 3,08\text{ м/с;}$$

в точке C

$$v_C = \sqrt{3,08^2 + 2 \cdot 9,7 \cdot 14 \left(5 - 0,5 - \frac{9 \cdot 4,73 + 20}{2 \cdot 15} \right) 10^{-3}} = 3,19\text{ м/с;}$$

вход на вторую тормозную позицию

$$v_D = \sqrt{3,19^2 + 2 \cdot 9,7 \cdot 66 \left(1,5 - 0,5 - \frac{9 \cdot 7,095 + 30}{66} \right) 10^{-3}} = 3,11\text{ м/с;}$$

выход со второй тормозной позиции

$$v_E = \sqrt{3,11^2 + 2 \cdot 9,7 \cdot 12,45 \left(1 - 0,5 - \frac{9 \cdot 17,4}{76} \right) 10^{-3} - 2 \cdot 9,7 \cdot 0,66} = \\ = \sqrt{-3,52} = 0.$$

При скорости надвига $1,5\text{ м/с}$ скорость входа на первую тормозную позицию превышает максимально допустимую на тормозной башмак ($5,38 > 4,5$). Следовательно, на первой тормозной позиции должны быть вагонные замедлители. Скорость входа на парковую тормозную позицию $3,11\text{ м/с}$ позволяет использовать тормозные башмаки.

6. ПЕРЕУСТРОЙСТВО СТАНЦИЙ

6.1. ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ СТАНЦИИ. ОБЪЕМ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Пример 6.1. Разработаем принципиальную схему (рис. 6.1, а) переустройства промежуточной станции в связи с удлинением приемо-отправочных путей. Полезная длина путей 3 и 6 720 м. На главных путях уложены стрелочные переводы марки 1/11, на остальных — 1/9. Потребная длина приемо-отправочных путей 850 м.

Решение. Определим величину и направление удлинения путей, а также конструкцию горловин. Удлинять пути на $\Delta l = 850 - 720 = 130$ м целесообразно со стороны более простой по конструкции нечетной горловины. Здесь требуется переложить 7 стрелочных переводов, в четной же 12 и, кроме того, сложно переключить пути грузового двора, а следовательно, и обслуживать его. К тому же уклон на подходе с направления А (8 ‰) больше, чем с В (3 ‰). Удлинение приемо-отправочных путей в сторону В сократит объем земляных работ.

Исходная точка для проектирования горловины при удлинении путей (рис. 6.1, б) — выходной сигнал с пути 6 (самый короткий приемо-отправочный путь). От сигнала \mathcal{C}_6 в сторону В откладываем расстояние $\Delta l = 130$ м и находим положение нового выходного сигнала. Центры стрелочных переводов 5, 3 и 1 наносят по схемам их взаимного расположения. Также удлиняем путь 3 и находим центр стрелочного перевода 13. Конструкцию горловины разрабатываем так, чтобы обеспечить взаимозаменяемость главных путей со всеми приемо-отправочными. После переустройства станция отвечает требованиям [6], ее горловины обеспечивают маневренность и максимальную пропускную способность.

Пример 6.2. Рассчитаем объем земляных работ при переустройстве промежуточной станции — укладке второго главного и удлинении приемо-отправочных путей. Исходные данные приведены на рис. 6.2 и в дальнейшем тексте.

Решение. Между пикетами 3049 + 00 и 3056 + 30 добавляются один главный и вытяжной, а далее еще четыре станционных пути 4, 5, 7, 8. После пикета 3060 + 60 число укладываемых путей уменьшается. Следовательно, ширину земляного полотна следует изменить на расстоянии от пикета 3049 + 00 до пикета 3063 + 50. В практике проектирования поперечные профили строят через каждые 100 м. В учебных целях можно их делать только в тех местах, где меняется ширина земляного полотна станционной площадки, начиная с водораздельных точек, что поможет избавиться от определения отметок основания водоотводных устройств (кюветов, лотков, нагорных канав и др.).

При уширении земляного полотна для пути 4 необходимо особое внимание обратить на прочность и устойчивость существующего земляного полотна и обеспечить водоотвод. В некоторых случаях балластный слой вырезают, а отсыпаемый грунт плотно утрамбовывают. Существующие кюветы засыпают взятым из водоотводных канав грунтом, который также плотно утрамбовывают.

В примере поперечные профили земляного полотна строим, начиная с пикета 3061 + 00 по 3051 + 50 (см. рис. 6.2). В каждом сечении находим отметки земли существующего, а затем и проектируемого земляного полотна для вновь укладываемых путей.

Пикет 3061 + 00 (рис. 6.3). Находим отметки земли в точках a_1 и b_1 (см. масштабный план станции, рис. 6.2) на расстоянии 10 м от крайних путей интерполяцией горизонталей 14,00 и 16,00 м: $a_1 = 14,75$ м; $b_1 = 15,25$ м. Эти

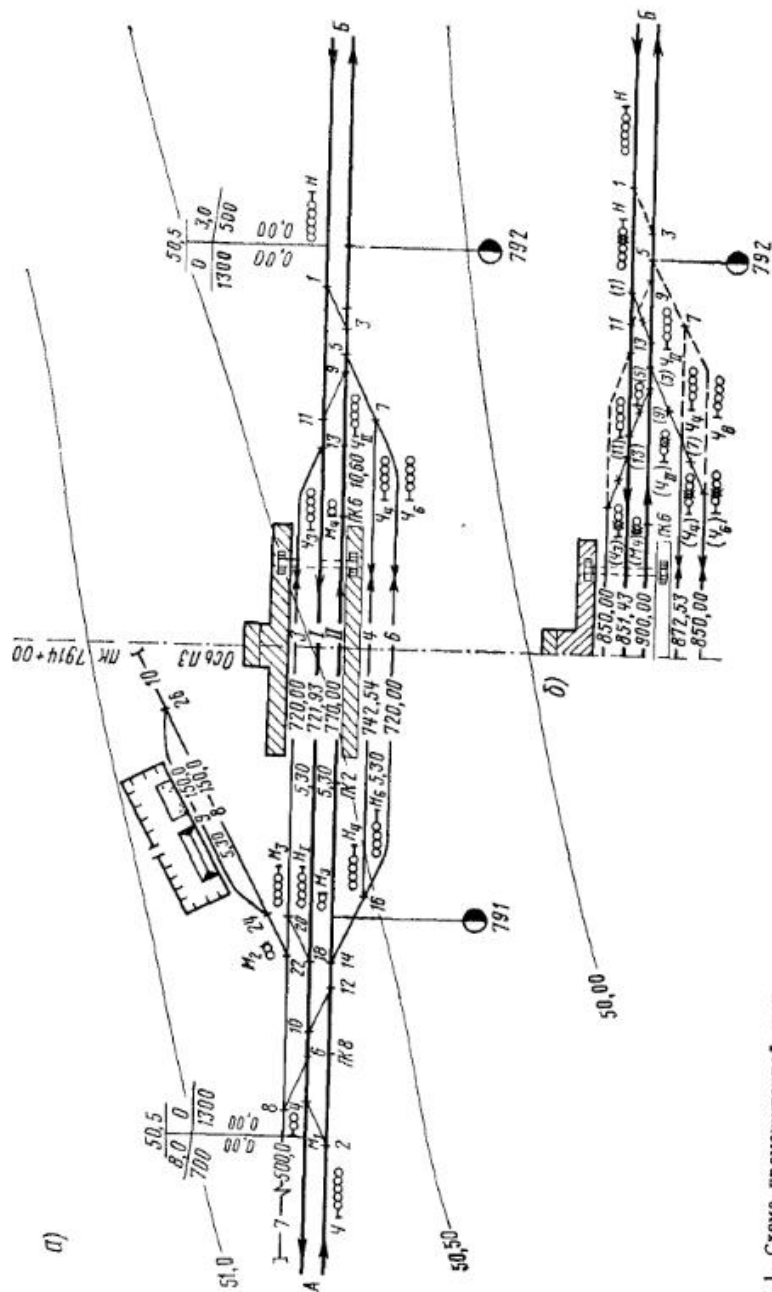


Рис. 6.1. Схема промежуточной станции:
— существующие пути; - - - вновь укладываемые

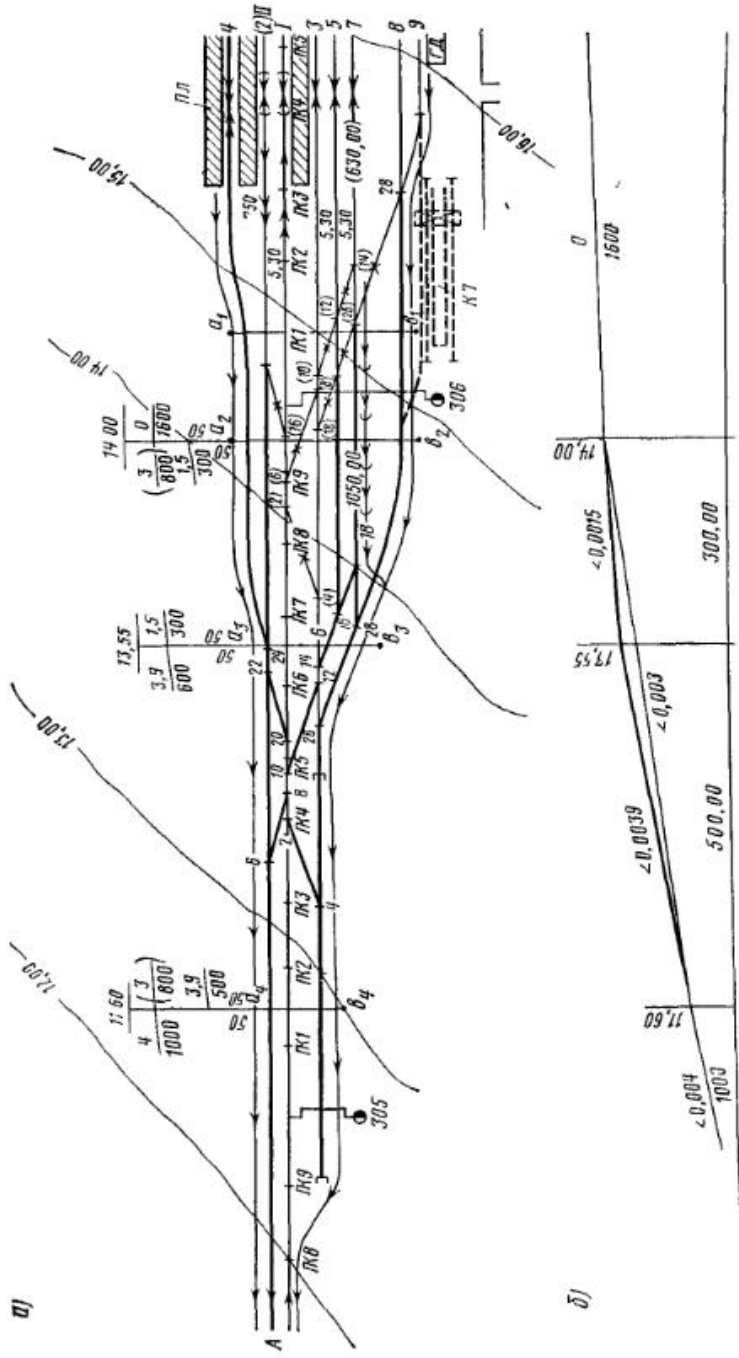
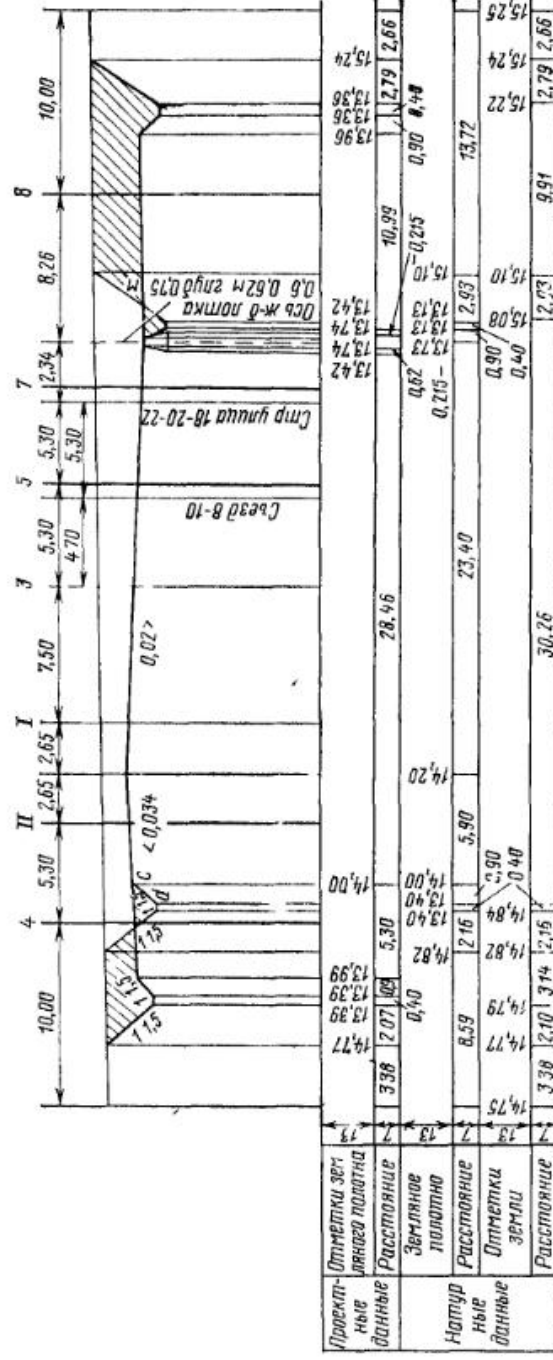


Рис 6.2 Схема переустройства горловины станции
 а — план, б — продольный профиль, ← — кювет, ↔ — пассажирская платформа; КЛ — контейнерная площадка



значения, а также расстояние между ними (59,30 м) наносим на чертеж (масштабы: вертикальный 1 : 100 или 1 : 200, горизонтальный 1 : 200). Линия, соединяющая точки a_1 и b_1 , показывает направление уклона местности в данном сечении.

Профиль существующего земляного полотна в практике проектирования разработчик получает готовый, построенный по результатам натурных геодезических съемок. В учебных целях его следует построить самим на основании исходной информации. Заполняем строки натуральных данных на рис. 6.3 «Отметки земляного полотна» и «Расстояние». Между точками a_1 и b_1 наносим оси существующих путей I , 3 и нового II . СНиП II-39-76 для второго главного пути предусматривает двухкатное земляное полотно. Вершина сливной призмы лежит в середине междупутья $I-II$ ($5,30 : 2 = 2,65$ м). Бровка земляного полотна находится на расстоянии 3,25 м от осей путей I и II (дорога II категории). Отметку пути II определяем по уклоноуказателю (см. рис. 6.2, пикет $3059 + 50$) — 14,00 м. Вершина сливной призмы на 0,20 м выше бровки земляного полотна ($14,00 + 0,20 = 14,20$ м). Отметку бровки земляного полотна стрелочной улицы $18-20-22$ находим по поперечному уклону 0,02 и расстоянию от вершины сливной призмы до бровки земляного полотна пути II : $14,20 - 23,40 \times 0,02 = 13,73$ м.

В масштабе 1 : 100 по вертикали наносим отметки вершины сливной призмы и бровок земляного полотна пути II и стрелочной улицы $18-20-22$. На рис. 6.3 видно, что отметки существующего земляного полотна ниже отметок земли, т. е. оно расположено в выемке. Вода от пути II и стрелочной улицы $18-20-22$ отводится кюветами. Зная их глубину 0,60 м и откосы 1 : 1,5, находим расстояние от бровки земляного полотна пути II до подошвы откоса кювета: $0,6 \times 1,5 = 0,90$ м (см. рис. 6.3, графа «Натурные данные»). Вычтя 0,60 м (глубину кювета) из отметки бровки земляного полотна, получим отметки дна кювета относительно пути II и стрелочной улицы $18-20-22$:

$$14,00 - 0,60 = 13,40 \text{ м}; \quad 13,75 - 0,60 = 13,15 \text{ м}.$$

В пределах ширины кювета по низу (0,40 м) отметки одинаковые (см. рис. 6.3). Чтобы найти отметку начала откоса кювета (точки c , d на рис. 6.3) со стороны поля, нужно знать расстояние от границы его дна до указанных точек. Его определяют по разности отметок и уклону откоса 1 : 1,5; для пути II ($14,84 - 13,40$) $1,5 = 2,16$ м, а стрелочной улицы $18-20-22$ — ($15,08 - 13,13$) $1,5 = 2,93$ м. Уклон земли между точками b и c ($15,25 - 14,75$): $59,30 = 0,008$, отметка начала откосов для пути II (точка c) $14,84 - 2,16 \times 0,008 = 14,82$ м, для стрелочной улицы $18-20-22$ (точка d) $15,08 + 2,93 \times 0,008 = 15,10$ м.

На поперечный профиль красным цветом наносят оси новых путей (4, 5, 7 и 8, рис. 6.3 — утолщенные штриховые линии). Верх земляного полотна уширяемой части проектируем с поперечным уклоном от бровки существующего пути. При этом необходимо предусмотреть кратчайший выход воды как с существующей, так и с проектируемой части земляного полотна. Принимая поперечный уклон станционной площадки равным 0,02, находим проектные отметки в точках перелома профиля вновь укладываемых путей (см. рис. 6.3, строка проектных данных «Отметки земляного полотна»). Отметки бровки земляного полотна пути 4 и элементов кювета определяем так же, как и для существующего земляного полотна пути II .

Для продольного отвода воды в уширенных междупутьях на отдельных пунктах устраивают рамные железобетонные лотки шириной поверху 0,62 м (типовые проекты). Размеры лотка определяются продольным уклоном ($i_{\min} = 0,002$) и гидравлическим расчетом (в примере не рассматривается). В пределах станции лотки закрываются железобетонными плитами толщиной 0,04 м. Наименьшее допустимое расстояние между осью пути и осью лотка 2,10; 2,25; 2,55; 2,75 м при глубине его соответственно 0,75; 1,0; 1,50; 2,00 м. Проектирование продольного водоотвода начинается с водораздельной точки в продольном профиле (пикет $3061 + 00$). С увеличением расстояния от нее глубина лотка остается постоянной или увеличивается. В недренирующих грунтах верхнюю часть лотка

заглубляют в балласт на 0,1—0,2 м, а в дренирующих не заглубляют. В этом случае плита, закрывающая лоток, находится в одном уровне с балластной призмой. Чтобы найти отметку дна лотка, нужно от отметки верхнего уровня балластной призмы отнять величину, равную глубине лотка. В примере для продольного отвода воды в широком междупутье 7—8 (см. рис. 6.2 и 6.3) сооружаем рамные лотки. Верх их находится в одном уровне с балластом. Чтобы найти отметку дна лотка, необходимо знать его глубину и толщину балластного слоя.

На прямо-отправочных путях укладывают деревянные шпалы высотой 0,16 м и балластный слой под шпалой 0,30 м. Балластный слой у бровки при электрической централизации стрелок находится ниже уровня верхней постели шпалы на 0,03 м. Продольный уклон балластной призмы изменяется от 0,02 до 0,10. Глубину лотка принимаем равной 0,75 м. Размеры отверстия 0,62 м, ширина основания 1,05 м (рис. 6.4). Учитывая, что в перспективе между путями 7 и 8 можно уложить еще один путь, лоток рекомендуется располагать ближе к оси пути 7. При ширине его 0,62 м расстояние между осями пути 7 и лотка $5,30/2 - 0,62/2 = 2,34$ м.

Верх лотка — точка перелома профиля. Отметка ее $14,20 - (2,65 + 7,50 + 5,30 \cdot 2 + 2,34 - 0,62/2) \cdot 0,02 = 13,74$ м. Следующая точка перелома профиля — бровка земляного полотна пути 8. Расстояние от края лотка до оси пути 8 $10,60 - 2,65 - 0,62/2 + 3,25 = 10,89$ м. Отметка бровки земляного полотна пути 8 $13,74 + 10,89 \cdot 0,02 = 13,96$ м. Учитывая, что верх лотка находится в одном уровне с верхней постелью балластного слоя, найдем отметку последней. Зная отметку земляного полотна сливной призмы 14,20 м, расстояние между ней и краем лотка $2,65 + 7,50 + 5,30 \cdot 2 + 2,34 - 1,05/2 = 22,78$ м, поперечный уклон 0,02, находим проектную отметку земляного полотна у края лотка: $14,20 - 22,78 \cdot 0,02 = 13,74$ м. Отметка балластного слоя у верха лотка $13,74 + 0,30 + (0,16 - 0,03) = 14,17$ м. При глубине лотка 0,75 м отметка его основания $14,17 - 0,75 = 13,42$ м.

Принцип построения поперечных профилей земли, существующего и проектируемого земляного полотна на пикетах $3059 + 50$ (рис. 6.5), $3056 + 50$ (рис. 6.6), $3051 + 50$ (рис. 6.7) и $3063 + 00$ такой же, как и на пикете $3061 + 00$. Однако особое внимание надо обратить на определение отметок дна кюветов и лотка. Определяют их по исходной отметке на пикете $3061 + 00$, расстоянию между сечениями (пикетами) и продольному уклону водоотвода 0,002 (может быть больше, но не круче 0,005). Например, на пикете $3059 + 50$ отметки дна кюветов со стороны пути II и укладываемого на новом земляном полотне пути 4 соответственно $13,40 - 150 \cdot 0,002 = 13,10$ м и $13,39 - 150 \cdot 0,002 = 13,09$ м.

Если на расстоянии 950 м между пикетами $3061 + 00$ и $3051 + 50$ принять постоянный продольный уклон дна кювета 0,002, то отметки его на пикете $3051 + 50$ для существующего полотна путей I (11,50 м) и II (11,65 м) будут близки к отметкам бровок 11,60 м. В этом случае для обеспечения водоотвода на пикете $3051 + 50$ целесообразно увеличить продольный уклон кювета до 0,003. Тогда отметки его дна со стороны путей II и I будут $13,40 - 750 \cdot 0,002 - 200 \times 0,003 = 11,30$ м и $13,13 - 750 \cdot 0,002 - 200 \cdot 0,003 = 11,03$ м.

Уклон 0,003 проектируемого кювета со стороны пути 6 не обеспечит нормального водоотвода, поэтому его надо увеличить до 0,004. Отметка дна кювета со

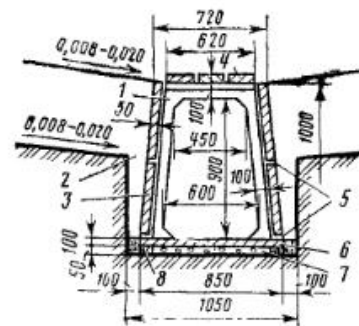
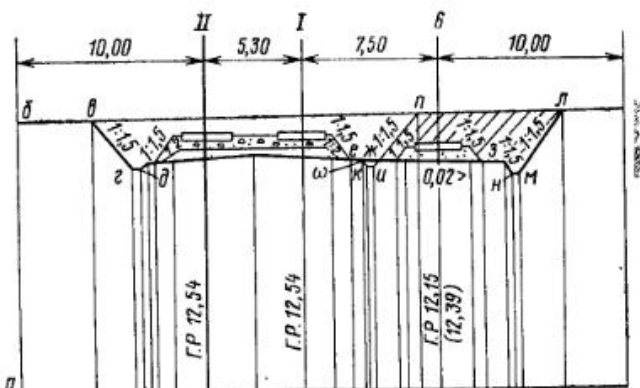


Рис. 6.4. Принципиальная схема размещения железобетонного лотка в междупутье:

1 — железобетонная рама; 2 — засыпка песком или мелким гравием; 3 — закладная железобетонная плита; 4 — железобетонная плита; 5 — дренажные щели; 6 — гравийно-щебеночная подготовка; 7 — асфальт или цементная стяжка; 8 — забивка мягкой глины



Проектные данные	Отметка балластной призмы	11,61	12,31	12,31	11,61	11,55 (11,55)	12,19	12,19 (11,55)	11,47	13,00
	Расстояние	7,53	8,50	2,72	3,10	7,96				
	Отметки земляного полотна	1,05	1,05	0,40	0,49	11,45	11,06	12,99	13,00	
Натурные данные	Отметки земляного полотна	12,71	11,30	11,60	11,80	11,60	11,03	12,87	0,40	13,00
	Расстояние	3,75	2,12	5,90	5,90	2,76	10,56	0,78		
	Отметки земли	12,70	12,71	12,73	12,73	0,15	0,86	12,85	12,87	12,99
	Расстояние	3,75	2,12	13,21	2,76	4,99	2,88	2,69		

Рис. 6.7. Поперечный профиль земляного полотна на пикете 3051 + 50

стороны пути 6 будет $13,36 - 750 \cdot 0,002 - 200 \cdot 0,004 = 11,06$ м. Отметку дна лотка на пикете 3059 + 50 определим по исходной отметке основания лотка на пикете 3061 + 00, а именно $13,42 - 150 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 10,42$ м. Разница между отметками верха и основания лотка $14,17 - 15,0 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 10,42 - 0,75$ м.

Укладываем лоток глубиной 0,75 м. Если в одном из сечений разница между отметками верха и основания лотка выше 0,75 м, например 1,15, то нужно принять глубину его равной 1,0 м. Разница 0,15 м разгонится покрытием железобетонной плитой (0,04 м) и подсыпкой балласта (0,11 м) или изменением уклона балластной призмы в сторону лотка.

Между пикетами 3056 + 50 и 3053 + 50 через путь 8 вода от продольных водоотводных устройств отводится по межпальному лотку или трубе в зависимости от разности отметок близлежащего лотка и оси пересекаемого пути.

Площади поперечных профилей¹ земляного полотна рассчитывают несколькими методами: по координатам характерных точек, графоаналитическим способом [24], методом разности площадей и графическим интегрированием. Площадь поперечного профиля на пикете 3051 + 50 (см. рис. 6.7) определена как разность

$$F_{иск} = F_{абвгдеклра} - F_{абвгдежзлмра} + \omega.$$

Обе площади — сумма площадей геометрических фигур (трапеций, прямоугольников), размеры которых характеризуют существующие и проектные отметки земляного полотна и земли и горизонтальные расстояния.

¹ При переустройстве станций площадь поперечного профиля определяют только в тех местах, где укладывают новые пути, строят водоотводные устройства и засыпают существующие коветы (на рис. 6.3—6.7 заштрихована).

Аналогично подсчитывают площади поперечных сечений на пикете 3056 + 50 (см. рис. 6.6). Площади поперечных сечений на пикетах 3061 + 00 и 3059 + 50 (см. рис. 6.3 и 6.4) можно рассчитать способом графического интегрирования. Вычерченный на миллиметровке профиль делим на элементарные площадки шириной 0,5 см, что в масштабе соответствует 1 м. В середине каждой площадки проводим ординаты (среднюю линию фигур). Произведение каждой ординаты на ширину площадки определяет ее площадь. Общая площадь поперечного профиля — сумма элементарных площадей. Последовательно складывая все ординаты и умножая результат на 2, получим площадь искомого поперечного сечения (в м²).

По площадям поперечных профилей земляного полотна подсчитываем объем земляных работ:

$$V = \left[\frac{F_1 + F_2}{2} - \frac{m(H_2 - H_1)^2}{6} \right] l,$$

где F_1 и F_2 — площади поперечных профилей, между которыми рассчитывается объем земляных работ;
 $\frac{m(H_2 - H_1)^2}{6} l$ — расстояние между поперечными сечениями, м;
 $\frac{m(H_2 - H_1)^2}{6}$ — призматондальная поправка при крутизне откоса земляного полотна $m = 1,5; 1,75$ и т. д.

На переустраиваемых станциях, когда земляное полотно под станционные пути присоединяют к станционному полотну, а также в расчетах для учебных целей эту поправку во внимание не принимают. Результаты расчета приведены в табл. 6.1.

Расчет объема земляных работ Таблица 6.1

Километр	Пикет	Расстояние между сечениями l , м	Насыпь		Выемка			
			Площадь поперечного сечения F , м ²	Полусумма площадей $\frac{F_1 + F_2}{2}$, м ²	Объем земляных работ $\frac{F_1 + F_2}{2} l$, м ³	Площадь поперечного сечения F , м ²	Полусумма площадей $\frac{F_1 + F_2}{2}$, м ²	Объем земляных работ $\frac{F_1 + F_2}{2} l$, м ³
304	9+00	250	0,00 *	0,125	62,5	0,00	5,73	1432,5
	305	1+50	0,25	2,79	1395,0	11,45	9,23	4615,0
		6+50	500	5,32	5,59	1677,0	7,00	7,60
306	9+50	300	5,86	6,84	1026,0	8,20	46,60	6990
	1+00	150	7,81	5,66	11,32	85,00	48,00	9600
	3+50	200	3,50			11,00		

$$\Sigma V_{н} = 2790,77 \quad \Sigma V_{в} = 6054,78$$

$$\Sigma V_{н} + \Sigma V_{в} = 8845,55 \text{ м}^3 \approx 9 \text{ тыс. м}^3$$

* Земляные работы для укладки второго главного пути не подсчитывают, так как ширина земляного полотна отсыпана сразу для двухпутной линии.

Таблица 6.2

Характеристика верхнего строения пути

Пути	Рельсы		Высота балластного слоя, м		Число шпал на 1 км	Шпалы		Толщина подкладки, м
	Тип	Высота, м	Щебень	Песок		Тип	Высота, м	
Главные	P65	0,18	0,25	0,20	1840	IA	0,18	0,017
Прямо-отправочные	P50	0,152	—	0,30	1600	IIA	0,16	0,017

Перед подсчетом объема земляных работ необходимо установить нулевые точки (где объем земляных работ равен нулю). В примере такие точки будут на существующем земляном полотне — пикет 3056 + 50. Вершина сливной призмы находится выше уровня земли на 13,75 — 13,71 = 0,04 м. Расстояние от вершины сливной призмы до нулевых точек в сторону I и II путей

$$X = ak = 0,04 \cdot 1,58 = 0,063 \text{ м,}$$

где a — рабочая отметка 0,04 м;

k — коэффициент 1,58 ([23], табл. 35).

Пример 6.3. Спроектируем балластную призму и определим отметки головок рельсов путей на промежуточной станции, расположенной на линии II категории (см. рис. 6.2). Исходные данные см. на рис. 6.7 (поперечный профиль земляного полотна на пикете 3051 + 50) и в табл. 6.2.

Решение. Размеры балластной призмы типовые. Для линии II категории ширина ее по верху на прямых участках главных путей 3,2 м, прямо-отправочных — 3,10 м. Бровка балластной призмы от оси путей I и II находится на расстоянии $3,2/2 = 1,60$ м, от оси прямо-отправочного пути $b = 1,55$ м. Толщина балластного слоя под шпалой для путей, укладываемых на станциях, определяется категорией линий и их назначением [21].

Отметку бровки балластной призмы *главных путей I и II* находим по отметке земляного полотна и толщине балластного слоя 0,45 м (щебень 0,25 и песок 0,20). Отметку земляного полотна этих путей устанавливаем по уклону сливной призмы, расстоянию от ее вершины до оси пути и отметке (11,80 м). Уклон двухскатной призмы $0,20 : (5,30/2 - 3,25) = 0,034$. Отметка земляного полотна путей I и II $11,80 - 0,034 \times 2,65 = 11,71$ м.

Поверхность балластной призмы на 0,03 м ниже верхней постели деревянных шпал. Учитывая это, отметку бровки балластной призмы определим так: $11,71 + 0,45 + (0,18 - 0,03) = 12,31$ м. Расстояние от бровки балластной призмы (уклон 1 : 1,5) до точки слияния ее откоса с земляным полотном рассчитываем в зависимости от высоты балластного слоя (рис. 6.8, а, б):

$$h_6 = 0,45 + 1,60 \cdot 0,034 + 0,18 - 0,03 + (1,60 - 0,58) 0,034 + 0,20 - (2,65 + 1,60) 0,034 = 0,84 \text{ м.}$$

Тогда длина проекции откоса $0,84 \cdot 1,5 = 1,26$ м. Отметка бровки балластной призмы *вытяжного пути б* $11,52 + 0,30 + (0,16 - 0,03) = 11,95$ м.

Пути I и б проектируют на обособленных балластных призмах, так как междупуте превышает 6,50 м. Длины проекций откосов балластной призмы с учетом продольного уклона 0,02 и высоты бровки (рис. 6.8, в):

$$l_1 = \frac{0,16 - 0,03 + 0,30 + (1,55 + 1,60 : 2) 0,02}{1/1,5 - 0,02} = 0,49 \text{ м;}$$

$$l_2 = \frac{0,16 - 0,03 + 0,30 - (1,55 - 1,60 : 2) 0,02}{1/1,5 + 0,02} = 0,40 \text{ м.}$$

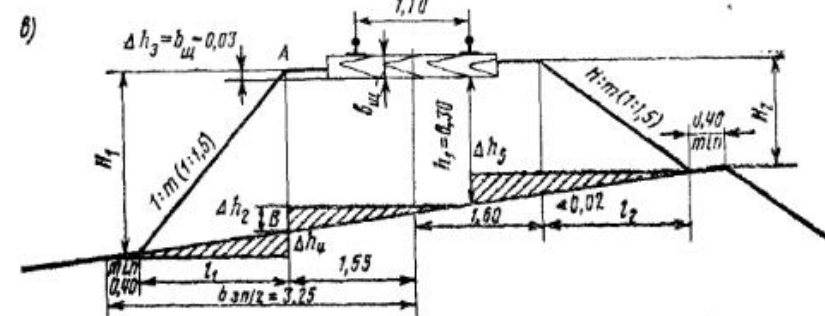
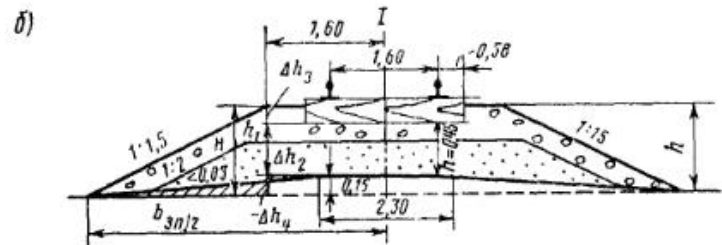
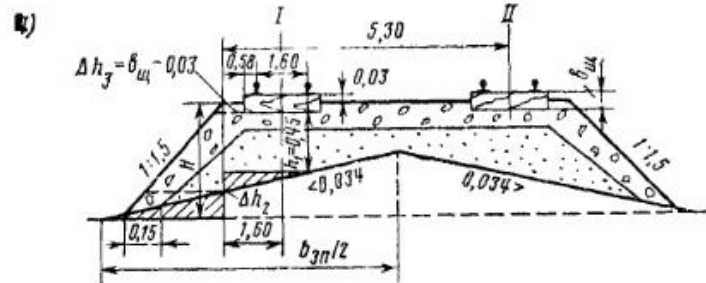


Рис. 6.8. Принципиальная схема расположения верхнего строения пути

Отметку земляного полотна в точке слияния с балластной призмой определим по отметке бровки земляного полотна (11,45 м), продольному уклону 0,02 и расстоянию от бровки земляного полотна до точки слияния (см. рис. 6.7 и 6.8):

$$11,45 + (3,25 - 0,49 - 1,55) 0,02 = 11,47 \text{ м;}$$

$$11,47 + (0,40 + 3,10 + 0,49) 0,02 = 11,55 \text{ м.}$$

Отметка головок рельсов путей — сумма отметки земляного полотна, толщины балластного слоя, высот шпалы, прокладки и рельса (табл. 6.2): главные пути I и II — $11,71 + 0,45 + 0,18 + 0,017 + 0,18 = 12,54$ м; вытяжной путь б — $11,52 + 0,30 + 0,16 + 0,017 + 0,152 = 12,15$ м.

Разность отметок головок рельсов соседних путей I и б не должна превышать 0,15 м [15]. В примере она равна $12,54 - 12,15 = 0,39$ м. Превышение 0,39 — 0,15 = 0,24 м. Его можно устранить, досыпав балласт под путь б. Тогда отметка головки рельса этого пути составит $12,15 + 0,24 = 12,39$ м.

Пример 6.4. Построим поперечный профиль земляного полотна и балластной призмы сортировочного парка. Исходные данные приведены на рис. 6.9.

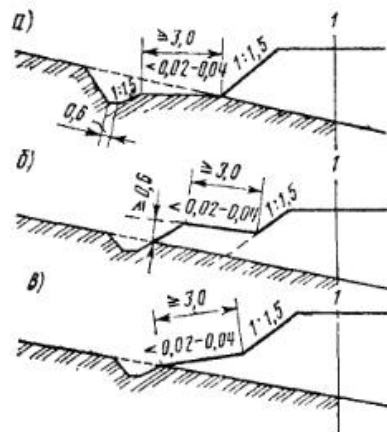


Рис. 6.11. Водоотводные устройства на косогорах:
 а — берма в естественном грунте; б — при осыпи бермы; в — засыпка пазухи

в сторону канавы в естественном грунте (в примере на $0,02 \times 3,0 = 0,06$ м) (рис. 6.11, а). В пониженных местах берму проектируют насыпной (рис. 6.11, б). Кроме нее, можно устраивать засыпные пазухи откоса канавы (рис. 6.11, в).

Балластную призму (см. рис. 6.10) для главного *I* и сортировочных путей проектируют по нормам (см. табл. 6.2). Отметки бровки ее по отношению к отметке земляного полотна путей *I* и *I.1* соответственно (см. пример 6.10):

$$65,26 + 0,45 + (0,18 - 0,03) = 65,85 \text{ м;}$$

$$64,96 + 0,30 + (0,16 - 0,03) = 65,39 \text{ м.}$$

Головки рельсов путей лежат соответственно на отметках:

$$65,26 + 0,45 + 0,18 + 0,017 + 0,18 = 66,07 \text{ м;}$$

$$64,96 + 0,30 + 0,16 + 0,017 + 0,152 = 65,59 \text{ м.}$$

Отметки балластной призмы верха лотка между путями *1.6—2.1* и *3.6—4.1*

$$65,39 - (1,55 + 5,3 \cdot 5 + 3,25 - 0,62/2) 0,02 = 64,77 \text{ м;}$$

$$65,49 - (3,25 + 5,3 \cdot 5 + 3,25 - 0,62/2) 0,02 = 64,84 \text{ м.}$$

Отметка балластного слоя в точке перелома профиля между путями *2.6* и *3.1*

$$64,77 + (3,25 + 0,62/2 + 5,3 \cdot 5 + 3,25) 0,02 = 65,49 \text{ м.}$$

Бровка балластной призмы пути *4.6*

$$64,84 + (3,25 - 0,62/2 + 5,3 \cdot 5 + 1,55) 0,02 = 65,46 \text{ м.}$$

Балластом заполняют междупутье шириной не более 6,50 м. В примере расстояние между путями *4.6* и *4.7* 10,60 м. Учитывая это, пути *I* и *4.7* укладывают на обособленных балластных призмах, которые проектируют по нормам главных и станционных путей. Отметку границы балластной призмы и длину проекции откоса находят следующим образом. При высоте сливной призмы 0,15 (см. рис. 6.8, б) длина проекции откоса балластной призмы для пути *I* составляет $[0,15 + 0,45 + (0,18 - 0,03)] 1,5 = 1,13$ м.

Граница балластной призмы находится на отметке (65,11 м), которую рассчитывают по уклону земляного полотна, расстояние от бровки земляного полотна

Решение. Поперечный профиль путей сортировочного парка проектируется обычно пилообразным. На одном скате с уклоном 0,02 можно располагать не более 8 путей. В междупутьях 6,50 м и более укладывают лотки или проектируют водораздельные точки земляного полотна. Принцип построения поперечных профилей и продольных лотков изложен в примере 6.2.

Продольный профиль сортировочного парка в сечении a_1-a_2 (рис. 6.9) — пилообразный (рис. 6.10). Точки водораздела лежат в междупутьях *1.6—2.1*, *2.6—3.1* и *3.6—4.1*. Здесь же устраивается продольный лоток (глубиной 0,75, шириной по верху 0,62 и по низу 0,85 м). Уклон земляного полотна в сторону пути *I* 0,006. Для отвода воды со стороны нагорной части (путь *4.7*) устраивают берму и канаву (глубиной 0,60, шириной по низу 0,60 м с откосами 1 : 1,5). Ширина бермы 3 м с заглублением (уклон 0,002—0,004) от границы откоса

до откоса балластной призмы (0,40 м) и уклону сливной призмы $(0,15/(3,25 - 1,15) = 0,071)$:

$$65,11 + 0,4 \cdot 0,071 = 65,14 \text{ м.}$$

Для пути *1.1* длина проекции откоса балластной призмы 0,49 м (см. пример 6.3), а отметка точки слияния балластной призмы с земляным полотном

$$65,11 - (10,60 - 3,25 - 1,55 - 0,49) 0,02 = 65,00 \text{ м.}$$

Аналогично проектируют балластную призму пути *4.7*. Отметки головок рельсов рассчитывают по отметкам земляного полотна, учитывая толщину балластной призмы под шпалой, высоту шпалы, толщину подкладок и высоту рельсов (см. табл. 6.2). Для путей *I* и *1.1* отметки головок рельсов соответственно:

$$65,25 + 0,45 + 0,18 + 0,017 + 0,18 = 66,07 \text{ м;}$$

$$64,96 + 0,30 + 0,16 + 0,017 + 0,152 = 65,59 \text{ м.}$$

Отметки головок рельсов путей *1.2—4.6* определяют по уклону 0,02, а для пути *4.7*

$$64,92 + 0,30 + 0,16 + 0,017 + 0,152 = 65,55 \text{ м.}$$

Пример 6.5. Построим поперечные профили земляного полотна и балластной призмы в сечении a_1-a_2 для пассажирской станции (рис. 6.12). Определим отметки головок рельсов приемо-отправочных путей и верха пассажирской платформы.

Решение. На профиль земляного полотна и балластной призмы влияют конструкция платформ, их число и размеры, число путей, укладываемых между платформами, и тип водоотводных устройств. Порядок построения поперечных профилей земляного полотна, балластной призмы и определения отметок головок рельсов изложен соответственно в примерах 6.2 и 6.3.

Платформы могут быть высокими и низкими. Для отвода воды их поверхности придается уклон 0,01—0,02 в одну или в обе стороны от середины. Высокие платформы (высота 1,10 м) из сборных железобетонных элементов могут быть одно- или двухстоечными. При ширине платформы свыше 6 м допускаются монолитные вставки между торцами ригелей. Точки водоразделов земляного полотна могут лежать не только между путями, но и под пассажирскими платформами (рис. 6.13).

Устройства для отвода воды на пассажирских станциях зависят от балласта и климатических условий. В районах с суровым климатом при щебеночном балласте водоотвод осуществляется посредством типовых железобетонных лотков (рис. 6.14, а и пример 6.3). Воду с поверхности балластного слоя и от земляного полотна, заключенного между бортовыми стенами платформы, отводят дренажем мелкого заложения (рис. 6.14, б). Если хорошо выровненный щебеночный балласт покрывают асфальтобетоном (толщиной 0,04 м), то устраивают подземную водосточную канализацию с водоприемными колодцами (рис. 6.14, в). В асфальтобетонном слое (уклон 0,02) для отвода воды к водоприемным устройствам делают лотки (уклон 0,004). В районах с мягким климатом при щебеночном балласте по оси междупутья вместо железобетонных лотков устраивают дренажи мелкого заложения (рис. 6.14, г). Вода из дренажа в поперечном направлении в общую водоотводную сеть выпускается через водосборные колодцы. В примере для отвода воды строим канаву под платформой *3*.

Для построения поперечного профиля отметки земли, земляного полотна путей и точек перелома профиля определяем соответственно по горизонталям и поперечному уклону 0,02. Исходная точка для расчета — отметка вершины сливной призмы между путями *I* и *8* (см. рис. 6.13). Для отвода воды земляному полотну придаем уклон 0,02 в сторону от пассажирского здания. Под платформой *3* роют продольную канаву глубиной 0,60 м, шириной по низу 0,60 м с откосами 1 : 1,5.

Отметка верха балластной призмы под шпалой зависит от категории линии и назначения путей (см. пример 6.3). На линиях II категории главные пути укладывают на двухслойной (высотой 0,45 м), а станционные — на однослойной (песок — 0,30 м) призме. Продольный уклон балластной призмы равен уклону земляного полотна (0,02). Для пассажирской станции проектируем три раздельные

балластные призмы (см. рис. 6.13): первая — для путей *I*, *8*, *11*; вторая — *3* и *5* и третья — *4* и *6*. Исходную отметку бровки балластной призмы определяем по отметке земляного полотна главных путей *I* и *11* и толщине балластного слоя. Отметки бровок балластной призмы со стороны путей *I* и *11* соответственно:

$$71,54 + 0,45 + (0,18 - 0,03) = 72,14;$$

$$71,32 + 0,45 + (0,18 - 0,03) = 71,92.$$

Аналогично находим отметки бровок балластных призм, длины проекций откосов, толщину балластного слоя и отметки точек слияния балластной призмы с земляным полотном для путей *3*, *4*, *5* и *6*.

Отметки головок рельсов определяют по отметке земляного полотна, учитывая толщину балластного слоя под шпалой, высоту шпалы, толщину подкладок и высоту рельсов (см. табл. 6.2). Для путей *I* и *11*:

$$71,54 + 0,45 + 0,18 + 0,017 + 0,18 = 72,37 \text{ м};$$

$$71,32 + 0,45 + 0,18 + 0,017 + 0,18 = 72,15 \text{ м}.$$

Для отвода воды от путей *I* и *11* рекомендуется отметку пути *8* принять как среднее значение отметок путей *I* и *11*:

$$(72,37 + 72,15)/2 = 72,26 \text{ м}.$$

В этом случае толщина балластной призмы под шпалой пути *8* увеличивается на $72,26 - (0,152 + 0,017 + 0,16 + 71,73) = 0,21 \text{ м}$. Отметки головок рельсов путей *3*, *4*, *5* и *6* соответственно 72,50; 72,09; 72,39 и 72,07.

Отметки поверхности платформы — сумма отметок головок рельсов ближайшего пути и высоты платформы. Отметки бортов платформ *1*, *2*, *3* и *4* относительно путей *3*, *1*, *11* и *6* соответственно:

$$72,50 + 1,10 = 73,60 \text{ м}; \quad 72,15 + 1,10 = 73,25 \text{ м};$$

$$72,37 + 1,10 = 73,47 \text{ м}; \quad 72,07 + 1,10 = 73,17 \text{ м}.$$

Придавая верху платформ (ширина 7 м) односторонний уклон 0,01, находим отметки противоположных их бортов:

$$73,60 + 0,010 \cdot 7 = 73,67 \text{ м}; \quad 73,25 - 0,010 \cdot 7 = 73,18 \text{ м};$$

$$73,47 + 0,010 \cdot 7 = 73,54 \text{ м}; \quad 73,17 - 0,010 \cdot 7 = 73,10 \text{ м}.$$

Отметки головки рельсов путей *4* и *5*:

$$73,79 - 1,10 = 72,69 \text{ м}; \quad 73,55 - 1,10 = 72,45 \text{ м}.$$

Чтобы соблюсти габарит приближения строений для высоких платформ, необходимо пути *5* и *4* поднять на

$$72,44 - 72,39 = 0,05 \text{ м} \text{ и } 72,09 - 71,96 = 0,13 \text{ м}.$$

Пример 6.6. В связи с увеличением размеров движения переустроим промежуточную станцию (рис. 6.15) — добавим один приемо-отправочный путь и удлиним все остальные до 850 м. Полезная длина пути *3* — 720 м; направление *Б—А* — преимущественное в движении поездов.

Решение. Вначале необходимо выбрать место для укладки нового приемо-отправочного пути, а потом решать вопрос об удлинении существующих. С учетом топографических и местных условий новый приемо-отправочный путь можно уложить рядом с путем *3* или главным *1*. В первом случае принципиальная схема станции не изменится. Такое решение возможно, если в перспективе объем перевозок на линии *А—Б* не будет увеличиваться. С увеличением же объема загрузки входной и выходной горловин возрастет, а пропускная способность станции уменьшится.

При укладке нового пути рядом с главным *1* получим станцию полупродольного типа. Поезда, следующие с преимущественного направления из *Б* с остановкой на ней, сразу по ходу движения отклоняются вправо на вновь уложенный путь. В центральной горловине можно одновременно отправлять грузовые поезда на

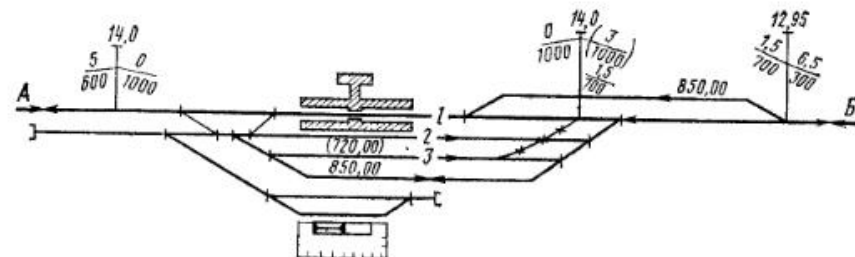


Рис. 6.15. Переустройство промежуточной станции с укладкой дополнительного приемо-отправочного пути

направления *А* (с пути *5*) и *Б*. Увеличение пропускной способности горловин при таком переустройстве позволит в перспективе освоить возрастающий объем перевозок на направлении *А—Б*.

Размещение нового пути по полупродольной (продольной) схеме требует удлинения станционной площадки. При сложных топографических условиях затраты на строительство могут быть значительными. Кроме того, новый приемо-отправочный путь можно уложить и со стороны пассажирского здания. При этом не потребуется смягчать продольный профиль в сторону *Б*. Однако вблизи пассажирского здания понадобится построить новую пассажирскую платформу. Рациональное расположение дополнительного пути выбирают на основе технико-экономических расчетов (см. гл. X). Удлинять существующие пути до 850 м целесообразно в сторону *Б*, так как это потребует минимальных затрат.

Пример 6.7. Установим этапность переустройства промежуточной станции (рис. 6.16) в связи с укладкой на линии второго главного пути и рассчитаем трудоемкость работ при поэтапном и скоростном методах строительства. На существующей станции главный путь *1* уложен рельсами Р50 на железобетонных шпалах, балласт щебеночный; на приемо-отправочных путях (2) и (3) рельсы Р43 и на пути (4) — Р38 на деревянных шпалах; балласт песчаный загрязненный. Проектом намечена укладка на главных путях рельсов Р50, на приемо-отправочных — Р43 старогодных. Станция оборудуется устройствами ЭЦ. Обслуживание подъездного пути *К* в период переустройства не прекращается. При реконструкции предстоит выполнить следующие основные работы (см. рис. 6.20): уложить главный путь *11*, переложить путь (4) в положение *3* с заменой рельсов; уложить старогодными рельсами Р43 приемо-отправочный путь *5*; удлинить на 150 м пути (1), (3), (4) в четной горловине; переустроить примыкание подъездных путей в четной горловине; оборудовать станцию устройствами ЭЦ.

Решение. Переустроить станцию можно поэтапным развитием (не закрывая ее) или методом скоростного строительства (закрыв станцию). При поэтапном развитии движение поездов не прекращается, размеры и характер работы станции не меняются. Строительные работы выполняют в непродолжительное по времени «окна». В течение всего периода переустройства на станции нужно иметь четыре действующих приемо-отправочных пути (по числу существующих); отклю-

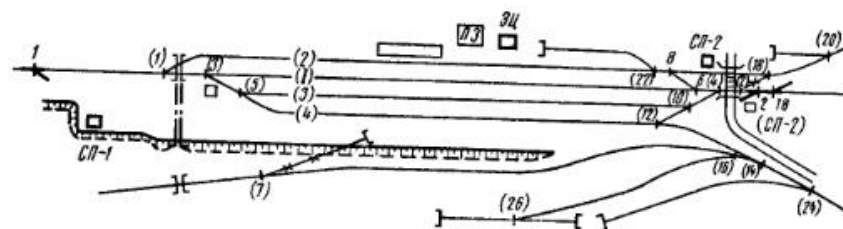


Рис. 6.16. Схема промежуточной станции

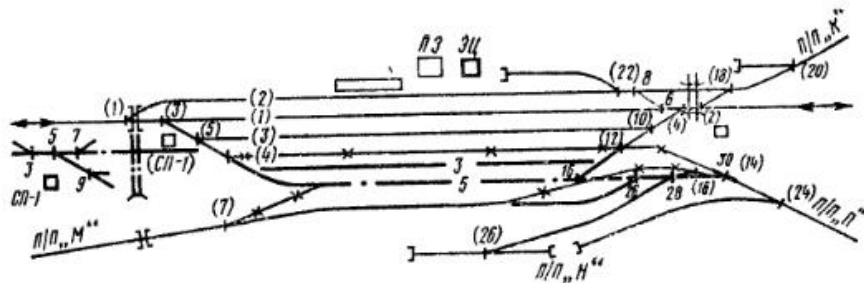


Рис 6 17. Переустройство станции (II этап)

чение переустраиваемого пути компенсируют включением нового Чтобы обеспечить безопасность движения, вновь сооружаемые пути и стрелки временно подключают к действующим устройствам СЦБ. Целесообразна следующая очередность работ:

В подготовительный период на свободной территории выполняют работы, не препятствующие движению поездов (показано штрихпунктиром на рис 6 17 и 6 16)

сооружают трубу и стрелочный пост СП-1 в нечетной горловине, отсыплют земляное полотно под пути 3 и 5, а также под удлиняемую часть нечетной горловины, укладывают путь 5 и стрелки в нечетной горловине без подключения их к существующим путям

На этапе I (см рис 6 16) готовится переключение подъездных путей на путь 5, вместо разбираемого пути (4) включают во временную эксплуатацию путь 5, укладывают путь 3, готовя отклонение для переустройства действующего пути (3).

На этапе II (см рис 6 17) вместо разбираемого пути (4) включают во временную эксплуатацию уже уложенный путь 3, укладывают путь 1 (не включая), удлиняют пути в нечетной горловине и переустраивают четную (не включая стрелки в зависимости)

На этапе III (рис 6 18) завершают переустройство горловин, монтаж устройств ЭЦ, выправляют и сдают в постоянную эксплуатацию переустроенное путьевое развитие

Укладке путей 1 и 3 в проектное положение предшествует вырезка загрязненного балласта, выполняемая вручную в течение «окон». Врезка, разборка, подключение стрелочных переводов и путей производится также в «окна». В постоянную эксплуатацию построенные пути 1, 3 и 5 передают после монтажа устройств ЭЦ. К этому времени должно быть закончено строительство поста ЭЦ. При временной эксплуатации путей 11, 3, 4, 5, а также подъездных путей безопасность движения обеспечивает включение в зависимости стрелочных переводов (рис. 6.20) в нечетной горловине — 13 (3) вместо (1), (3), (5),

в четной горловине — 2, 16, 18, 20 вместо (4), (10), (12), (2), (18)

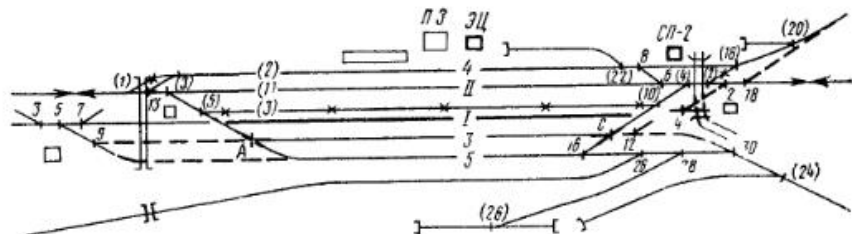


Рис 6 18. Переустройство станции (III этап)

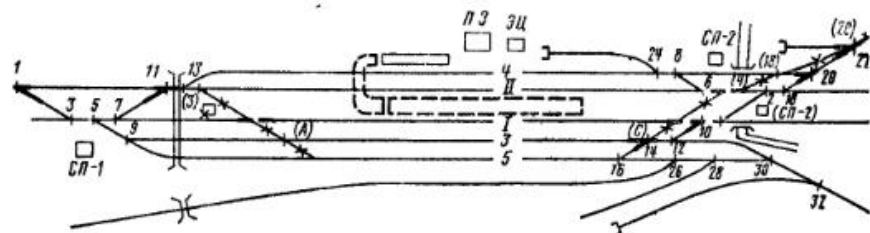


Рис. 6 19 Работы подготовительного периода

Остальные вновь уложенные стрелочные переводы до включения в ЭЦ зашивают. По окончании переустройства путевого развития приступают к завершению общестроительных работ (сооружению платформ и др.)

При скоростном методе переустройства станцию временно превращают в разъезд, пропускающий поезда по путям (1) и (2). Пути (3) и (4) позволяют развернуть фронт работ, достаточный для применения высокопроизводительной строительной техники. Выполнение работ разделяют на два периода — подготовительный и основной. На подготовительный намечают работы, не связанные с движением поездов, на основной — переустройство станции при полном или частичном прекращении эксплуатационной работы. В случае необходимости работы ведут в 2—3 смены. В подготовительный период (см рис 6 19)

удлиняют трубу в нечетной горловине, отсыплют земляное полотно в нечетной горловине и под путями 3 и 5, строят стрелочные посты и пост ЭЦ,

чтобы не прерывать обслуживания поездами пути К, перекалывают стрелочный перевод 2 на место 18, а также выполняют врезку переводов 1 и 2, разборку (18) с подготовкой к укладке на место 16 (для подключения подъездных путей к пути 5, по которому можно подавать материалы при переустройстве горловины)

В основной период (см рис 6 20)

с помощью струга с пути 4, принимая во внимание его расположение в зоне основных работ, вырезают загрязненный балласт на участке, где предусмотрена укладка в последующем путей 3 и 1, а также с помощью кранов на железнодорожном ходу разбирают пути и стрелочные переводы, по пути 4 завозят балластные материалы в думпкарах,

с помощью кранов укладывают путь 5, используя путьевую решетку разбираемого пути (3), а затем путеукладчиком — главный путь 1,

по мере освобождения фронта работ приступают к устройству платформы между путями 1 и 11, установке опор линий электроосвещения и связи, удлинению переезда и др.

разбирают путь (4) и укладывают путь 3,

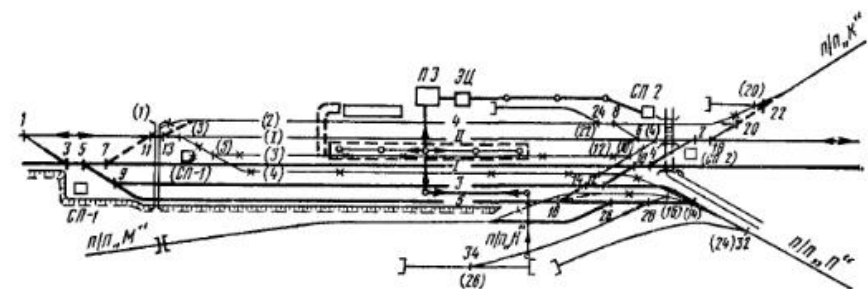


Рис 6 20 Схема станции после переустройства

Таблица 6.3

Продолжение табл. 6.3

Расчет трудоемкости работ при поэтапном развитии станции

Наименование работы	Единица измерения	§ ЕНиР	Трудоемкость на единицу измерения, чел-ч	Объем работ	Трудоемкость на весь объем, чел-ч
Этап I					
Укладка пути 5	1 км	16-1-11	516,1	0,95	490
Укладка и балластировка стрелок 3, 5, 7, 9	1 шт.	16-1-126	170,8	4	683
Разборка стрелок (14), (16), (7)	1 шт.	16-1-16	110,8	—	—
	1 шт.	16-1-109	34	3	102
Укладка стрелок, 16, 26, 28, 30	1 шт.	16-1-126	170,8	4	683
Балластировка пути 5	1 км	16-1-112	260	—	—
		16-1-115	520	0,95	493
		16-1-122	61	—	—
		16-1-123	110	—	—
Временное подключение пути 5	1 путь	16-1-129	13	2	26
Подключение и сдвигка подбездных путей к пути 5	100 м	16-1-128	71	2,5	177
	1 путь	16-1-129	27	1	27
Балластировка подъездных путей	1 км	6-1-112	520	0,25	130
Разборка пути (4)	1 км	16-1-14	347	0,9	315
Вырезка загрязненного балласта под путь 3	100 м	16-1-140	17	9	153
То же под путь 1	100 м	16-1-140	17	9	153
Укладка пути 3	1 км	16-1-11	516,1	0,9	465
Балластировка пути 3	1 км	6-1-112	520	0,9	468
Этап II					
Укладка стрелок А и С для временного пути 3	1 шт.	16-1-16	170,8	2	342
Разборка пути (3)	1 км	16-1-14	347	0,9	312
Удлинение путей 3 и 5, укладка подбездных путей	1 км	16-1-11	516,1	0,6	308
Укладка пути 1 на деревянных шпалах *	1 км	16-1-11	516,1	0,95	521
Укладка стрелок 12, 4	1 шт.	16-1-16	170,8	2	342
Разборка стрелок (2) и (1)	1 шт.	16-1-109	34	2	68
Укладка стрелок 2, 18, 13	1 шт.	16-1-16	170,8	3	513
Балластировка пути 1 на песок и щебень	1 км	16-1-112	260	—	—
		16-1-115	229	—	—
		16-1-122	741	0,95	703
		16-1-123	160	—	—

Наименование работы	Единица измерения	§ ЕНиР	Трудоемкость на единицу измерения, чел-ч	Объем работ	Трудоемкость на весь объем, чел-ч
Этап III					
Врезка стрелок 1, 11, 20	1 шт.	16-1-129	29	3	87
Разборка временных стрелок А и С	1 шт.	16-1-109	34	2	64
Подключение путей 5 и 3 в нечетной и четной горловинах	1 подкл.	16-1-129	29	4	116
Подключение пути 1	1 подкл.	16-1-129	29	1	29
Разборка хода (4)-(С)	1 км	16-1-14	347	0,1	35
Выправка и подготовка путей к сдаче	1 км	16-1-124	380	3,3	1250
Итого					9055
Неучтенные работы (5%)		Всего			9500 чел-ч

* Железобетонные шпалы укладывают вместо деревянных после стабилизации пути.

после переключения (на сутки) движения поездов на пути 1 и 3 переключают стрелочные переводы (1) на место 13 и (4) на место 11; параллельно станцию обеспечивают устройствами связи и СЦБ. ЭЦ вводят в полном объеме к моменту окончания путевых работ.

При поэтапном развитии предполагается применение механизированного инструмента (электродрелей, механических кустылезабивателей, гайковертов, шпалоподбоек, домкратов и др.). Общая трудоемкость на всех трех этапах путевых работ 9500 чел-ч (табл. 6.3). Деятельность станции не прекращается. Трудоемкость работ из-за задержек во время пропусков поездов и локомотивов по станции ориентировочно увеличивается на 20%, т. е. равна $1,2 \cdot 9500 = 11\,400$ чел-ч. Путевые работы обычно выполняют бригады из 30 чел. Сосредоточить на существующих путях значительный контингент строительных рабочих при сохранении движения поездов очень трудно (небезопасно) и нерационально (низкая производительность труда). Поэтому работу должна выполнять одна бригада. Продолжительность переустройства станции при 8-часовом рабочем дне $t = 11\,440 / (8 \cdot 30) = 48$ дней.

При скоростном методе переустройства станции укладывать пути 1, 3 и 5 предполагается из готовых звеньев, заготавливаемых на базе, краном, а балластировку — электробалластером. Трудоемкость этих работ (табл. 6.4) 1467 чел-ч вместо 3140 чел-ч при поэтапном ведении работ. Общая трудоемкость всех работ $9505 - (3140 - 1467) \cdot 1,05 = 7743$ чел-ч (1,05 — коэффициент на неучтенные расходы). Скоростное переустройство путевого развития предполагается осуществить за 10 дней. При принятой продолжительности работ и их трудоемкости (с учетом концентрированного применения механизации) можно использовать на широком фронте большое число рабочих, при односменной работе, например, $7743 / (10 \cdot 8) = 97$ чел. (три бригады). Следует учесть и транспортных рабочих для

График № 1 работ при поэтапном переустройстве станции

Работы	Дни										Примечания
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Отсыпка земляного полотна под пути 3,5 и под удлинение путей в нечетной горловине	Выполняются в подготовительный период										Рис. 6,15
Удлинение искусственного сооружения в нечетной горловине											
Укладка путевой решетки пути 5											
Укладка стрелок проектной нечетной горловины 3,5,7,9 на свободном месте											
Укладка стрелок 16,26,28,30											
Разборка стрелок (14),(16),(7)											
Балластировка пути 5											
Подключение (временное) пути 5 (в „окно“)											
Подключение переустроенных подъездных путей к пути 5											
Балластировка подъездных путей											
Разборка пути 4 из рельсов Р38											
Вырезка загрязненного балласта под путь 3 (вручную)											
Вырезка загрязненного балласта под путь 1 (вручную)											
Укладка пути 3 рельсами Р43											
Балластировка пути 3											
Укладка стрелок А и С для временного подключения пути 3 (в „окно“)											
Разборка пути (3) с перекладкой решетки на переустраиваемые пути и удлиняемую часть путей 3 и 5 (рельсы Р43)											
Укладка пути 1 рельсами Р50 на ж-б шпалах											
Укладка стрелок 12,4											
Врезка стрелок 2,18,13 с использованием после разборки стрелок (2) и (1)											
Переустройство переезда											
Балластировка пути 1											
Вырезка стрелок 1,11,20 (в „окно“)											
Подключение путей 5 и 3 в нечетной горловине на проектное положение с разборкой временной стрелки А											
Подключение путей 5 и 3 в четной горловине с разборкой стрелки С, и укладкой стрелок 14 и 10 (в „окно“)											
Подключение пути 1 (в „окно“)											
Разборка кова (4) — (С)											
Выправка и подготовка путей к сдаче											
Монтаж устройств ЗЦ											

Таблица 64

Расчет трудоемкости работ при скоростном строительстве

Наименование работ	Единица измерения	§ ЕНиР	Трудоемкость на единицу измерения, чел-ч	Общий объем работ	Общая трудоемкость, чел-ч
Сборка звеньев для путей 5, 3 и 1 на базе	1 км	16—1—1	273	2,8	763
Укладка путей 5, 3 и 1 краном	1 км	16—1—8	83	2,8	232
Балластировка путей 5, 3 и 1 электробалластом (балласт песчаный)	1 км	16—1—19	106	2,8	296
То же пути 1 (балласт щебеночный)	1 км	16—1—19	185	0,95	176

выгрузки и транспортировки материалов верхнего строения пути на путевых вагончиках в пределах станции — ориентировочно 10 % состава бригад путейцев. Общая численность рабочих — 107 чел, при поэтапном строительстве — 33 чел.

Определив объем, трудоемкость, продолжительность путевых работ и потребность в рабочей силе, разрабатывают графики № 1 и 2 переустройства станции поэтапным и скоростным методами. Наиболее рациональный метод организации строительства выбирают на основе технико-экономических расчетов (пример 10.7).

График № 2 работ при скоростном переустройстве станции

Работы	Дни									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Разборка пути, переустройство подъездных путей	п/п		(7)		п/п					
Перекладка пути							4,5(5)			
Рихтовка, передвижка пути	п/п									
Укладка пути главного					1					
Станционных			3(3)5							
Укладка, перекладка и разборка стрелочных переводов	16,26,28,30			4,10,12,14				(18)21(20)22		
Балластировка главного пути песком	(14)(16)(5)(10)(12)							(11)12(11)		
То же — щебнем										
То же стрелочных переводов										
Балластировка станционных путей и стрелочных переводов песчаным балластом										
Рытье траншей (стругом)	4		1,5				1,3			
Выправка путей и подготовка станций к сдаче в эксплуатацию										
Устройство платформ										
Разборка, устройство павод										
Электрооснащение, линии связи										
Связь, СЦБ										
Всего										

6.2. УЧАСТКОВЫЕ И ГРУЗОВЫЕ СТАНЦИИ

Пример 6.8. Разработаем проектные соображения по переустройству узловой участковой станции *H* в связи с ростом объема перевозок. Станция обслуживает город с развитой промышленностью и населением 200 тыс. чел. К ней примыкают подъездные пути 13 предприятий; остальные пользуются услугами грузового двора. Станция *H* (рис. 6.21) поперечного типа, расположена на широтном ходу *B—П*. Со стороны направления *B* к станции подходит железнодорожная линия местного значения *H—Т*, а со стороны *П* — линия *H—О*. Все участки, примыкающие к станции, однопутные, оборудованные полуавтоматической блокировкой. Вагонооборот станции приведен в табл. 6.5.

Объем местной работы, вагонов в сутки:

	Выгрузка	Погрузка	Сортировка
Грузовой двор	100	48	100
Подъездные пути северной стороны	200	61	—
Подъездные пути южной стороны	61	100	—

Грузовое движение обслуживают локомотивы ТЭЗ, пассажирское — дальнее и местное — ТЭ7, пригородное — электропоезда. Масса грузового поезда на участках *B—H*, *T—H* — 3200 т, *П—H* — 3100 т и *O—H* — 2100 т. Число подач (уборок) на грузовой двор 4, на подъездные пути южной и северной стороны — по 5. Структура местного грузооборота: сухогрузы — 83 %, наливные — 14 %, скоропортящиеся грузы — 3 %. Структура вагонопотока, четырехосные — 90 %, шестиосные — 10 %.

Решение. Проектные соображения по переустройству станции разрабатываем в такой последовательности.

1. Число вагонов в составе зависит от процентного соотношения сухогрузных, наливных и скоропортящихся грузов и статической нагрузки вагона ($p_c, p_n, p_{ск}$), которая для четырехосных вагонов равна соответственно 35, 50, 25 т и для шестиосных — 90 т. Средневзвешенная нагрузка четырехосного вагона

$$q_{ср}^{4-осн} = (T_c + p_c) \alpha_c + (T_n + p_n) \alpha_n + (T_{ск} + p_{ск}) \alpha_{ск},$$

где $T_c, T_n, T_{ск}$ — тара четырехосных вагонов для сухогрузных, наливных и скоропортящихся грузов, т;

Таблица 6.5

Вагонооборот станции *H*

На \ Из	<i>B</i>		<i>T</i>		<i>П</i>		<i>O</i>	<i>H</i>	Итого		
	с/п	б/п	с/п	б/п	с/п	б/п	с/п		с/п	б/п	
<i>B</i>	—	—	9	—	93	212	—	—	57	159	212
<i>T</i>	18	—	—	—	87	200	72	—	195	372	200
<i>П</i>	112	202	92	208	—	—	27	—	20	251	410
<i>O</i>	6	—	48	—	27	—	—	—	22	103	—
<i>H</i>	54	—	114	—	45	—	10	—	—	223	—
Итого	190	202	263	208	252	412	109	—	294	1108	822

с/п — с переработкой, б/п — без переработки.

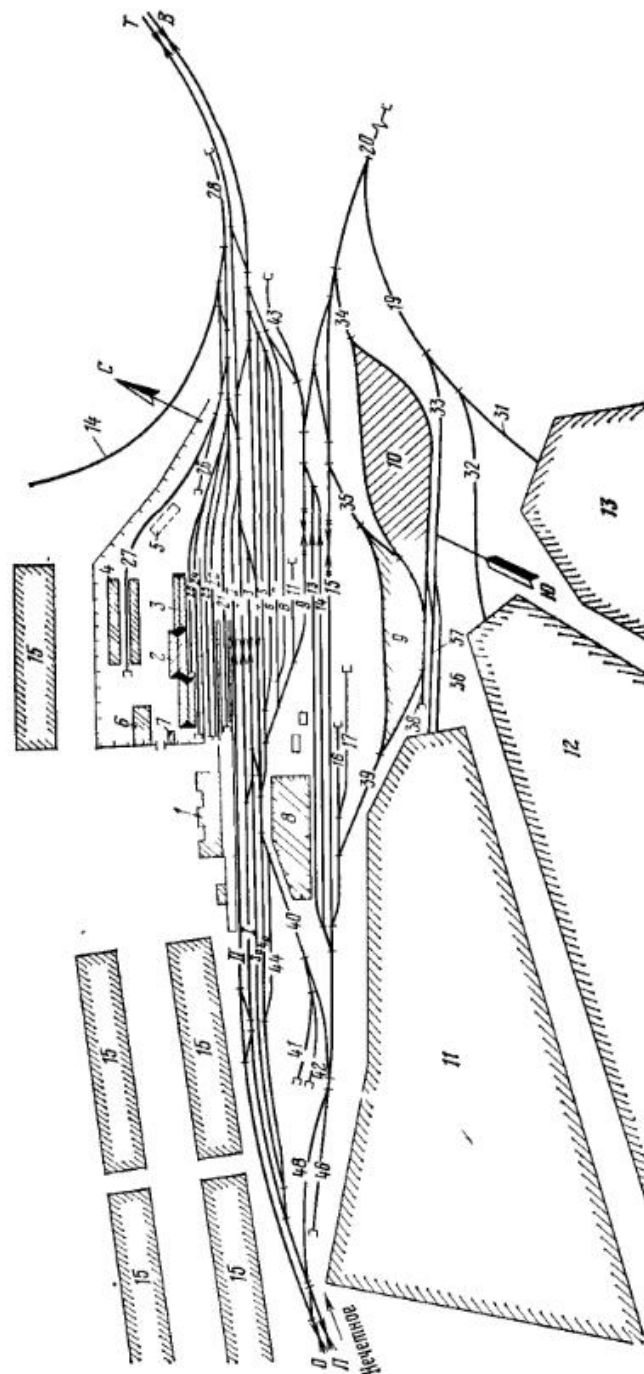


Рис 6.21. Схема участковой станции до переустройства
1 — пассажирское здание, 2, 3, 4, 5 — грузовые склады, 6 — административно-бытовой корпус, 7 — продольная, 8 — электротехнический завод, 9, 10 — вагонное и локомотивное хозяйства, 11, 12, 13, 14 — группы подъездных путей, 15 — жилые кварталы

Таблица 6.6

Размеры движения на направлениях, примыкающих к станции Н

Участок	Число поездов (туда/обратно)			
	транзитных	участковых	сборных	Всего
В—Н	2/2	1/1	1/1	4/4
Т—Н	2/2	3/2	1/1	6/5
П—Н	4/4	2/2	1/1	7/7
О—Н	—	1/1	1/1	2/2
Итого	8/8	7/6	4/4	19/18

$\alpha_c, \alpha_n, \alpha_{сн}$ — процентное соотношение соответствующих грузов;

$$q_{ср}^{4-осн} = (23 + 35) 0,83 + (24 + 50) 0,14 + (32 + 25) 0,03 = 61,96 \text{ т.}$$

Для шестиосных вагонов $q_{ср}^{6-осн} = 30 + 90 = 120 \text{ т.}$

Средняя нагрузка вагона в составе

$$q_{ср} = q_{ср}^{4-осн} \alpha_{4-осн} + q_{ср}^{6-осн} \alpha_{6-осн} = 61,96 \cdot 0,9 + 120 \cdot 0,1 = 62,76 \text{ т.}$$

Число вагонов в составе поезда

$$n_{\phi} = Q_{бр} / q_{ср},$$

где $Q_{бр}$ — расчетная масса поезда.

Число вагонов в составе поезда на участках:

$$n_{\phi}^{ВННТН} = 3200 / 62,76 = 48, \quad n_{\phi}^{ОН} = 2100 / 62,76 = 31;$$

$$n_{\phi}^{ПН} = 3100 / 62,76 = 46.$$

Зная число вагонов в составе и вагонооборот (табл. 6.5), определяем суточные размеры движения на направлениях (табл. 6.6).

2. Полезная длина прямо-отправочных путей на расчетный срок

$$l_{пол} = l_{л} + l_{с} + 10,$$

где $l_{л}$ — длина локомотива, м (для локомотива ТЭ3 — 33,6 м);
 $l_{с}$ — длина состава м;

$$l_{с} = n_{4-осн} l_{в}^{4-осн} + n_{6-осн} l_{в}^{6-осн};$$

10 — допуск на установку поезда, м;

$n_{4-осн}, n_{6-осн}$ — число четырех- и шестиосных вагонов в составе;

$l_{в}^{4-осн}, l_{в}^{6-осн}$ — длина соответственно четырех- и шестиосного вагона;

$$l_{с}^{ВННТН} = 48 \cdot 14,7 \cdot 0,9 + 48 \cdot 20,2 \cdot 0,1 = 732 \text{ м};$$

$$l_{с}^{ПН} = 46 \cdot 14,7 \cdot 0,9 + 46 \cdot 20,2 \cdot 0,1 = 701,5 \text{ м};$$

$$l_{с}^{ОН} = 31 \cdot 14,7 \cdot 0,9 + 31 \cdot 20,2 \cdot 0,1 = 472,75 \text{ м.}$$

Потребная длина пути для размещения поездов заданной массы, прибывающих на станцию:

$$l_{п}^{ВННТН} = 33,6 + 732 + 10 = 775,6 \text{ м};$$

$$l_{п}^{ПН} = 33,6 + 701,5 + 10 = 735,2 \text{ м},$$

$$l_{п}^{ОН} = 33,6 + 472,75 + 10 = 516,35 \text{ м.}$$

К проектированию принимаем стандартную полезную длину прямо-отправочных путей 850 м [6].

3. Число прямо-отправочных путей на участковой станции зависит от размеров движения. При 18—19 парах грузовых поездов на станции Н необходимо иметь 4 пути, по 2 в каждом парке.

4. Число сортировочных путей

$$m_{с} = m_{нф} + m_{доп},$$

где $m_{нф}$ — пути для накопления составов и формирования поездов в соответствии с назначениями плана формирования;

$m_{доп}$ — дополнительное число путей для накопления вагонов назначением на местные пункты погрузки-выгрузки, в ремонт и со специальными грузами

Число сортировочных путей принимаем для участковых поездов на каждое направление по одному; для сборных поездов из-за небольшого вагонопотока (до 100 вагонов) на два направления — один. Тогда $m_{нф} = 6$. Для местных вагонов, прибывающих под выгрузку, минимум один путь. Отдельный путь на каждый или группу местных пунктов выделяют, если под выгрузку прибывает более 30—40 вагонов в сутки. В примере, учитывая объем местной работы, для накопления вагонов на грузовой двор, подъездные пути северной и южной стороны в сортировочном парке следовало бы выделить 6 путей, а кроме того, 1 путь для накопления «больших» вагонов и 1 — резервный для отсева вагонов в процессе расформирования. Число дополнительных путей $m_{доп} = 8$. Общее число путей в сортировочном парке должно быть $m_{с} = 6 + 8 = 14$. Однако из-за ограниченных возможностей в развитии станции на перспективу (рис. 6.21) число сортировочных путей уменьшаем до 10. В этом случае возрастает нагрузка вытяжных путей по второй сортировке местных вагонов. Однако строительство вытяжных путей 28 и 46, а также использование существующих 4а и 20 позволит рационально распределить сортировочную работу — подборку вагонов по пунктам погрузки-выгрузки. Для подачи и уборки поездных локомотивов из четного парка в депо укладывается ходовой путь 18.

5. Потребное число вытяжных путей [13]

$$m_{в} = \frac{\sum n t + \sum T_{пост}}{1440 - t_{о}},$$

где $\sum n t$ — время занятия вытяжного пути, мин:

$$\begin{aligned} \sum n t = & n_{уч}^p t_{уч}^p + n_{сб}^p t_{сб}^p + n_{уч}^{\phi} t_{уч}^{\phi} + n_{сб}^{\phi} t_{сб}^{\phi} + n_{пг}^{\Gamma} + n_{пн}^{\Pi} t_{пн}^{\Pi} + n_{пн}^{\Pi} t_{пн}^{\Pi} + \\ & + n_{у\gamma}^{\Gamma} + n_{у\gamma}^{\Pi} t_{у\gamma}^{\Pi} + n_{у\gamma}^{\Pi} t_{у\gamma}^{\Pi}; \end{aligned}$$

$n_{уч}^p, n_{сб}^p$ } — число участковых и сборных поездов, расформировываемых и формируемых на станции (см. табл. 6.6);

$t_{уч}^p, t_{сб}^p$ } — время расформирования и формирования участкового и сборного поездов;

$n_{п}^r, n_{у}^r, n_{п}^{пс}$ } — число подач и уборок с грузового двора, подъездных
 $n_{у}^{пс}, n_{п}^{пю}, n_{у}^{пю}$ } путей северной и южной стороны станции;
 $t_{п}^r, t_{у}^r, t_{п}^{пс}$ } — время расформирования и формирования подач на
 $t_{у}^{пс}, t_{п}^{пю}, t_{у}^{пю}$ } пункты погрузки-выгрузки.

(В примере $t_{у}^p = 25$ мин; $t_{у}^ф = 20$ мин; $t_{сб}^p = 20$ мин; $t_{сб}^ф = 50$ мин, $t_{п}' = 12$ мин;
 $t_{у}' = 12$ мин; $t_{п}^{пс} = t_{п}^{пю} = 13$ мин; $t_{у}^{пс} = t_{у}^{пю} = 13$ мин);

$\Sigma T_{пост}$ — время занятия вытяжного пути работой, не связанной с расформированием и формированием составов, передач и подач (подача вагонов на пункты погрузки-выгрузки, отправление поездов своего формирования с путей сортировочного парка через вытяжной путь, текущее содержание пути и др). Для рассматриваемой станции $\Sigma T_{пост} = 100$ мин;

t_a — время экипировки маневрового локомотива и смены бригады (90 мин);

$$m_a = (7 \cdot 25 + 4 \cdot 20 + 6 \cdot 50 + 2 \cdot 4 \cdot 12 + 2 \cdot 5 \cdot 13 + 2 \cdot 5 \cdot 13 + 100) / (1440 - 90) \approx 1.$$

В соответствии с ИПСУ на участковой станции *H* предусматриваем строительство двух вытяжных путей (один полезной длиной 900 м, второй — 450 м).

6. Анализ существующей схемы станции. На территории станции расположены устройства для обслуживания пассажирского движения: вокзал, основная платформа у пути 11 и две островные между путями 11—21 и 21—22, для отстоя пассажирских составов используется путь 23. Устройства для грузового движения включают 2 приемо-отправочных парка, специализированных для четных (пути 3 и 4) и нечетных (пути 13 и 14) поездов, и сортировочно-отправочный (пути 5—8). Полезная длина путей 523—768 м. Маневровая работа выполняется на сортировочном пути 4а (расформирование и формирование поездов), на вытяжных путях 28 (грузовой двор и северная группа подъездных путей) и 20 (южная группа). Грузовой двор расположен со стороны пассажирского здания, локомотивное (основное для всех направлений) и вагонное дело размещены со стороны, противоположной пассажирскому зданию.

Схема путевого развития несовершенна, пути короткие. Конструкция горловины не обеспечивает одновременного приема пассажирских поездов с направления *T* и отправления в сторону *B*, подавать вагоны в адрес грузового двора можно только с приемо-отправочных путей 3 и 4, что увеличивает их пробег при перестановке с путей сортировочного парка, снижает пропускную способность нечетной горловины и приемо-отправочных путей. Нет прямой связи между сортировочно-отправочными путями 5—8 и вытяжным 20. Это осложняет передачу вагонов на подъездные пути южной стороны станции (излишний пробег подвижного состава через пути 4а, 9 и выходную горловину нечетного парка и дополнительный простой из-за пересечения маршрутов подачи и отправления поездов с путей 13 и 14 и прохода поездных локомотивов из нечетного парка в депо и обратно).

7. Проектные соображения по переустройству станции *H*, учитывая местные условия, максимальное использование существующих устройств и требования к проектированию станций соответствующего типа, следующие (рис. 6.22).

Сопоставляя число путей:

Наименование	Число	
	существующее	расчетное
Приемо-отправочные	4	4
Сортировочные	5	10
Вытяжные	1	2
Ходовые	1	1
Всего	11	17

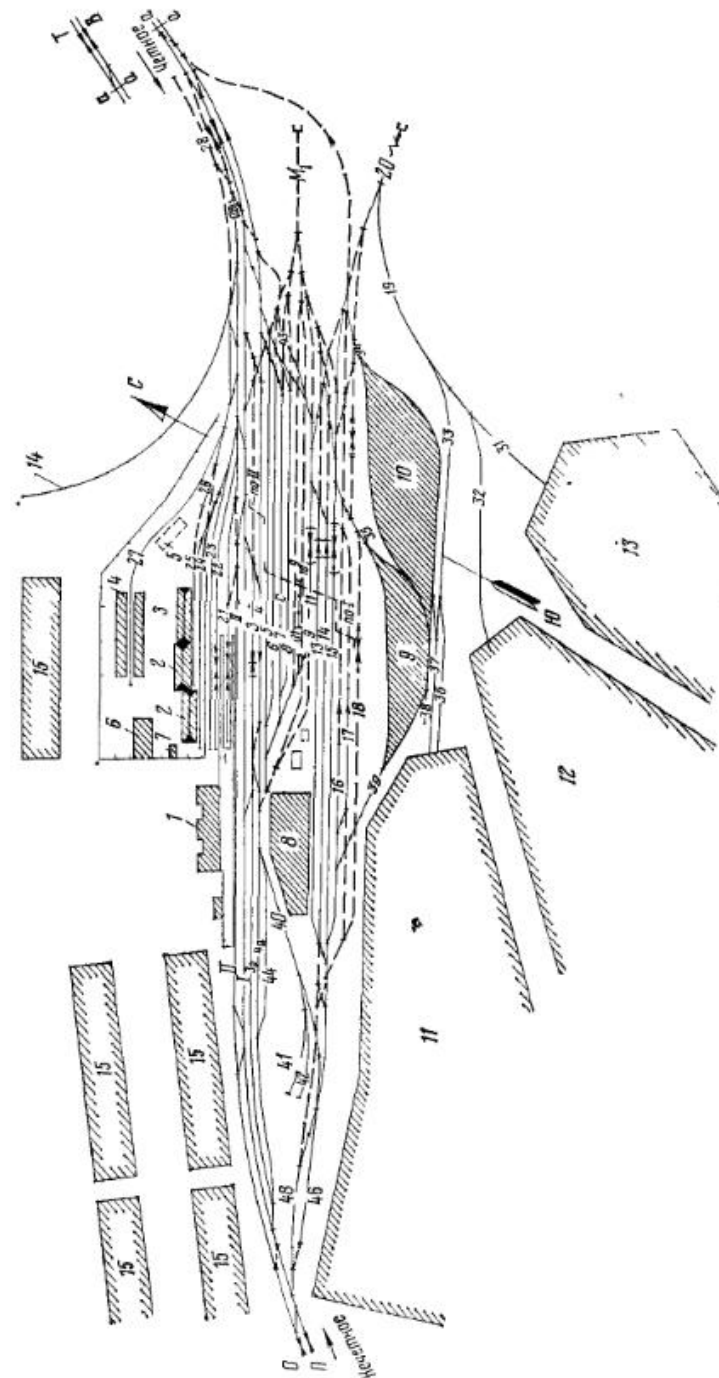


Рис. 6.22. Схема участковой станции после переустройства

установим, что на станции *И* необходимо уложить дополнительно 6 путей и, кроме того, удлинить приемо-отправочные пути. Учитывая стесненные условия, приемо-отправочные пути 3, 4 и 16, 17 проектируем полезной длиной 850 м, сортировочные пути 5—8 для накопления местных вагонов — 550—600 м, пути 9—11 — 850 м, а 13—15 — на 15 % длиннее приемо-отправочных. Удлинять почти все пути целесообразно в сторону четной горловины. Дополнительные пути укладываем в пределах существующей площадки. Таким образом, принципиальная схема станции с внутренним расположением сортировочного парка не меняется.

Укладываем новые пути (между существующим путем 8 и территорией депо), а затем — горловины. Сначала разрабатываем конструкцию более простых горловин западной части станции (входной на пути 16 и 17 и выходной с путей 5—9). Во входной горловине предусматриваем возможность одновременного приема поездов с направлений *О* и *П* и связь путей 13—17 и вытяжного 48. Выходную горловину с путей 5—9 проектируем так, чтобы обеспечить минимальную длину рациональной укладкой стрелочных переводов. Входную четную и выходную (с путей 16 и 17) горловины разрабатываем после удлинения путей 3—15, начиная с пассажирского района.

Чтобы увеличить пропускную способность станции, обеспечить безопасность движения и одновременный прием пассажирских поездов с направлений *В* и *Т*, необходимо в горловине уложить два параллельных хода: съезд между путями 1 и 11 и параллельное соединение пути 11 с путем 28; дополнительный съезд от соединительного пути, ведущего к путям 21 и 11. Для изоляции маневровой работы — обслуживания грузового двора — от движения пассажирских поездов укладываем новый вытяжной путь 28 и к нему подключаем пути грузового двора 24, 25 и 26. В горловинах приемо-отправочных парков предусматриваем соединение приемо-отправочных путей с вытяжным и сортировочными путями.

Конструируя горловину сортировочного парка со стороны основного вытяжного пути *М*₁, обеспечиваем достаточную полезную длину сортировочных путей для формирования участковых поездов, наименьшую длину горловины (желательно уложить симметричные стрелочные переводы марки 1/6), связь сортировочных путей с главными и приемо-отправочными, возможность подачи вагонов на пункты погрузки-выгрузки. На переустроенной станции *И* пути специализированы следующим образом: 1—11 — главные; 3—4 — для приема четных поездов с *В* и *Т*; 5—15 — сортировочные; 16—17 — приемо-отправочные для нечетных поездов с *О* и *П*; 18 — ходовой; *М*₁, 20, 28, 48 и соединительный путь 4а — для маневровой работы.

В заключение разрабатываем масштабный план путевого развития и определяем стоимость работ.

Пример 6.9. В связи с ростом объема местной работы, строительством нового грузового двора дадим предложения по переустройству станции *Ц* (рис. 6.23), предусмотрев при этом укладку пяти новых сортировочных путей. Станция *Ц* входит в состав железнодорожного узла *Ж*. С запада к ней подходит однопутная линия *К—Ц*, с восточной — две однопутные *Ж—Ц* и *У—Ц*. Размеры движения на них соответственно равны 35, 12 и 18 пар поездов в сутки. Все линии магистрального значения (II категория) оборудованы автоблокировкой и электрической централизацией стрелок и сигналов. Грузо- и вагонооборот грузового двора, размеры складских устройств и погрузочно-разгрузочные механизмы указаны в табл. 6.7. Объем работы подъездных путей (вагонов в сутки):

	Прибытие	Отправление
<i>Э</i>	80	60
<i>И</i>	35	25
<i>С</i>	108	60
<i>Б</i>	15	10
Всего	238	155

Решение. Прежде всего следует выбрать схему укладки дополнительных путей и планировку грузового двора. Дополнительные пути можно уложить параллельно или последовательно с существующими. Первое вызывает дополнительные пробоги подвижного состава при перестановке вагонов с приемо-отправочных путей на вытяжной; второе обеспечивает поточность расформирования составов

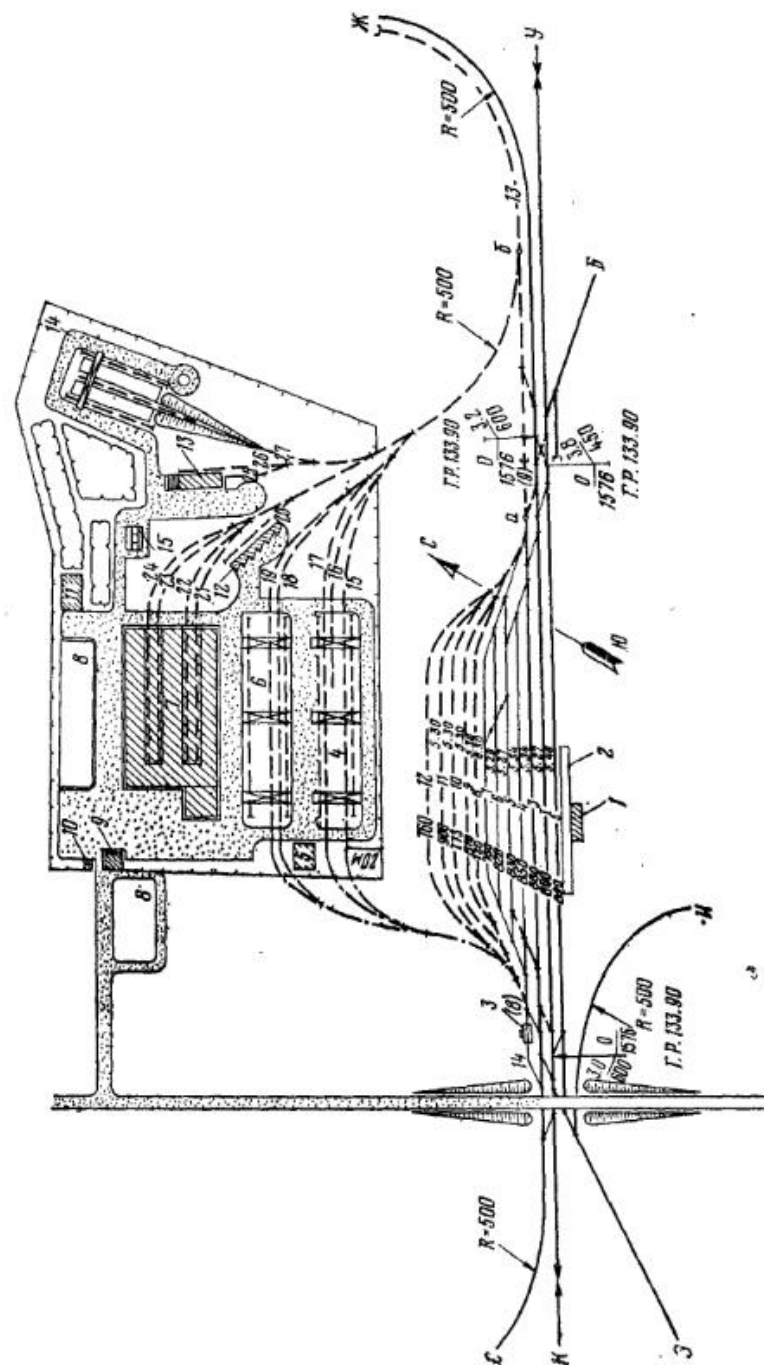


Рис. 6.23. Схема грузовой станции *Ц*: 1 — пассажирское здание; 2 — платформа; 3 — весы; 4 — площадка для тяжелых контейнеров; 5 — пункт ремонта контейнеров; 6 — площадка для контейнеров; 7 — открытый склад; 8 — зеленая зона; 9 — товарная контора; 10 — площадка для ремонта вагонов; 11 — помещение для работников, занятых на погрузочно-разгрузочных работах; 12 — платформа для передачи груза из автомобилей в вагоны и обратно; 13 — высокая платформа для колесных грузов; 14 — повышенный путь; 15 — автомобильные весы.

поездов, прибывающих на станцию, однако укладка путей в данном случае затруднена (при подходе из К — путепроводная развязка, а со стороны Ж — кривая радиусом 500 м и сложные топографические условия). Учитывая это, целесообразно новые пути уложить параллельно существующим.

Территория грузового двора делится на районы, специализированные для определенного рода грузов (контейнеров, тарно-упаковочных, сыпучих и др.). Площадки для пылящих грузов необходимо располагать на значительном расстоянии от крытых складов для тарно-упаковочных грузов. Складские площадки для хранения грузов рекомендуется размещать в пределах прямого участка пути (расстояние от тангенса кривой в плане до крытого склада должно быть не меньше длины вагона). Подъемную часть повышенного пути можно располагать на кривой радиусом не менее 200—300 м за предельным столбиком стрелочного перевода, ограничивающего путь.

Чтобы обеспечить удобный подъезд автомобилей к складам, установку их под грузовые операции и свободный двусторонний проезд, необходимо расстояние между параллельно расположенными складами не менее 25—30 м, а между складом и железнодорожными путями или забором — не менее 20 м. При одностороннем движении это расстояние может быть уменьшено до 12 м. Для проезда автомобилей по территории грузового двора желательно предусмотреть кольцевые дороги

Таблица 6.7

Характеристика устройств грузового двора

Тип склада	Объем работы, тыс. т в год/вагонов в сутки			Размеры склада			Погрузочно-разгрузочные механизмы
	Выгрузка	Погрузка	Сортировка	Площадь, м²	Длина, м	Ширина, м	
Крытый ангарного типа	277/97	130/32	300/110	5609	144	27+24	Электропогрузчик Двухконсольный козловой кран, грузоподъемность 10 т, пролет 16 м
Площадка для тяжеловесов	40/14	20/7	150/70	3380	260	13	
Площадка для контейнеров	157/44	200/87	500/125	1880	94	20	Двухконсольный козловой кран, грузоподъемность 10 т, пролет 23 м
				2100	105	20	
				3940	197	20	
Высокая платформа для колесных грузов	170/61	50/19	—	560	80	7	Кран на автомобильном ходу
Высокая зубчатая платформа для перегрузки по прямому варианту	10/3	35,9/7	—	600	100	6	
Повышенный путь	192/40	—	—	—	204	—	Козловой кран ККУ—10 т

шириной 6—8 м, обеспечивающие наибольшую маневренность автотранспорта, а для стоянки машин — специальные площадки. На территории грузового двора следует расположить высокую платформу для погрузки-выгрузки колесных грузов, крытую зубчатообразную платформу для перегрузки по прямому варианту «вагон—автомобиль» и наоборот, товарную контору, контрольный пост, автомобильные весы, мастерские для ремонта контейнеров, служебно-бытовое здание. Для сокращения расходов на маневровую работу входная горловина должна быть компактна, что достигается укладкой симметричных стрелочных переводов марки 1/6 и кривых с минимальным радиусом 200 м.

Новый грузовый двор целесообразно расположить с противоположной стороны от пассажирского здания. При этом необходимо учесть возможность развития станции в перспективе, для чего от крайнего станционного пути 12 до забора грузового двора должно быть не менее 50 м, а между стрелочными переводами (точки а и б) — около 130—150 м. Это позволит при необходимости уложить дополнительные сортировочные и удлинить приемо-отправочные пути. Важно обеспечить также минимальную длину маневровых передвижений и полную изоляцию последних от движения организованных поездов. После разработки принципиальной схемы развития станции II делается накладка плана (масштаб 1 : 2000 или 1 : 1000). Порядок ее следующий:

приемо-отправочные и сортировочные пути. На листе ватмана от пути 2 откладывают сумму междупутий и вычерчивают путь 7, а затем пути 1—6. Это позволит избежать ошибки в определении ширины станционной площадки;

нечетная горловина станции. Места укладки стрелочных переводов определяются в соответствии со схемой их взаимного расположения;

четная горловина. Ее накладка начинается после того, как будет отложена полезная длина пути 4, определено место предельного столбика (выходного сигнала) и установлено положение центра стрелочного перевода, ограничивающего путь 4. Затем расчетом (как и в нечетной горловине) определяют расположение центров остальных стрелочных переводов;

грузовой двор. Его план наносят в принятом масштабе на вспомогательный чертеж (кальку). Затем, перемещая кальку, определяют поворот территории грузового двора по отношению к путям 12 и 13, учитывая, что радиус кривой должен быть не менее 360—400 м;

входная и выходная горловины грузового двора.

На листе плана справа от станции приводятся ведомости зданий и сооружений, путей, стрелок и объема работ, связанных с переустройством станции.

6.3. СОРТИРОВОЧНЫЕ СТАНЦИИ

Пример 6.10. В связи с ростом размеров перевозок, массы и длины поездов разработаем проектные соображения по переустройству односторонней сортировочной станции (рис. 6.24) по схеме с последовательным расположением парков и объемлющими главными путями. Число путей в ее парках: приема — 6, сортировочном — 18 и транзитном — 3. Минимальная полезная длина приемо-отправочных путей 720 м. Требуется на всех подходах к станции уложить второй главный путь; удлинить приемо-отправочные и сортировочные пути до 850 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 мелких отправок. Направление сортировки вагонов остается прежним.

Решение. 1. Выбираем направление, в котором следует удлинить пути, чтобы это не повлекло за собой неоправданных капитальных затрат. 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

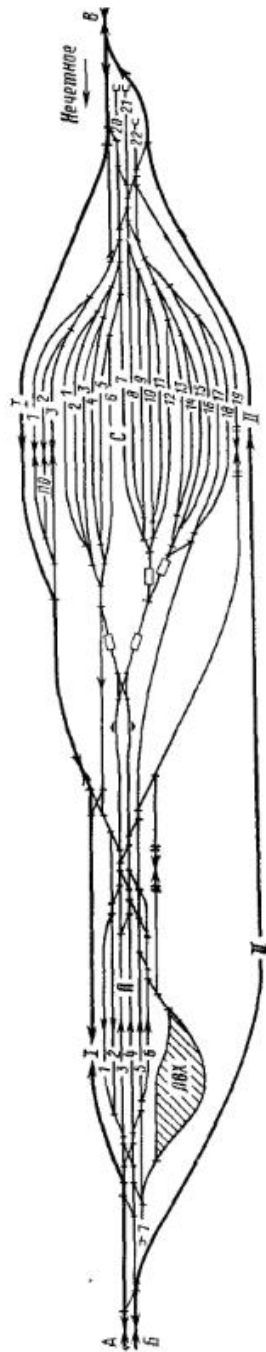


Рис. 6.24. Схема сортировочной станции

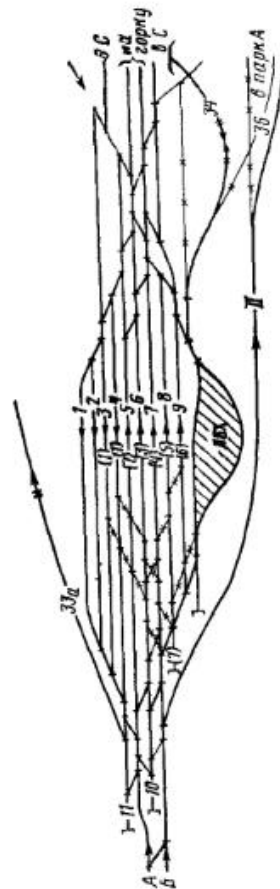


Рис. 6.25. Переустройство парка приема

(рис. 6.25) возможен только один вариант размещения трех дополнительных путей — со стороны, противоположной локомотивному хозяйству. 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 хозяйства маршруты уборки поездных локомотивов нечетного направления пересекаются с маршрутами приема поездов из *A* и *B*. Поэтому рядом с путем *I* парка приема укладываем ходовой путь *33а*, который подключаем к локомотивному тупику *11* (с противоположной стороны к пути *33а* подключаем соединительный путь из локомотивного хозяйства, проходящий через путепровод под горкой). Затем укладываем соединения ¹ для выполнения необходимых операций. Переустройство выходной горловины заключается в подключении вновь укладываемых путей *I* и *2*.

Путевое развитие сортировочного парка (рис. 6.26) укладываем симметрично его оси. В верхнюю половину парка включаем 3 существующих пути транзитных парка и *I* главный путь и укладываем 6 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 числу 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 платформ для мелких отправок. 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 мелких отправок можно разместить в нижней части парка.

Объединенный парк отправления (рис. 6.27) 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 числа 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 примере 3.8.

Проектируем главные, ходовые и соединительные пути (рис. 6.28*) для приема поездов из *A* и *B* в транзитный парк *TP-II* 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 *A* и *B* укладываем вторые главные пути и диспетчерские съезды, чтобы обеспечить маневренность станции и взаимозаменяемость парков. Для приема поездов из *B* в парк приема проектируем *III* главный путь, а в месте пересечения его с *I* главным устраиваем путепроводную развязку. Для пропуска поездных локомотивов рядом с *I* главным путем укладываем ходовые пути *33а* и *33б* (от локомотивного тупика *10* до входной гор-

¹ Горловину укладывают, начиная с пути *I* и наименьшей полезной длины.

* Рис. 6.28 и 6.31 — см. вкладку в конце книги.

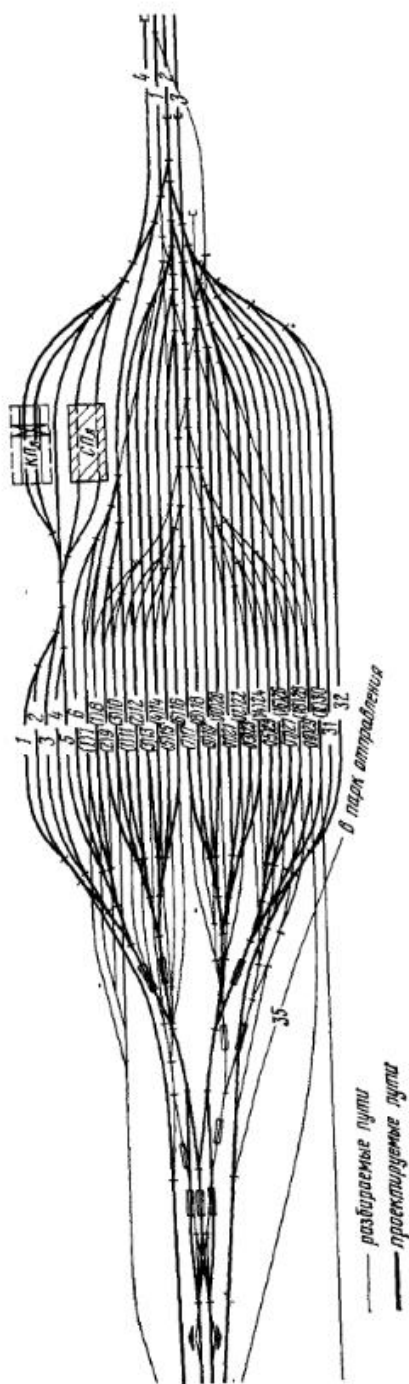


рис. 6.26. Переустройство сортировочного парка

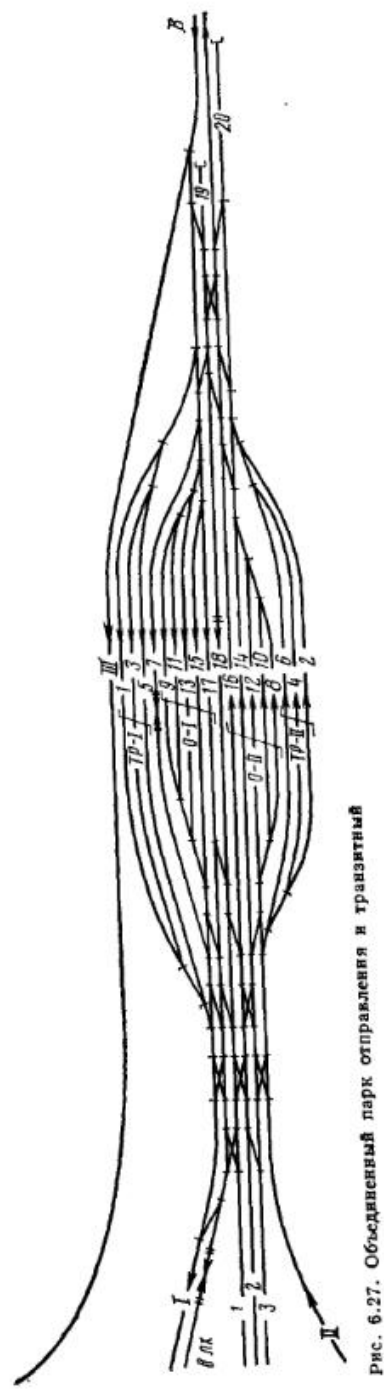


рис. 6.27. Объединенный парк отправления и транзитный

ловины объединенного парка отправления). Для связи этих путей с локомотивным хозяйством устраиваем путепровод под 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 хозяйства и предгорочного парка (через II главный путь) с объединенным парком отправления и перегонем в сторону В.

Пример 6.11. В соответствии с условиями примера 6.10 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 6.10 (рис. 6.29—6.31*). 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 6.10.

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 чужими транзитным и отправочным парками укладываем ходовой путь 12. В выходных горловинах отправочных парков укладываем вытяжные пути для обработки транзитных поездов; полезная длина их 425 м.

От 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 TP-I и O-I под горкой устраиваем путепровод для соединительного пути 34. В качестве соединительного используем участок бывшего I главного пути (см. рис. 6.30, путь 33). Это позволит убирать поездные локомотивы с путей 1, 2, 3, 4 и 5 парка приема без пересечения путей надвига. Подачу (уборку) локомотивов в парки TP-II и O-II обеспечиваем укладкой соединения 35.

Пример 6.12. Генеральная схема развития железнодорожного узла в перспективе предусматривает переустройство сортировочного парка (рис. 6.32, а) нечетной системы станции В. Необходимо удлинить 3 существующих и уложить 4 новых сортировочных пути полезной длиной 1150 м. Разрабатываем принципиальную схему реконструкции сортировочного парка и установим очередность переустройства с наименьшими перерывами в эксплуатационной работе.

Решение. Принципиальная схема реконструкции (рис. 6.32, б) обеспечивает: рациональное размещение сигналов и изолирующих стыков; изоляцию маневровой работы от движения организованных поездов; требуемую параллельность операций в горловинах; максимальное сокращение числа враждебных маршрутов; взаимодействие сортировочного парка с парками приема и отправления.

Общий объем и стоимость основных путевых работ определены на основании сметно-финансового расчета (табл. 6.8). Полная сметная стоимость реконструкции парка, включающая все виды строительного-монтажных работ, а также непредвиденные и накладные расходы и плановые накопления, — 391,6 тыс. руб. Такой большой объем строительных работ для развития парка до проектной мощности, чтобы быстрее получить наибольший эксплуатационный эффект, целесообразно выполнять в несколько этапов. Рациональное их число и объем работы на каждом из них устанавливаются, учитывая необходимость непрерывности эксплуатации, ка-

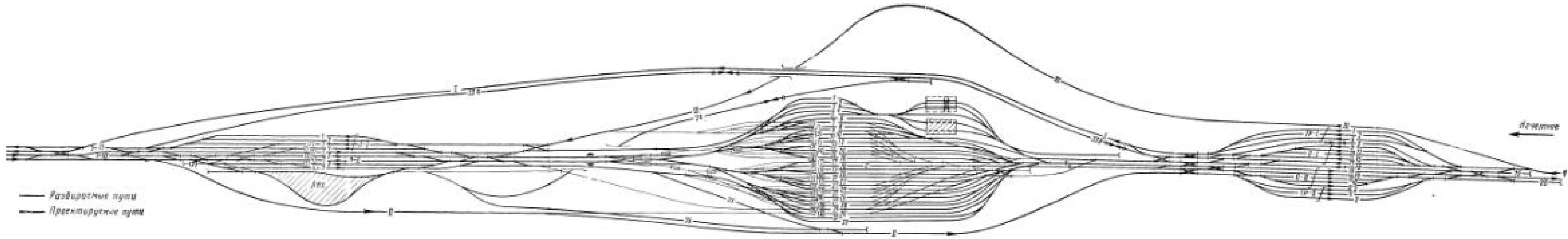


Рис. 6.18. Схема структурной схемы и полимеризованного расклевывания кабеля

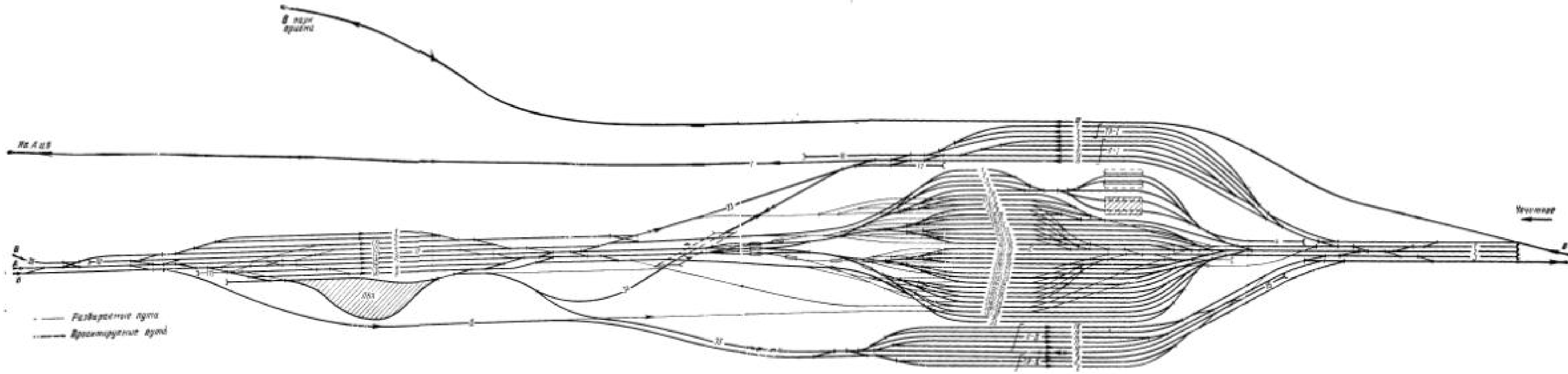


Рис. 6-31. Схема системы кабельной системы с комбинированным разъемным узлом

Сметно-финансовый расчет

Вид работ	Измеритель	Объем работ	Стоимость работ, руб
Земляные	1 м ³	35 000	35 000
Разборка стрелочных переводов пути	1 перевод	13	780
Передвижка пути	1 км	1,533	795
Укладка стрелочных переводов пути	1 км	1,230	615
замедлителей КВЗ-62	1 компл	20	50 107
	1 км	6,166	63 847
	1 компл	1	34 100
Всего	—	—	185 244

питалоемкость 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 возможно большем 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 (см рис 6 33) предусматривает переустройство сортировочного парка в пять этапов (табл 6 9) Полная сметная стоимость и доля в общих капиталовложениях на каждом этапе реконструкции

	Стоимость руб	Доля, %
I	196 741	50
II	46 704	9
III	46 045	9
IV	81 305	27
V	20 844	5
Всего	391 639	100

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 устанавливаются 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 (рис 6 33, а) предусмотрено сооружение земляного полотна и планировка территории для укладки четырех путей и пяти стрелочных переводов (23, 24, 25, 26, 27) Затем без перерывов в движении поездов разбирают часть пути 33, сооружают новый упор, укладывают сортировочные пути 29, 30, 31, обходной 32

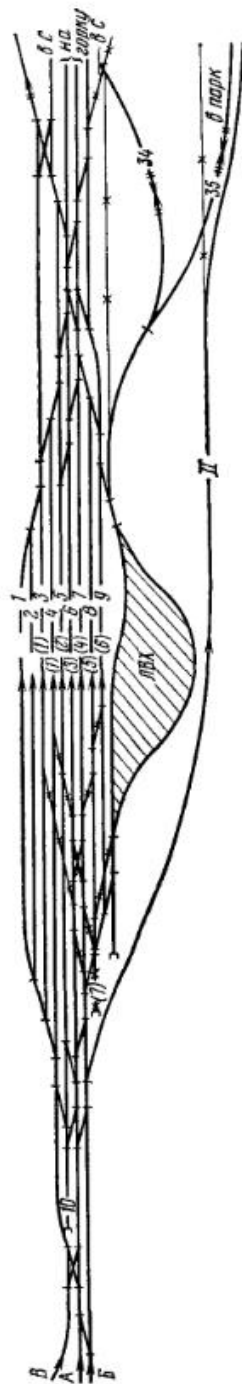


Рис 6 29 Переустройство сортировочного парка

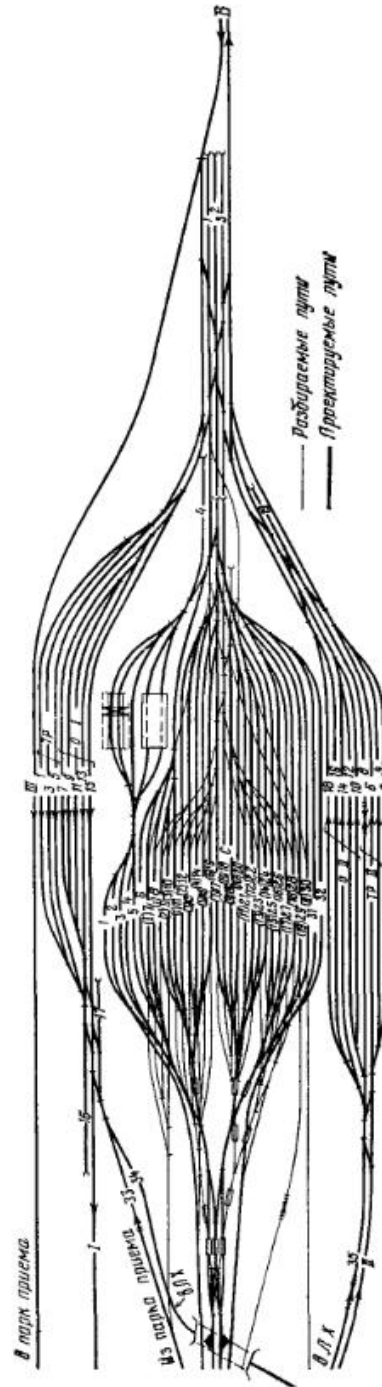


Рис 6 30 Горловина сортировочного и отправочных парков

Объем работ при переустройстве станции

Вид работ	Измеритель	Этап					Всего
		I	II	III	IV	V	
Земляные	1 м ³	35 000	—	—	—	—	35 000
Разборка стрелочных переводов	1 перевод	—	4	—	4	5	13
Передвижка путей	1 км	0,105	0,870	—	0,172	0,386	1,533
	1 км	—	0,300	—	0,250	0,680	1,230
Укладка стрелочных переводов	1 перевод	5	3	6	4	2	20
	1 км	3,585	0,866	0,860	0,488	0,367	6,166
замедлителей	1 компл	—	—	—	1	—	1

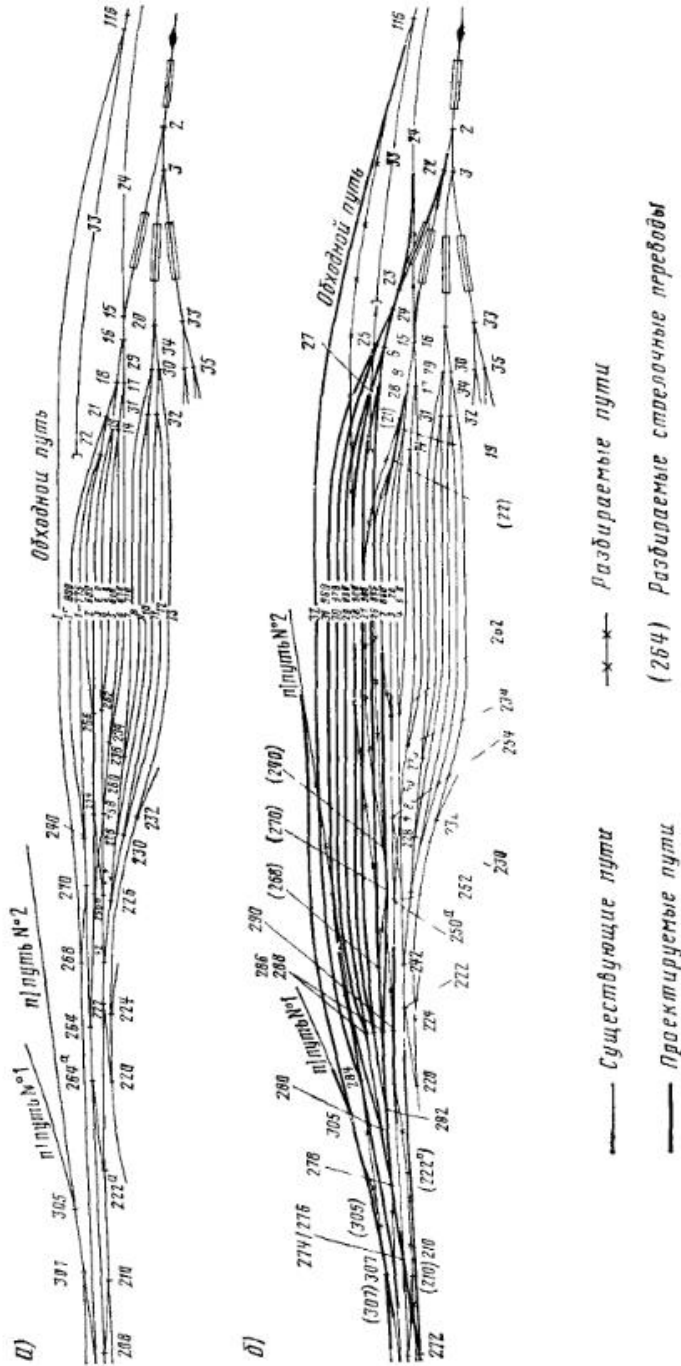


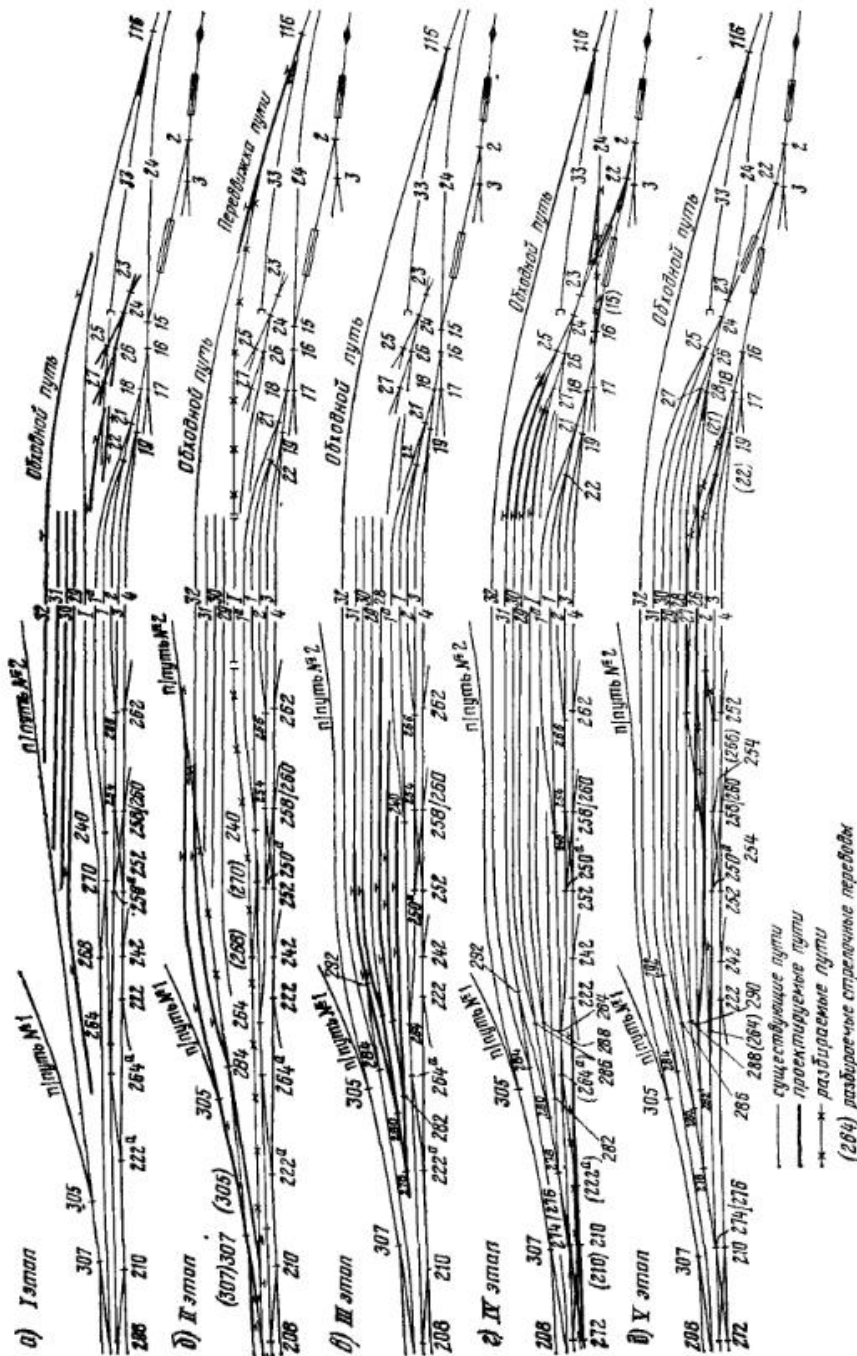
Рис. 6.32. Схема сортировочного парка
 а — до переустройства, б — после переустройства

и пять симметричных стрелочных переводов марки 1/6. Эти работы не влияют на эксплуатационную деятельность парка и сортировочной системы в целом.

На этапе II (рис. 6.33, б) осваивается сравнительно незначительный объем капитальных вложений. Однако выполнение комплекса работ требует строго определенной последовательности (чтобы перерывы в движении были наименьшими): разборка подъездных путей 1 и 2 в пределах станции, перекладка стрелочных переводов 305, 307, укладка подъездных путей 1 и 2 на новом месте и подключение их к стрелочным переводам 305, 307. Этим восстанавливается возможность подачи местных вагонов на подъездные пути 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 1 во входной и выходной горловинах.

На этапе III (рис. 6.33, 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 (рис. 6.33, 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 соединения 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 стрелками 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 стрелки 16 в направлении стрелки 22, разобрать часть пути 24. В выходной горловине парка оставшиеся работы необходимо выполнить в такой последовательности: разобрать стрелочные переводы 210, 222а, сдвинуть путь между стрелками 272 и 222, а, уложить стрелочные переводы 272, 210, разобрать стрелочный перевод 264, а и уложить на его месте путь, разобрать съезд 222, а—264, а.

Работы этапа V (рис. 6.33, 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



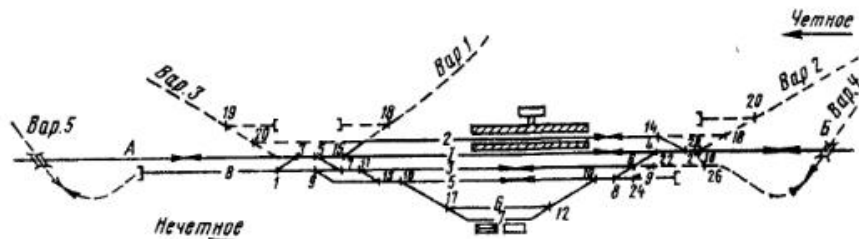


Рис. 6.35. Присоединение подъездных путей к промежуточной станции со стороны пассажирского здания

вляются) с четного направления, они пересекают главный путь 1. Враждебность маршрутов, снижающую пропускную способность и безопасность движения, можно ликвидировать строительством путепровода и укладкой съездов 28—30 и 32—34 (вариант 6). Если маршруты прибывают с нечетного направления, а отправляются в четном или наоборот, то поточность, безопасность движения и максимальную пропускную способность обеспечивает сочетание вариантов 4 и 6 (вариант 7). Однако это дорого в строительном отношении. Экономическое обоснование сооружения путепроводной развязки дано в гл. 11.

Пример 6.14. Разработаем варианты присоединения к промежуточной станции (рис. 6.35) предприятий, расположенных со стороны пассажирского здания: подъездной путь 1 — объем работы 13 вагонов в сутки, пути туниковые; подъездной путь 2 — объем работы 2 маршрута в сутки, обгонный путь для локомотивов есть.

Решение. Присоединение подъездных путей со стороны пассажирского здания нежелательно. При подаче и уборке вагонов необходимо пересекать главный путь, что снижает пропускную способность станции. Развязка же в разных уровнях (варианты 4 и 5) требует значительных капитальных вложений.

Подъездной путь 1 можно прикрепить по вариантам 1, 2 и 4. Лучший из них вариант 1, так как не требует переустройства станции: при подаче-уборке вагонов занят только вытяжной путь 8. В вариантах 2 и 4 должен быть свободен главный или прямо-отправочный путь.

Подъездной путь 2 можно прикрепить по вариантам 2 и 3, которые примерно равноценны, и выбор одного из них зависит от места расположения промышленного предприятия. Подъездные пути по вариантам 4 и 5 на однопутных линиях прижимают крайне редко из-за большой стоимости путепроводной развязки.

Пример 6.15. Спроектируем присоединение к участковой станции (рис. 6.36) подъездного пути предприятия с суточной погрузкой 11 вагонов и туниковыми погрузочно-выгрузочными путями. Подвести его необходимо с левой стороны станции.

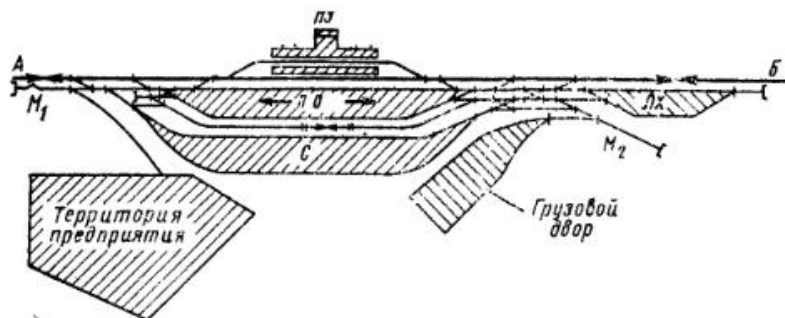


Рис. 6.36. Присоединение подъездного пути к участковой станции

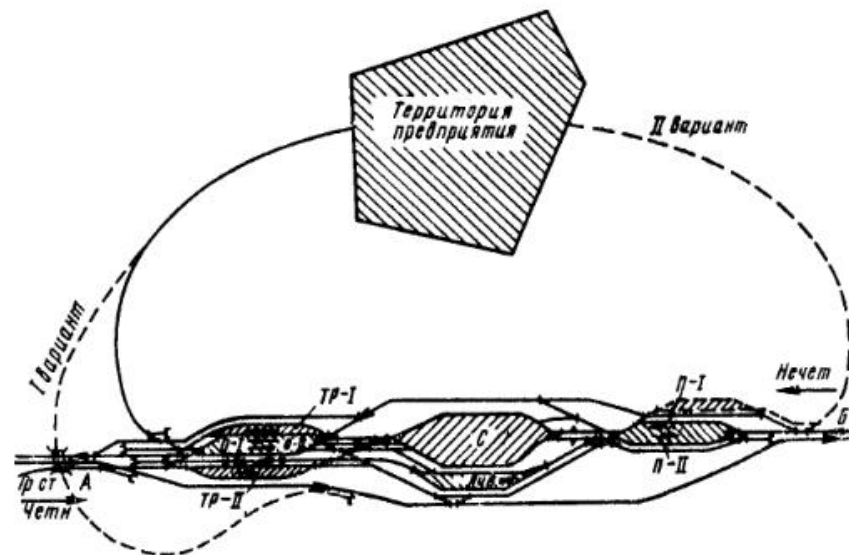


Рис. 6.37. Присоединение подъездного пути к сортировочной станции

Решение. У предприятия нет сквозных путей для обгона маневрового локомотива и прикрепить подъездной путь можно только к вытяжным путям. На станции два вытяжных пути: основной M_1 и вспомогательный M_2 для обслуживания грузового двора. Подъездной путь лучше подсоединить к вспомогательному, если это позволяет расположение промышленного предприятия. При данном размещении территории предприятия и станции приращение подъездного пути к основному вытяжному пути M_1 обеспечивает минимальную длину трассы соединительного пути и минимальные пробеги подвижного состава.

Пример 6.16. Прикрепим к сортировочной станции (рис. 6.37) подъездной путь химического комбината, на который под выгрузку ежесуточно прибывает с нечетного направления 8 маршрутов. Убираемые с комбината вагоны на сортировочной станции подвергаются переработке. Ввод подъездного пути на станцию возможен с левой и правой ее стороны.

Решение. Присоединение подъездного пути к транзитному парку $TP-I$ обеспечивает поточность обработки прибывающих на химический комбинат маршрутов, не создавая помех в работе сортировочной станции. Вагоны, убираемые с комбината, должны быть поданы в предгорочный парк и рассортированы на горке. Это мешает работе сортировочной станции. В выходных горловинах отправочного $O-I$ и транзитного $TP-I$ парков маршрутов следования передач враждебен маршрутам отправления транзитных и поездов своего формирования в нечетном направлении. В выходных горловинах отправочного парка $O-II$ и транзитного $TP-II$ этот маршрут враждебен маршруту отправления четных транзитных и поездов своего формирования на B и маневровым передвижениям при выводе поездов своего формирования в парк (встречная враждебность). Кроме того, маршрут передач, убираемых с предприятия, враждебен приему четных разборочных поездов (полутная враждебность). На сортировочной станции с большим объемом работы это недопустимо. В основном недостатки могут быть ликвидированы строительством путепровода (вариант I), но останется враждебность отправляемым поездом на B и принимаемым в разборку из A .

Присоединение по варианту II связано с укладкой параллельно предгорочному парку с внешней стороны главного пути прямо-отправочных путей и выхода на

горку. Это обеспечивает беспрепятственный прием маршрутов с перегона и подачу их на комбинат. Убранные с комбината вагоны можно надвигать на горку непосредственно с приемо-отправочных путей. Однако их маршрут враждебен маршруту приема нечетных транзитных поездов. Уборка поездных локомотивов от прибывших маршрутов и заезд маневровых локомотивов за составами пересекают главный путь. Если пассажирское движение по главным путям не интенсивно, оно не вызывает значительных простоев локомотивов и вагонов. Строительные затраты в обоих вариантах примерно одинаковы (если вариант I без путепровода), но вариант II значительно дешевле по эксплуатационным расходам. Строительство путепровода в варианте I потребует значительных капитальных вложений и увеличит пробег подвижного состава. В данном примере следует принять вариант II.

7. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

7.1. РЕКОНСТРУКЦИЯ СТАНЦИЙ

Пример 7.1. Выберем оптимальный вариант реконструкции горки и парка прибытия сортировочной станции в результате примыкания новой линии. Исходные данные:

станция будет расформировывать в среднем за сутки 72 поезда, среднее время обработки состава перед роспуском $t_{об} = 0,5$ ч;

коэффициент вариации: горочного технологического интервала $\gamma_r = 0,3$, интервалов входящего потока $\gamma_{вх} = 0,7$;

доля приведенной стоимости 1 поезд-ч, учитываемая при задержке поезда, $\Delta e_{п-ч} = 15$ руб., затраты, связанные с остановкой поезда, $e_o = 4$ руб.; стоимость 1 составо-ч $e_{с-ч} = 15$ руб.;

до реконструкции в парке приема было 5 путей, на горке 2 пути надвига, 1 роспуска, 1 обходной и 2 маневровых локомотива, горочный технологический интервал 0,28 ч. После реконструкции к парку будут примыкать 2 подхода.

Решение. Оптимальный вариант реконструкции определяем по минимуму приведенных расходов:

$$E_{ij} = E_{ij}^p + E_{ij}^3 + E_{ij}^o + E_{ij}^{yч} + E_{ij}^{np} \rightarrow \min,$$

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 станцией;

$E_{ij}^{yч}$ — годовые расходы, вызванные потерей пропускной способности участка;

E_{ij}^{np} — годовые расходы на строительство и эксплуатацию дополнительных устройств.

Раскрывая отдельные составляющие расходов, получим

$$E_{ij} = 365N \left\{ e_{с-ч} \gamma_{п} \left[t_r + \frac{\lambda \bar{t}_r^2 (\gamma_{вх}^2 + \gamma_r^2) (1 + \beta)}{2(1 - \lambda' \bar{t}_r)} + t_{об} \right] + \frac{(\lambda \bar{t}_r)^{m_o+1} (\gamma_{вх}^2 + \gamma_r^2) (1 + \beta)}{2\lambda (1 - \lambda' \bar{t}_r)} \Delta e_{п-ч} \gamma_{п} b + \frac{(\lambda \bar{t}_r)^{m_o+1} (\gamma_{вх}^2 + \gamma_r^2)}{2} (e_o \kappa_o + P_{сeуч}) \right\} + E_{ij}^{np}, \quad (7.1)$$

где λ — плотность потока прибывающих поездов, равная $N/24$;

λ' — плотность потока поездов с замыкающими группами:

$$\lambda' = \lambda \Phi;$$

Φ — доля составов с замыкающими группами, равная для условий приема 0,8;

- b — коэффициент, учитывающий число дополнительных путей в парке отправления из-за задержки поездов на подходах к станции. Для средних условий $b = 1,05 \div 1,15$;
- γ_{Π} — коэффициент, учитывающий неопределенность состояния элементов станции и влияющий на реальную экономию от сокращения простоя в парке приема и на подходах к станции, равный $0,7-0,8$;
- κ_0 — число остановок на одну задержку поезда из-за неприема ($\kappa_0 = 1,3 \div 1,8$);
- P_C — вероятность того, что задержанный поезд будет снят с графика. Для двухпутных линий, оборудованных автоблокировкой, $P_C = 0,8 \div 0,9$; для линий с полуавтоблокировкой $P_C = 0,6$; для однопутных линий $0,2-0,4$;
- $e_{\text{уч}}$ — удельная расходная ставка, приходящаяся на один снятый с графика поезд. Для ориентировочных расчетов $e_{\text{уч}} = 3 \div 4,5$ руб;
- m_0 — число дополнительных путей для погашения неравномерности движения:

$$m_0 = m_{\Pi} - m_{\Gamma} - m_{\text{Д}}, \quad (7.2)$$

- m_{Π} — общее число путей в парке приема;
- m_{Γ} — число путей для выполнения технологических операций:

$$m_{\Gamma} = \lambda_{\text{об}};$$

- $m_{\text{Д}}$ — число дополнительных путей (ходовых, соединительных и др.).

Чтобы найти минимум функции (7.1), 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 табл. 7.1. Приведенные расходы на укладку путей при развитии парка по варианту i и сооружение дополнительных устройств на горке

$$E_{ij}^{\text{пр}} = E_{\text{и}} (K_i^{\text{пр}} + K_j^{\Gamma}) + E_i^{\text{пр}} + E_j^{\Gamma},$$

Таблица 7.1

Техническое оснащение сортировочной горки

Число путей			Устройства				Число горочных локомотивов	Горочный технологический интервал t_{Γ} , мин
на-двига	рос-пуска	обход-ных	АЗСР и ТГЛ	АРС	Путе-провод под горкой	Петле-вой 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	»	»	»	»	5	9,7
4	3	2	»	»	»	»	5	9,2
4	3	2	»	»	»	Есть	5	8,6

Приведенные расходы $E_{ij}^{\text{пр}}$, тыс. руб.

Варианты развития парка приема	Вариант развития сортировочной горки					
	Исходный	1 ($t_{\Gamma 1} = 0,27$)	2 ($t_{\Gamma 2} = 0,26$)	3 ($t_{\Gamma 3} = 0,23$)	4 ($t_{\Gamma 4} = 0,22$)	5 ($t_{\Gamma 5} = 0,19$)
Исходный ($m_0 = 1,5$)	0	22	46,4	114,4	130,9	217,9
1 — ($m_{01} = 2,5$)	20,5	42,5	66,9	134,9	151,4	238,4
2 — ($m_{02} = 3,5$)	56	78	102,4	170,4	186,9	273,9
3 — ($m_{03} = 4,5$)	96	118	142,4	210,4	226,9	313,9
4 — ($m_{04} = 5,5$)	141	163	187,4	255,4	271,9	358,9

¹ При $m_{\Pi} = 9$ появляются затраты на снос сооружений.

где $K_i^{\text{пр}}$, K_j^{Γ} — соответственно капитальные вложения в реконструкцию парка приема и горки;

$E_i^{\text{пр}}$, E_j^{Γ} — соответственно расходы на их текущее содержание

Например, если в парке приема уложить 1 дополнительный путь длиной 850 м (что требует укладки двух стрелочных переводов), а на горке ввести АЗСР и ТГЛ, то

$$E_{11}^{\text{пр}} = 0,12 (105\,000 + 25\,000 + 10\,000 \cdot 2) + 7 \cdot 00 + 19\,000 = 44\,900 \text{ руб}$$

Аналогично рассчитывают значения $E_{ij}^{\text{пр}}$ 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, $t_{\Gamma} = 16,0$ мин; ввод АЗСР и ТГЛ, $t_{\Gamma} = 15,7$ мин;

Таблица 7.3

Приведенные расходы $E_{ij}^{\text{пр}}$ в вариантах, тыс. руб.

Вариант развития парка приема	Вариант развития сортировочной горки				
	Исходный	1 ($t_{\Gamma 1} = 0,27$)	2 ($t_{\Gamma 2} = 0,26$)	3 ($t_{\Gamma 3} = 0,23$)	4 ($t_{\Gamma 4} = 0,22$)
Исходный ($m_0 = 1,5$)	0	120	155	282	336
1 — ($m_{01} = 2,5$)	105	225	260	387	441
2 — ($m_{02} = 3,5$)	260	380	415	542	596
3 — ($m_{03} = 4,5$)	712	832	867	994	1048

использование на горке трех маневровых локомотивов, $t_r = 13,8$ мин;
 строительство второго пути роспуска, $t_r = 13,2$ мин;
 строительство третьего пути надвига и ввод четвертого горочного локомотива,
 $t_r = 11,3$ мин.

Число путей в парке приема по местным территориальным ограничениям можно довести до 9. Варианты развития станции и приведенные расходы в них E_{ij}^{np} в тыс. руб. приведены в табл. 7.2. 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 число дополнительных путей, которое можно использовать для погашения неравномерности без реконструкции парка [см. формулу (7.2)],

$$m_0 = 5 - 3 \cdot 0,5 - 2 = 1,5.$$

Подставляя в формулу (7.1) данные для исходного варианта, получим:

$$E_{00} = 365 \cdot 72 \left\{ 15 \cdot 0,8 \left[0,28 + \frac{3 \cdot 0,28^2 (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14)}{2(1 - 2,4 \cdot 0,28)} + 0,5 \right] + \frac{(3 \cdot 0,28)^{1,5+1} (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14) 15 \cdot 1,1 \cdot 0,8}{2 \cdot 3(1 - 3 \cdot 0,28)} + \frac{(3 \cdot 0,28)^{1,5+1} (0,7^2 + 0,3^2)}{2} (4,0 \cdot 1,3 + 0,9 \cdot 3,5) \right\} + 0 = 516,5 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_{01} = 365 \cdot 72 \left\{ 15 \cdot 0,8 \left[0,27 + \frac{3 \cdot 0,27^2 (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14)}{2(1 - 2,4 \cdot 0,27)} + 0,5 \right] + \frac{(3 \cdot 0,27)^{1,5+1} (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14) 15 \cdot 1,1 \cdot 0,8}{2 \cdot 3(1 - 3 \cdot 0,27)} + \frac{(3 \cdot 0,27)^{1,5+1} (0,7^2 + 0,3^2)}{2} (4,0 \cdot 1,3 + 0,9 \cdot 3,5) \right\} + 22\,000 = 486,1 \text{ тыс. руб.}$$

Продолжая оптимизацию по переменной t_r , находим $E_{02} = 469,9$; $E_{03} = 455,5$; $E_{04} = 452,4$; $E_{05} = 493,7$. Так как расходы при развитии горки по варианту 4 увеличились, то фиксируем $t_r = 0,22$, а оптимизируем функцию (7.1) по переменной m_0 . Увеличив m_0 на 1, находим приведенные расходы:

$$E_{14} = 365 \cdot 72 \left\{ 15 \cdot 0,8 \left[0,22 + \frac{3 \cdot 0,22^2 (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14)}{2(1 - 2,4 \cdot 0,22)} + 0,5 \right] + \frac{(3 \cdot 0,22)^{2,5+1} (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14) 15 \cdot 1,1 \cdot 0,8}{2 \cdot 3(1 - 3 \cdot 0,22)} + \frac{(3 \cdot 0,22)^{2,5+1} (0,7^2 + 0,3^2)}{2} (4,0 \cdot 1,3 + 0,9 \cdot 3,5) \right\} + 151\,400 = 451,7 \text{ тыс. руб.}$$

Сравнение E_{14} с E_{04} показывает, что расходы уменьшились ($451,7 < 452,4$) и процесс оптимизации по m_0 следует продолжить. Выполнив расчет при $t_r = 0,22$; $m_0 = 3,5$, получим $E_{24} = 473,2$ тыс. руб. Расходы увеличились ($473,2 > 451,7$), поэтому проектное решение с $t_r = 0,22$ 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 t_r :

$$E_{23} = 365 \cdot 72 \left\{ 15 \cdot 0,8 \left[0,23 + \frac{3 \cdot 0,23^2 (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14)}{2(1 - 2,4 \cdot 0,23)} + 0,5 \right] + \frac{(3 \cdot 0,23)^{3,5+1} (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14) 15 \cdot 1,1 \cdot 0,8}{2 \cdot 3(1 - 3 \cdot 0,23)} + \right.$$

$$\left. + \frac{(3 \cdot 0,23)^{3,5+1} (0,7^2 + 0,3^2) (4,0 \cdot 1,3 + 0,9 \cdot 3,5)}{2} \right\} + 170\,400 = 472,8 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_{25} = 524,4 \text{ тыс. руб.}$$

Учитывая, что на добавочных шагах расходы увеличились, оптимальное решение — строительство обходного пути, ввод АЗСР и ТГЛ, третьего маневрового локомотива, а также строительство второго пути роспуска. В парке приема следует дополнительно уложить 1 путь, так как $m_0^{opt} = 2,5$, что на 1 больше, чем

$m_0^{min} = 1,5$. В этом случае приведенные расходы будут минимальны и составят 451,7 тыс. руб. Оптимальный уровень загрузки сортировочной горки при таком решении 0,66, а общее число путей в парке приема 6. Для реализации этого варианта необходимо израсходовать 441 тыс. руб. Если не осуществлять реконструкцию горки, а число путей принять в соответствии с [6] (загрузка горки 85%), то приведенные расходы будут равны 523,8 тыс. руб. Это приведет к потере 523,8 — 451,7 = 72,1 тыс. руб. приведенных расходов, что при сроке окупаемости $t_{ок} = 8$ лет эквивалентно 578,8 тыс. руб. капитальных вложений.

Пример 7.2. Для условий примера 7.1 определим оптимальный вариант проектного решения, если известно, что на реконструкцию можно израсходовать 260 тыс. руб., потребные капитальные затраты на развитие парка и горки по вариантам приведены в табл. 7.3.

Решение. Возможные варианты развития парка приема и сортировочной горки при заданном ограничении капитальных вложений (260 тыс. руб.) показаны в табл. 7.3 выше жирной линии. Учитывая, что число их небольшое, методом сплошного перебора определяем оптимальный вариант. Используя результаты примера 7.1, принимаем приведенные расходы (в тыс. руб.):

$$E_{00} = 516,5; \quad E_{01} = 486,1; \quad E_{02} = 469,9;$$

$$E_{10} = 505,7; \quad E_{11} = 476,8; \quad E_{12} = 462,4;$$

$$E_{20} = 514,9.$$

Расходы E_{ij} минимальны при развитии парка приема по варианту 1, а горки — по варианту 2 ($E_{12} = 462,4$ тыс. руб.), т. е. в парке надо уложить 1 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 тыс. руб., то целесообразнее вариант с приобретением третьего маневрового локомотива и сохранением существующего числа путей в парке приема ($E_{12} > E_{03}$; $462,4 > 455,5$).

Пример 7.3. Найдем 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 7.1, находим, что приведенные расходы минимальны (452,4 тыс. руб.), если на сортировочной горке уложить второй путь роспуска и обходной, оборудовать ее АЗСР и ТГЛ и ввести третий локомотив ($t_r = 13,2$ мин).

7.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНЦИЙ

Пример 7.4. Определим 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 $m_c = 50$ вагонов в сутки; 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 1 локомотиво-ч $e_{л-ч} = 6,5$ руб.; стоимость 1 вагоно-ч $e_{в-ч} = 0,3$ руб.; стоимость сооружения 1 м разгрузочного пути $K_{п} = 46$ руб; годовые отчисления на амортизацию, ремонт и содержание разгрузочного пути $\alpha_{п} = 0,06$; стоимость

машины БРМ-80 $K_M = 40\ 000$ руб; техническая производительность машины $\Pi = 80$ т/ч; система оплаты труда сдельная.

Решение. Длина разгрузочного пути со стационарными разгрузочными машинами

$$L_{\Pi} = l_{\Pi} + 2l_{\Pi} \quad (7.3)$$

где l_{Π} — длина локомотива, м;
 l_{Π} — длина фронта подачи, м.

$$l_{\Pi} = \frac{m_c l_{\text{ваг}}}{X};$$

$l_{\text{ваг}}$ — средняя длина вагона, равная 14 м;
 X — оптимальное число подач-уборок.

Чтобы определить оптимальную длину разгрузочного пути, необходимо минимизировать суммарные приведенные затраты, зависящие от числа механизмов и подач

$$E = E_a + E_{\text{в.ч}} + E_M + E_0 + E_{\Pi} \quad (7.4)$$

где E_a — годовые отчисления на амортизацию и ремонт погрузочно-разгрузочных машин:

$$E_a = K_M (\alpha + E_N) z;$$

E_N — коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,12,

K_M — стоимость погрузочно-разгрузочной машины, руб.;

α — годовые отчисления на амортизацию, доли единицы;

z — число погрузочно-разгрузочных машин;

$E_{\text{в.ч}}$ — расходы, связанные с простоем вагонов при погрузке и выгрузке:

$$E_{\text{в.ч}} = 365 m_c e_{\text{в.ч}} \left(\frac{m_c g}{Xz\Pi} + t_M X \right);$$

E_M — затраты на маневровую работу:

$$E_M = 365 X t_M e_{\text{л.ч}};$$

E_0 — затраты, связанные с накоплением вагонов.

$$E_0 = m_c (1 + \gamma_{\text{вх}}^2) 4380 e_{\text{в.ч}} / X;$$

E_{Π} — приведенные расходы на содержание и ремонт пути:

$$E_{\Pi} = \left(\frac{2m_c l_{\text{ваг}}}{X} + l_{\Pi} \right) K_{\Pi} (\alpha_{\Pi} + E_N).$$

После подстановки всех этих выражений в уравнение (7.4) и преобразования его получим

$$E = a_1 z + a_2 / Xz + a_3 X + a_4 / X + a_5 \quad (7.5)$$

$$a_1 = K_M (\alpha + E_N); \quad a_2 = \frac{365 m_c^2 g e_{\text{в.ч}}}{\Pi};$$

$$a_3 = 365 t_M (e_{\text{л.ч}} + m_c e_{\text{в.ч}});$$

$$a_4 = m_c (1 + \gamma_{\text{вх}}^2) 4380 e_{\text{в.ч}} + 2m_c l_{\text{ваг}} K_{\Pi} (\alpha_{\Pi} + E_N);$$

$$a_5 = K_{\Pi} l_{\Pi} (\alpha_{\Pi} + E_N).$$

Найдем минимум функции (7.5), предварительно определив расчетные коэффициенты:

$$a_1 = 40\ 000 (0,10 + 0,12) = 8800,$$

$$a_2 = 365 \cdot 50^2 \cdot 60 \cdot 0,3 / 80 = 205\ 312;$$

$$a_3 = 365 \cdot 0,8 (6,5 + 50 \cdot 0,3) = 6278;$$

$$a_4 = 50 (1 + 0,4^2) 4380 \cdot 0,3 + 2 \cdot 50 \cdot 14 \cdot 46 (0,06 + 0,12) = 87\ 804,$$

$$a_5 = 46 \cdot 16,97 (0,06 + 0,12) = 140,5,$$

$$E = 8800z + 205\ 312 / Xz + 6278X + 87\ 804 / X + 140,5.$$

Для упрощения расчетов разделим коэффициенты при неизвестных на 8800 и получим

$$E' = z + 23,33 / Xz + 0,71X + 9,98 / X + 0,02 \quad (7.6)$$

Составим матрицу дискретных переменных, приняв $X_{11}^{\text{min}} = 3$ (по условиям технологии работы грузового пункта) и рассчитав

$$z_{21}^{\text{min}} = \frac{m_c g}{(T_p - t_M X) \Pi} = \frac{50 \cdot 60}{(24 - 0,8 \cdot 3) 80} = 1,7 \approx 2,$$

$$X_{1n}^{\text{max}} = 8, \quad z_{2n}^{\text{max}} = 6,$$

$$A = \begin{vmatrix} 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 6 \end{vmatrix} X.$$

Фиксируем значение переменной $X = 3$ и изменяем z (по координатный спуск). Шаг 1. $X = 3; z = 2$ [см формулу (7.6)].

$$E_{32} = 2 + 23,33 / 3 \cdot 2 + 0,71 \cdot 3 + 9,98 / 3 + 0,02 = 11,37$$

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	10,13	10,24

Оптимальное значение X после второго шага 5. Исследуем точку с координатами $X = 5, z = 3$ на оптимум.

Добавочный шаг — увеличим переменную X до 6 и оптимизируем функцию по переменной $z = 4$. Тогда $E_{64} = 10,91$. Расходы увеличились, поэтому точка $X = 5; z = 3$ — глобальный оптимум, функции (7.4). Подставляя $X_{\text{опт}} = 5$ в уравнение (7.3), получим оптимальную длину выгрузочного пути:

$$L_{\Pi} = 2 \cdot 50 \cdot 14 / 5 + 16,97 = 297 \text{ м.}$$

Пример 7.5. В узле необходимо запроектировать новую сортировочную станцию, рассчитанную на переработку 72 поездов в сутки при загрузке каналов отправления $\rho_0 = 0,8$. Определим параметры станции для обслуживания транзита с переработкой, если:

среднее число вагонов в составе $m_c = 56$;

коэффициент вариации горючего технологического интервала $\gamma_r = 0,3$, интервалов входящего потока $\gamma_{\text{вх}} = 0,7$, интервалов окончания накопления в парке сортировки $\gamma_N = 1$, времени обработки состава на вытяжных путях $\gamma_{\text{ф}} = 0,4$, интервалов вывода в парк отправления $\gamma = 0,8$, интервалов отправления $\gamma_{\text{от}} = 0,7$. Число назначений плана формирования $\kappa_N = 18$;

среднее время 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; среднее время 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 1 поезда-ч, учитываемая при задержке поезда, $Le_{\text{п.ч}} = 15$ руб.; затраты, связанные с остановкой поезда, $e_0 = 4$ руб.; стоимость 1 составо-ч $e_{\text{с.ч}} = 15$ руб.; стоимость повторной сортировки одного вагона $e_{\text{пс}} = 0,3$ руб.; приведенные расходы на строительство и содержание: пути в парке приема и отправления — 28 тыс. руб., в парке сортировки — 24 тыс. руб., вы-

тяжного пути вместе с локомотивом — 70 тыс. руб.¹. Затраты на развитие горки и другие показатели работы подсистемы расформирования принять из примера 7.1, к станции примыкают два подхода. В парке приема и отправления следует уложить по одному ходовому пути

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 (7.1)];

на ожидание накопленными составами окончания формирования на вытяжных путях, их развитие, а также развитие сортировочного парка:

$$E_{es}^{of} = m_B E_B + m_K E_C + 365 N e_{c.ч} \gamma_\Phi \left[\frac{N t_\Phi^2 (\gamma_n^2 + \gamma_{of}^2) (1 + \beta)}{48 m_B - 2 N t_\Phi} + t_\Phi \right],$$

где E_B, E_C — соответственно приведенные расходы на строительство и содержание вытяжного пути с локомотивом и укладку пути в сортировочном парке;

γ_Φ — коэффициент, учитывающий влияние неопределенности состояния сортировочной станции на реальную экономию вагоно-часов в ожидании формирования на вытяжных путях ($\gamma_\Phi = 0,7 \div 0,8$);

на повторную сортировку вагонов

$$E_{se}^{nc} = 365 e_{nc} \frac{m_c N}{\kappa_n} \sum_{s=1}^{s=a-m_K} SP_{m_K+s}, \quad (7.7)$$

где e_{nc} — стоимость повторной сортировки 1 вагона, руб.;

κ_n — число назначений плана формирования;

m_K — число дополнительных путей в сортировочном парке для погашения неравномерности накопления составов;

Sa — максимальное число составов, которые могут накопиться за время T_s ;

P_{m_K+s} — вероятность накопления $m_K + s$ составов за период занятия составом сортировочного пути после окончания накопления;

T_s — время занятия пути после накопления состава:

$$T_s = t_\Phi + t_e^{ож. оф} + t_k^{ож. выст.};$$

$t_e^{ож. оф}$ — время ожидания операций по окончании формирования.

$$t_e^{ож. оф} = \frac{N t_\Phi^2 (\gamma_n^2 + \gamma_{of}^2) (1 + \beta)}{48 m_B - 2 N t_\Phi};$$

$t_k^{ож. выст.}$ — время ожидания вывоза состава из-за занятости путей парка отправления при развитии его по варианту k :

$$t_k^{ож. выст.} = \frac{\rho_o^{m+1} (\gamma_{выст}^2 + \gamma_{от}^2) (1 + \beta)}{\frac{N}{12} (1 - \rho_o)}.$$

Вероятность накопления $m_K + s$ составов

$$P_{m_K+s} = \frac{(\lambda T_s)^{m_K+s}}{(m_K + s)!} e^{-\lambda T_s};$$

¹ Для упрощения расчетов принято, что приведенные расходы на строительство путей не зависят от их числа.

на развитие парка отправления и связанных с простоем поездов в ожидании выезда 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 $m_{оп}$ — число дополнительных путей в парке приема для погашения неравномерности движения;

$E_{оп}$ — приведенные расходы на строительство и содержание пути в парке отправления;

γ_o — коэффициент, отражающий реальную экономию от сокращения простоя и времени обработки в парке отправления: $\gamma_o = 0,9 \div 0,95$.

Из анализа отдельных статей расходов следует, что в качестве оптимизируемых переменных следует принять $m_o, i_r, m_K, m_B, m_{оп}$. В соответствии с общим алгоритмом их минимальные значения по технологии работы следует принять: $m_o^{min} = 1,5; i_r = 0,28; m_K = 1; m_B = 2; m_{оп} = 1$. Подставляя их в выражения для расчета отдельных статей расходов, получим

$$E_K = 365 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 0,95 \left[\frac{0,8^{1+1} (0,8^2 + 0,7^2) (1 + 0,14)}{\frac{72}{12} (1 - 0,8)} + 1,0 \right] + 1 \cdot 28 \cdot 000 = 659,8 \text{ тыс. руб.}$$

Для расчета расходов, вызванных повторной сортировкой, предварительно рассчитываем при $m_K = 1$:

$$t_k^{ож. выст.} = \frac{0,8^2 (0,8^2 + 0,7^2) (1 + 0,14)}{72 (1 - 0,8) : 12} = 0,69 \text{ ч};$$

$$t_e^{ож. оф} = \frac{72 \cdot 0,5^2 (1 + 0,4^2) (1 + 0,14)}{48 \cdot 2 - 2 \cdot 72 \cdot 0,5} = 0,99 \text{ ч};$$

$$T_s = 0,50 + 0,99 + 0,69 = 2,18 \text{ ч.}$$

При $T_s = 2,18$ ч значение $\sum SP_{m_K+s}$ приведено в табл. 7.4. Величины P_{m_K+s} целесообразно взять из таблиц распределения Пуассона [1]. В данном случае значение λT_s можно округлить до 6,5.

Подставляя значения $\sum SP_{m_K+s}$ в формулу (7.7), получим:

$$E_{se}^{nc} = (365 \cdot 0,3 \cdot 56 \cdot 72 / 18) \cdot 5,421 = 133 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_{es}^{of} = 2 \cdot 70 \cdot 000 + 1 \cdot 24 \cdot 000 + 365 \cdot 72 \cdot 15 \cdot 0,8 \times$$

$$\times \left[\frac{72 \cdot 0,5^2 (1 + 0,4^2) (1 + 0,14)}{48 \cdot 2 - 2 \cdot 72 \cdot 0,5} + 0,5 \right] = 633,9 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы на функционирование подсистемы расформирования

$$E_{00}^* = 365 \cdot 72 \left\{ 15 \cdot 0,8 \left[0,28 + \frac{3 \cdot 0,28^2 (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14)}{2 (1 - 2,4 \cdot 0,28)} + 0,5 \right] + \frac{(3 \cdot 0,28)^{1,5+1} (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14) \cdot 15 \cdot 1,1 \cdot 0,8}{2 \cdot 3 (1 - 3 \cdot 0,28)} + \frac{(3 \cdot 0,28)^{1,5+1} (0,7^2 + 0,3^2) (4 \cdot 0,1,3 + 0,9 \cdot 3,5)}{2} \right\} + 1,5 \cdot 28 \cdot 000 = 558,5 \text{ тыс. руб.}$$

* Для упрощения расчета расходы на развитие и эксплуатацию сортировочной горки для варианта с $i_r = 0,28$ ч приняты равными нулю. Для остальных вариантов учтены только дополнительные расходы.

Таблица 7.4

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

Продолжение табл. 7.4.

S	9	10	11	12	13	14	$\sum SP_{m_k+s}$
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	5,421

Суммарные расходы при $m_0 = 1,5$; $t_r = 0,28$; $m_k = 1$; $m_b = 2$; $m_{оп} = 1$

$$\sum_{m_{оп}=1} E = 558,5 + 633,9 + 133 + 659,8 = 1985,3 \text{ тыс. руб.}$$

Увеличив $m_{оп}$ на 1, получим

$$\sum_{m_{оп}=2} E = 558,5 + 633,9 + 121,3 + 636,3 = 1950,0 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы уменьшились, поэтому целесообразно величину $m_{оп}$ увеличить ($m_{оп} = 3$). Тогда

$$\sum_{m_{оп}=3} E = 558,5 + 633,9 + 120,7 + 623,2 = 1936,9;$$

$$\sum_{m_{оп}=4} E = 558,5 + 639,9 + 120,5 + 617,6 = 1930,5;$$

$$\sum_{m_{оп}=5} E = 558,5 + 633,9 + 120,4 + 619,3 = 1932 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы увеличились, поэтому $m_{оп} = 4$ фиксируется и оптимизация продолжается по переменной m_b :

$$E_{00} = 558,5 \text{ тыс. руб.}; t_k^{ож. выст} = 0,35 \text{ ч.};$$

$$t_e^{ож. оф} = \frac{72 \cdot 0,5^2 (1 + 0,4^2) (1 + 0,14)}{(48 \cdot 3 - 2 \cdot 72 \cdot 0,5)} = 0,33 \text{ ч.};$$

$$T_s = 0,50 + 0,33 + 0,35 = 1,18 \text{ ч.};$$

$$\lambda T_s = 3,5; \sum SP_{m_k+s} = 2,5; E_{se}^{nc} = 61,3 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_k = 617,6 \text{ тыс. руб.}; E_{se}^{оф} = 495,7 \text{ тыс. руб.};$$

$$\sum_{\substack{m_{оп}=4 \\ m_b=3}} E = 558,5 + 61,3 + 617,6 + 495,7 = 1733,1 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы при увеличении числа вытяжных путей сократились, поэтому необходимо увеличить m_b до 4:

$$E_{00} = 558,5; t_k^{ож. выст} = 0,35 \text{ ч.}; t_k^{ож. оф} = 0,20 \text{ ч.};$$

$$T_s = 0,50 + 0,20 + 0,35 = 1,05; \lambda T_s \approx 3; \sum SP_{m_k+s} = 2,02;$$

$$E_{se}^{nc} = 49,5 \text{ тыс. руб.}; E_k = 617,6 \text{ тыс. руб.}; E_{es}^{оф} = 524,8 \text{ тыс. руб.};$$

$$\sum_{\substack{m_{оп}=4 \\ m_b=4}} = 558,5 + 49,5 + 617,6 + 524,8 = 1750,4 \text{ тыс. руб.}$$

Так как $1750,4 > 1733,1$, процесс оптимизации по переменной m_b заканчивается. Фиксируя $m_{оп} = 4$; $m_b = 3$, изменяем m_k . При $m_k = 2$:

$$E_{00} = 558,5; t_k^{ож. выст} = 0,35 \text{ ч.}; t_k^{ож. оф} = 0,33 \text{ ч.};$$

$$T_s = 1,18 \text{ ч.}; \lambda T_s = 3,3; \sum SP_{m_k+s} = 1,64;$$

$$E_{se}^{nc} = 40,2 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_k = 617,6 \text{ тыс. руб.}; E_{es}^{оф} = 548,8 \text{ тыс. руб.};$$

$$\sum_{\substack{m_{оп}=4 \\ m_b=4 \\ m_k=2}} E = 558,5 + 40,2 + 617,6 + 548,8 = 1765,1 \text{ тыс. руб.}$$

Оптимизация расходов по переменным t_r и m_0 показана в табл. 7.5. Полученное проектное решение 1669 тыс. руб. — наилучшее, при этом на станции следует:

в парке приема уложить $m_{п} = 0,5 \cdot 3 + 1,5 + 2 = 5$ путей;
построить механизированную сортировочную горку, оборудованную АСЗР,
с двумя путями роспуска, эксплуатировать на ней 3 маневровых локомотива;

Таблица 7.5

Приведенные расходы, тыс. руб.

m_0	t_r	$E_{t_r}^*$	E_{es}^{nc}	$E_{es}^{оф}$	E_k	$\sum E$
1,5	0,28	558,5	61,3	495,7	617,6	1733,1
	0,27	528,1	61,3	495,7	617,6	1702,7
	0,26	511,9	61,3	495,7	617,6	1686,5
	0,23	497,5	61,3	495,7	617,6	1672,1
	0,22	494,4	61,3	495,7	617,6	1669,0
	0,19	535,7	61,3	495,7	617,6	1710,3
2,5	0,22	501,2	61,3	495,7	617,6	1675,8

8. ПОЭТАПНОЕ РАЗВИТИЕ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

в сортировочном парке иметь $m_c = 25 + 4 + 1 = 30$ путей; число вытяжных путей принять равным 3; число путей в парке отправления $m_{от} = 3 \cdot 1 + 4 + 1 = 8$. Простой транзитного вагона с переработкой при оптимальных параметрах развития сортировочной станции

$$t_{тр\ сп} = t_{об} + t_{ож}^p + t_r + t_{нак} + t_s + t_{от} + t_{ож}^o, \quad (7.8)$$

где $t_{ож}^p$ — среднее время ожидания расформирования на горке:

$$t_{ож}^p = \frac{\lambda t_r^2 (\gamma_{вх}^2 + \gamma_r^2) (1 + \beta)}{2(1 - \lambda t_r)};$$

$t_{нак}$ — среднее время простоя вагонов под накоплением:

$$t_{нак} = \frac{c k_H}{N};$$

c — параметр накопления, равный для средних условий 10—11,3;

$t_{ож}^o$ — среднее время ожидания отправления:

$$t_{ож}^o = \frac{\rho_o^2 (\gamma_{выст}^2 + \gamma_{от}^2) (1 + \beta)}{2\lambda (1 - \rho_o)}.$$

Подставляя исходные данные, получим:

$$t_{ож}^p = 3 \cdot 0,22^2 (0,7^2 + 0,3^2) (1 + 0,14) / [2(1 - 3 \cdot 0,22)] = 0,14 \text{ ч};$$

$$t_{нак} = 10,3 \cdot 18 / 72 = 2,57 \text{ ч};$$

$$t_{ож}^o = [0,8^2 (0,8^2 + 0,7^2) (1 + 0,14)] / [2 \cdot 3 (1 - 0,8)] = 0,69 \text{ ч}.$$

Подставим в выражение (7.8) расчетные и исходные данные:

$$t_{тр\ сп}^o = 0,5 + 0,14 + 0,22 + 2,57 + 1,18 + 1,0 + 0,69 = 6,3 \text{ ч}.$$

8.1. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ УЗЕЛ

Пример 8.1. Определим оптимальную этапность развития железнодорожного узла O (рис. 8.1) в течение 25 лет. Расчетные размеры движения приведены в табл. 8.1 и 8.2.

Узел выполняет значительный объем местной работы. На грузовой двор в исходном году производится 8 подач-уборок в сутки. В последующем число подач возрастает на одну в каждую пятiletку. На подъездные пути, примыкающие к четному приемо-отправочному парку, поступают 4 подачи.

По существующей технологии пассажирские поезда из K принимают по главному пути II через приемо-отправочный парк $ПО_ч$ в пассажирский парк, грузовые транзитные на $KП$ из $ПО_ч$ отправляются тоже по II главному пути. Транзитные поезда, следующие из K на $П$, принимают по II 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, позволяющих 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:

$$E = \sum_{t=0}^{t=t_p} \frac{K_t}{(1 + E_{нп})^t} + \sum_{t=1}^{t=t_p} \frac{\mathcal{E}_t}{(1 + E_{нп})^t} \rightarrow \min,$$

где K_t — капитальные вложения в развитие железнодорожного узла в году t планового периода;

\mathcal{E}_t — то же эксплуатационные расходы,

$E_{нп}$ — норматив приведения разновременных затрат к расчетному году, равный 0,08;

t — срок отдаления затрат от исходного года.

Обозначим $(1 + E_{нп})^{-t} = \eta_t$. Тогда выражение примет вид:

$$E = \sum_{t=0}^{t=t_p} K_t \eta_t + \sum_{t=1}^{t=t_p} \mathcal{E}_t \eta_t. \quad (8.1)$$

Значения η_t и $\sum_{t=1}^{t_p} \eta_t$ указаны в табл. 8.3

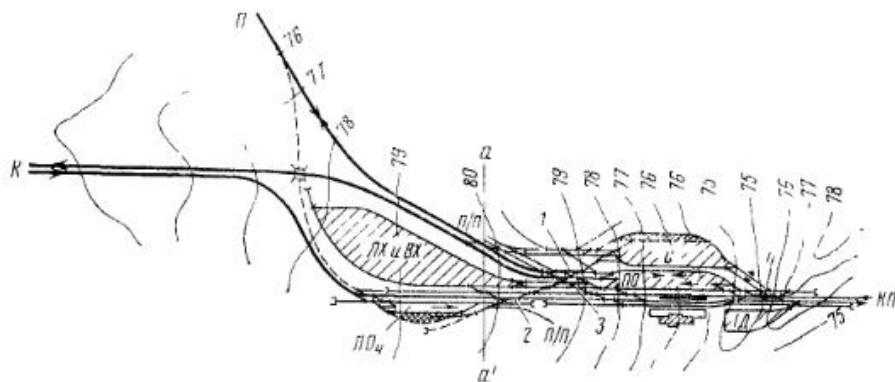


Рис. 8.1. Исходный вариант развития узла

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	
Итого	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 8.1

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	4	4	6	6	6	7	
КП	22	24	28	31	33	37	7	7	8	9	10	11	—					29	31	36	40	43	48	5	6	7	8	9	10	
Итого	29	33	38	42	46	51	14	16	18	20	23	25	29	31	36	40	43	48	72	80	92	102	112	124	15	16	21	22	25	27

Примечание: Числитель — грузовые поезда без переработки, знаменатель — с переработкой (в том числе сборные).

Коэффициент приведения разновременных затрат

t	η_t	$\sum_{t=1}^t \eta_t$	t	η_t	$\sum_{t=1}^t \eta_t$	t	η_t	$\sum_{t=1}^t \eta_t$
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 8 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 числа 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 числа путей в приемо-отправочном парке ПОД.

Схемы узла, соответствующие им, показаны на рис. 8.1 и 8.2, а, б.

Размеры работы узла в течение расчетного периода устанавливают современными методами прогнозирования, используя модели оптимальной сложности, а также учитывая распределение ошибок прогноза (см. гл. 12).

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 соору-

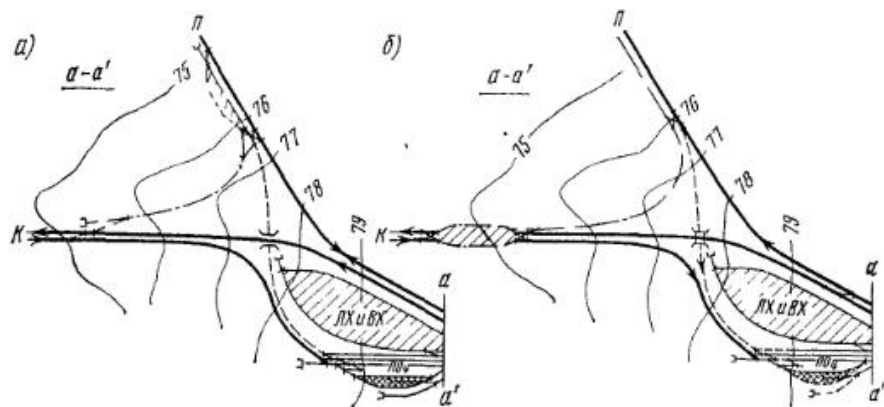


Рис. 8.2. Возможные варианты развития узла

жений. В общем виде капитальные затраты на этапное развитие узла описывают матрицей, где $j = 1, 2, \dots, n$:

$$K_{ij} = \begin{vmatrix} 0 & \sum K_{01} & \sum K_{02} & \dots & \sum K_{0j} & \dots & \sum K_{0n} \\ M & 0 & \sum K_{12} & \dots & \sum K_{1j} & \dots & \sum K_{1n} \\ M & M & 0 & \dots & \sum K_{2j} & \dots & \sum K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M & M & M & \dots & 0 & \dots & \sum K_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M & M & M & \dots & M & \dots & 0 \end{vmatrix}$$

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. табл. 8.2). Для заполнения матрицы предварительно составляем ведомость объемов работ по варианту j (табл. 8.4). В реконструируемом узле технологически нецелесообразно переходить от варианта 2 к вариантам 3, 4, 6, 7, от варианта 3 к вариантам 6, 7, 8, от варианта 4 к вариантам 6, 7, 8 и т. д. Матрица капитальных затрат при переходе от варианта j к варианту $j+k$ для $t_p = 0$ приведена в табл. 8.5.

Если узел будет реконструирован к концу 5-го расчетного года, то матрицу капитальных затрат пересчитываем по формуле

$$K_t = K_{j, j+k} \eta_t.$$

Для периода $t_p = 5$ капитальные вложения при переходе от варианта j к варианту $j+k$ приведены в табл. 8.6 ($\eta_{t=5} = 0,681$). Аналогично рассчитывается K_t для других расчетных сроков. Если варианты значительно отличаются друг от друга затратами времени на передвижение под-

Стоимость работ при развитии узла O

Вариант развития	Работы	Единица измерения	Объем работы	Стоимость единицы, тыс. руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
0	Развитие сортировочного парка, предусмотрено во всех вариантах, поэтому затраты на него не учитываются при расчете капитальных вложений	—	—	—	0
1	Строительство соединительного пути	1 км	2,5	195,0	488
	Укладка стрелочных переводов 1/11	1 шт.	6	5,0	30
	Строительство путепровода	1 шт.	1	147	147
	Итого	—	—	—	665
2	Работы варианта 1	—	—	—	665
	Укладка двух путей в приемо-отправочном парке	1 км	2,0	140,1	280,2
	Итого	—	—	—	945,2
3	Строительство вспомогательной станции на подходе II	1 шт.	1	—	770
	Строительство соединительного пути	1 км	1,5	195,0	293
	Итого	—	—	—	1063
4	Работы вариантов 3+1	—	—	—	1728
	Работы варианта 4	—	—	—	1728
5	Увеличение числа путей в ПО _ч	1 км	2,0	140,1	280,2
	Итого	—	—	—	2008,2
6	Строительство вспомогательной станции на подходе К	—	1	920	920
	Строительство соединительного пути	1 км	1,5	195	293
	Итого	—	—	—	1213
7	Работы варианта 6	—	—	—	1213
	Строительство путепроводной развязки	1 шт.	1	147	147
	Укладка соединительного пути	1 км	2,5	195,0	488
	Укладка стрелочных переводов 1/11	1 шт.	6	5,0	30
	Итого	—	—	—	1878
8	Работы варианта 7	—	—	—	1878
	Укладка дополнительных путей в приемо-отправочном парке	1 км	2,0	140,1	280,2
	Итого	—	—	—	2158,2

Таблица 8.5

Капитальные вложения в развитие узла *O*
в исходном году

Вариант <i>j</i>	Вариант <i>j + k</i>								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	665	945	1063	1728	2008	1213	1878	2158
1	<i>M</i>	0	280	<i>M</i>	1063	1343	548	1213	1493
2	<i>M</i>	<i>M</i>	0	<i>M</i>	<i>M</i>	1063	<i>M</i>	<i>M</i>	1213
3	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	665	945	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
4	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	280	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
5	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
6	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	665	945
7	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	280
8	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0

Таблица 8.6

Капитальные вложения в развитие узла *O*
в 5-м году планового периода

Вариант <i>j</i>	Вариант <i>j + k</i>								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	453	644	724	1177	1367	826	1279	1469
1	<i>M</i>	0	191	<i>M</i>	727	915	373	826	1017
2	<i>M</i>	<i>M</i>	0	<i>M</i>	<i>M</i>	724	<i>M</i>	<i>M</i>	826
3	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	453	644	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
4	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	191	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
5	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
6	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	453	644
7	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	191
8	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0

Таблица 8.7

Расстояние пробега поезда, км

Из	На			Узел
	<i>K</i>	<i>П</i>	<i>КП</i>	
<i>K</i>	0	$\frac{13,73}{14,13}$	$\frac{10,15}{10,15}$	$\frac{—}{7,35}$
<i>П</i>	$\frac{13,71}{14,13}$	0	$\frac{9,58}{9,58}$	$\frac{—}{6,78}$
<i>КП</i>	$\frac{10,18}{10,18}$	$\frac{9,58}{9,58}$	0	$\frac{—}{2,8}$
Узел	$\frac{—}{7,38}$	$\frac{—}{6,78}$	$\frac{—}{2,8}$	0

вижного 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.

Шаг 3. Расчет эксплуатационных расходов. Годовые эксплуатационные расходы в варианте *j* развития узла

$$\mathcal{E}_t = \sum_{r=1}^d \mathcal{E}_{rtj},$$

где $r = 1, 2, \dots, d$ — статьи расходов;

\mathcal{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*

$$\mathcal{E}_{1tj} = 365 \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^{\phi} e_{sit} N_{sit} l_{sitj};$$

$$\begin{pmatrix} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \\ t = 1, 2, \dots, t_p \\ s = 1, 2, \dots, \phi \end{pmatrix},$$

где e_{sit} — себестоимость 1 поездо-км для поезда категории *i*;

N_{sit} — число поездов категории *i*, поступающих в узел с подхода *s* в году *t*;

l_{sitj} — расстояние следования поезда категории *i* с подхода *s* в варианте *j*.

Составим таблицы расстояний пробега поездов в узле, соответствующие варианту *j* развития. Пример ее для исходного варианта приведен в табл. 8.7: числитель — пассажирское движение, знаменатель — грузовое движение (транзитное без и с переработкой).

Годовые затраты на пробег поездов по годам расчетного периода показаны в табл. 8.8—8.11. Себестоимость 1 поездо-км пассажирского поезда принята равной 2,3 руб., грузового транзитного без переработки — 2,72 руб., с переработкой — 2,72 руб., сборного — 1,88 руб.

Пробег поездных локомотивов в варианте 1 минимален, поэтому его не рассчитываем. Суммарные расходы на пробег поездов приведены в табл. 8.12.

В варианте 3 принято, что 20 % локомотивов от угловых поездов следуют в депо. Расстояние пробега 5,88 км. Стоимость 1 локомотиво-км 0,83 руб. Тогда расходы на пробег локомотивов для $t = 0$

$$\mathcal{E}_{\text{лок}} = 2 \cdot 3 \cdot 5,88 \cdot 0,83 = 10,6 \text{ тыс. руб.}$$

Аналогично рассчитаны расходы на пробег поездов и локомотивов в остальных вариантах развития узла (табл. 8.13).

2. Расходы, связанные с задержкой поездов транзитных с переработкой на подходах, ожиданием расформирования, \mathcal{E}_{2tj} определяют по формуле (7.1), учитывая неопределенность прогноза перспективных объемов работы и посуточные колебания поездопотока.

3. Расходы на задержки транзитных поездов в ожидании отправления определены по укрупненным ставкам:

$$\mathcal{E}_{3tj} = 365 \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^{\phi} e_{sit} N_{sit}^{TP} t_{sit}^{ож}.$$

Для расчета $t_{sit}^{ож}$ использована формула (4.2). Расходы эти суммированы с расходами, рассчитанными в п. 2 (см. табл. 8.13).

Затраты на пробег пассажирских поездов, тыс. руб.

С на- правле- 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
Л	23,0	23,0	23,0	34,5	34,5	34,5	—	—	—	—	—	—
КЛ	76,9	85,5	94	94	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

Продолжение табл. 8.8

С на- правле- ния	Итого											
	На направление											
	К/П											
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
Л	16,1	16,1	24,1	24,1	24,1	24,1	39,1	39,1	47,1	58,6	58,6	58,6
КЛ	—	—	—	—	—	—	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	282	305	322,2	339,2

Таблица 8.9

Затраты на пробег транзитных поездов без переработки, тыс. руб.

С на- правле- ния	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
Л	101,1	120,8	144,3	158,7	187,5	202,0	—	—	—	—	—	—
КЛ	224,4	242,6	283,0	313,0	333,5	374	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

Продолжение табл. 8.9.

С на- правле- ния	Итого											
	На направление											
	К/П											
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
Л	70,6	70,6	80,6	90,7	100,8	110,8	170,6	200,4	224,9	249,9	288,3	312,9
КЛ	—	—	—	—	—	—	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	780,5	877,8	1006,5	1114,7	1231,8	1360,8

Таблица 8 10

Затраты на пробег транзитных поездов с переработкой, тыс. руб.

Направление следования	Годы расчетного периода					
	0	5	10	15	20	25
Из К на О	29,2	29,2	36,5	36,5	43,8	43,8
» П » О	20,2	20,2	26,9	26,9	26,9	33,7
» КП » 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
» П » О	20,2	20,2	26,9	26,9	26,9	33,7
» КП » 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 8 11

Затраты на пробег сборных поездов, тыс. руб.

Направление следования	Годы расчетного периода					
	0	5	10	15	20	25
Из К	5,1	5,1	7,6	7,6	10,1	10,1
» П	4,7	4,7	9,3	9,3	9,3	9,3
» 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
» К	5,1	5,1	7,6	7,6	10,1	10,1
» 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 8 12

Суммарные расходы на пробег поездов, тыс. руб.

Поезда	Годы 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	1105,5	1221,0	1348,9
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
Всего	1145	1264	1469	1605	1759	1923

Таблица 8 13

Эксплуатационные расходы в вариантах развития узла О, тыс. руб./год

Вариант развития	Наименование эксплуатационных затрат	Годы расчетного периода					
		0	5	10	15	20	25
0	\mathcal{E}_1	1145	1264	1469	1605	1759	1923
	$\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$	63	89	142	199	292	406
	\mathcal{E}_4	41	51	69	85	105	125
	\mathcal{E}_6	—	—	—	—	—	—
	Итого	1249	1404	1680	1889	2156	2454
1	\mathcal{E}_1	1156	1276	1483	1620	1776	1942
	$\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$	79	106	161	235	348	487
	\mathcal{E}_4	43	54	73	89	111	133
	\mathcal{E}_6	18	18	18	18	18	18
	Итого	1296	1454	1735	1962	2253	2580
2	\mathcal{E}_1	1156	1276	1483	1620	1776	1942
	$\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$	47	69	113	174	279	394
	\mathcal{E}_4	92	53	70	86	107	129
	\mathcal{E}_6	42	42	42	42	42	42
	Итого	1287	1440	1708	1922	2204	2507
3	\mathcal{E}_1	1040	1130	1318	1442	1563	1714
	$\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$	29	37	65	95	143	207
	\mathcal{E}_4	36	45	58	74	92	109
	\mathcal{E}_6	56	56	56	56	56	56
	Итого	1161	1268	1497	1667	1854	2086
4	\mathcal{E}_1	1049	1139	1330	1455	1576	1729
	$\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$	54	69	104	156	227	339
	\mathcal{E}_4	37	46	63	75	94	112
	\mathcal{E}_6	74	74	74	74	74	74
	Итого	1214	1328	1511	1760	1971	2255
5	\mathcal{E}_1	1049	1139	1330	1455	1576	1729
	$\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$	22	32	56	95	158	246
	\mathcal{E}_4	35	44	60	72	90	115
	\mathcal{E}_6	98	98	98	98	98	98
	Итого	1204	1313	1544	1720	1922	2188

Вариант развития	Наименование эксплуатационных затрат	Годы расчетного периода					
		0	5	10	15	20	25
6	\mathcal{E}_1	1040	1130	1318	1442	1563	1714
	$\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$	29	37	65	95	143	207
	\mathcal{E}_4	27	33	42	55	68	81
	\mathcal{E}_6	56	56	56	56	56	56
	Итого	1152	1256	1481	1648	1830	2058
7	\mathcal{E}_1	1049	1139	1330	1455	1576	1729
	$\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$	54	69	104	156	227	339
	\mathcal{E}_4	28	34	47	56	70	84
	\mathcal{E}_6	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
	Итого	1205	1316	1555	1741	1947	2227
8	\mathcal{E}_1	1044	1139	1330	1455	1576	1729
	$\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$	22	32	56	95	158	246
	\mathcal{E}_4	26	32	44	53	66	87
	\mathcal{E}_6	98	98	98	98	98	98
	Итого	1195	1301	1528	1701	1898	2160

4. Эксплуатационные расходы, связанные с простоем подвижного состава из-за враждебности маршрутов следования, а также с остановкой поездов:

$$\mathcal{E}_{4ij} = 365 \left(\sum_{i=1}^m T_{ij} e_i + \sum_{i=1}^m e_{oi} z_{ijt} k_0 \right),$$

где T_{ij} — время простоя подвижного состава из-за враждебности маршрутов следования;

e_i — стоимость 1 ч простоя из-за враждебности маршрутов. В примере стоимости 1 поезд-ч, 1 локомотиво-ч (поездов), 1 передаче-ч приняты соответственно равными 22,2; 12,36; 9,47 руб.;

e_{oi} — стоимость одной остановки категории i ;

z_{ijt} — число остановок подвижного состава категории i при развитии узла по варианту j в году t ;

k_0 — коэффициент, учитывающий число остановок, приходящихся на одну задержку, равный 1,1—1,4.

Если маршруты равноправны,

$$T_{ij} = \frac{n_{1tji} n_{2tji} (t_1 + t_2)^2}{2 \cdot 1440} k;$$

для неравноправных маршрутов

$$T_{ij} = \frac{n_{1tji} n_{2tji} (t_1^2 + t_2^2)}{2 \cdot 1440} k,$$

где k — коэффициент, учитывающий увеличение времени простоя при вторичных задержках, равный 1,3.

Расходы, связанные с задержкой подвижного состава в конфликтных точках узла O , тыс. руб./год

Конфликтная точка	Простой	Годы расчетного периода					
		0	5	10	15	20	25
1	Поездов, поезд-мин	79	99	142	176	220	255
	Передач, передаче-мин	39	49	70	80	100	130
2	Локомотивов, локомотиво-мин	62	78	102	138	166	203
	Передач, передаче-мин	14	17	31	30	36	45
3	Поездов, поезд-мин	30	39	50	62	78	93
	Передач, передаче-мин	16	21	27	33	42	50
4	Локомотивов, локомотиво-мин	120	154	199	247	310	370
	Поездов, поезд-мин	41	49	65	79	94	113
Итого	Передач, передаче-мин	41	50	65	79	91	113
	Поездов, поезд-мин/сутки	150	187	257	317	342	461
	Передач, передаче-мин/сутки	110	137	193	222	272	338
	Локомотивов, локомотиво-мин/сутки	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, тыс. руб.		41	50,6	68,4	84,5	104,4	125

Расходы, связанные с задержкой поездов и локомотивов на пересечениях маршрутов следования в центральной горловине (см. рис. 8.1), для существующего варианта приведен в табл. 8.14. В остальных точках узла простой примерно равен нулю.

Расходы, связанные с задержкой подвижного состава на конфликтных точках, в остальных вариантах развития приведены в табл. 8.13.

5. Расходы на простои вагонов под накоплением

$$\mathcal{E}_{5ij} = 365 \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^{\Phi} c_{istj} k_{istj} e_{istj} m_{istj},$$

где c_{istj} — параметр накопления поездов категории i в году t при развитии узла по варианту j ;

k_{istj} — число назначений по плану формирования;

e_{istj} — стоимость 1 вагоно-ч;

m_{istj} — среднее число вагонов в составах категории i , формируемых на подход s .

В примере условно принято, что эти расходы во всех вариантах одинаковы и поэтому в сравнении не участвуют.

6. Расходы \mathcal{E}_{klj} на содержание постоянных устройств, вводимых при переходе от варианта j к варианту $j+k$, зависят от объема выполняемых работ (см. табл. 8.13).

Шаг 4. Для упрощения расчета приведенных расходов формула (8.1) преобразована так:

$$E = \sum_{t=0}^{t=t_p} K_t \eta_{t-1} + \eta_{t-1} \left(\mathcal{E}_n \sum_1^{t_a} \eta_{t_a} + \mathcal{E}_r \sum_1^{t_a} \frac{t_a}{\eta_{t_a}} \right), \quad (8.2)$$

где \mathcal{E}_n — постоянные годовые эксплуатационные расходы соответствующих этапов развития;

$$\mathcal{E}_n = \mathcal{E}_n - \mathcal{E}_r;$$

t_a — продолжительность этапа. Значения сумм коэффициентов отдаления за t_a лет следующие:

t_a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sum \frac{t_a}{\eta_{t_a}}$	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 она равна

$$\mathcal{E}_r = (\mathcal{E}_k - \mathcal{E}_n)/(t_a - 1),$$

$\mathcal{E}_n, \mathcal{E}_r$ — эксплуатационные расходы соответственно на конец и начало этапа. Если узел будет эксплуатироваться без реконструкции 5 лет, то

$$\mathcal{E}_r = (1404 - 1249)/(5 - 1) = 38,75 \text{ тыс. руб.};$$

$$\mathcal{E}_n = 1249 - 38,75 = 1210,25 \text{ тыс. руб.}$$

Приведенные расходы на функционирование узла за этот период ($K_t = 0$)

$$E_{(00-01)} = 0 + 1(1210,25 \cdot 3,99 + 38,75 \cdot 11,37) = 4670 \text{ тыс. руб.}$$

Если в начале 6-го года будет осуществлен переход от исходного варианта развития узла к варианту 1 (переход 00—11), то приведенные расходы за этот период составят

$$E_{(00-11)} = E_{(01-01)} + K_t \eta_t$$

или

$$E_{(00-11)} = 4670 + 665 \cdot 0,681 = 5123 \text{ тыс. руб.}$$

Остальные значения приведенных затрат для других переходов рассчитываются аналогично (табл. 8.15).

Шаг 5. Оптимальная этапность развития железнодорожного узла. Множество вариантов развития узла описывается специальным графом (рис. 8.3). Строят его по следующим правилам:

проводим вертикальные оси, число которых

$$z = \frac{t_p}{t_a} + 1;$$

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 рассчитываем по формуле (8.2). Для дуги (00—01) — от вершины S_0 (00) до вершины S_{01} (01) на второй оси $K_t = 0$.

Этапное развитие узла оптимизируем, используя алгоритм «киевский веник» [13]. 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	4670	5123	5314	5394	5847	6038	5496	5948	6140

При переходе из вершины 01 в вершину 02 расходы составят

$$E_{01-02} = 4670 + 4162 = 8832;$$

из вершины 01 в 12

$$E_{01-12} = 4670 + 4470 = 9140.$$

В вершину 12 можно попасть и из вершины 11. В этом случае

$$E_{11-12} = 5123 + 4303 = 9426.$$

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 табл. 8.16—8.19, а графическая иллюстрация — на рис. 8.3. Глобальное оптимальное решение выбираем из условно-оптимальных. Для этого находим наименьшие расходы на последнем этапе — 15 907 тыс. руб.

Т а б л и ц а 8.15

Приведенные расходы на развитие узла при переходах от одного варианта к другому, тыс. руб./год

Переход	Годы расчетного периода				
	0—5	5—10	10—15	15—20	20—25
00—01	4670	4162	3282	2529	1968
00—11	5123	4470	3492	2672	2065
00—21	5314	4600	3580	2732	2106
00—31	5394	4654	3617	2758	2123
00—41	5847	4962	3826	2901	2219
00—51	6038	5092	3915	2961	2261
00—61	5496	4724	3664	2790	2145
00—71	5948	5032	3874	2933	2242
00—81	6140	5161	3962	2993	2273
11—12	—	4303	3399	2635	2063
11—22	—	4430	3487	2695	2104
11—42	—	4795	3734	2864	2218
11—52	—	4925	3822	2924	2259
11—72	—	4865	3781	2896	2240
11—82	—	4994	3869	2956	2281
21—22	—	4250	3338	2580	2011
21—52	—	4742	3673	2809	2166
21—62	—	4812	3720	2841	2188
31—32	—	3733	2911	2204	1683
31—42	—	4041	3121	2347	1780
31—52	—	4171	3209	2407	1821
41—42	—	3914	3152	2277	1757
41—52	—	3858	3064	2337	1798
51—52	—	3858	3003	2279	1755
61—62	—	3696	2878	2177	1660
61—72	—	4004	3088	2320	1757
61—82	—	4134	3176	2380	1798
71—72	—	3876	3032	2250	1735
71—82	—	4007	3120	2310	1776
81—82	—	3821	2971	2253	1732

Таблица 8 16

Условно-оптимальные решения на первом этапе развития, тыс. руб.

В вершину	Из вершины								
	01	11	21	31	41	51	61	71	81
02	8832	—	—	—	—	—	—	—	—
12	9140	9 426	—	—	—	—	—	—	—
22	9270	9 553	9 564	—	—	—	—	—	—
32	9324	—	—	9127	—	—	—	—	—
42	9632	9 918	—	9435	9761	—	—	—	—
52	9762	10 048	10 056	9565	9705	9896	—	—	—
62	9394	—	—	—	—	—	9192	—	—
72	9702	9 988	—	—	—	—	9500	9824	—
82	9831	10 017	10 126	—	—	—	9630	9955	9961

Таблица 8 17

Условно-оптимальные решения на втором этапе развития, тыс. руб.

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

(табл. 8 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 6-го 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 6-го года к варианту 3.

При эксплуатации узла без реконструкции приведенные расходы по сравнению с оптимальным решением увеличиваются на $\Delta E = 16 611 - 15 907 = 704$ тыс. руб. 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 8.2. Для условий примера 8 1 определим экономические потери от задержки в развитии узла по оптимальному решению на 5, 10, 15 лет

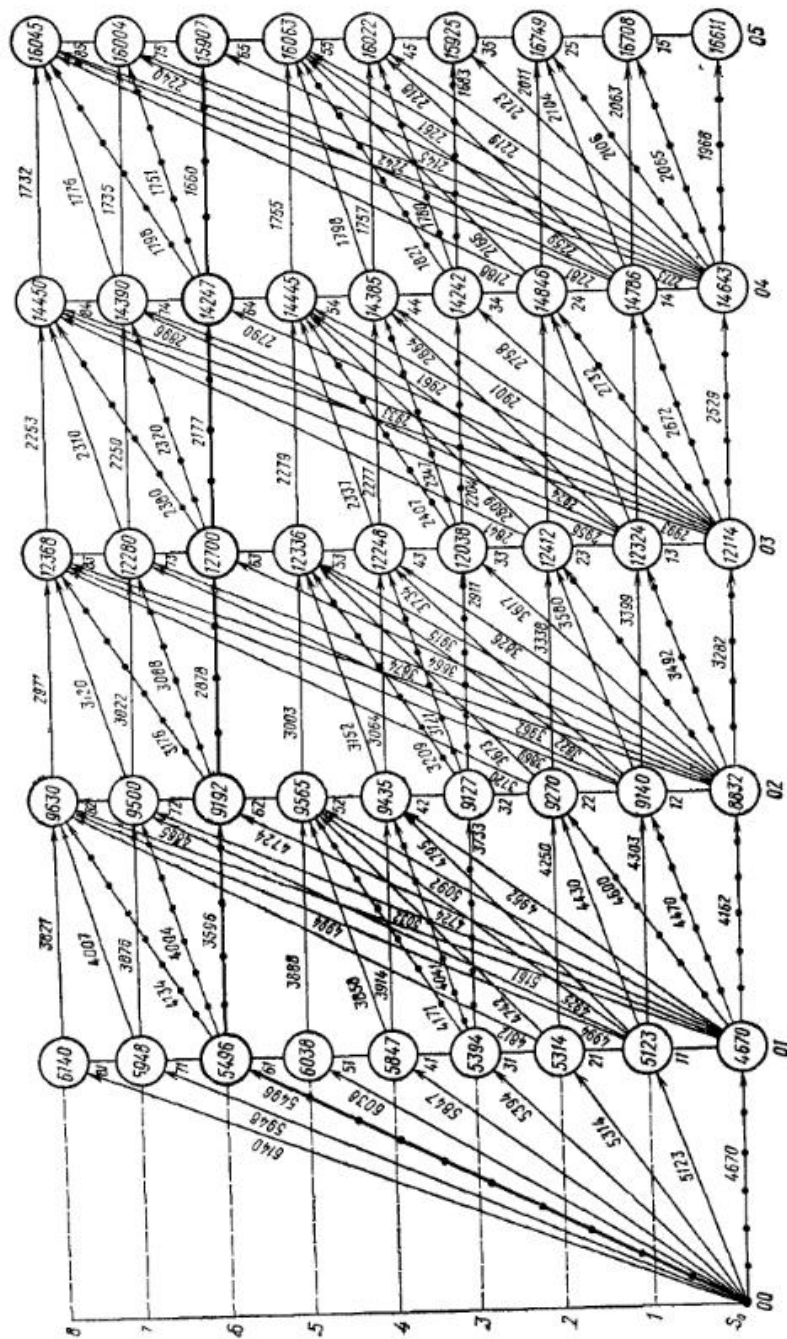


Рис 8 3. Графический поиск оптимальной этапности развития узла

Таблица 8 18

Условно-оптимальные решения на третьем этапе развития, тыс. руб

В вер шину	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	—	—	—	—	—
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 8 19

Условно-оптимальные решения на четвертом этапе развития, тыс. руб.

В вер шину	Из вершины								
	14	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

Решение. Из расчетного графа следует, что если реконструкцию железнодорожного узла выполнить на 5 лет позже оптимального срока, то приведенные расходы составят

$$E_{\Delta t=5} = 4670 + 4724 + 2878 + 2177 + 1660 = 16109 \text{ тыс руб}$$

Увеличение их против оптимального решения

$$\Delta E = 16109 - 15907 = 202 \text{ тыс руб}$$

Если $\Delta t = 10$ лет, то $\Delta E = 16333 - 15907 = 426$ тыс. руб.

Если реконструкцию узла задержать на 15 лет, то народнохозяйственные потери составят $\Delta E = 16564 - 15907 = 657$ тыс руб

8.2. СОРТИРОВОЧНАЯ СТАНЦИЯ

Пример 8 3. Установим оптимальную этапность развития сортировочной станции (рис 8 4, а), оборудованной механизированной горкой с двумя путями надвига и одним обходным. На горке работают 2 маневровых локомотива. В парках приема для транзитных поездов с переработкой 4 пути, столько же в парках отправления, в сортировочном парке 16 путей.

Решение. Намечаем следующую систему мер для развития станции: строительство второго обходного пути и оборудование сортировочной горки устройствами АЗСР и ТГЛ, увеличение числа путей в существующих парках приема и отправления (последовательность показана на рис 8 4, б), переход к схеме П—С || ПО (парк П последовательно с парком С, а парк ПО параллельно) (рис 8 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 последовательно друг другу), укладка дополнительных вытяжных путей.

Все эти меры можно осуществлять в определенной последовательности и комбинации [рис 8 5 для схемы С || ПО (все парки параллельны) и рис 8 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 числа 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. Это значительно уступает варианту, который предусматривает сооружение нового парка приема по схеме П—С || ПО и второго пути роллуса на горке, ее автоматизацию. Не рассматриваются также варианты с устройством четырех вытяжных путей. Это явно

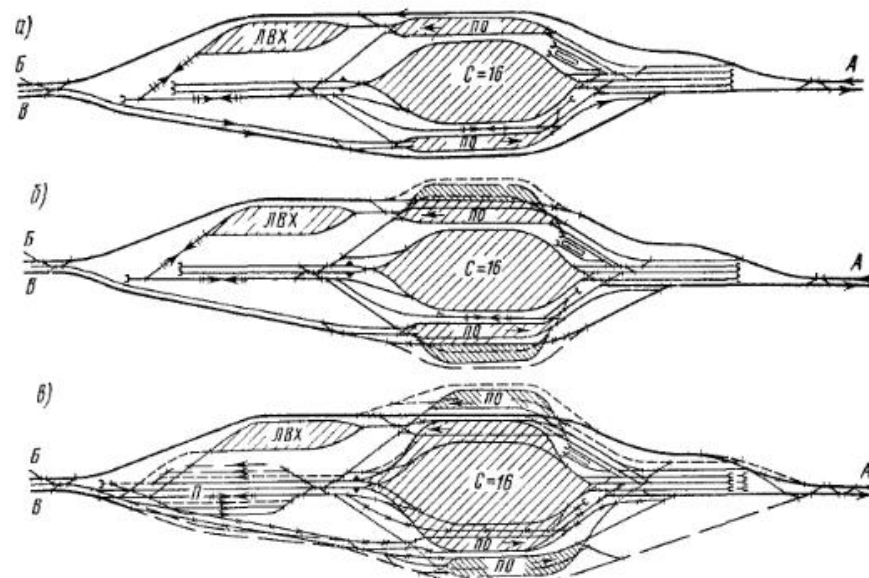


Рис 8 4 Возможные схемы этапного развития сортировочной станции

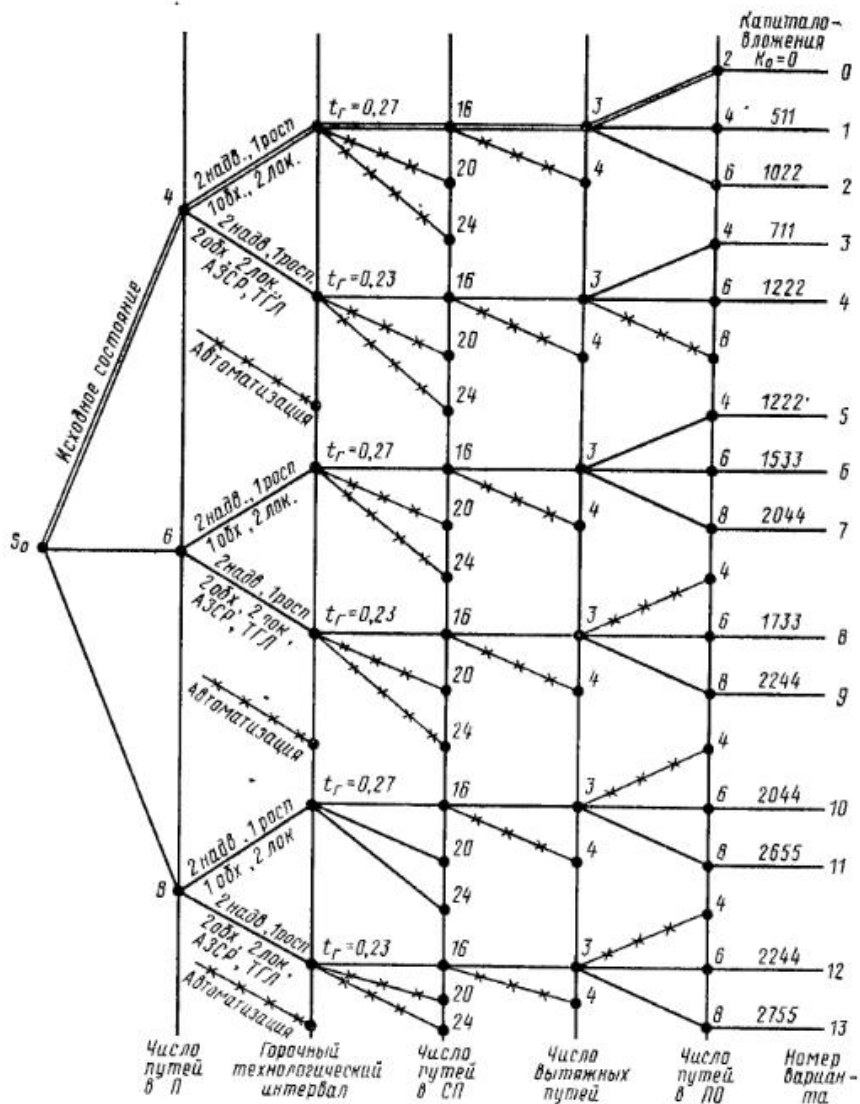


Рис. 8.5. Граф вариантов развития технического оснащения станции для схемы П-С||О

нецелесообразно для сортировочного парка с 16 путями. В соответствии с рекомендациями [6] не рассмотрены варианты с полной автоматизацией сортировочной горки. Построением технологических графиков ее работы исключены из дальнейшего рассмотрения варианты с вводом дополнительного горочного локомотива. Это обычно очень эффективное мероприятие в данном случае практически не сокращает горочный интервал, так как параллельные передвижения в горловинах станции при развитии ее по варианту С||ПО невозможны.

В число вариантов развития станции по схеме П-С||ПО входят и такие решения, как увеличение числа горочных локомотивов, вытяжных путей, путей

в парках сортировки и отправления, автоматизация горки и строительство нового 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 числа 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. рис 8.4, б). Длина их (по масштабной схеме) 1,87 км, стрелочных переводов 4. Учитывая, что стоимость укладки 1 км пути (с учетом земляных работ, искусственных сооружений и др)

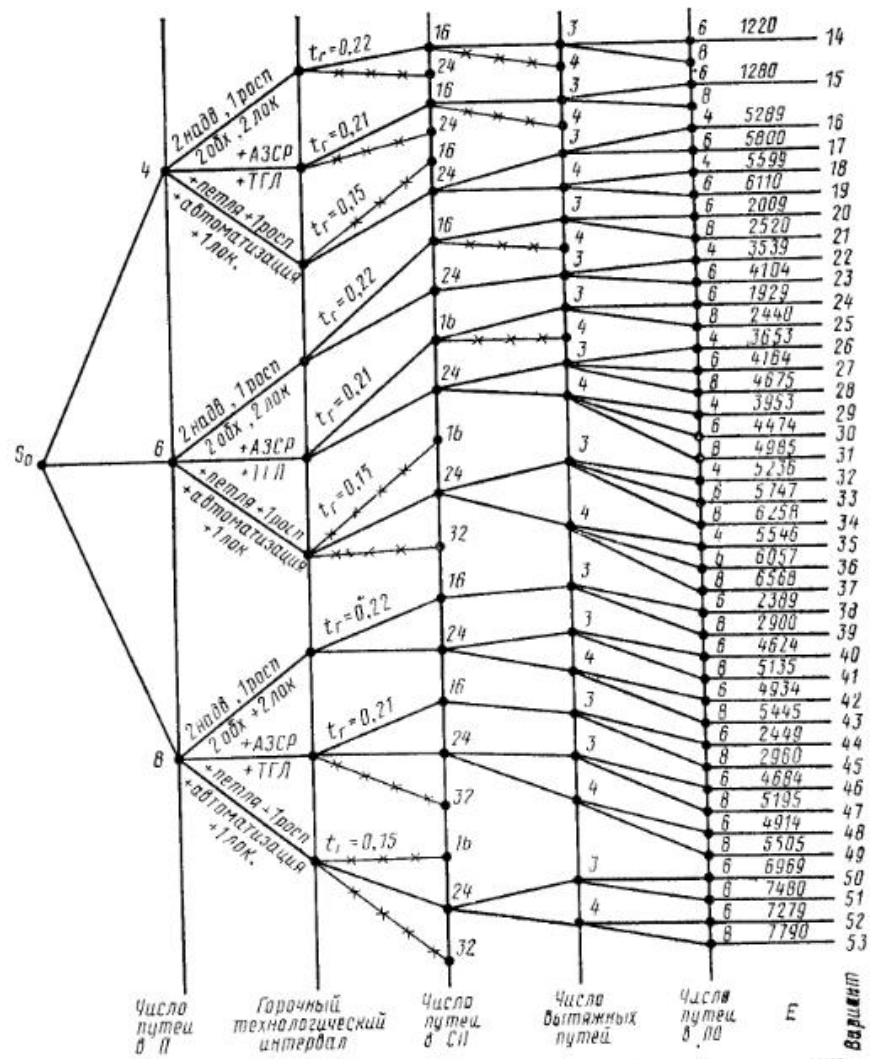


Рис. 8.6. Граф вариантов развития технического оснащения станции для схемы П-С||О

250 тыс. руб., стрелочного перевода 4,4 тыс. руб., включения его в ЭЦ 6,4 тыс. руб., $K_{01} = 1,87 \cdot 250 + (4,4 + 6,4) 4 = 511$ тыс. руб. Аналогично $K_{02} = 1,87 \cdot 2 \cdot 25 + (4,4 + 6,4) 8 = 1022$ тыс. руб.

При строительстве второго обходного пути (см. рис. 8.4) необходимо уложить 0,48 км пути, один перевод марки 1/9 и один 1/6. Затраты на эти работы $K_{обх} = 0,48 \cdot 250 + 4,4 \cdot 1 + 2,6 \cdot 1 + 6,4 \cdot 2 = 139,8 = 140$ тыс. руб. Дополнительные затраты на ввод устройств АЗСР и ТГЛ (на горке 2 локомотива) $\Delta K_{АЗСР+ТГЛ} = 20 \cdot 2 + 10 \cdot 2 = 60$ тыс. руб.

В расчете принято, что оборудование устройствами АЗСР одного пути надвига стоит 20 тыс. руб., а одного локомотива — 10 тыс. руб. Тогда $K_{03} = 139,8 + 60 = 200$ тыс. руб.

Аналогично рассчитаны капитальные вложения для всех остальных вариантов (см. рис. 8.5). Необходимо отметить, что петлевой ввод требует укладки 2 км путей, одного стрелочного перевода марки 1/22 и строительства путепровода (132 тыс. руб.). Автоматизация сортировочной горки дополнительно требует 1700 тыс. руб. Затраты на приобретение третьего горочного локомотива 135 тыс. руб. Строительство парка приема на 4 пути вызывает укладку 3,5 км пути и 19 стрелочных переводов. Развитие сортировочного парка до 24 путей стоит 702 тыс. руб., строительство парка отправления — 1022 тыс. руб. При этих данных стоимость развития станции по варианту 16 (см. рис. 8.6) составит $K_{16} = 250 \cdot 3,5 + 19(4,4 + 6,4) + 250 \cdot 2 + 1(11,4 + 7,0) + 132 + 1700 + 135 + 720 + 1022 = 5289$ тыс. руб.

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 ($K_{14} = 1080 + 140 = 1220$ тыс. руб.). Это решение характерно и для варианта 15. Результаты расчетов остальных (17—53) вариантов схемы П—С || ПО приведены на рис. 8.6.

Для расчета капитальных вложений необходимо составить матрицу переходов от варианта j к варианту $j + k$. Для схемы С || ПО она показана в табл. 8.18. 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 рис. 8.4 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 тыс. руб., а к варианту 3 — только 200 тыс. руб. 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 табл. 8.19. 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 $K_{01} = 511 \cdot 0,794 = 406$ тыс. руб. Для остальных вариантов $K_{j,j+k}$ показаны в табл. 8.20. Аналогичные таблицы рассчитывают для $t = 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, m\Delta t$.

Эксплуатационные расходы для варианта j [13]:

$$\begin{aligned} \partial_{jt} = & \partial_{1tj} + \partial_{2tj} + \partial_{3tj} + \partial_{4tj} + \partial_{5tj} + \\ & + \partial_{6tj} + \partial_{7tj} + \partial_{8tj} + \partial_{9tj} + \partial_{10tj} + \partial_{11tj} + \partial_{12tj}, \end{aligned} \quad (8.3)$$

где ∂_{1tj} — расходы на пробег поездов в году t при развитии станции по варианту j ;

∂_{2tj} — то же поездных и маневровых локомотивов;

∂_{3tj} — расходы, вызванные остановками поездов на подходах к станции из-за нехватки приемо-отправочных путей;

∂_{4tj} — расходы на простой поездов на подходах к станции;

∂_{5tj} — расходы на простой составов на путях парка приема в ожидании расформирования и выполнения технологических операций;

∂_{6tj} — расходы на простой вагонов под накоплением;

∂_{7tj} — расходы на ожидание окончания формирования и формирование поездов;

∂_{8tj} — расходы на повторную сортировку вагонов;

Таблица 8.20

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
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

Таблица 8.21

Капитальные вложения на момент t_0 , тыс. руб.

Вариант j	Вариант $j+k$													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	511	1022	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	M	200	M	M	711	1222	M	M	1222	1733	1733
3	—	—	—	0	511	M	M	M	1022	1533	M	M	1533	2044
4	—	—	—	—	0	M	M	M	511	1022	M	M	1022	1533
5	—	—	—	—	—	0	511	1022	711	1222	1022	1533	1222	1733
6	—	—	—	—	—	—	0	511	200	711	511	1022	711	1222
7	—	—	—	—	—	—	—	0	M	200	M	511	200	711
8	—	—	—	—	—	—	—	—	0	511	M	M	511	1022
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	M	M	M	511
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	511	200	711
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	M	200
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	511
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0

∂_{9tj} — расходы на простой готовых составов в ПО из-за занятости маршрутов отправления;

∂_{10tj} — расходы на задержки поездных локомотивов, составов поездов из-за враждебности маршрутов;

∂_{11tj} — расходы на маневровую работу;

∂_{12tj} — расходы на содержание постоянных устройств и штата в году t при развитии станции по варианту j .

Эксплуатационные расходы на содержание постоянных устройств в вариантах установлены по нормам затрат на объект или устройство. Например, для варианта 1

$$\partial_{121} = e_n I_n + e_c \Pi_c.$$

Таблица 8.22

Капитальные вложения на момент $t_0 + \Delta t$ ($\Delta t = 3$ года), тыс. руб.

Вариант j	Вариант $t + k$													
	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	M	159	M	M	M	565	970	M	M	970	1376
3	—	—	—	0	406	M	M	M	811	1217	M	M	1217	1693
4	—	—	—	—	0	M	M	M	406	811	M	M	811	1217
5	—	—	—	—	—	0	406	811	565	970	811	1217	970	1376
6	—	—	—	—	—	—	0	406	159	565	406	811	505	970
7	—	—	—	—	—	—	—	0	M	159	M	406	159	565
8	—	—	—	—	—	—	—	—	0	406	M	M	406	811
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	M	M	M	406
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	406	159	565
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	M	159
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	406
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0

где $e_{п}$, e_c — расходные ставки на содержание 1 км пути и одного стрелочного перевода;

$l_{п}$ — длина путей, км;

$П_c$ — число стрелочных переводов;

$$\mathcal{E}_{121} = 0,935 \cdot 2 \cdot 3,24 + 4 \cdot 1,34 = 11,4 \text{ тыс. руб./год.}$$

Аналогично рассчитаны значения $\mathcal{E}_{пк}$ для остальных вариантов схемы $C \parallel PO$:

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6
тыс. руб.	0	11,4	22,8	30,0	41,1	22,8	34,2
Номер варианта	7	8	9	10	11	12	13
тыс. руб.	45,6	52,8	64,2	45,6	57,0	64,2	75,6

Объемы работы станции приведены в табл. 8.4. Суммарные эксплуатационные расходы рассчитывают по формуле (8.3).

Таблица 8.23

Размеры движения, поездов в сутки

Годы	Транзит с переработкой	Транзит без переработки в каждом направлении	Сборные	Пассажирские, в каждом направлении
1984	50	18	3	15
1984—1987	55	19	3	16
1988—1990	60	20	4	17
1991—1993	65	22	4	18
1994—1996	70	25	4	19
1997—1999	75	28	4	20
2000—2002	80	30	4	22
2003—2004	85	30	4	22

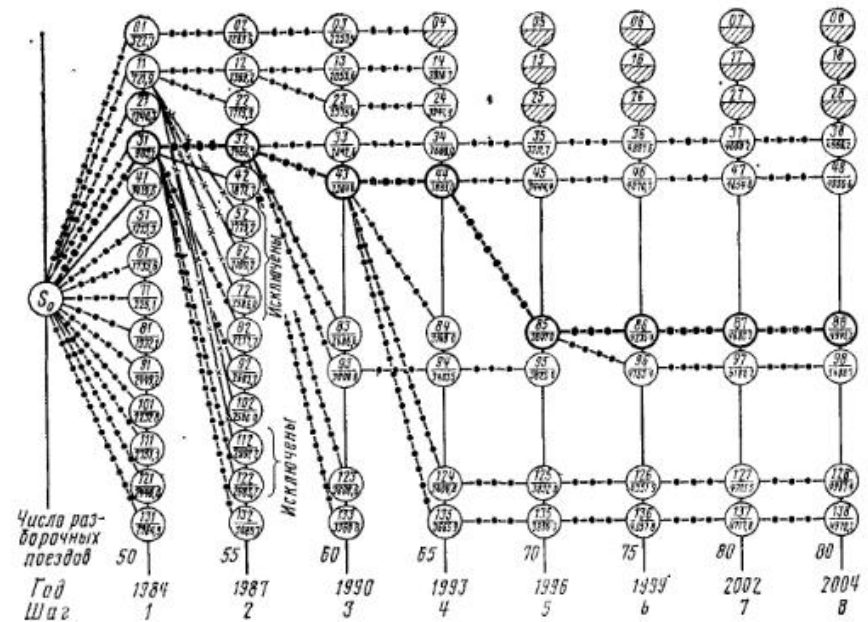


Рис 8.7. Расчетный граф этапного развития сортировочной станции

Процесс оптимизации целесообразно выполнять методом последовательного анализа вариантов (МПА):

1. С помощью алгоритма «киевский веник» (см. пример 8.1), двигаясь из угла S_0 (рис. 8.7), 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

$$\left. \begin{aligned} l_{r, j+1} &< l_{r, j}; \\ M_{в, j+1} &> M_{в, j}; \\ M_{j+1} &> M_j; \end{aligned} \right\} \quad (8.4)$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_0^j E_{j+1}^j &< \sum_0^j E_j^j; \\ \mathcal{E}_{j+1}^{j+1} &< \mathcal{E}_j^{j+1}, \end{aligned} \right\} \quad (8.5)$$

то вариант j из дальнейшего рассмотрения исключают.

3. Пункты 1 и 2 повторяют до тех пор, пока не будут рассмотрены последовательно все узлы.

На шаге 1 из вершины S_0 (см. рис. 8.7) в вершины $01, 11, 21, \dots$ можно прийти с расходами $322,7; 511,0 + 11,4 + 199,5 = 721,9; 1022 + 22,8 + 195,5 = 1240,3; 711 + 30 + 162,2 = 903,2, \dots, 2755 + 75,6 + 134,3 = 2964,9$. Сравнив попарно варианты развития станции с помощью неравенств (8.4) и (8.5), после шага 1 из дальнейшего рассмотрения исключают варианты 5, 6, 7, 10, 11. На шаге 2 число возможных комбинаций развития увеличивается. При переходе из состояния 01

к состоянию 02 будут только эксплуатационные расходы. Поэтому приведенные расходы за 3 года

$$E_2(S_2^{02}) = 322,7 + \sum_{t=1}^{t=3} \frac{1}{(1+0,08)^t} 374,8 = 1289,6 \text{ тыс руб}$$

При переходе от состояния 01 к состоянию 12 появляются дополнительные капитальные вложения, поэтому

$$E_2(S_2^{12}) = 1289,6 + 511 \frac{1}{(1+0,08)^3} = 1695,6 \text{ тыс руб}$$

Переход от состояния 11 к состоянию 12 вызывает затраты

$$E_2(S_2^{12}) = 721,9 + 11,4 \sum_{t=1}^{t=3} \frac{1}{(1+0,08)^t} + 239,5 \sum_{t=1}^{t=3} \frac{1}{(1+0,08)^t} = 1369,2 \text{ тыс руб}$$

Аналогично $E_2(S_2^{22}) = 721,9 + 11,4 \cdot 2,58 + 239,5 \cdot 2,58 + 511 \cdot 0,794 = 1775,2$ тыс руб. Остальные значения $E_i(S_i^j)$ приведены в табл. 8.24

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 рис. 8.7. Все остальные варианты исключают из дальнейшего рассмотрения. Продолжая вычисления до 2004 г., получают оптимальную этапность в пределах схемы $C \parallel PO$, которая показана на рис. 8.7 жирной линией. При этом необходимо

в конце 1984 г. соорудить второй обходной путь, оборудовать горку устройством АЗСР, ТГЛ и уложить дополнительно в парках отправления 2 пути,

в 1990 г. уложить дополнительно 2 пути в парках отправления и с таким техническим оснащением эксплуатировать станцию до 1996 г.,

в 1996 г. в парке приема увеличить число путей до 6. Такое техническое оснащение без реконструкции останется до 2000 г., т. е. до конца периода планирования.

Необходимо отметить, что при заданных темпах роста объемов работы переход к схеме $P-C \parallel O$ в течение периода до 2004 г. нецелесообразен. Эта мера окупает себя, если размеры переработки достигнут 90 поездов, а число назначений

Таблица 8.24

Приведенные расходы на развитие сортировочной станции, тыс руб

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	

плана формирования 20. Тогда пути парков приема надо переключить в сортировочный парк. Оптимальная этапность развития сортировочной станции обеспечивает наименьшие расходы — 4945 тыс руб. Любое отклонение от этой последовательности увеличивает расходы.

Пример 8.4. Рассчитаем экономические потери, вызванные задержкой реконструкции станции на 3 и 6 лет.

Решение. Если первый этап реконструкции сортировочной станции перенести с 1984 на 1987 г., то суммарные приведенные расходы на ее функционирование без реконструкции составят

$$E(S^{00}) = 322,7 + \sum_{t=1}^{t=3} \frac{1}{(1+0,08)^t} 374,8 + 711 \frac{1}{(1+0,08)^3} = 1854 \text{ тыс руб}$$

При оптимальной стратегии развития (см. рис. 8.7) $E(S^{opt}) = 1466,7$ тыс руб. Экономические потери при задержке реконструкции станции на 3 года составят $\Delta E = 1854 - 1466,7 = 387,3$ тыс руб. Если реконструкцию станции выполнить с опозданием на 6 лет, то

$$E(S^{00}) = 2253,4 + 1222 \frac{1}{(1+0,08)^6} = 3023,3 \text{ тыс руб,}$$

$$E(S^{opt}) = 2364,6 \text{ тыс руб,}$$

$$\Delta E = 3023,3 - 2364,6 = 658,7 \text{ тыс руб}$$

9. ПРОПУСКНАЯ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СТАНЦИЙ

9.1. ГОРЛОВИНЫ, ПАРКИ И ПУТИ

Пример 9.1. Определим время занятия пересечения (рис. 9.1) в течение суток. Исходные данные:

по главным путям проходят 20 пар пассажирских и 60 пар грузовых поездов; среднее время 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, время занятия пересечения одним поездом 5 мин;

по пути 4 следует в депо 20 локомотивов с временем занятия пересечения 2 мин.

Решение. Время занятия пересечения, изображенного на рис. 9.1, а, в течение суток

$$T_{\text{загр}} = \sum_{i=1}^{\kappa} n_{1i} t_{1i} (1 - q_2) + \sum_{i=1}^{\kappa} n_{2i} t_{2i} + \sum_{i=1}^{\kappa} n_{3i} t_{3i},$$

где κ — число категорий передвижений через пересечение;
 n_i — число передвижений категории i ;
 t_i , $i = 1, 2, 3, \dots, j, i$ — время занятия пересечения передвижением категории i по маршруту j ;
 $q_1, 2 \dots j$ — загрузка пересечения одного из параллельных маршрутов j , доли суток;

$$T_{\text{загр}} = (20 \cdot 4 + 60 \cdot 5) [1 - (20 \cdot 3 + 60 \cdot 4) / 1440] + (20 \cdot 3 + 60 \cdot 4) + 10 \cdot 5 = 650 \text{ мин.}$$

Время занятия пересечения, изображенного на рис. 9.1, б,

$$T_{\text{загр}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{\kappa} n_{ji} t_{ji} - \sum_{i=1}^{\kappa} n_{1i} t_{1i} q_2 - \sum_{i=1}^{\kappa} n_{3i} t_{3i} q_4,$$

где n_{ji} — число передвижений категории i по маршруту j ;
 t_{ji} — время занятия пересечения передвижением категории i по маршруту j ;

$$T_{\text{загр}} = (20 \cdot 4 + 60 \cdot 5) + (20 \cdot 3 + 60 \cdot 4) + 10 \cdot 5 + 20 \cdot 2 - [(20 \cdot 4 + 60 \cdot 5) (20 \cdot 3 + 60 \cdot 4) / 1440 - 10 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 2 / 1440] = 690 \text{ мин.}$$

Пример 9.2. Определим пропускную способность горловин участковой станции поперечного типа (рис. 9.2) в грузовых поездах. Станция за сутки перерабатывает 20 пар пассажирских поездов, в том числе 2 пары местных и 6 пар пригородных, и 40 пар грузовых поездов, из них 6 пар сборных и участковых и два маршрута, прибывающих из А под выгрузку на подъездной путь 2. Локомотивы от всех грузовых и местных пассажирских поездов поступают на экипировку в локомотивное хозяйство. Станция формирует 12 сборных и участковых поездов и 2

маршрута из порожних вагонов назначением на Б, которые для отправления переставляют в приемо-отправочные парк через вытяжной путь 2. За сутки в технический парк выводят для отстоя 5 составов местных и пригородных поездов, в том числе 2 состава от четных и 3 — от нечетных поездов; 4 раза подают вагоны к складам локомотивного хозяйства и 2 раза на подъездной путь 1. Продолжительность занятия горловин: приемом пассажирского поезда $\tau_{\text{пр}}^{\text{пас}} = 4$ мин, грузового $\tau_{\text{пр}}^{\text{гр}} = 5$ мин; отправлением поезда любой категории $\tau_{\text{от}}^{\text{пас}} = \tau_{\text{от}}^{\text{гр}} = 4$ мин; пропуском поездного локомотива $\tau_{\text{лок}} = 2$ мин; подачей (уборкой) вагонов в локомотивное хозяйство $\tau_{\text{под}}^{\text{лх}} = 3$ мин и на подъездной путь 1 $\tau_{\text{под}}^{\text{лх}1} = 3$ мин; перестановкой состава из сортировочного парка в приемо-отправочный $\tau_{\text{пер}} = 10$ мин; уборкой маневрового локомотива из приемо-отправочного парка в сортировочный $\tau_{\text{ман}} = 3$ мин; подачей (уборкой) маршрутов на подъездной путь 2 $\tau_{\text{под}}^{\text{лх}2} = 10$ мин; выводом составов в технический и из технического парка $\tau_{\text{выст}} = 6$ 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 (табл. 9.1).

Определяем время занятия каждого элемента изменяющимися и постоянными (связанными с пропуском установленного числа пассажирских поездов, обслуживанием погрузочно-разгрузочных пунктов и др.) операциями:

$$T_{a,i} = \sum \tau_{ijp} N_{ijp} \text{ и } T_{\text{пост},i} = \sum (\tau_{ijp} N_{ijp})_{\text{пост}},$$

где τ_{ijp} — продолжительность занятия элемента i передвижением категории j с подхода p ;

N_{ijp} — число передвижений категории j с подхода p через элемент i .

Чтобы найти время занятия элемента, следует сложить цифры гр. 5 или гр. 6 табл. 9.1 во всех строках, относящихся к операциям, в которых участвует данный элемент. Для элемента 3 $T_{3i} = 30 + 160 + 80 + 80 = 350$ мин; $T_{\text{пост},i} = 4 + 4 + 12 + 12 = 32$ мин. Определяем коэффициент загрузки каждого элемента:

$$k_{3i} = T_{a,i} (1 + q) / (T_p - T_{\text{пост},i}) < 1,$$

где q — коэффициент, учитывающий отказы устройств ЭЦ; принимаем $q = 0,01$;

T_p — расчетный период (обычно $T_p = 1440$).

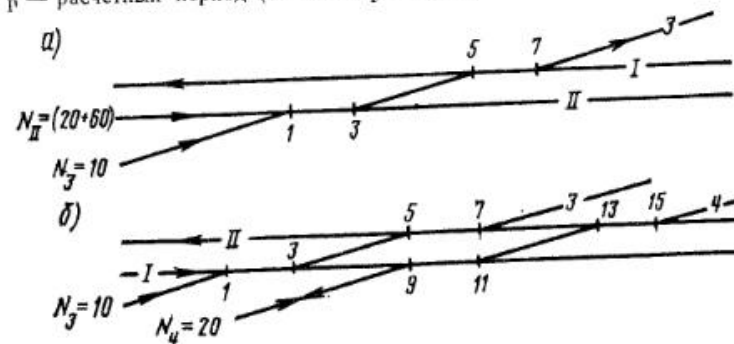


Рис. 9.1. Схемы пересечений линий:
а — двухпутной с однопутной; б — двухпутной с двухпутной

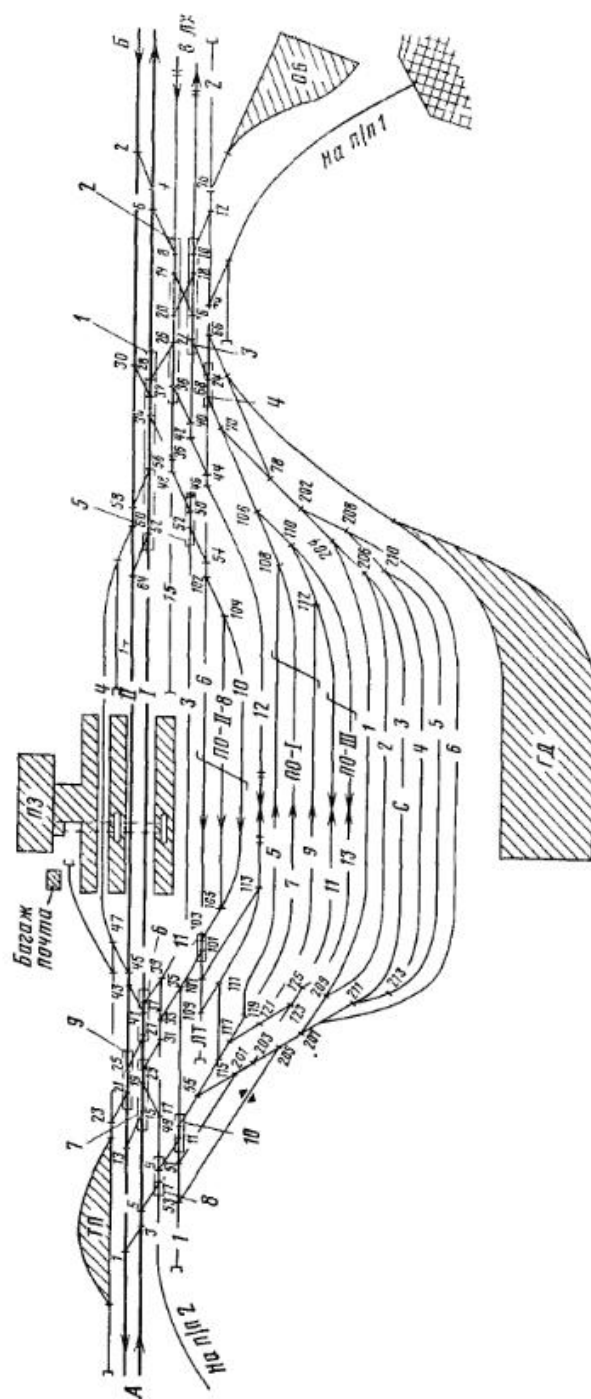


Рис. 9.2. Схема участковой станции поперечного типа

Сводная таблица передвижений в четной горловине станции

Операция	Номера стрелок, участвующих в маршруте	Продолжительность занятия маршрута одной операцией $t_{\text{пр}}$	Число операций на маршруте $N_{\text{пр}}$	Продолжительность занятия маршрута операциями		Номер элемента, в который входит стрелки маршрута
				изменяющихся	постоянными	
Прием грузовых поездов из Б в парк ПО—II	30, 32, 34, 36, 48, 50, 52, 54	5	34	170	—	1, 5
То же в парк ПО—III	2, 4, 6, 8, 14, 16, 22, 24, 68	5	6	30	—	2, 3, 4
Отправление пассажирских поездов с пути 1 на Б	62, 56, 34, 32, 28, 6, 4	4	12	—	48	1
То же пригородных и местных с пути 3	52, 50, 48, 36, 34, 32, 28, 6, 4	4	8	—	32	5, 1
То же грузовых из ПО—I, ПО—III	68, 24, 22, 16, 14, 8, 6, 4	4	40	160	—	4, 3, 2
Перестановка составов из СП в ПО—I, ПО—II	72, 70, 68, 24, 44, 46, 54	10	12	120	—	4
Уборка маневрового локомотива из ПО—I, ПО—II в СП	54, 46, 44, 24, 68, 70, 72	3	12	36	—	4
Уборка поездных локомотивов от местных 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	3, 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 местные 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 хозяйство	70, 68, 24, 22, 16, 18, 10	3	4	—	12	3, 4
Уборка вагонов из локомотивного хозяйства	10, 18, 16, 22, 24, 68, 70	3	4	—	12	3, 4

Расчет использования элементов четной горловины станции

Номер элемента (см рис 9.2)	Продолжительность занятия операциями, мин		Коэффициент загрузки k_{zi}	Коэффициент использования k_{gi}
	изменяющимися $T_{з, i}$	постоянными $T_{пост, i}$		
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

Рассчитываем коэффициент использования горловины:

$$k_{\Gamma} = \max_{(i=1, 2, \dots, m)} \left[k_{zi} + \frac{\varphi t_{вр, i} T_{з, i}}{(T_{\Gamma} - T_{пост, i})(T_{з, i} + T_{пост, i})} \right],$$

где φ — коэффициент, учитывающий совмещение невзаимных операций в горловине. При двух параллельных маршрутах $\varphi = 1$; при трех $\varphi = 0,7$; при четырех и более $\varphi = 0,5$;

$t_{вр, i}$ — время перерывов в использовании элемента горловины при враждебных передвижениях по другим элементам. Приблизительно $t_{вр, i} = 1440(1 - \alpha_{\Gamma i})$;

$\alpha_{\Gamma i}$ — коэффициент, учитывающий потери времени в использовании элемента i . Ориентировочно при двух параллельных маршрутах $\alpha_{\Gamma} = 0,8 \div 0,85$; при трех $\alpha_{\Gamma} = 0,85 \div 0,90$; при четырех и более $\alpha_{\Gamma} = 0,90 \div 0,95$.

В рассматриваемой горловине можно выполнять более четырех параллельных операций. Следовательно, $\varphi = 0,5$, соответственно $\alpha_{\Gamma} = 0,92$. Тогда $t_{вр} = 1440(1 - 0,92) = 115,2$ мин. Результаты расчетов сводим в табл. 9.2 и устанавливаем наиболее загруженный элемент.

Пропускную способность горловины определяем по наиболее загруженному элементу 4:

$$N_{\Gamma} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{\phi} N_{jp}}{k_{\Gamma}}; \quad (9.1)$$

$$\left(\begin{matrix} j = 1, 2, \dots, n \\ p = 1, 2, \dots, \phi \end{matrix} \right),$$

где N_{jp} — число передвижений категории j с подхода p через горловину;

$$N_{\Gamma}^q = (34 + 6) 2/0,343 = 233 \text{ поезда.}$$

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 (табл. 9.3) и определяем время занятия элементов изменяющимися и постоянными операциями (табл. 9.4). По элементам 6 и 9 передвижений, связанных с обслуживанием грузового движения, нет, поэтому их исключаем из дальнейших расчетов. Для остальных элементов определяем k_{zi} и $k_{\Gamma i}$ при тех же

Сводная таблица передвижений в нечетной горловине станции

Операция	Номера стрелок, участвующих в маршруте	Продолжительность занятия маршрута одной операцией $t_{i, p}$	Число операций на маршруте $N_{i, p}$	Продолжительность занятия маршрута операциями		Номер элемента, в который входит стрелка маршрута	
				изменяющимся	постоянным		
Прием грузовых поездов из А в ПО—1	3, 7, 9, 11, 49, 55, 115		5	40	200	—	8, 10
Прием пассажирских и пригородных поездов из А на пути 1 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 пригородных с путей 11, 4	45, 43, 25, 21, 13, 1		4	20	—	80	9
Вывод составов пассажирских и пригородных поездов с пути 3 в технический парк	39, 37, 41, 27, 25, 21, 23		6	3	—	18	6, 9
Вывод составов из технического парка на путь 3	23, 21, 25, 27, 41, 37, 39		6	3	—	18	6, 9
Уборка поездных локомотивов от местных пассажирских поездов с пути 4 за стрелку 43	47, 45, 43, 25, 21		2	2	—	4	9
Уборка поездных локомотивов от стрелки 43 на путь 11	21, 25, 43, 45		2	2	—	4	9
Подача поездных локомотивов под местные пассажирские поезда:							
с пути 11 за стрелку 45	45, 43, 25, 21		2	2	—	4	9
от стрелки 45 на путь 4	21, 25, 43, 45, 47		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 маршрутов из ПО—1 на подъездной путь 2	117, 115, 55, 49, 11, 9, 7		2	10	—	20	8, 10
Уборка маршрутов с подъездного пути 2 в парк ПО—1	7, 9, 11, 49, 55, 115, 117		2	10	—	20	8, 10

Расчет использования элементов нечетной горловины станции

Номер элемента	Продолжительность занятия операциями		Коэффициент загрузки k_{zi}	Коэффициент использования k_{ri}
	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

значениях ϕ и α_r (см. табл. 9.4). По максимальному значению k_{ri} определяем пропускную способность горловины: $N_{г}^n = 40 \cdot 2 / 0,256 = 312$ поездов.

Станция же способна пропустить только 233 поезда

Пример 9.3. Определим пропускную способность приемо-отправочных парков участковой станции поперечного типа (см. рис. 9.2). В четном приемо-отправочном парке, состоящем из трех путей, обрабатывают 34 транзитных и 6 поездов своего формирования. В парк *ПО-I* (число путей 3) обрабатывают 32 транзитных и 6 поездов своего формирования. В парк *ПО-III* принимают в переработку по 6 поездов с обоих направлений, в том числе 2 пары сборных, 2 маршрута под выгрузку на подъездной путь 2, и отправляют на *Б* 2 маршрута из порожних вагонов. Продолжительность занятия приемо-отправочного пути обработкой одного поезда (с учетом ожидания и расформирования): транзитного $t_{тр} = 25$ мин; прибывающего в расформирование и маршрута под выгрузку $t_p = t_m = 30$ мин; своего формирования $t_{сф} = 45$ мин. Зимний период в районе расположения станции — 4, летний — 8 месяцев.

Решение. Пропускная способность приемо-отправочных парков

$$N = \frac{N_{jp}}{k_{п}},$$

где N_{jp} — число поездов категории j с подхода p , обрабатываемых в приемо-отправочном парке;

$k_{п}$ — коэффициент использования мощности путей:

$$k_{п} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{\phi} N_{jp} t_{jp} (1 + \beta_{п})}{1440 m \alpha_{п} \beta - \Sigma T_{пост}},$$

t_{jp} — время обработки поезда категории j (транзитного, разборочного, своего формирования, кроме сборных и вывозных, угловой передачи и др.);

$\beta_{п}$ — поправочный коэффициент, учитывающий колебания вагонопотоков, отказы технических устройств, взаимовлияние смежных устройств и другие объективные факторы. Для приемо-отправочных путей узловых несортировочных станций на двухпутных линиях $\beta_{п} = 0,2$, 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 — число путей в приемо-отправочном парке;

$\alpha_{п}$ — 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 рассматриваемой станции двух-трех перегонов. Для узловых станций $\alpha_{п} = 0,75 \div 0,90$, узловых 0,50 \div 0,65;

$\beta = 1$ — при расчете приемо-отправочных парков для транзитных поездов без переработки; $\beta = 1,08$ — для парков приема (отправления) на сортировочных станциях с двумя двухпутными подходами (выходами), оборудованными автоблокировкой; $\beta = 1,03$ — с двумя однопутными подходами, оборудованными полуавтоблокировкой;

$\Sigma T_{пост}$ — время выполнения постоянных операций за сутки (содержание и ремонт пути, уборка снега, пропуск подал 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 $\beta_{п} = 0,2$; $\alpha_{п} = 0,75$; $\beta = 1$ и $\Sigma T_{пост} = 25 + 3,3 + 3,3 = 31,6$ мин. Тогда

$$k_{п}^{ПО-I} = \frac{(32 \cdot 25 + 6 \cdot 45) (1 + 0,2)}{1440 \cdot 3 \cdot 0,75 \cdot 1 - 94,8} = 0,408;$$

$$k_{п}^{ПО-II} = \frac{(34 \cdot 25 + 6 \cdot 45) (1 + 0,2)}{1440 \cdot 3 \cdot 0,75 \cdot 1 - 94,8} = 0,427;$$

$$k_{п}^{ПО-III} = \frac{(14 \cdot 30 + 2 \cdot 45) (1 + 0,2)}{1440 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 1 - 63,2} = 0,292.$$

Пропускная способность парков соответственно:

$$N^{ПО-I} = 32 / 0,408 = 78 \text{ поездов}; N^{ПО-II} = 34 / 0,427 = 80 \text{ поездов};$$

$$N^{ПО-III} = 14 / 0,292 = 48 \text{ поездов}.$$

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:

$$k^{нч} = \frac{(32 \cdot 25 + 8 \cdot 30 + 8 \cdot 45) (1 + 0,2)}{1440 \cdot 4 \cdot 0,75 \cdot 1 - 126,4} = 0,401;$$

$$N^{нч} = (32 + 8 + 6) / 0,401 \approx 115 \text{ грузовых поездов};$$

четное направление:

$$k^{ч} = \frac{(34 \cdot 25 + 6 \cdot 30 + 6 \cdot 45) (1 + 0,2)}{1440 \cdot 4 \cdot 0,75 \cdot 1 - 126,4} = 0,372;$$

$$N^{ч} = (34 + 6 + 4) / 0,372 \approx 118 \text{ грузовых поездов}.$$

Пример 9.4. Определим результирующую пропускную способность участковой станции (см. рис. 9.2), 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:

$$N_p = \min (N_n^1, N_n^2, \dots, N_n^i, \dots, N_n^m),$$

где N_n^i — наличная пропускная способность элемента i станции.

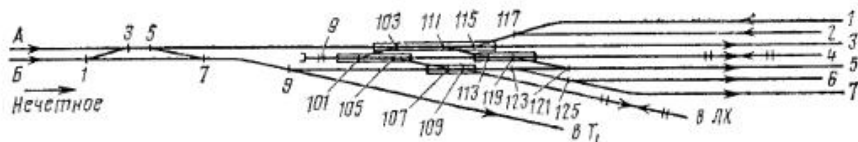


Рис. 9.3. Схема входной горловины предгорочного парка

Сравнивая наличную пропускную способность горловин [четной — 233, нечетной — 312 поездов (см. пример 9 2)], приемо-отправочных путей [в четном направлении — 118, в нечетном — 115 поездов (см. пример 9 3)] и прилегающих участков 86, видим, что ограничивают пропускную способность прилегающие к станции участки, следовательно, $N_p = 86$ пар грузовых поездов.

Пример 9.5. Определим пропускную способность входной горловины предгорочного парка сортировочной станции (рис 9 3), 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. $T_{пост} = 0$. Время занятия пути технологическими операциями $t_a = 30$ мин. Коэффициенты вариации интервалов прибытия поездов в парк $\gamma_{вх} = 0,8$, вывода составов на горку $\gamma_{вых} = 0,3$; уровень загрузки горки $\rho = 0,75$. Прием поездов равномерен на всех путях парка. Расчеты аналогичны примеру 9 2.

Решение. В горловине выделяем 4 элемента: 1 — 103, 111, 115; 2 — 101, 105; 3 — 113, 119; 4 — 107, 109. Составляем сводную таблицу передвижений (табл. 9.5) и определяем время занятия элементов (табл. 9.6). Для увязки загрузки горловины и путей используем предложенный кафедрой «Станции, узлы и грузовая работа» БелИИЖТа системный коэффициент использования

$$k_{гс} = \max_i \left[\frac{T_a, i (1 + q)}{T_p P_{пр} - T_{пост, i}} + \frac{\varphi t_{вп} i T_a, i (1 + q)}{(T_p P_{пр} - T_{пост, i}) (T_a, i + T_{пост, i})} \right], \quad (9.2)$$

где $P_{пр}$ — надежность работы станции; зависит от числа путей в парках, загрузки выходного канала:

$$P_{пр} = 1 - \rho^{m+1} (\gamma_{вх}^\beta + \gamma_{вых}^2)/2;$$

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. ($\rho \leq 0,85 \div 0,90$);

m — число путей в парке для погашения неравномерности движения поездов:

$$m = m_0 - \lambda t_a - m_p;$$

m_0 — общее число путей в парке;

λ — часовой темп поступления поездов в парк:

$$\lambda = N_0/24;$$

m_p — число дополнительных путей [6];

N_0 — общее число поездов, обслуживаемых парком в течение суток;

$\gamma_{вх}$ — коэффициент вариации интервалов входящего потока;

$\gamma_{вых}$ — то же обслуживания выходным каналом;

β — эмпирический коэффициент; изменяется от 2,5 до 2. В расчетах можно принять равным 2.

Сводная таблица передвижений во входной горловине предгорочного парка

Операция	Номера стрелок, участвующих в маршруте	Продолжительность занятия маршрута одной операцией $t_{i,р}$	Число операций на маршруте $N_{i,р}$	Продолжительность занятия маршрута $T_{i,з}$	Номер элемента, в котором входит стрелка маршрута
Прием 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
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 хозяйство	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 9.6

Расчет использования элементов входной горловины предгорочного парка

Номер элемента	Продолжительность занятия T_a, t	Системный коэффициент использования $k_{гс, i}$	Номер элемента	Продолжительность занятия T_a, t	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 9.2, $\varphi = 0,7$; $\alpha_{г} = 0,87$; $t_{вп} = 187,2$ мин. Тогда

$$m = 7 - 72 \cdot 0,5/24 - 2 \approx 3,5 \text{ путей};$$

$$P_{пр} = 1 - 0,75^{3,5+1} (0,8^2 + 0,3^2)/2 = 0,9.$$

По формуле (9 2) находим $k_{гс}$ (см. табл. 9.6) По его максимальному значению [см. формулу (9 1)]

$$N = 72/0,425 = 169 \text{ поездов.}$$

Резерв пропускной способности составляет 97 поездов.

Пример 9.6. Определим пропускную способность комплекса расформировки с вероятностью беспрепятственного приема $P_{пр} = 0,90$ при $t_r = 0,25$ ч. Остальные исходные данные см. в примере 9.5. Как изменится пропускная способность парка, если вероятность беспрепятственного приема повысится до 0,99? Каким должен быть t_r , чтобы вероятность беспрепятственного приема была $P_{пр} = 0,99$ при заданном числе путей?

Решение. Пропускная способность с заданной вероятностью беспрепятственного приема

$$N = \frac{24}{I_{\text{вых}}} \sqrt{\frac{2(1-P_{пр})}{\gamma_{\text{вх}}^2 + \gamma_{\text{вых}}^2}},$$

где $I_{\text{вых}}$ — интервал обслуживания транспортных единиц (горочный технологический интервал, интервалы отправления и вывода составов из парка). В нашем примере $I_{\text{вых}} = t_r$:

$$N = \frac{24}{0,25} \sqrt{\frac{2(1-0,90)}{0,8^2 + 0,3^2}} = 72 \text{ поездов.}$$

С увеличением вероятности беспрепятственного приема до 0,99 пропускная способность парка

$$N = \frac{24}{0,25} \sqrt{\frac{2(1-0,99)}{0,8^2 + 0,3^2}} = 43 \text{ поездов.}$$

Для реализации заданной пропускной способности горочный интервал необходимо довести до

$$t_r = \frac{24}{72} \sqrt{\frac{2(1-0,99)}{0,8^2 + 0,3^2}} = 0,15 \text{ ч.}$$

9.2. СОРТИРОВОЧНЫЕ ГОРКИ, ВЫТЯЖНЫЕ ПУТИ И ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫЕ ФРОНТЫ

Пример 9.7. Определим перерабатывающую способность механизированной горки с двумя путями надвига и роспуска односторонней сортировочной станции с последовательным расположением парков (рис. 9.4) при работе двух маневровых тепловозов. Путевое развитие сортировочного парка соответствует плану формирования и длине накапливающихся поездов. Роспуск составов на горке последовательный. За сутки на станцию прибывает 64 поезда в расформирование и 24 транзитных. Среднее число вагонов в расформировываемых составах $m_c = 53$, а число отцепов — 21. Горка в среднем в сутки перерабатывает 190 местных вагонов, 40 вагонов из депоовского и текущего ремонтов, 8 вагонов, задержанных на станции из-за отсутствия документов, для устранения коммерческого брака, перегруза и др. При осмотре и ремонте замедлителей работа горки не прекращается, а повторная сортировка вагонов из-за этого составляет 35 вагонов. Вагоны с путей отсева, ремонта и неспециализированных выводят в парк приема по обходным путям без занятия горки. Коэффициент, учитывающий увеличение времени занятия горки расформированием вагонов таких категорий, $\gamma = 2$. Продолжительность смены

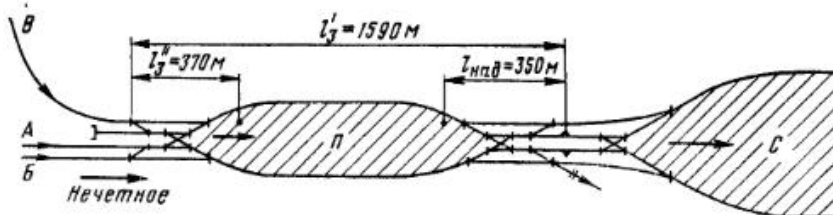


Рис. 9.4. Схема подачи составов на горку при последовательном расположении предгорочного и сортировочного парков

бригад 30 мин (2 раза в сутки по 15 мин). Во время экипировки горочных локомотивов работает подменный тепловоз. На спускной части горки уложены замедлители типа КВ.

Решение. Перерабатывающая способность горки при последовательном роспуске

$$n = \left[\frac{1440 - (\sum T_{\text{пост}}^{\text{гор}} + T_{\text{пр}})}{t_r + t_{\text{вр}}^{\text{гор}}} \bar{m} + \frac{1440 - (\sum T_{\text{пост}}^{\text{гор}} + T_{\text{пр}})}{T_{\text{ц}}} m_{\text{ц}}^{\Phi} + n_{\text{пр}} \right] P_r,$$

где $\sum T_{\text{пост}}^{\text{гор}}$ — время занятия горки в течение суток технологическими операциями, не зависящими от перерабатываемого вагонотока (экипировка горочных локомотивов, смена бригад, профилактический осмотр и ремонт механизмов, повторная сортировка, обработка вагонов с путей ремонта, местных, из вагонного депо и др.),

$T_{\text{пр}}$ — время простоя горки из-за ожидания обработки составов бригадами в парке приема; зависит от колебаний горочного технологического интервала, интервала обработки и соотношения между ними. Для ориентировочных расчетов $T_{\text{пр}} = 50 + 80$ мин;

\bar{m} — среднее число вагонов в составе;

t_r — средний горочный технологический интервал (заезд, надвиг, роспуск, формирование и осаживание);

$t_{\text{вр}}^{\text{гор}}$ — время перерывов в использовании горки, приходящееся на один состав, из-за враждебности передвижений; $t_{\text{вр}}^{\text{гор}} = 0,3 + 0,5$ мин;

$T_{\text{ц}}$ — продолжительность технологического цикла работы горки, мин;

$m_{\text{ц}}^{\Phi}$ — число формируемых через горку вагонов в каждом технологическом цикле;

$n_{\text{пр}}$ — число вагонов, перерабатываемых на горке при повторной сортировке из-за недостатка числа и длины сортировочных путей, роспуска местных передач, углового потока, вагонов с путей ремонта и др.;

P_r — коэффициент, учитывающий надежность технических устройств. В средних условиях для замедлителей КВ-3 $P_r = 0,92$; для КНП-5 и Т-50 $P_r = 0,94$.

При последовательном расположении предгорочного и сортировочного парков, работе на горке двух локомотивов и последовательном роспуске составов t_r определяют по графику работы горочных локомотивов (рис. 9.5) при условии, что осаживание и окончание формирования производятся после роспуска трех составов. Продолжительность заезда, надвига и роспуска устанавливают по масштаб-

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 составов						■
Продолжительность горочного цикла	33,5	■					

Рис. 9.5. Технологический график работы горки

ному плану станции [18]. Продолжительность цикла на графике $T_{ц} = 33,5$ мин, а $t_{г} = T_{ц}/N_{ц} = 33,5/3 = 11,2$ мин.

Время занятия горки постоянными операциями

$$\sum T_{пост}^{гор} = t_{бр} + \frac{\gamma(m_{м} + m_{р} + m_{а} + m_{повт}) t_{г}}{m_{с}},$$

где $t_{бр}$ — продолжительность перерыва в работе горки из-за смены локомотивных бригад, мин;

$m_{м}$ — число местных вагонов, перерабатываемых на горке;

$m_{р}$ — число вагонов, расформировываемых на горке после деповского и текущего ремонтов;

$m_{а}$ — число вагонов, задержанных на станции из-за отсутствия документов, устранения коммерческого брака, перегруза и др.;

$m_{повт}$ — число вагонов, повторно сортируемых горкой;

$$\sum T_{пост}^{гор} = 30 + 2(190 + 40 + 8 + 35) 11,2/53 = 145,4 \text{ мин.}$$

Число формируемых через горку вагонов в каждом технологическом цикле

$$m_{ц}^{\phi} = n_{ц} \bar{m}_{ц},$$

где $n_{ц}$ — число составов, расформировываемых за один цикл;

$\bar{m}_{ц}$ — среднее число повторно распускаемых вагонов, приходящееся на один состав (2—7).

Если $\bar{m}_{ц} = 5$ вагонов, то $m_{ц}^{\phi} = 3 \cdot 5 = 15$ вагонов

При $T_{пр} = 65$ мин, $i_{вр}^{гор} = 0,4$ мин, $P_{г} = 0,92$

$$n = \left\{ \frac{[1440 - (145,4 + 65)] 53}{11,2 + 0,4} + \frac{[1440 - (145,4 + 65)] 15}{33,5} + 273 \right\} 0,92 \approx$$

$$\approx 5930 \text{ вагонов.}$$

Пример 9.8. На сортировочной станции 3 вытяжных пути, на которых заканчивают формирование поездов, а также подбирают местные вагоны на грузовые пункты, льдопункт и сортировочную платформу. Определим их перерабатывающую способность, если маневровая работа между ними распределена следующим образом. На первом вытяжном пути в среднем в сутки формируют 14 сквозных, 4 двухгруппных, 2 сборных поезда и перерабатывают 80 местных вагонов; на втором — 17 сквозных, 5 двухгруппных и 6 сборных поездов; на третьем — 11 сквозных, 4 двухгруппных, 4 сборных поезда и 60 местных вагонов. Технологическое время на окончание формирования и перестановку составов в парк отправления: сквозных — 20 мин, двухгруппных — 30 мин, сборных — 65 мин. На работу с местными вагонами на первом вытяжном пути затрачивается 100 мин, на третьем — 80 мин. Средний состав поездов $m_{с} = 53$ вагона.

Решение. Перерабатывающая способность вытяжного пути l (в вагонах)

$$n_l^a = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{\phi} N_{pj}^a \bar{m}_{\phi}}{k_l^a} + m_{пост}^a l,$$

где N_{pj}^a — число поездов категории j , прибывающих (отправляемых) с линии p и обрабатываемых на вытяжном пути;

\bar{m}_{ϕ} — средняя величина обрабатываемого на вытяжном пути состава;

k_l^a — коэффициент использования перерабатывающей способности вытяжного пути;

$m_{пост}^a l$ — число вагонов углового потока, местных и т. д., перерабатываемых за время $\sum T_{пост}^a$.

Коэффициент использования перерабатывающей способности вытяжного пути

$$k_l^a = \frac{\mu_{повт}^a \left[\sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{\phi} N_{pj}^a t_{pj}^a \right] (1 + \beta_v)}{1440 \alpha_c P_{пр} - \sum T_{пост}^a l},$$

где $\mu_{повт}^a$ — коэффициент повторной сортировки, для средних условий 1,02—1,05;

t_{pj}^a — время обработки на вытяжном пути поезда категории j , прибывающего (отправляемого) с подхода p ;

β_v — коэффициент, учитывающий отказ технических устройств, равный 0,01;

α_c — коэффициент, учитывающий перерывы в использовании вытяжного пути из-за враждебности передвижений, равный 0,93—0,95;

$P_{пр}$ — коэффициент, характеризующий перерывы в использовании вытяжного пути из-за занятости парка отправления: $P_{пр} = 0,93 + 0,96$;

$\sum T_{пост}^a l$ — время занятия вытяжного пути в течение суток выполнением операций, не зависящих от объема переработки (перестановка углового потока, обработка групп вагонов, подлежащих ремонту или отремонтированных, местных вагонов, сортировочной платформы, льдопункта, экипировка маневрового локомотива, формирование сборных поездов); обычно равно 50—100 мин.

При $\mu_{повт}^a = 1,02$, $\alpha_c = 0,93$; $P_{пр} = 0,93$ для каждого вытяжного пути:

$$k_1^a = [1,02(14 \cdot 20 + 4 \cdot 30 + 4 \cdot 65)(1 + 0,01)] / (1440 \cdot 0,93 \cdot 0,93 - 100) = 0,594;$$

$$k_2^a = [1,02(15 \cdot 20 + 5 \cdot 30 + 4 \cdot 65)(1 + 0,01)] / (1440 \cdot 0,93 \cdot 0,93 - 0) = 0,587;$$

$$k_3^a = [1,02(13 \cdot 20 + 4 \cdot 30 + 4 \cdot 65)(1 + 0,01)] / (1440 \cdot 0,93 \cdot 0,93 - 80) = 0,566.$$

Перерабатывающая способность вытяжных путей:

$$n_1^a = (14 + 4 + 4) 53 / 0,594 + 100 \approx 2060;$$

$$n_2^a = (15 + 5 + 4) 53 / 0,587 + 0 \approx 2170;$$

$$n_3^a = (13 + 4 + 4) 53 / 0,566 + 80 \approx 2050 \text{ вагонов.}$$

Суммарная перерабатывающая способность m_b вытяжных путей

$$n_{m_b}^a = \sum_{l=1}^{m_b} n_l^a = 2060 + 2170 + 2050 = 6280 \text{ вагонов.}$$

Пример 9.9. Определим перерабатывающую способность грузового пункта с длиной фронта 150 м. Продолжительность маневровых операций — сборки (расстановки) вагонов одной подачи — $t_{раст} = t_{сб} = 10$ мин, грузовой операции $t_{гр} = 150$ мин. Продолжительность смены и перерывов на обед, других перерывов $t_{пост}^{гр} = 120$ мин.

Решение. Перерабатывающая способность грузового пункта

$$N = \frac{1440 - t_{пост}^{гр}}{T_{ц}} E_{\phi},$$

где $T_{ц}$ — продолжительность цикла обработки одной подачи (с момента прибытия до момента прибытия следующей подачи)

$$T_{ц} = t_{раст} + t_{гр} + t_{сб};$$

$$E_{\phi} = \frac{L_{\phi}}{l_{\phi}} — \text{вместимость грузового фронта, вагоны;}$$

L_{ϕ} — длина погрузочно-разгрузочного фронта со стороны железной дороги, м.

В нашем примере:

$$T_{ц} = 10 + 150 + 10 = 170 \text{ мин;}$$

$$E_{\phi} = 150/7,5 = 20 \text{ вагонов;}$$

$$N = (1440 - 120) 20/170 = 150 \text{ вагонов.}$$

10. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

10.1. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РЕКОНСТРУКЦИИ СТАНЦИИ

Пример 10.1. Из двух вариантов реконструкции станции (рис. 10.1) выберем оптимальный. Капитальные вложения в варианте 1 $K_1 = 10\,800$ тыс. руб., в варианте 2 $K_2 = 12\,180$ тыс. руб. Годовые эксплуатационные расходы $\mathcal{E}_1 = 754$ тыс. руб. и $\mathcal{E}_2 = 484$ тыс. руб.

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:

$$t_{ок} = (K_2 - K_1)/(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2).$$

Если $t_{ок}$ меньше нормативного срока окупаемости $t_{н}$ (для транспортных сооружений $t_{н} = 8 + 10$ лет), то следует принять более дорогой вариант. Если же $t_{ок} > t_{н}$, то следует ориентироваться на вариант с меньшими капитальными вложениями. В нашем примере $t_{ок} = (12\,180 - 10\,800)/(754 - 484) = 5,1$ года. Так как $5,1 < 8$, следует рекомендовать более дорогой вариант 2.

Приведенные строительно-эксплуатационные затраты

$$E_{пр i} = \mathcal{E}_i + E_{н} K_i, \quad (10.1)$$

где \mathcal{E}_i — эксплуатационные расходы в варианте i реконструкции, руб.;

K_i — капитальные вложения в варианте i , руб.;

$E_{н}$ — коэффициент эффективности капитальных вложений (величина, обратная сроку окупаемости):

$$E_{н} = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)/(K_2 - K_1).$$

При $t_{ок} = 8$ лет $E_{н} = 0,12$, при $t_{ок} = 10$ лет $E_{н} = 0,1$.

Лучший вариант тот, в котором приведенные строительно-эксплуатационные затраты минимальны. Для нашего примера:

$$E_{пр (1)} = 754 + 0,12 \cdot 10\,800 = 2050 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_{пр (2)} = 484 + 0,12 \cdot 12\,180 = 1945 \text{ тыс. руб.}$$

Предпочтение следует отдать варианту 2.

Пример 10.2. Реконструкция станции (см. варианты на рис. 10.1) 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) 6400 тыс. руб. и еще через 10 лет (этап II) 5400 тыс. руб. Эксплуатационные расходы разделены на две части — постоянную и переменную. Постоянная часть этапа I (от 0 до 10-го года) 300 тыс. руб., этапа II — 350 тыс. руб.; переменная часть на этапе I 10 тыс. руб. в год и на этапе II 8 тыс. руб. в год.

Коэффициенты отдаления капитальных затрат и эксплуатационных расходов

Число лет t	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

Вариант 2 Капитальные вложения исходного года 5000 тыс руб (этап I), через 8 лет еще 4300 тыс руб. (этап II) и через 15 лет 4880 тыс. руб (этап III) Постоянные части эксплуатационных расходов по этапам соответственно равны 120 тыс., 180 тыс и 200 тыс руб., переменная часть на этапе 18 тыс., на этапе II — 8 тыс и на этапе III — 4 тыс руб в год. Период сравнения 25 лет. Коэффициенты отдаления затрат при $E_{нп} = 0,08$ приведены в табл. 10.1.

Решение. При постоянных капитальных вложениях и меняющихся эксплуатационных расходах оптимальный вариант определяют по минимальной величине приведенных затрат за весь период сравнения. Приведенные затраты

$$E_{нп} = K_1 + \sum_{t_n}^{t_k} \frac{\mathcal{E}'_t}{(1 + E_{нп})^t} + \frac{K_2}{(1 + E_{нп})^t} + \sum_{t_n}^{t_k} \frac{\mathcal{E}'_t}{(1 + E_{нп})^t} +$$

$$+ \frac{K_3}{(1 + E_{нп})^t} + \sum_{t_n}^{t_k} \frac{\mathcal{E}''_t}{(1 + E_{нп})^t} + \dots + \frac{K_n}{(1 + E_{нп})^t} + \frac{\mathcal{E}''_t}{(1 + E_{нп})^t},$$

где $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ — капитальные вложения на рассматриваемых этапах;
 $\mathcal{E}'_t, \mathcal{E}''_t, \dots, \mathcal{E}''_t$ — эксплуатационные расходы за соответствующий этап;
 t_n, t_k — год начала и окончания этапа,
 $E_{нп}$ — коэффициент приведения разновременных затрат (0,08).

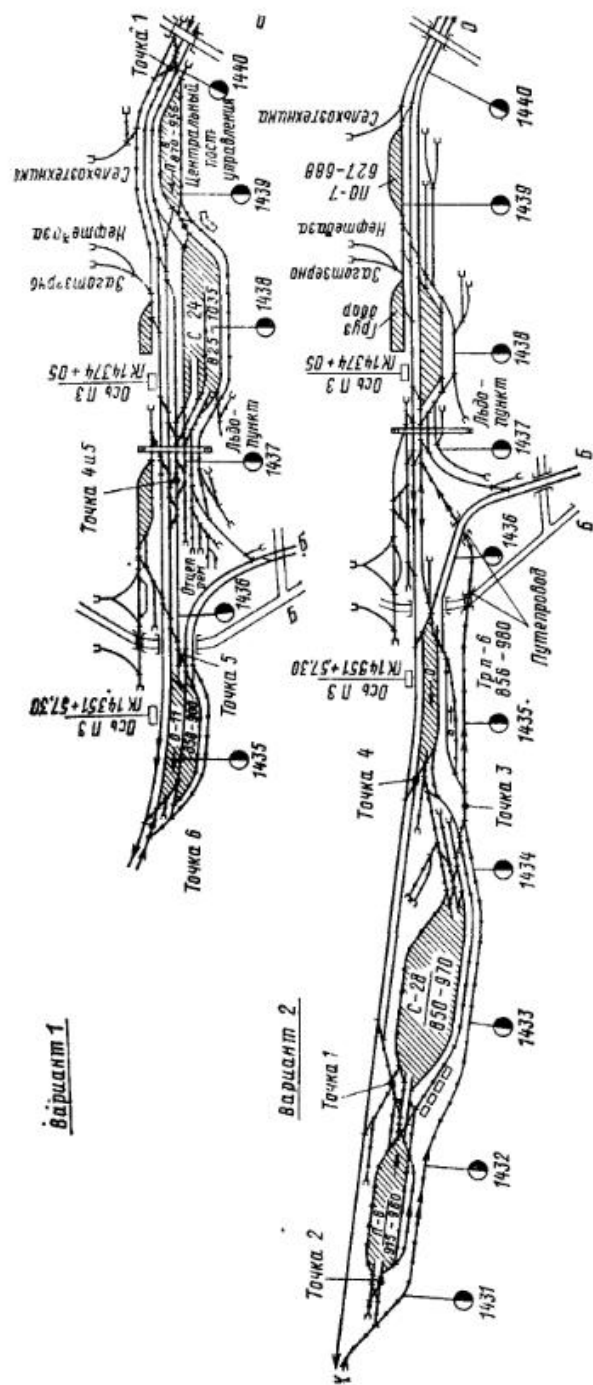


Рис. 10.1. Варианты переустройства станции

Эксплуатационные расходы за этап при разделении их на постоянную и переменную часть

$$\sum_{t_n}^{t_k} \frac{\partial t}{(1 + E_{np})^t} = \frac{1}{(1 + E_{np})^{t_n - 1}} \left[\partial_n \sum_1^{t_a} \frac{1}{(1 + E_{np})^{t_a}} + \partial_a \sum_1^{t_a} \frac{1}{(1 + E_{np})^{t_a}} \right],$$

где ∂_n — постоянная часть эксплуатационных расходов;
 ∂_a — переменная часть эксплуатационных расходов;
 t_a — продолжительность этапа, лет.

Рассчитаем приведенные затраты в каждом варианте и на каждом этапе.
Вариант 1. Эксплуатационные расходы на этапе I (10 лет, $t_n = 1$, $t_k = 10$)

$$\sum \frac{\partial_i}{(1 + 0,08)^t} = \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_n - 1}} \left[300 \sum_1^{10} \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_a}} + 10 \sum_1^{10} \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_a}} \right] = 1 (300 \cdot 6,71 + 10 \cdot 32,83) = 2341,3 \text{ тыс. руб.}$$

Капитальные вложения на этапе II за 10 лет

$$K_2' = K_2 / (1 + 0,08)^t = 5400 / (1 + 0,08)^{10} = 5400 \cdot 0,463 = 2500 \text{ тыс. руб.}$$

Эксплуатационные расходы на этапе II за 15 лет ($t_n = 11$; $t_k = 25$)

$$\sum_{11}^{25} \frac{\partial_i''}{(1 + 0,08)^t} = \frac{1}{(1 + 0,08)^{(11-1)}} \left[350 \sum_1^{15} \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_a}} + 8 \sum_1^{15} \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_a}} \right] = 0,463 (350 \cdot 8,56 + 8 \cdot 56,6) = 1596,8 \text{ тыс. руб.}$$

Приведенные затраты в варианте 1 [см. формулу (10.4)]

$$E_{np}(1) = 6400 + 2341,3 + 2500 + 1596,8 = 12\,838,1 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант 2. Эксплуатационные расходы на этапе I за 8 лет ($t_n = 1$; $t_k = 8$)

$$\sum_1^8 \frac{\partial_t}{(1 + 0,08)^t} = \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_n - 1}} \left[120 \sum_1^8 \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_a}} + 8 \sum_1^8 \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_a}} \right] = 1 (120 \cdot 5,75 + 8 \cdot 23,59) = 878,7 \text{ тыс. руб.}$$

Капитальные вложения на этапе II за 8 лет

$$K_2' = K_2 / (1 + 0,08)^t = 4300 / (1 + 0,08)^8 = 2322 \text{ тыс. руб.}$$

Эксплуатационные расходы на этапе II, начиная с 9-го года, за 7 лет ($t_n = 9$; $t_k = 15$)

$$\sum_9^{15} \frac{\partial_i''}{(1 + 0,08)^t} = \frac{1}{(1 + 0,08)^8} \left[180 \sum_1^7 \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_a}} + 6 \sum_1^7 \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_a}} \right] = 0,540 (180 \cdot 5,21 + 6 \cdot 19,27) = 568,8 \text{ тыс. руб.}$$

Капитальные вложения на этапе III за 15 лет

$$K_3' = K_3 / (1 + 0,08)^t = 4880 / (1 + 0,08)^{15} = 1537,2 \text{ тыс. руб.}$$

Эксплуатационные расходы на этапе III за 10 лет ($t_n = 16$; $t_k = 25$)

$$\sum_{16}^{25} \frac{\partial_i''}{(1 + 0,08)^t} = \frac{1}{(1 + 0,08)^{15}} \left[200 \sum_1^{10} \frac{1}{(1 + 0,08)^{t_a}} + 4 \sum_1^{10} \frac{t}{(1 + 0,08)^{t_a}} \right] = 0,315 (200 \cdot 6,71 + 4 \cdot 32,83) = 464,1 \text{ тыс. руб.}$$

Общие затраты в варианте 2

$$E_{np}(2) = 5000 + 878,7 + 2322 + 568,8 + 1537,2 + 464,1 = 10\,470,8 \text{ тыс. руб.}$$

Лучшим следует признать вариант 2.

10.2. ПЕРЕУСТРОЙСТВО ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Пример 10.3. Выберем оптимальный вариант размещения грузового двора на промежуточной станции¹ (рис. 10.2), где все пути двустороннего действия: 1 — прием пассажирских и пропуск без остановок пассажирских и грузовых поездов; 2 — прием грузовых и пассажирских; 3 и 4 — прием грузовых; 4 — сборных. Грузовой двор можно разместить либо со стороны пассажирского здания (вариант 1, рис. 10.1, а), либо параллельно пути 4 (вариант 2, рис. 10.1, б). Станция пропускает в сутки 35 пассажирских и грузовых поездов, 2 сборных, с которыми прибывают 4 вагона в адрес грузового двора, число подач на и с грузового двора по две. Подают (убирают) вагоны на пункты погрузки и выгрузки поездными локомотивами ТЭЗ. 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 $c_{авт} = 5,5$ коп/т·км, себестоимость 1 ч маневровой работы $c_{МН}^{пр} = 7,4$ руб., себестоимость 1 ч простоя подачи 6,8 руб. 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_{np} на подачу вагонов под погрузку-разгрузку, перевозку автотранспортом, строительство и эксплуатацию погрузочно-разгрузочных устройств (различных в вариантах). Следовательно,

$$E_{np} = 365 [E_{МН}^{пр} t_{МН} c_{об} + E_{NH}^{пр} t_3 + E_{авт}^{пр} \times \times m_{сут} q_n l'_{авт}] + \partial + EK = \min, \quad (10.2)$$

где $E_{МН}^{пр}$ — приведенные расходы на 1 ч простоя подачи, руб.;

$t_{МН}$ — время маневровой работы, ч (табл. 10.2);

t_3 — время задержки подачи из-за враждебности маршрута следования, ч;

$E_{авт}^{пр}$ — приведенные расходы на перевозку груза автотранспортом, коп/т·км;

$m_{сут}$ — среднесуточное число вагонов, прибывающих на промежуточную станцию;

¹ 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 двора. В данном примере дана методика технико-экономических расчетов размещения устройств на промежуточной станции поперечного типа.

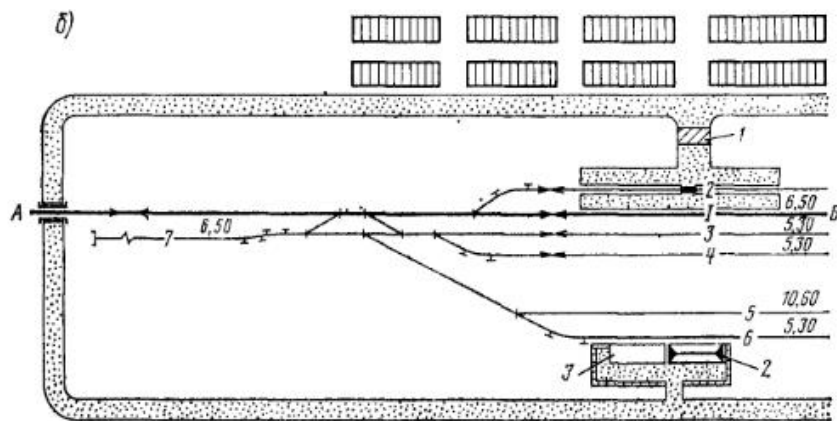
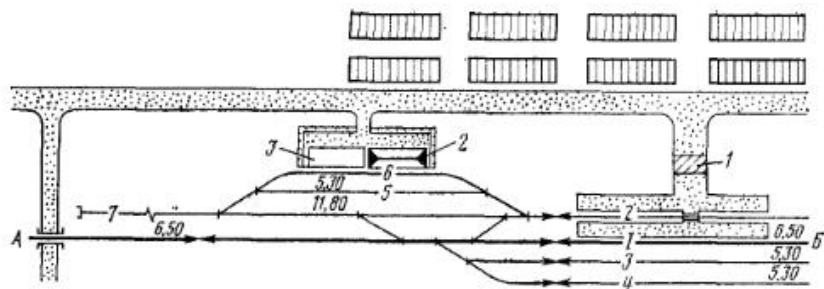


Рис. 10.2. Варианты размещения грузового двора на промежуточной станции: 1 — пассажирское здание; 2 — крытый склад; 3 — открытая площадка

Таблица 10.2

Продолжительность маневровой работы в вариантах размещения грузовых устройств

Операция	Число вагонов	Длина полурыса в вариантах, м		Время 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 двор	3	250	430	1,15	1,54
Перестановка вагонов	3	340	340	1,41	1,41
Подача вагонов под погрузку	3	340	340	1,41	1,41
Следование локомотива под поезд	—	1320	1410	2,89	3,03
Итого	—	—	—	10,73	11,13

$E_{NH}^{пр}$ — приведенные расходы на 1 ч маневровой работы (подачи-уборки вагонов), руб.;
 K — капитальные вложения в строительство погрузочно-разгрузочных устройств, руб.;
 \mathcal{E} — годовые эксплуатационные расходы на содержание этих устройств, руб.;
 E — коэффициент эффективности капитальных вложений 0,12;
 $N_{сб}$ — число пар сборных поездов.

Если капитальные вложения и расходы на содержание устройств в вариантах одинаковы, то общие расходы можно определять за сутки. Определим приведенные расходы на 1 ч простоя подачи:

$$E_{MH}^{пр} = c_{MH}^{пр} + \frac{EK_{л}\alpha_{рем}}{8760} + \frac{E(K_{в}\alpha_{рем} + K_{гр}q_{н}^a)}{8760} m_{сут},$$

где $K_{л}$ — стоимость локомотива (226 000 руб.);
 $\alpha_{рем}$ — коэффициент, учитывающий время нахождения локомотива или вагона в ремонте (1,1);
 $K_{в}$ — стоимость вагона (8500 руб.);
 $K_{гр}$ — стоимость 1 т перевозимого груза (200 руб.);

$$E_{MH}^{пр} = 7,4 + 0,12 \cdot 226 \cdot 10^3 \cdot 1,1 / 8760 + 0,12 (8500 \cdot 1,1 + 200 \cdot 45) 4 / 8760 = 7,4 + 3,4 + 1,10 = 11,90 \text{ руб.}$$

Расходы на 1 ч маневровой работы (при $c_{NH}^{пр} = 6,2$)

$$E_{NH}^{пр} = 6,8 + 3,4 + 1,10 = 11,30 \text{ руб.}$$

Время задержки сборного поезда из-за враждебности маршрутов следования организованных поездов по главному пути и группы вагонов, подаваемых с пути 4 на грузовой двор (рис. 10.1, а),

$$t_a = \frac{N_1 N_2 (t_1 + t_2)^2}{2T_p},$$

где N_1 — число поездов, пропускаемых по пути 1 в оба направления;
 N_2 — число подач на и с грузового двора;
 t_1, t_2 — время занятия точек пересечения 1 и 2 маршрутом;
 T_p — расчетный период (1440 мин).
 Для нашей задачи при $t_1 = t_2 = 5$ мин

$$t_a = (2 \cdot 35) (2 \cdot 2) (5 + 5)^2 / 2 \cdot 1440 = 10 \text{ мин};$$

$$E_{авт}^{пр} = c_{авт} + \frac{0,12 K_{авт} \cdot 100}{365 q_n^a v \gamma \beta \alpha t_{сут}} + \frac{0,12 K_{авт} t_{пв} \cdot 100}{365 v q_n^a \beta t_{сут} l_{авт}},$$

где $K_{авт}$ — стоимость автомобиля (1600 руб.);
 β — коэффициент полезного пробега автомобилей (в районах, где преобладают перевозки грузов для нужд сельского хозяйства, $\beta = 0,6$);

$q_n^a = 4$ т — загрузка автомобиля;
 $v = 25$ км/ч — средняя скорость движения автомобиля;
 $t_{сут} = 9$ ч — время работы автомобиля по наряду;
 $\alpha = 0,5$ — коэффициент готовности парка к выходу на линию;
 $\gamma = 0,8$ — коэффициент использования грузоподъемности автомобиля;
 $t_{пв} = 2$ ч — время простоя под погрузкой-разгрузкой;

$$E_{авт}^{пр} = 5,5 + [0,12 \cdot 1600 \cdot 100 / (365 \cdot 4 \cdot 25 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 9)] + [0,12 \cdot 1600 \cdot 2 \cdot 100 / (365 \cdot 0,8 \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 9 \cdot 10)] = 6,36 \text{ коп./т} \cdot \text{км.}$$

Подставляя полученные значения в выражение (10.2), получим:

$$E_{\text{пр}}(1) = 11,90 \frac{10,73}{60} 2 + 11,30 \frac{10}{60} + 6,36 \cdot 4 \cdot 45 \cdot 0,8 \cdot 10^{-2} = 15,41 \text{ руб. в сутки};$$

$$E_{\text{пр}}(2) = 11,90 \frac{11,13}{60} 2 + 6,36 \cdot 4 \cdot 45 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 27,18 \text{ руб. в сутки}.$$

Таким образом, размещение грузовых устройств в варианте 1 — со стороны пассажирского здания — экономически более целесообразно.

Пример 10.4. Переустроим станцию *H* (рис. 10.3, *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 ТЭ3, масса грузового поезда 3300 т, статическая нагрузка вагона $p_{\text{ст}} = 45$ т, число вагонов в составе $m = 50$. На грузовой двор прибывает 10 и на подъездной путь щебеночного карьера — 15 вагонов в сутки в основном со станции *B* подбранными по группам 90 % погруженных вагонов отправляются в сторону *A* и 10 % — в сторону *B*. Маневровую работу — обслуживание грузового двора, 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 руб. и сборного 8 руб. Стоимость 1 ч маневровой работы $c_{MH}^{\text{пр}} = 7,7$ руб., стоимость 1 км пробега одиночного локомотива $c_{MS} = 0,57$ руб. Направление *A—B* оборудовано автоблокировкой.

Решение. При переустройстве станции *H* (см. рис. 10.3, *a*, сплошная линия) необходимо удлинить приемо-отправочные пути в связи с увеличением массы поезда и увеличить их число 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 6 стрелочных переводов, а в сторону *B* — 11 и, кроме того, перетрассировать подъездной путь к карьеру, удлинить вытяжной путь *b* и уложить дополнительное соединение между ним и грузовым двором. Поэтому и без технико-экономических расчетов видно, что удлинять пути целесообразно в направлении *A* (см. рис. 10.3, штриховая линия).

Возможны два варианта укладки нового пути: параллельно существующим (вариант 1, рис. 10.3, *a*) и последовательно с ними (вариант 2, рис. 10.3, *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, рис. 10.3, *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. Время подачи (уборки) вагонов 0,44 ч.

На станции продольного типа (вариант 2, рис. 10.3, *b*) на путь *b* можно принимать четные сборные поезда¹. Нечетные поезда принимают на путь *4*. При этом маршрут следования поездов по главным путям пересекается с подачей (уборкой) вагонов на подъездной путь (точки 1 и 2, рис. 10.3, *b*). Простой сборных поездов из-за враждебности 102 поезде-ч в год. Время на подачу (уборку) вагонов 0,56 ч.

¹ Так как вагоны в адрес станции прибывают и отправляются с четными сборными поездами, в сравнении участвуют лишь показатели, характеризующие обслуживание поездов этой категории.

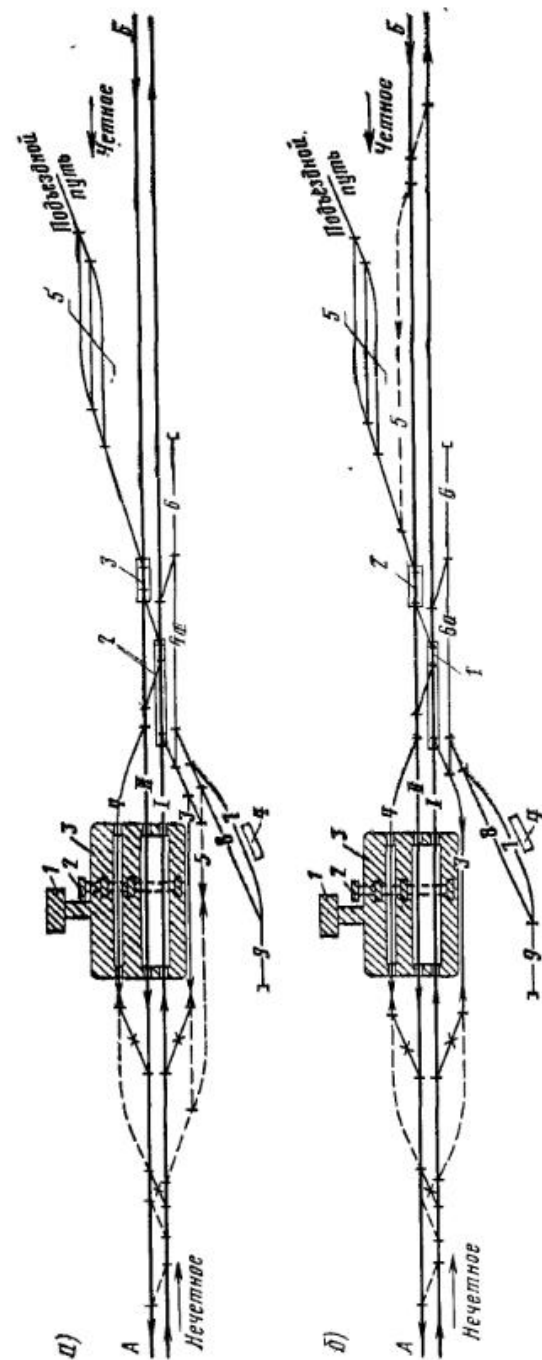


Рис. 10.3. Варианты переустройства промежуточной станции: 1 — пассажирское здание; 2 — тоннель; 3 — пассажирская платформа; 4 — грузовой двор; 5 — выставочный парк подъездного пути

Рациональное размещение дополнительного пути выбирают на основе технико-экономических расчетов. При этом рассчитывают капитальные и эксплуатационные затраты в вариантах. Капитальные вложения в каждом варианте

$$K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8, \quad (10.3)$$

где K_1 — стоимость земляных работ, руб.:

$$K_1 = e_1 V;$$

K_2 — стоимость укладки дополнительного пути, руб.:

$$K_2 = e_2 l_{\text{п}};$$

K_3 — то же дополнительных стрелочных переводов, руб.:

$$K_3 = e_3 n_{\text{стр}};$$

K_4 — стоимость установки дополнительных сигналов, руб.:

$$K_4 = e_4 n_{\text{сиг}};$$

K_5 — стоимость укладки кабеля для дополнительных сигналов, руб.

$$K_5 = e_5 l_{\text{к}};$$

K_6 и K_7 — капитальные вложения в локомотивный и вагонный парки, руб.

$$K_6 = \frac{1,1 K_{\text{л}}}{T} t_3; \quad K_7 = \frac{1,1 K_{\text{в}} m}{T} t_3;$$

K_8 — стоимость грузовой массы (оборотные средства), руб.:

$$K_8 = \frac{m q_{\text{н}}^{\text{н}} K_{\text{гр}} T}{T} t_3;$$

e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 } — расходные ставки на измеритель, руб. (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;

$n_{\text{стр}}$ — число стрелочных переводов;

$n_{\text{сиг}}$ — число дополнительно устанавливаемых сигналов;

$l_{\text{к}}$ — длина укладываемого кабеля к вновь устанавливаемым сигналам, км;

$K_{\text{л}}$ — стоимость локомотива, руб.;

$1,1$ — коэффициент, учитывающий время нахождения локомотива в ремонте;

T — число часов в году;

t_3 — время задержки подвижного состава, ч/год;

$K_{\text{в}}$ — стоимость вагона, руб.;

$K_{\text{гр}}$ — стоимость грузовой массы, руб/т;

m — число вагонов в составе.

Число слагаемых в формуле (10.3) зависит от объема работ в каждом варианте (табл. 10.3).

Эксплуатационные расходы в вариантах

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{п}} + \mathcal{E}_{\text{стр}} + \mathcal{E}_{\text{сиг}} + \mathcal{E}_{\text{к}} + \mathcal{E}_{\text{з}} + \mathcal{E}_{\text{м}} + \mathcal{E}_{\text{пл}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{п}}$ — расходы на содержание вновь укладываемых путей, руб.:

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = e_{\text{п}} l_{\text{п}};$$

$\mathcal{E}_{\text{стр}}$ — то же стрелочных переводов, руб.:

$$\mathcal{E}_{\text{стр}} = e_{\text{стр}} n_{\text{стр}};$$

$\mathcal{E}_{\text{сиг}}$ — то же дополнительных сигналов, руб.:

$$\mathcal{E}_{\text{сиг}} = e_{\text{сиг}} n_{\text{сиг}};$$

Объем строительных работ и капитальные вложения в вариантах развития станции

Показатель	Единица измерения	Расходная ставка, руб.	Вариант			
			1		2	
			Объем работы	Общие затраты, тыс. руб.	Объем работы	Общие затраты, тыс. руб.
Земляные работы	1 м ³	1,5	7000	10,50	7300	10,95
Укладка рельсов Р50, 1600 шпал на 1 км, балласт песчаный	1 км	35 731	1,0	35,73	1,4	50,02
Укладка стрелочных переводов марки I/11, Р65 с постановкой на щебень	1 компл.	5 100	—	—	4	20,40
Укладка стрелочных переводов I/11, Р50	1 компл.	3 900	4	15,60	2	7,80
Установка маневровых сигналов	1 шт.	475,0	—	—	1	0,48
Прокладка кабельной линии к сигналам	1 км	1 500	—	—	1,2	1,80
Капитальные вложения в подвижной состав (на приобретение)	Вагон	8 510	3,0	25,50	2,0	17,00
	Локомотив	226 000	0,06	13,56	0,04	9,04
Стоимость грузовой массы на колесах	1 т	160	132	21,12	88	14,08
Итого		—	—	122,01	—	131,75

$\mathcal{E}_{\text{к}}$ — то же кабельной линии, руб.:

$$\mathcal{E}_{\text{к}} = e_{\text{к}} l_{\text{к}};$$

$\mathcal{E}_{\text{з}}$ — расходы, связанные с простоем подвижного состава, руб.:

$$\mathcal{E}_{\text{з}} = c_{\text{НН}} t_3;$$

$\mathcal{E}_{\text{м}}$ — расходы на маневровую работу:

$$\mathcal{E}_{\text{м}} = c_{\text{МН}}^{\text{мд}} t_{\text{мам}};$$

$\mathcal{E}_{\text{пл}}$ — расходы на пробег одиночного локомотива:

$$\mathcal{E}_{\text{пл}} = c_{\text{МЗ}} l_{\text{до}};$$

$e_{\text{п}}, e_{\text{стр}}, e_{\text{сиг}}, e_{\text{к}}$ } — расходные ставки (эксплуатационные затраты) на измеритель (соответственно 1 км пути, 1 стрелочный перевод, 1 сигнал, 1 км кабеля), руб.;

$l_{\text{до}}$ — пробег одиночного локомотива, км.

Таблица 10.4

Эксплуатационные расходы в вариантах переустройства станции

Показатель	Единица измерения	Расходная ставка, руб.	Вариант			
			1		2	
			Объем рз-боты	Общие затраты, тыс. руб.	Объем ра-боты	Общие затраты, тыс. руб.
Содержание и амортизация:						
станционных путей	1 км	3760	1,0	3,76	1,4	5,26
стрелочных переводов	1 компл.	1760	4,0	7,04	6,0	10,56
Содержание кабельной сети	1 км	150	—	—	1,2	0,18
карликового сигнала	1 сигнал	50	—	—	1,0	0,05
Простой сборных четных поездов	1 поезд-ч	8,0	134,0	1,07	102,0	0,81
грузовых поездов	1 поезд-ч	12,0	54,0	0,65	—	—
Маневровая работа	1 локомотиво-ч	7,7	160,6	1,24	204,4	1,57
Пробег одиночного локомотива	1 локомотиво-км	0,5	1460,0	1,03	—	—
Итого	—	—	—	14,59	—	18,43

Рассматривая данные табл. 10.3 и 10.4, видим, что переустройство станции по продольной схеме (вариант 2) дороже, чем по поперечной (вариант 1). Приведенные расходы [см. формулу (10.1)]:

$$E_{пр} (1) = 14,59 + 0,12 \cdot 122,01 = 29,29 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_{пр} (2) = 18,43 + 0,12 \cdot 131,75 = 34,24 \text{ тыс. руб.}$$

в варианте 2 также больше, чем в варианте 1. Следовательно, новый путь 5 надо укладывать параллельно пути 3 (см. рис. 10.3).

10.3. ПЕРЕУСТРОЙСТВО СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Пример 10.5. Выберем рациональный вариант переустройства сортировочной станции (см. рис. 6.28 и 6.31) Размеры движения (поездов в сутки), объем работ, качественные показатели эксплуатации и расходные ставки приведены в табл. 10.5 и 10.6 Состав поезда $m = 50$ вагонов; нагрузка вагона $q_n^a = 45$ т; масса тары $q_T^a = 5,5$ т/ось; масса поезда 3350 т, серии локомотивов поездных ТЭ3, маневровых ЧМЭ3; 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 руб.

Решение. Проектом переустройства станции предусмотрены два варианта схем — с последовательным и комбинированным расположением ларков. В ва-

Размеры движения, поездов 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	$\frac{25}{14}$	$\frac{21}{20}$	$\frac{48}{20}$	$\frac{94}{54}$

Примечание. Числитель — без переработки, знаменатель — с переработкой.

Таблица 10.6

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 отправочный	1,3	2,3
Уборка поездного локомотива в локомотивное депо из парков, км:		
П—I	2,3	2,0
П—II	0,8	0,8
Подача (уборка) локомотива из локомотивного депо в парки, км:		
ТР—I, О—I	3,5	1,3
ТР—II, О—II	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

рианте 1 (см. рис. 6.28) новые парки транзитные $TP-I$, $TP-II$ и отправления поездов своего формирования $O-I$, $O-II$ строят последовательно с сортировочным, отчего длина станционной площадки увеличивается до 6 км. Для связи парков $TP-I$ и $TP-II$, $O-I$ и $O-II$ 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 $TP-I$, $O-I$ и $TP-II$, $O-II$ в депо и обратно велик. Локомотивы простаивают из-за пересечения маршрутов их следования с отправлением поездов из парков $O-II$, $TP-II$.

Т а б л и ц а 10.7

Объемы работ и капитальные вложения

Показатель	Единица измерения	Расходная ставка, руб.	Вариант			
			1		2	
			Объем работы	Общие затраты, тыс. руб.	Объем работы	Общие затраты, тыс. руб.
Земляные работы	1 м ³	1,0	527 927	527,93	594 938	594,94
Укладка путей: главных, Р65	1 км	71 000	23,60	1675,60	22,63	1610,28
приемо-отправочных Р50		57 000	37,45	2134,65	35,54	2025,78
сортировочных, Р50	1 км	48 600	18,39	893,75	18,88	917,57
Разборка пути, Р43		560	11,60	6,50	14,00	7,84
Укладка стрелочных переводов: марки 1/11, Р65	1 перевод	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	1 перевод	3 600	4,00	14,40	3,00	10,80
Разборка стрелочных переводов, Р43	1 перевод	85	72,00	6,12	76,00	6,46
Приобретение: поездных локомотивов	1 локомотив	226 000	4,20	949,20	2,92	659,92
маневровых локомотивов	То же	115 000	2,60	299,00	4,75	546,25
вагонов	1 вагон	8 500	40,00	340,00	35,00	297,50
Грузовая масса на колесах	т	200	1 800,00	360,00	1 575,00	315,00
Итого	—	—	—	7967,45	—	7682,84

В варианте 2 (см. рис. 6.31) новые парки транзитные $TP-I$, $TP-II$ и отправления поездов своего формирования $O-I$ и $O-II$ размещают параллельно с сортировочным. Связь между этими парками осуществляется через вытяжные и специальные соединительные пути. Для приема поездов, следующих в разборку с направления B , 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 парк отправления $O-I$ и $O-II$ не обеспечивает поточность обработки вагонов и увеличивает пробег подвижного состава. В выходной горловине предгорочного парка пересекаются маршруты надвига составов на горку из парка $P-I$ 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 (табл. 10.7, 10.8). Капитальные вложения в локомотивный и вагонный парк и в оборотные средства народного хозяйства (грузовая масса на колесах) определены следующим образом. Число приобретенных поездных локомотивов

$$M_{\Pi} = \frac{\sum NS + \sum MS}{v \cdot 365 \cdot 24} + \frac{\sum MH_{\Pi}}{365 \cdot 24},$$

где $\sum NS$ — суммарный пробег поездов, поездо-км;
 $\sum MS$ — пробег одиночно следующих локомотивов, локомотиво-км;
 $\sum MH_{\Pi}$ — простой поездных локомотивов, локомотиво-ч.
 Число маневровых локомотивов

$$M = \frac{\sum MH_M}{365 \cdot 24},$$

где $\sum MH_M$ — время, затрачиваемое на маневровые передвижения, локомотиво-ч.

Потребность в приобретении вагонов

$$m_{\text{ваг}} = \frac{\sum MSm}{v \cdot 365 \cdot 24}.$$

Грузовая масса на колесах

$$G = \frac{\sum NSmq_{\Pi}^a}{v \cdot 365 \cdot 24}.$$

По этим формулам рассчитано:

	1	Вариант 2
Число локомотивов:		
поездных	4,2	2,92
маневровых	2,6	4,75
Число вагонов	40,0	35,00
Грузовая масса на колесах, т	1800,0	1575,00

Расходные ставки на соответствующие измерители: стоимость 1 поездо-км (тепловозная тяга)

$$c_{NS} = 44 + 0,045Q_{бр},$$

где $Q_{бр}$ — масса поезда брутто, т.

Если $Q_{бр} = 3350$ т, то $c_{NS} = 44 \cdot 10^{-2} + 0,045 \cdot 3350 \cdot 10^{-2} = 1,95$ руб.; себестоимость 1 локомотиво-км одиночно следующего локомотива (тепловозная тяга)

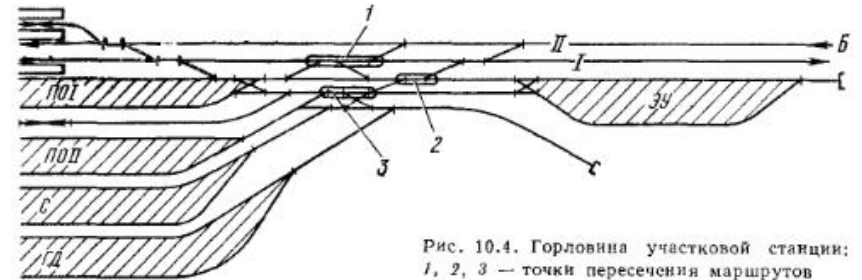
$$c_{MS}^0 = 46 + \frac{560}{v_0},$$

где v_0 — скорость следования одиночного локомотива, км/ч.

Таблица 10.8

Объем работ и эксплуатационные расходы

Показатель	Единица измерения	Расходная ставка, руб.	Вариант			
			1		2	
			Объем работы	Общие затраты, тыс. руб.	Объем работы	Общие затраты, тыс. руб.
Пробег транзитных поездов	1 поездо-км	1,95	205,86	380,84	136,24	252,04
Пробег поездов, прибывающих в переработку:	1 поездо-км					
четных		1,95	21,90	40,50	21,90	40,50
нечетных		1,95	26,30	48,65	52,60	97,30
Перестановка составов с путей сортировочного парка в парк отправления	1 локомотиво-ч	9,91	23,80	235,90	41,90	415,20
Уборка поездных локомотивов из парков:	1 локомотиво-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
Подача (уборка) локомотивов из парков:	1 локомотиво-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 отпращивании со станции:	1 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	1 локомотиво-ч	6,64	26,30	174,63	17,50	116,2
Содержание путей:	1 км					
главных, Р65, на щебеночном балласте		4060	0,0236	95,80	0,0227	92,20
приемо-отправочных, Р50		3130	0,0374	117,20	0,0355	111,20
сортировочных, Р50		2230	0,0183	41,00	0,0188	42,10
Содержание стрелочных переводов	1 перевод	1710	0,211	360,80	0,195	333,40
Итого				1706,45		1661,64

Рис. 10.4. Горловина участковой станции:
1, 2, 3 — точки пересечения маршрутов

Для ТЭЗ при $v_0 = 40$ км/ч $c_{MS} = 46 + 560/40 = 60$ коп.;
себестоимость 1 ч простоя локомотива

$$c_{MH} = e_{MS} \cdot l + e_{MH} \cdot l + e_{Mh} + e_r B_{ч},$$

где e_{MS} , e_{MH} — расходные ставки соответственно на 1 локомотиво-км, 1 локомотиво-ч, 1 бригадо-ч локомотивной бригады, 1 кг топлива или 1 кВт·ч электроэнергии, коп.;

$B_{ч}$ — расход топлива (электроэнергии) за 1 ч простоя локомотива, кг (кВт).

Для тепловоза можно принять: $e_{MS} = 21,3$; $e_{MH} = 105,9$; $e_{Mh} = 330$; $e_r = 5,6$; $B_{ч} = 37$. Тогда себестоимость 1 локомотиво-ч для ТЭЗ $c_{MH} = 21,3 + 105,9 + 330,0 + 5,6 \cdot 37 = 664$ коп. = 6,64 руб.

Приведенные затраты, рассчитанные по формуле (10.1) в соответствии с данными табл. 10.7 и 10.8 (при $E = 0,1$):

$$E_{пр}(1) = 0,1 \cdot 7967,95 + 1706,45 = 2503,3 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_{пр}(2) = 0,1 \cdot 7682,84 + 1661,64 = 2429,9 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, экономически более целесообразна станция комбинированного типа.

Пример 10.6. Определим экономические потери от задержек подвижного состава в горловине участковой станции поперечного типа (рис. 10.4), используя исходные данные (табл. 10.9). Состав поезда $m = 50$ вагонов; стоимость 1 ч простоя грузового поезда 18 руб., поездного локомотива для грузовых поездов 7,25 руб. и для пассажирских 6,20 руб.

Решение. Продолжительность задержек за год (табл. 10.13):
пересечение равноправных маршрутов (относящихся к одной категории передвижения):
первый маршрут

$$T_1^{зад} = 6,08 \frac{N_1 N_2 t_2^2}{2880}; \quad (10.4)$$

второй маршрут

$$T_2^{зад} = 6,08 \frac{N_1 N_2 t_1^2}{2880}, \quad (10.5)$$

где t_1 , t_2 — время занятия пересечения соответственно первым и вторым передвижением, мин;

N_1 , N_2 — число передвижений в сутки соответственно на первом и втором маршрутах;

пересечение неравноправных маршрутов (непреимущество маршрут)

$$T_{непр}^{зад} = 6,08 \frac{N_1 N_2 (t_1 + t_2)^2}{2880}. \quad (10.6)$$

Таблица 10.9

Виды передвижений по станции

Пересечение (см. рис. 10.4)	Маршрут	Передвижение	Число передвижений за сутки	Время занятия пересечения одним поездом, мин
1	1	Отправление пассажирского поезда на Б	20	5
	2	Прием грузового поезда в ПО-1 из Б	40	6
	3	Уборка локомотива от пассажирского поезда, следующего на Б	20	3
	4	Подача поездного локомотива к пассажирскому поезду, идущему на Б	20	3
2	1	Отправление грузового поезда на Б	35	5
	2	Уборка и подача локомотивов к пассажирскому поезду, следующему на Б	40	3
3	1	Уборка и подача локомотивов к грузовому поезду	120	2
	2	Отправление грузового поезда на Б	35	5

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.

Продолжительность задержек, рассчитанная по формулам (10.4)—(10.6), приведена в табл. 10.10.

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} — время 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 табл. 10.12 в эту формулу, получим $E_{\text{зад}} = 204 \cdot 18 + 274 \cdot 6,20 + 95 \cdot 18 + 95 \cdot 6,20 + 434 \cdot 7,25 = 10\,816$ руб. в год.

Пример 10.7. Определим эффективность реконструкции сортировочной станции А скоростным методом и экономически оправданные сроки строительства. Полигон сети, расстояния между станциями и суточные размеры грузового движения приведены на рис. 10.5. Станции: Е — сетевого значения; А и Г — районные; В — местные сортировочные; В и Д — участковые; И и Ж — узлы промежуточные. На существующей станции А (рис. 10.6) два комплекта приемоотправочных и сортировочных парков, специализированных по направлениям движения. Вагоны сортируют на двух полуторках. Согласно проекту переустройства станции (рис. 10.7) существующие пути удлиняют и вместо двух сортировочных парков укладывают один объединенный сортировочно-отправочный. К расчету принять: участковую скорость движения поездов $v = 40$ км/ч; коэффициент вспомогательного пробега локомотивов $\beta_{\text{л}} = 20\%$; статическую нагрузку вагона $p_{\text{ст}} = 45$ т; себестоимость 1 поезд-км $c_{\text{НС}} = 1,95$ руб.; расход-

Таблица 10.10

Параметры для определения и расчет задержек подвижного состава на пересечениях

Пересечение (см. рис. 10.1)	Пересекающийся маршрут	N_1	N_2	$t_{1, \text{мин}}$	$t_{2, \text{мин}}$	$T_{\text{з}}$
1	Отправление пассажирского поезда на Б и прием грузового из Б	20	40	5	6	204 поезд-ч
	Прием грузового из Б и подача и уборка локомотивов к пассажирскому поезду	40	40	6	3	274 локомотиво-ч
2	Подача локомотивов к пассажирскому поезду и отправление грузового на Б	20	35	3	5	95 поезд-ч
	Отправление грузового поезда на Б и уборка локомотива от пассажирского поезда	35	20	5	3	95 локомотиво-ч
3	Отправление грузового поезда на Б и подача и уборка локомотивов к грузовому поезду	35	120	5	2	434 локомотиво-ч

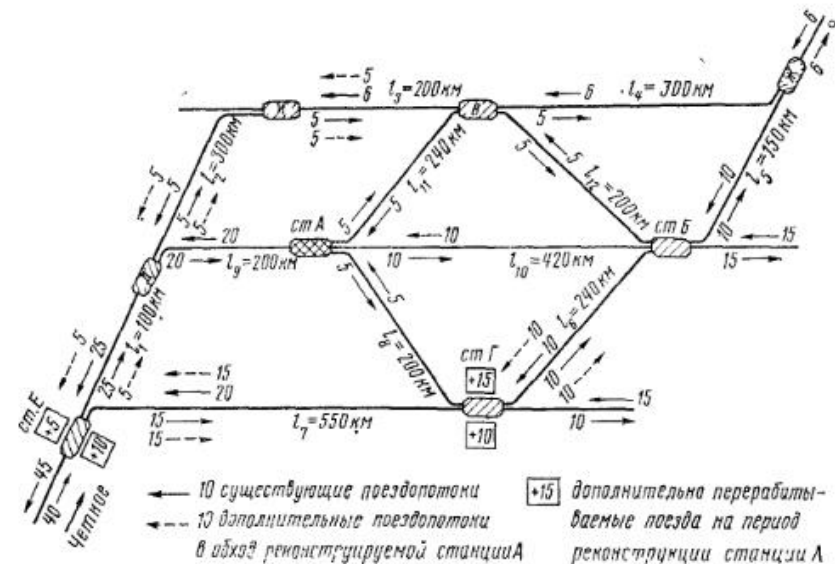


Рис. 10.5. Полигон сети

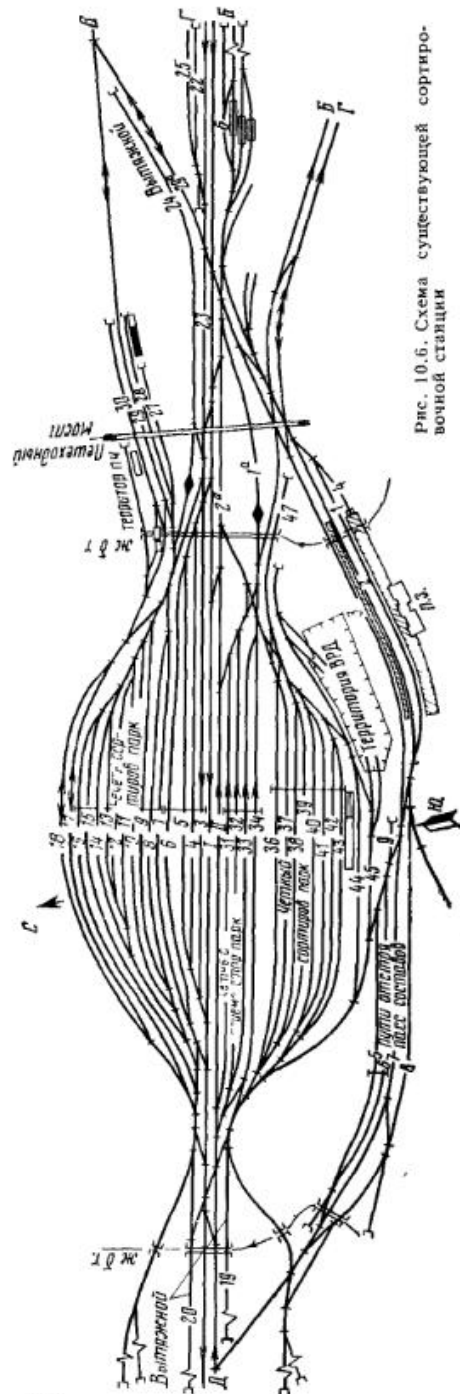


Рис. 10.6. Схема существующей сортировочной станции

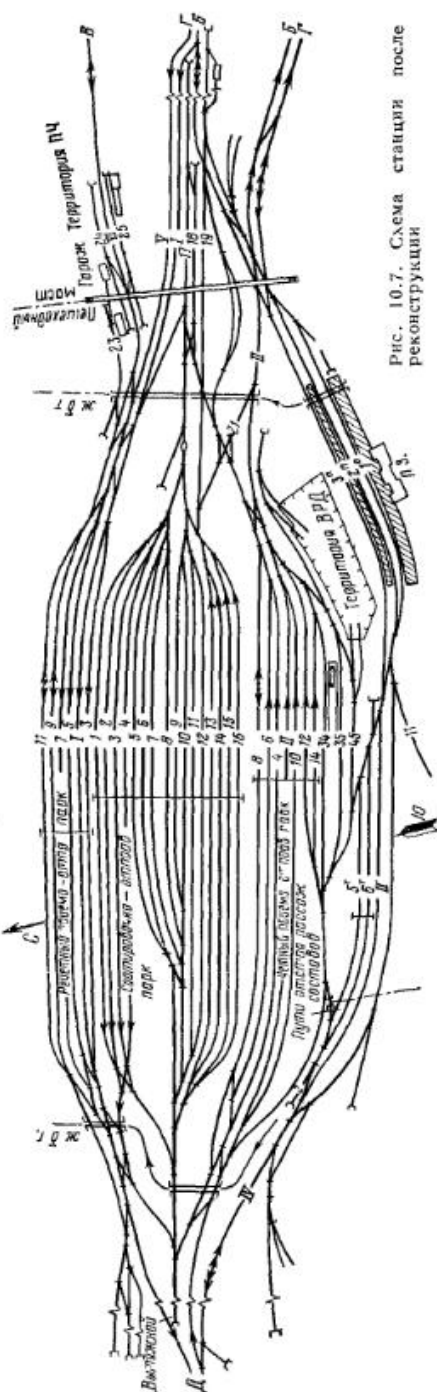


Рис. 10.7. Схема станции после реконструкции

ную ставку 1 вагоно-ч $e_{ПН} = 7,4$ коп; расходы на одну остановку поезда $c_0 = 5$ руб; себестоимость простоя поезда — 10 руб.

Решение. Рассмотрим организацию поэтапного развития станции. Чтобы перерывы в эксплуатационной работе были минимальными, можно наметить следующую очередность работ:

I этап (рис 10.8). Укладка западной горловины нового нечетного приемо-отправочного парка и удлинение путей никак не влияет на загрузку существующих путей.

II этап. Удлинение путей существующего четного сортировочного парка затрудняет эксплуатационную работу хвостовой горловины, что может быть компенсировано передачей части работы на головную горловину.

III этап (рис 10.9). 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 (рис 10.10) может быть осуществлено аналогично работам II этапа.

V и VI этапы (рис. 10.11). 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. рис 10.11). Переустройство горловины 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 стрелок. Расчетами установлена стоимость переустройства станции 550 тыс. руб.

Период реконструкции можно сократить скоростным методом строительства. Однако в этом случае сортировочную работу со станции А необходимо передать на другие станции полигона, например Е и Г (см. рис. 10.5). Тогда поезда пойдут, минуя ее: основной поток нечетного направления (15 поездов) — через станции Б, Г и частично (5 поездов) через В, И, Д; основной поток четного направления (15 поездов) — через станции Е, Г, Б и частично (5 поездов) через Д, И, В. Объем сортировочной работы на станции Е возрастет на 15, а на станции Г — на 25 поездов в сутки. Строительство станции А 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, краны, шпалоподбивочные машины, балластер и др.). В это же время выполняют вспомогательные работы. Основным периодом — реконструкция сортировочного парка, строительство новой горки и переустройство западной горловины сортировочного парка и вытяжного пути 20.

Стоимость реконструкции станции скоростным методом 420 тыс. руб. Расходы на содержание вводимых в эксплуатацию устройств 10 тыс. руб. Приведенные затраты на один вагон снизятся после реконструкции станции на 0,15 руб. Однако простой поездов на подходах к станциям Е и Г возрастет соответственно на 0,08 и 0,06 ч и на самих станциях на 0,2 и 0,16 ч. Скоростное строительство станции должно быть экономически обосновано. При этом необходимо сопоставить экономии расходов от сокращения сроков строительства с дополнительными затратами, вызванными закрытием переустраиваемой станции для пропуска поездов

работку вагонов на станциях закрываемой и тех, куда эта работа переносится. В примере переработка поездов передается на станции E и Γ , 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,

$$\Delta \mathcal{E}_c = (N_n E_{NH}^{np} + c_o N_n) t_a + E_{PH}^{np} N_d t_{np} m, \quad (10.8)$$

где N_n — общее число поездов, прибывающих в парк приема:

$$N_n = N_c + N_d;$$

N_c — существующие размеры движения на рассматриваемой станции;
 N_d — дополнительное число поездов, перерабатываемых на этой станции;
 E_{PH}^{np} — приведенные затраты, приходящиеся на 1 вагоно-ч, без учета расходов на строительство станционных путей (0,29 руб);
 E_{NH}^{np} — приведенные затраты, приходящиеся на 1 поезд-ч:

$$E_{NH}^{np} = c_{NH} + \frac{EK_{\pi}}{8760} + \frac{EK_{вм}}{8760} + \frac{EK_{гд} m q_n^a}{8760} =$$

$$= 10 + (0,12 \cdot 226 \cdot 10^3 + 0,12 \cdot 8500 \cdot 50 + 0,12 \cdot 200 \cdot 50 \cdot 45) / 8760 = 23 \text{ руб.}$$

Подставляя исходные и расчетные данные в формулу (10.8), получим:
 для станции E $\Delta \mathcal{E}_c(E) = (50 \cdot 23 + 5 \cdot 50) 0,08 + 0,29 \cdot 50 \cdot 0,12 \cdot 50 =$
 $= 175 \text{ руб};$
 для станции Γ $\Delta \mathcal{E}_c(\Gamma) = (55 \cdot 23 + 5 \cdot 55) 0,06 + 0,29 \cdot 55 \cdot 0,1 \cdot 50 = 143 \text{ руб.}$
 Подставляя исходные и расчетные данные в выражение (10.7) для принятых в рассматриваемом примере условий, получим

$$0,12 \cdot 550 \cdot 10^3 - \left[0,12 \cdot 420 \cdot 10^3 + \frac{10 \cdot 10^3 (180 - 12)}{365} \right] +$$

$$+ 0,15 \cdot 40 \cdot 50 (180 - 12) \geq 12 (2,4 \cdot 2500 + 175 + 143),$$

$$\text{или } 109,2 \cdot 10^3 > 72,8 \cdot 10^3.$$

Следовательно, скоростное строительство для станции A экономически целесообразно.

Чтобы определить оптимальные сроки продолжительности строительства, преобразуем формулу (10.7). Максимальное время, на которое экономически целесообразно освободить переустраиваемую станцию от эксплуатационной работы,

$$\max T_2 = \frac{E \sum K_1 - \left[E \sum K_2 + \frac{\mathcal{E}_{nc} (T_1 - T_2)}{365} \right] + E_n^{np} N_m (T_1 - T_2)}{E_{NS}^{np} \Delta \sum NS + \sum_1^n \Delta \mathcal{E}_c}.$$

Минимально необходимое сокращение продолжительности строительства

$$\min (T_1 - T_2) = \frac{T_2 \left(E_{NS}^{np} \Delta \sum NS + \sum_1^n \Delta \mathcal{E}_c \right) - E \sum K_1 + E \sum K_2}{E_n^{np} N_m - \frac{\mathcal{E}_{nc}}{365}}.$$

Подставляя в эти формулы соответствующие значения, получим.

$$\max T_2 = \frac{0,1 \cdot 550 \cdot 10^3 - \left[0,1 \cdot 420 \cdot 10^3 + \frac{10 \cdot 10^3 (180 - 12)}{365} \right]}{2,4 \cdot 2500 + 175 + 143} +$$

$$+ \frac{0,15 \cdot 40 \cdot 50 (180 - 12)}{2,4 \cdot 2500 + 175 + 143} = 17 \text{ суток};$$

$$\min (T_1 - T_2) = \frac{12 (2,4 \cdot 2500 + 175 + 143) - 0,1 \cdot 550 \cdot 10^3 + (0,1 \cdot 420 \cdot 10^3)}{0,15 \cdot 40 \cdot 50 - \frac{10 \cdot 10^3}{365}} =$$

$$= 132 \text{ суток.}$$

Таким образом, сроки скоростного строительства экономически оправданы.

11. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ УЗЛЫ

11.1. РАЗМЕЩЕНИЕ УСТРОЙСТВ

Пример 11.1. В связи со строительством новой магистральной линии $K-M$ и увеличением объема перевозок на существующем направлении $B-J$ в железнодорожном узле H необходимо соорудить новую сортировочную станцию C . Требуется выбрать площадку для ее размещения. Схема узла и возможные варианты расположения этой площадки показаны на рис. 11.1. Число грузовых поездов, поступающих на сортировочную станцию, примем по данным табл. 11.1. Кроме того, через узел проходит с направления $J-30$, $B-24$, $M-23$ и $K-17$ пар пассажирских поездов в сутки. Между сортировочной и грузовыми станциями обращаются на участке $C-G_1-4$ на участке $C-G_2-6$ и на участке $C-G_3-4$ передаточных поезда.

Грузовые поезда обслуживаются локомотивами ВЛ80^к, пассажирские — ЧС4, передаточные — ТЭМ2. Состав грузового поезда 200, а передаточного — 120 осей. Тара груженого вагона 5,5 т/ось, статическая нагрузка 11 т/ось. Скорость движения в пределах узла грузовых поездов 40 км/ч, передач 25 км/ч. Себестоимость 1 поезда-км в пассажирском движении 1,8 руб., 1 ч простоя грузового поезда — 10 руб. и 1 ч простоя передачи — 8 руб. Стоимость строительства сортировочной станции в варианте 1 — 18,5 млн руб., в варианте 2 — 19 млн руб. Техническое оснащение сортировочных станций в обоих вариантах одинаковое.

Решение. *Вариант 1* (рис. 11.1, а). При сооружении сортировочной станции между станциями H и G_2 потребуется построить путепроводную развязку и уложить 23 км соединительных путей (II , III и IV). Тогда грузовые поезда на сортировочную станцию с направлений B и M пойдут по II , из J — по IV , а на J — по III путям. Путь IV будет использован и для курсирования передаточных поездов между станциями C и G_3 . Пассажирские поезда из H на K и обратно следуют по путям I' и II' , а на J и обратно — по I и II . В такой конструктивной схеме узла пересекаются маршруты:

станция G_1 — отправления пассажирских (путь II) и приема грузовых поездов, следующих в сторону J (путь III).

Таблица 11.1

Размеры грузового движения, поездов в сутки

Из	На				Всего
	Б	М	Ж	К	
Б	—	—	10	15	25
М	—	—	16	10	26
Ж	10	16	—	—	26
К	15	10	—	—	25
Итого	25	26	26	25	102

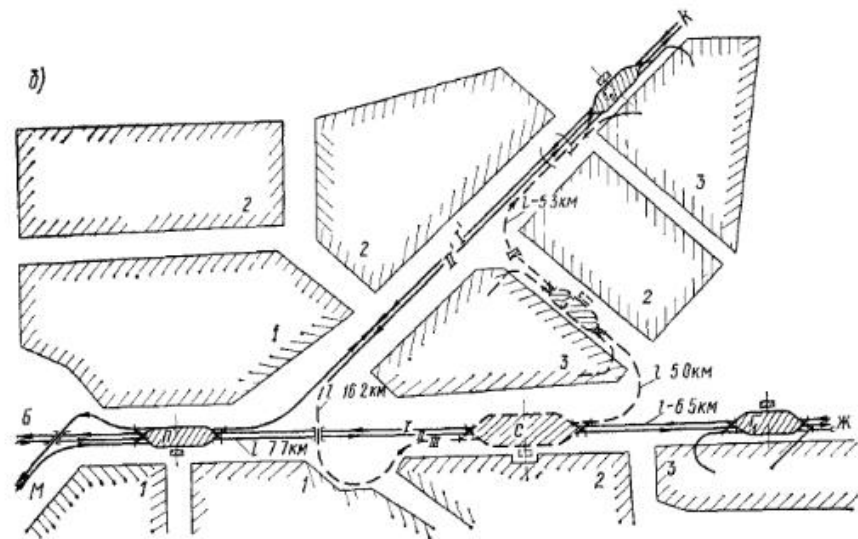
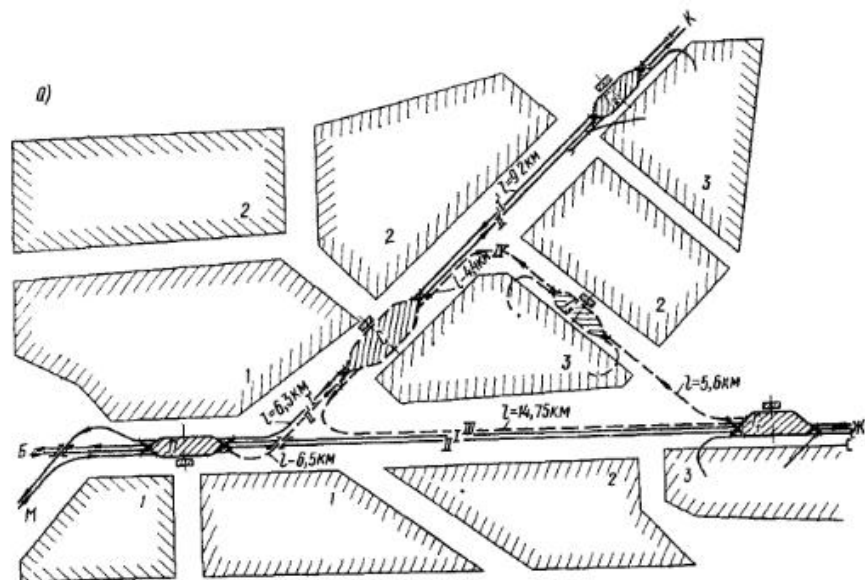


Рис. 11.1. Схема железнодорожного узла

1 — город, 2 — зеленая зона, 3 — промышленный район, C — сортировочная, II — пассажирская, G_1 , G_2 , G_3 — грузовые станции.

станция C — отправления пассажирских и грузовых поездов в сторону K и приема грузовых по пути IV из J, приема поездов по пути II' и отправления грузовых (путь III) на J.

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.

Таблица 11.2

Объемы работ и капитальные вложения, тыс. руб.

Показатель	Единица измерения	Расходная ставка, руб.	Вариант			
			1		2	
			Объем работы	Общие затраты	Объем работы	Общие затраты
Строительство сортировочной станции	1 станция			18 500		19 000
Укладка соединительных путей в узле, рельсы Р50, 1600 шпал на 1 км, балласт песчаный	1 км	57 000	23,00	1 311,0	18,00	1 026,0
Укладка стрелочных переводов 1/11, Р50 и оборудование их электрической централизацией	1 компл.	7 000	11,00	77,00	14,00	98,00
Строительство путепровода	1 м	7 000	57,20	400,40	39,20	274,40
Устройство линии связи	1 км	1 300	19,20	24,96	18,00	23,40
Устройство автоблокировки	1 км	4 900	23,00	112,70	18,00	88,20
Простой подвижного состава:						
локомотивы:						
пассажирские	1 локомотиво-ч	23,4	10 092	236,15	10 067	235,57
поездные	1 локомотиво-ч	37,0	16 795	621,42	16 754	619,90
передаточные вагоны	1 локомотиво-ч	14,5	3 890	56,40	3 201	46,41
	1 вагоно-ч	1,73	912 900	3 309,32	1 867 560	3 224,88
Итого	—	—	—	24 649,35	—	24 636,76

Вариант 2 (рис. 11.1, 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 специализируется 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 отпращиванию 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 табл. 11.2 и 11.3. Приведенные расходы рассчитываем по формуле (10.2). Чтобы рассчитать затраты, связанные с пробегом

Таблица 11.3

Годовые эксплуатационные затраты, тыс. руб.

Показатель	Единица измерения	Расходная ставка, руб.	Вариант			
			1		2	
			Объем работы	Общие затраты	Объем работы	Общие затраты
Пробег поездов: пассажирских	1 поездо-км	1,8	504 576	908,43	503 335	906,0
грузовых		1,32	641 050	1230,81	651 854	1161,56
Пробег передач	1 передаче-км	1,33	963 600	1281,58	788 400	1048,57
Простой: грузовых поездов	1 поездо-ч	10	768,5	7,69	458,0	4,58
передач	1 передаче-ч	8	355,0	2,84	473,0	3,78
Содержание: путей	1 км	2920	23,0	67,16	18,0	52,56
стрелочных переводов	1 комплект	1710	11,0	18,81	14,0	23,94
путепровода	1 м	36	57,2	2,06	39,2	1,41
устройств связи	1 км	180	19,2	3,46	18,0	3,24
устройств автоблокировки	1 км	820	23,0	18,86	18,0	14,76
Итого	—	—	—	3541,70	—	3220,40

грузовых поездов и передач (табл. 11.3), и стоимость 1 вагоно-ч, 1 локомотиво-ч (табл. 11.2), необходимо определить:

себестоимость 1 поездо-км (электрическая тяга), руб.:

$$c_{NS} = (33 + 0,03Q_{бр}) 10^{-2}.$$

Если $Q_{бр} = (11 + 5,5) 200 = 3300$ т, то $c_{NS} = (33 + 0,03 \cdot 3300) 10^{-2} = 1,32$ руб.;

стоимость поездного локомотива, отнесенная на 1 ч занятости:

$$c_{к}^л = 295 \cdot 10^3 \cdot 1,1 / (365 \cdot 24) = 37 \text{ руб.};$$

стоимость вагона, включая стоимость груза (в составе 70 % груженых вагонов), отнесенная на 1 ч простоя:

$$c_{к}^в = (8500 + 11 \cdot 4 \cdot 200 \cdot 0,7) / 8760 = 1,73 \text{ руб.};$$

себестоимость 1 передаче-км

$$c_{NS}^{пер} = [44 + 0,045 (11 + 5,5) 120] 10^{-2} = 1,33 \text{ руб.};$$

стоимость передаточного локомотива, отнесенная на 1 ч занятости:

$$c_{к_1}^л = 115 \cdot 10^3 \cdot 1,1 / 8760 = 14,5 \text{ руб.}$$

Суммарные капитальные и эксплуатационные расходы в вариантах см. в табл. 11.2 и 11.3. Приведенные затраты:

$$E_{\text{пр}}(1) = 3541,7 + 0,12 \cdot 24 \cdot 649,35 = 6499,58 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_{\text{пр}}(2) = 3220,4 + 0,12 \cdot 24 \cdot 636,76 = 6176,72 \text{ тыс. руб.}$$

Сопоставляя их, видим, что площадку для новой сортировочной станции целесообразно расположить между станциями II и Г₁ (вариант 2).

Пример 11.2. Необходимо выбрать площадку для строительства нового грузового двора в железнодорожном узле Н (рис. 11.2). Расстояние между сортировочной и грузовой станциями в вариантах: 1 — 10 км; 2 — 3 км и 3 — 5 км. В адрес грузового двора прибывает 50 вагонов в сутки. Статическая нагрузка вагона $p_{\text{ст}} = 44$ т. Число передач (на грузовые станции) во всех вариантах 7, локомотив ТЭМ1. Корреспонденции между грузовым двором и районами города распределяются так: район I — 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 двором и районами города см. в табл. 11.4.

Расходы на освоение территории и подвод коммуникаций в район расположения грузового двора в вариантах 1 — 50 тыс. руб.; 2 — 120 тыс. руб. и 3 — 170 тыс. руб. Необходимо уложить вытяжные пути (станции I, II, III, рис. 11.2), переложить и уложить новые стрелочные переводы (станции I и III). Капитальные вложения на это см. в табл. 11.5. 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 рас-

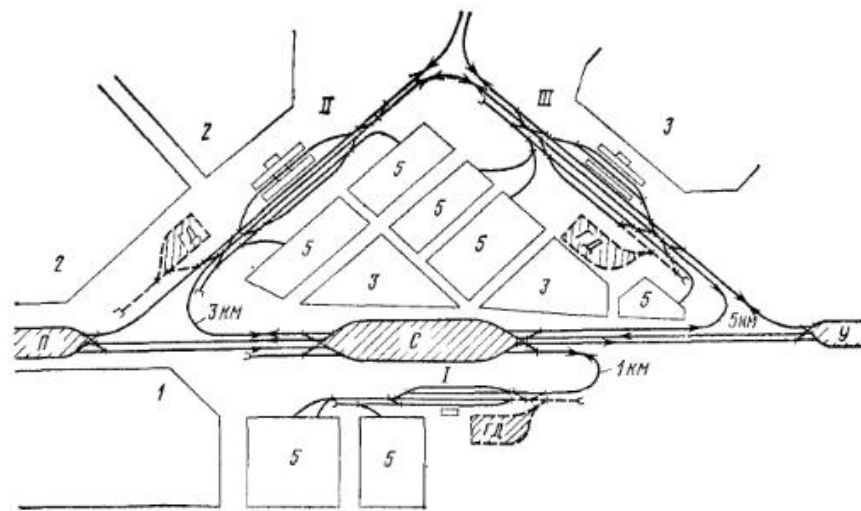


Рис. 11.2. Схема железнодорожного узла:

1, 2, 3 — районы города; 5 — промышленные предприятия; С — сортировочная, П — пассажирская, I, II, III — грузовые станции; ГД — грузовой двор

Расстояние, км, от грузового двора до центров районов города

Вариант размещения грузового двора	Район города		
	I	2	3
1	1,5	5,0	10,0
2	3,0	1,5	8,0
3	8,0	5,0	1,5

Таблица 11.5

Капитальные вложения в верхнее строение пути

Вид работы	Единица измерения	Расходная ставка, тыс. руб.	Станция					
			I		II		III	
			Объем работ	Затраты, тыс. руб.	Объем работ	Затраты, тыс. руб.	Объем работ	Затраты, тыс. руб.
Укладка вытяжного пути	1 км	50,00	0,54	27,00	0,76	38,00	0,41	20,50
Укладка стрелочных переводов, Р50, марка 1/9	1 компл.	4,40	3	13,20	2	8,80	3	13,20
Перекладка стрелочных переводов, Р50, 1/9	1 компл.	1,65	2	3,30	—	—	—	—
Итого		—	—	43,50	—	46,80	—	33,70

ходами на освоение территории и подвод коммуникаций, капитальными вложениями в верхнее строение пути (табл. 11.5) и подвижной состав, пробегами передач между сортировочной и грузовой станциями и автомобилями, доставляющих грузы потребителям.

Суммарные приведенные затраты, зависящие от расположения грузового двора:

$$E_{\text{пр}} = 365 [c_{NS}^{\text{пер}} \cdot 2lx_{\text{пер}} + E(c_k^n + m_{\text{пер}}c_k^{\text{в}}) x_{\text{пер}} t_{\text{пу}} + e^n \sum m_{\text{пер}} q_{\text{авт}}^{\text{в}}] + EK, \quad (11.1)$$

где $c_{NS}^{\text{пер}}$ — себестоимость 1 передаче-км, руб.;

l — расстояние между сортировочной и грузовой станциями, км;

$x_{\text{пер}}$ — число передач в сутки;

c_k^n — стоимость передаточного локомотива, приходящаяся на 1 ч занятости, руб.;

c_k^a — стоимость вагона и груза, приходящаяся на 1 ч простоя, руб.;
 $t_{пу}$ — время следования передач от сортировочной станции до грузового двора, ч;
 e^a — приведенные затраты на автомобильном транспорте, зависящие от тонно-километровой работы, руб.;
 E — коэффициент эффективности капитальных вложений;
 K — капитальные вложения в освоение территории и коммуникации руб.;

$m_{пер}$ — число вагонов в передаче.

Находим значения отдельных величин:

себестоимость 1 передаче-км, если $m_{пер} = 8$ вагонов:

$$c_{NS}^{пер} = [44 + 0,045 (44 + 22) 8] 10^{-2} = 0,97 \text{ руб.};$$

стоимость локомотива, приходящаяся на 1 ч занятости:

$$c_k^a = 115 \cdot 10^3 \cdot 1,1 / 8760 = 14,5 \text{ руб.};$$

стоимость вагона и груза определена ранее: $c_k^a = 1,73$ руб.;

время следования передач со станции на грузовой двор в различных вариантах его размещения:

$$t'_{пу} = 2 \cdot 1 / 10 = 0,2 \text{ ч.};$$

$$t''_{пу} = 2 \cdot 3 / 10 = 0,6 \text{ ч.};$$

$$t'''_{пу} = 2 \cdot 5 / 10 = 1,0 \text{ ч.};$$

расходные ставки на автомобильном транспорте определены в примере 10.10 — $e^a = 4,418$ коп./т·км.

Подставляя исходные и полученные данные в выражение (11.1), рассчитаем приведенные расходы в вариантах размещения грузового двора:

$$E_{пр} (1) = 365 [0,87 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 7 + 0,12 (14,5 + 8 \cdot 1,73) 7 \cdot 0,2 + 0,0442 (0,15 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 1,5 + 0,6 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 5 + 0,25 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 10)] + 0,12 (50 + 43,50) 10^3 = 222,05 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_{пр} (2) = 365 [0,87 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 7 + 0,12 (14,5 + 8 \cdot 1,73) 7 \cdot 0,6 + 0,0442 (0,15 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 3 + 0,6 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 1,5 + 0,25 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 8)] + 0,12 (120 + 46,80) 10^3 = 158,55 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_{пр} (3) = 365 [0,87 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 7 + 0,12 (14,5 + 8 \cdot 1,73) 7 \cdot 1,0 + 0,0442 (0,15 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 8 + 0,6 \cdot 50 \cdot 44 \cdot 5 + 0,25 \cdot 50 \cdot 22 \cdot 1,5)] + 0,12 (170 + 33,70) 10^3 = 217,79 \text{ тыс. руб.}$$

Целесообразно расположить грузовой двор по варианту 2 (в районе станции II).

Пример 11.3. Определим экономическую целесообразность сооружения новой пассажирской станции Z_n в крупном железнодорожном узле (рис. 11.3). Исходные данные следующие. Перспективный объем пассажиропотоков в жилых и промышленных районах города:

Номер района	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Итого
Пассажиропоток, тыс. пассажир./сутки	5,6	8,7	9,4	6,8	13,3	5,1	20,2	5,8	12,1	87,0

Объем пассажиропотоков на подходах: I — 38; II — 26; III — 23 тыс./сутки. Коэффициент непрямолинейности уличной сети города $k_n = 1,10$, средняя скорость железнодорожного транспорта 40 км/ч, а городских видов транспорта

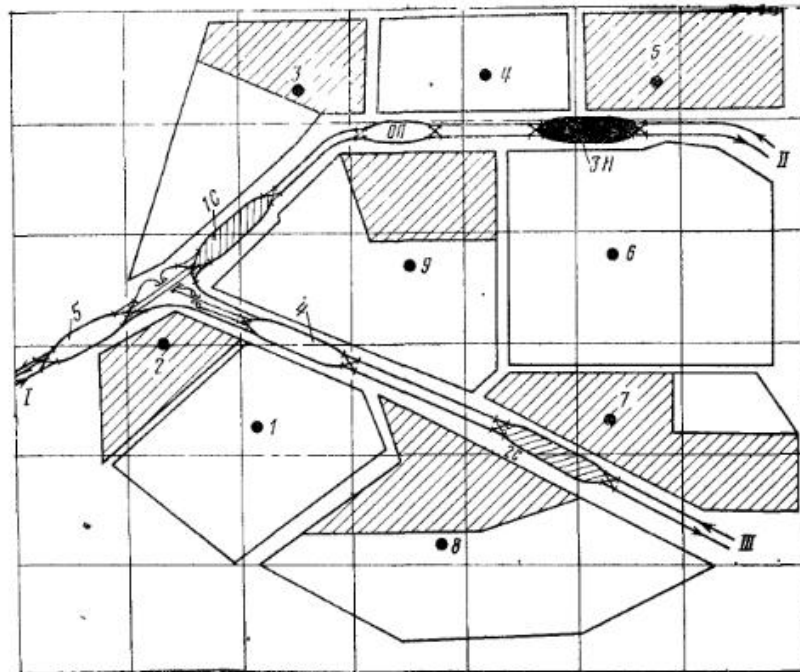


Рис. 11.3. Условная схема крупного узла

18 км/ч. Вместимость единицы подвижного состава городского пассажирского транспорта $u_{гор} = 70$ чел., коэффициент ее заполнения $\mu = 0,8$; население железнодорожного состава $u = 800$ чел., коэффициент его заполнения $k_1 = 0,7$; время работы каждой единицы подвижного состава городского транспорта в течение суток $t_p^M = 17$ ч; стоимость единицы $c_k = 9000$ руб.; стоимость единицы железнодорожного подвижного состава $c_{ж-д} = 250\,000$ руб.; время его работы в течение суток $t_p = 20$ ч; стоимость 1 машино-км $c_{м-км} = 0,56$ руб.; стоимость 1 поезд-км $c_{п-км}^M = 1,8$ руб.; стоимость 1 пассажиро-ч $c_{п-ч} = 0,01$ руб.

Решение. Целесообразность сооружения новой станции определяем исходя из минимума годовых приведенных затрат:

$$E_{пр} = E \left(K_{гор} + K_{ж-д} + \sum_{i=1}^m K_i^n + \sum_{i=1}^m K_i^{вок} + \sum_{i=1}^m K_i^c + \sum_{i=1}^m K_i \right) + 365 (\mathcal{E}_{пр}^{гор} + \mathcal{E}_{пр}^{ж-д} + \mathcal{E}_{п-ч}^{гор} + \mathcal{E}_{п-ч}^{ж-д} + \mathcal{E}_{об}) \rightarrow \min, \quad (11.2)$$

где $K_{гор}$ и $K_{ж-д}$ — капитальные вложения соответственно в городской и железнодорожный транспорт;

$\sum_{i=1}^m K_i^n$ — капитальные затраты на строительство станций ($i = 1, 2, \dots, m$);

$\sum_{i=1}^m K_i^{вок}$ — то же вокзалов;

Время движения пассажирского поезда, мин, с подхода s на станцию i

Номер подхода s	Номер станции i			
	1С	2С	3Н	ОП
I	7	15	14	9
II	13	33	5	10
III	22	3	32	27

Таблица 11.9

Расчет себестоимости 1 поезда-км

Показатель	Единица измерения	Расходная ставка, коп.	$v = 10$ км/ч		$v = 40$ км/ч	
			Объем работы	Затраты, коп.	Объем работы	Затраты, коп.
Пробег: вагонов	1 осе-км	0,09	12,4	4,32	12,4	4,32
	1 локомотиво-км	6,5	1	6,50	1	6,50
Время работы локомотива	1 локомотиво-ч	31,2	1/10	3,12	1/40	0,78
	1 бригадо-ч	236	1/10	23,60	1/40	5,90
Пробег поезда	1 бригадо-ч составительской бригады	168	1/10	16,80	1/40	4,20
	1 т·км брутто	0,014	12·50+	10,10	12·50+	10,10
Расход топлива	1 кг	6,5	+122 1,75	11,4	+122 1,75	1,75
	Себестоимость 1 поезда-км	—	—	75,84	—	43,2

поток пассажиров, следующих в район 1, прикрепим к станции 1С. В результате получим число пассажиров X_{ij} , перевозимых городским транспортом от станции i в район j , и число пассажиров Y_{is} — с подхода s к станции i и определим пробеги подвижного состава городского и железнодорожного транспорта:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Ml = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} l_{ij}}{\mu_{\text{гор}}};$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k \Pi l = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k Y_{is} l_{is}}{K_1 \mu} \begin{pmatrix} i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, n; \\ s = 1, 2, \dots, k. \end{pmatrix}$$

$\sum_{i=1}^m K_i^c$ — 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 время поездки с подхода s к станции i и далее в район j города. Измерив по схеме города длину маршрутов и учитывая коэффициент непрямолинейности 1,10, составим матрицу расстояний $\|l_{ij}\|$ (табл. 11.6), а по ней, зная среднюю скорость $v_{\text{гор}}$ каждого вида городского транспорта, получаем матрицу затрат времени (в мин) на поездку, аналогичную табл. 11.7, которую рассчитываем по формуле

$$t_{ij} = \frac{l_{ij}}{v_{\text{гор}}}.$$

Аналогично составляем матрицу $\|t_{si}\|$ (табл. 11.8).

Чтобы определить величины, входящие в формулу (11.2), необходимо оптимально прикрепить пункты назначения поездов 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 1 в район 1 (рис. 11.3), может пересест на городской транспорт на станциях 1С и 2С. В первом случае затраты на поездку составят $7 + 16 = 23$ мин (табл. 11.7 и 11.8), во втором — $15 + 15 = 30$ мин. Поэтому

Таблица 11.6

Расстояние, км, от станции i до центра района j

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 11.7

Время на поездку, мин, со станции i в район j

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

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n MI = (5,6 \cdot 4,8 + 8,7 \cdot 2,6 + 9,4 \cdot 3,0 + 3,0 \cdot 4,2 + 9,3 \cdot 2,8 + 20,2 \cdot 0,2 + 2,8 \cdot 1,8 + 4,8 \cdot 3,4 + 13,3 \cdot 2,1 + 5,1 \cdot 1,6 + 2,8 + 1,4 + 2,0 \cdot 2,4) / (0,070 \cdot 0,8) = 3332 \text{ машино-км};$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k \Pi I = (36 \cdot 4,62 + 2 \cdot 5,94 + 26 \cdot 3,30 + 23 \cdot 1,98) / (0,8 \cdot 0,7) = 553 \text{ поезд-км}.$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n MI = (8,7 \cdot 2,6 + 2,2 \cdot 3 + 13,3 \cdot 5,6 + 11,8 \cdot 2,8 + 5,6 \cdot 4,6 + 5,1 \cdot 6 + 20,2 \cdot 0,2 + 5,8 \cdot 1,8 + 0,3 \cdot 4 + 7,2 \cdot 3 + 6,8 \cdot 2,4) / (0,070 \cdot 0,8) = 4405 \text{ машино-км};$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k \Pi I = (24 \cdot 4,62 + 14 \cdot 9,90 + 12 \cdot 8,58 + 14 \cdot 6,60 + 23 \cdot 1,98) / (0,8 \cdot 0,7) = 876 \text{ поезд-км}.$$

Аналогично определяют время проезда на городском и железнодорожном транспорте (в пассажиро-ч):

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Nt_{\text{Гор}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} X_{ij}; \quad \begin{pmatrix} i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, n; \\ s = 1, 2, \dots, k. \end{pmatrix}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k Nt_{\text{ж.-д.}} = \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k Y_{is} t_{is}$$

Вариант 1

$$\sum Nt_{\text{Гор}} = 10^3 (5,6 \cdot 16 + 8,7 \cdot 9 + 9,4 \cdot 10 + 3,0 \cdot 14 + 9,3 \cdot 9 + 20,2 \cdot 2 + 2,8 \cdot 6 + 4,8 \cdot 11 + 13,3 \cdot 6 + 5,1 \cdot 5 + 2,8 \cdot 5 + 2,0 \cdot 8) / 60 = 10548 \text{ пассажиро-ч.};$$

$$\sum Nt_{\text{ж.-д.}} = 10^3 (36 \cdot 7 + 2 \cdot 9 + 26 \cdot 5 + 23 \cdot 3) / 60 = 7816 \text{ пассажиро-ч.}$$

Вариант 2

$$\sum Nt_{\text{Гор}} = 10^3 (8,7 \cdot 9 + 2,2 \cdot 10 + 13,3 \cdot 18 + 11,8 \cdot 9 + 5,6 \cdot 15 + 5,1 \cdot 20 + 20,2 \cdot 2 + 5,8 \cdot 6 + 0,3 \cdot 13 + 7,2 \cdot 10 + 6,8 \cdot 8) / 60 = 13956 \text{ пассажиро-ч.};$$

$$\sum Nt_{\text{ж.-д.}} = 10^3 (24 \cdot 7 + 14 \cdot 15 + 12 \cdot 13 + 14 \cdot 10 + 23 \cdot 3) / 60 = 12383 \text{ пассажиро-ч.}$$

На основании этих расчетов определим капитальные вложения в городской транспорт:

$$K_{\text{Гор}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M I c_K}{t_{\text{п}}^M v_{\text{оп}}};$$

$$K_{\text{Гор}} (1) = 3332 \cdot 9000 / (17 \cdot 18) = 98000 \text{ руб.};$$

$$K_{\text{Гор}} (2) = 4405 \cdot 9000 / (17 \cdot 18) = 129000 \text{ руб.};$$

капитальные вложения в железнодорожный транспорт:

$$K_{\text{ж.-д.}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k \Pi I c_{\text{ж.-д.}}}{t_{\text{п}} v};$$

$$K_{\text{ж.-д.}} (1) = 553 \cdot 250000 / (20 \cdot 40) = 172810 \text{ руб.};$$

$$K_{\text{ж.-д.}} (2) = 876 \cdot 250000 / (20 \cdot 40) = 273750 \text{ руб.};$$

эксплуатационные расходы, связанные с пробегом железнодорожного и городского транспорта:

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{Гор}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M I c_{\text{МММ}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{ж.-д.}} = \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k \Pi I c_{\text{ПКМ}}^{\text{ж.-д.}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{Гор}} (1) = 3332 \cdot 0,56 = 1866 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{Гор}} (2) = 4405 \cdot 0,56 = 2467 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{ж.-д.}} (1) = 553 \cdot 1,8 = 995 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{ж.-д.}} (2) = 876 \cdot 1,8 = 1577 \text{ руб.};$$

расходы, связанные с задержкой пассажиров:

$$\mathcal{E}_{\text{п-ч}}^{\text{Гор}} = c_{\text{п-ч}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n N t_{\text{Гор}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{п-ч}}^{\text{ж.-д.}} = c_{\text{п-ч}} \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^k N t_{\text{ж.-д.}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{п-ч}}^{\text{Гор}} (1) = 10548 \cdot 0,1 = 1055 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{п-ч}}^{\text{Гор}} (2) = 13956 \cdot 0,1 = 1396 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{п-ч}}^{\text{ж.-д.}} (1) = 7816 \cdot 0,1 = 782 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{п-ч}}^{\text{ж.-д.}} (2) = 12383 \cdot 0,1 = 1238 \text{ руб.};$$

расходы, связанные с обработкой пассажирских поездов:

$$\mathcal{E}_{\text{об}} = \sum_{i=1}^m c_i^{\text{об}} N_i;$$

где $c_i^{\text{об}}$ — стоимость обработки одного поезда на станции i ;
 N_i — число поездов, обрабатываемых на станции i :

$$N_i = \frac{\sum_{s=1}^k Y_{is}}{K_{1v}};$$

$$N_{1C} (1) = 36000 / 800 \cdot 0,7 = 65 \text{ поездов};$$

$$N_{2C} (2) = 23000 / 800 \cdot 0,7 = 41 \text{ поезд};$$

$$N_{3H} = 26\,000/800 \cdot 0,7 = 47 \text{ поездов;}$$

$$N_{1C} (2) = 36\,000/800 \cdot 0,7 = 65 \text{ поездов;}$$

$$N_{2C} (2) = 37\,000/800 \cdot 0,7 = 66 \text{ поездов.}$$

расходы, связанные с обработкой составов, в значительной степени зависят от объема работы станции:

$$\mathcal{E}_{ог}^{(1)} = 65 \cdot 1,10 + 41 \cdot 1,23 + 47 \cdot 1,17 = 178 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{ог}^{(2)} = 65 \cdot 1,10 + 66 \cdot 0,93 = 133 \text{ руб.}$$

Стоимость сооружения новой станции и вокзала $\sum_{i=1}^m K_i^n + \sum_{i=1}^m K_i^{вок}$ принимаем равной 3,8 млн. руб., дополнительные затраты на снос зданий и сооружений $K_c = 205\,000$ руб., и на строительство путепровода и инженерных сетей $\sum_{i=1}^m K_i = 1\,200\,000$ руб.

Теперь определим годовые приведенные расходы в двух вариантах [см. формулу (11.2)]:

$$E_{год} (1) = 0,12 (98\,000 + 172\,810 + 3\,800\,000 + 205\,000 + 1\,200\,000) + 365 (1866 + 995 + 1055 + 782 + 178) = 2\,436\,837 \text{ руб.};$$

$$E_{год} (2) = 0,12 (129\,000 + 273\,750) + 365 (2467 + 1577 + 1396 + 1238 + 133) = 2\,534\,345 \text{ руб.}$$

Так как $E_{год} (1) < E_{год} (2)$ ($2\,436\,837 < 2\,534\,345$), сооружение новой пассажирской станции $3H$ целесообразно. Годовая экономия при перевозке 26 тыс. пассажиров в сутки составит

$$E_{год} = 2\,534\,345 - 2\,436\,837 = 97\,508 \text{ руб.}$$

Аналогично можно исследовать и другие варианты размещения пассажирских станций на плане города.

Пример 11.4. Выберем место для строительства в железнодорожном узле H технической пассажирской станции. Генеральным планом развития города H для строительства технической пассажирской станции отведена территория в районе соединительного пути между пассажирской станцией $П$ и станцией $Г_3$ или параллельно станции $Г_4$. Варианты размещения ее приведены на рис. 11.4.

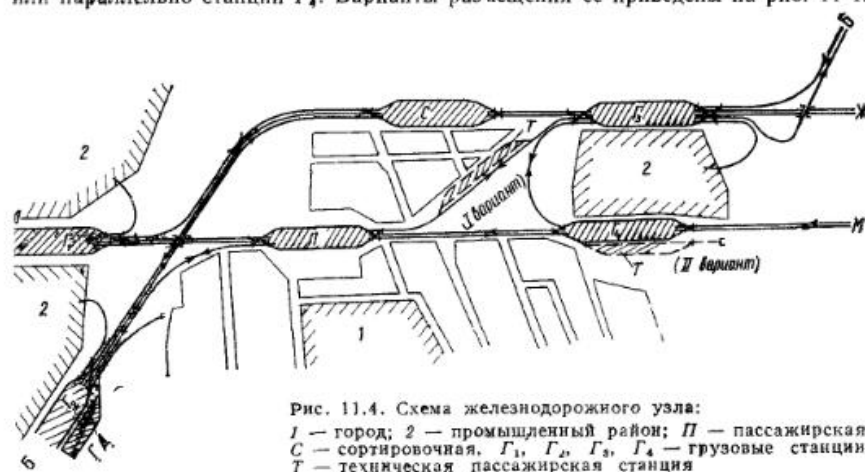


Рис. 11.4. Схема железнодорожного узла: 1 — город; 2 — промышленный район; П — пассажирская, С — сортировочная, Г₁, Г₂, Г₃, Г₄ — грузовые станции; Т — техническая пассажирская станция

Планировка территории станции, размещение и мощность устройств в обоих вариантах одинаковы. Расстояние от пассажирской до технической пассажирской станции L в варианте 1 равно 1 км, в варианте 2 — 4,2 км. На станцию поступает за сутки 23 состава дальних и местных и 30 пригородных поездов; скорость их следования 10 (вариант 1) и 40 км/ч (вариант 2). Состав пассажирского поезда 12 и пригородного 6 вагонов. Капитальные вложения K на сооружение технической станции в варианте 1 — 4500 тыс. руб. (с учетом сноса существующих строений), а в варианте 2 — 3800 тыс. руб.

Решение. Эксплуатационные расходы в вариантах зависят от пробега подвижного состава с пассажирской на техническую станцию и обратно. Капитальные вложения различаются затратами в подвижной состав и сооружение станции. Приведенные расходы рассчитывают следующим образом:

$$E_{пр} = 365 [2L (c_{NS}^n N_d + c_{NS}^n N_n) + E_{кн}^n t_{п} (N_d + N_n)] + EK, \quad (11.3)$$

где c_{NS}^n , c_{NS}^n — себестоимость 1 поезд-км соответственно дальнего (местного) и пригородного поезда, руб;

N_d , N_n — число дальних и пригородных поездов, подаваемых на техническую станцию;

$c_{кн}^n$ — стоимость маневрового локомотива, приходящаяся на 1 ч занятости, руб.;

$t_{п}$ — время следования поездов на техническую станцию, ч.

Себестоимость 1 поезд-км при передаче пассажирских поездов с пассажирской станции на техническую станцию определена в табл. 11.10. Аналогично рассчитана себестоимость 1 поезд-км пригородных поездов: вариант 1 — 57,5 коп.; вариант 2 — 32,3 коп.

Стоимость локомотива, приходящаяся на 1 ч занятости:

$$c_{кн}^n = 111 \cdot 10^3 \cdot 1,1 / (365 \cdot 24) = 14,5 \text{ руб.}$$

Подставляя полученные значения в выражение (11.3), получим:

$$E_{пр} (1) = 365 [2 \cdot 1 (0,758 \cdot 23 + 0,575 \cdot 30) + 0,12 \cdot 14,5 \cdot 0,1 (23 + 30)] + 0,12 \cdot 4500 \cdot 10^3 = 567,3 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_{пр} (2) = 365 \left[2 \cdot 4,2 (0,432 \cdot 23 + 0,323 \cdot 30) + 0,12 \cdot 14,5 \cdot \frac{4,2}{40} (23 + 30) \right] + 0,12 \cdot 3800 \cdot 10^3 = 518,0 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, вариант 2 — размещение технической станции в районе станции $Г_4$ — более целесообразен.

11.2. ПУТЕПРОВОДНЫЕ РАЗВЯЗКИ

Пример 11.5. 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 A 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 $R_1 = R_2 = 1200$ м, длина переходных кривых $C_1 = C_2 = 100$ м (рис. 11.5). Руководящий подъем на направлении B $i_p = 8\text{‰}$.



Решение. Угол поворота β пути, идущего на путепровод:

$$\cos(\beta + \varphi) = \frac{2R - u}{2R} \cos \varphi;$$

$$\beta = (\beta + \varphi) - \varphi; \quad \beta + \varphi = \arccos \left(\frac{2R - u}{2R} \cos \varphi \right);$$

$$u = a \sin \gamma - 15e; \quad (11.4)$$

$$a = b + \frac{C_2}{2} + T_2; \quad (11.5)$$

$$T_2 = R_2 \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2};$$

$$\varphi = \arccos Y \text{ при } Y = \frac{d}{2R};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{2R},$$

$$\text{где } d = \frac{C_1}{2} + d_0 + \frac{C_2}{2};$$

e — ширина междупутья (на перегоне $e = 4,1$ м);

d_0 — длина прямой вставки (между обратными кривыми $d_0 = 75$ м).

Чтобы избежать совмещения переходной кривой в плане с вертикальной сопрягающей кривой в профиле, минимальная величина b должна быть равна:

$$b = \frac{l_{\text{пл}}}{2} + T_{\text{в}}$$

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 м. СНиП 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:

$$T_{\text{в}} = R_{\text{в}} \Delta i / 2 \cdot 1000;$$

$R_{\text{в}}$ — радиус вертикальной сопрягающей кривой, м;

Δi — алгебраическая разность сопрягаемых уклонов, ‰.

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):

$$d = 100/2 + 75 + 100/2 = 175 \text{ м}; \quad \operatorname{tg} \varphi = 175/2400 = 0,07292;$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} 0,07292 = 4^\circ 10';$$

$$T_2 = 1200 \operatorname{tg} 22^\circ 30' = 1200 \cdot 0,4142 = 497,04 \text{ м};$$

$$T_{\text{в}} = 10\,000 \cdot 8 / (2 \cdot 1000) = 40 \text{ м}.$$

Так как $\frac{l_{\text{пут}}}{2} + T_{\text{в}} = 57,2/2 + 40 = 68,6$ м, принимаем $l_{\text{пл}} = 200$ м

($200/2 > 57,2/2 + 40$). Тогда $b = 100 + 40 = 140$ м. Подставляя полученные значения в формулы (11.4), (11.5), получим:

$$a = 140 + 100/2 + 497,04 = 687,04 \text{ м};$$

$$u = 698,04 \sin 45^\circ - 1,5 \cdot 4,1 = 479,66 \text{ м};$$

$$\cos(\beta + \varphi) = \frac{2 \cdot 1200 - 479,66}{2 \cdot 1200} \cos 4^\circ 10' = 0,7978;$$

$$\beta + \varphi = \arccos 0,7978 = 37^\circ 5', \quad \beta = 37^\circ 5' - 4^\circ 10' = 32^\circ 55'.$$

$$\text{Длина тангенса } T_1 = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 1200 \operatorname{tg} 16^\circ 27' = 1200 \cdot 0,2952 = 354,24 \text{ м};$$

длина кривых:

$$K_1 = 0,017453 R \beta = 0,017453 \cdot 1200 \cdot 32,92 = 689,34 \text{ м};$$

$$K_2 = 0,017453 R \gamma = 0,017453 \cdot 1200 \cdot 45 = 942 \text{ м}.$$

Минимальная длина путепроводной развязки в плане от точки A отхода пути на путепровод до его середины

$$\begin{aligned} L_{\text{пл}} &= K_1 + C_1/2 + d + C_2/2 + K_1 + K_2 + C_2/2 + b = \\ &= 689,34 + 100/2 + 75 + 100/2 + 689,34 + 942 + 100/2 + \\ &\quad + 140 = 2685,68 \text{ м} \approx 2,686 \text{ км}; \end{aligned}$$

длина проекции путепроводной развязки на горизонтальную ось

$$\begin{aligned} L &= a \cos \gamma + T_2 + 2R \sin \beta + d \cos \beta = 687,04 \cos 45^\circ + \\ &\quad + 497,04 + 2 \cdot 1200 \sin 32^\circ 55' + 175 \cos 32^\circ 55' = 2434,10 \text{ м}. \end{aligned}$$

Минимальная длина путепроводной развязки в плане должна быть равна или больше длины в профиле. В противном случае трассу в плане надо удлинить, изменив место сооружения путепровода и угол или только угол пересечения. Длина путепроводной развязки в профиле рассчитана в примере 11.6.

Пример 11.6. Для путепроводной развязки примера 11.5 определим длину подъемной части в профиле пути III. Высота бровки земляного полотна путей I и II в точке B относительно точки A (рис. 11.6) $h_{I-II} = 3$ м (путепровод на насыпи), строительная высота путепровода $h_c = 0,83$ м, высота рельса верхнего пути $h_p = 0,18$ м.

Решение. Длина подъемной части путепроводной развязки в профиле пути III (в м)

$$L_{\text{пр}} = l_{\text{пл}}/2 + l_{\text{п}},$$

где $l_{\text{пл}}$ — длина элемента профиля (площадки) в месте сооружения путепровода, м;

$l_{\text{п}}$ — длина подъемной части путепроводной развязки, м.

Минимальная длина площадки

$$l_{\text{пл}} = l_{\text{пут}} + T_{\text{в}}^{\text{п}} + T_{\text{в}}^{\text{с}},$$

где $T_{\text{в}}^{\text{п}}$, $T_{\text{в}}^{\text{с}}$ — длина тангенсов сопрягающих кривых подъемной и спускной частей.

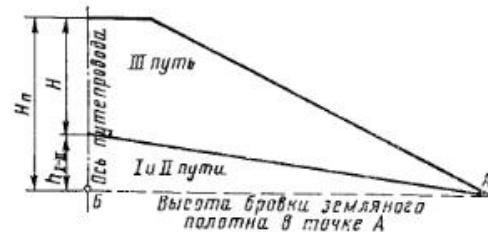
Длину этого элемента профиля округляем в большую сторону (до 200 или 300 м), но она должна быть не меньше минимально допустимой. Приняв уклон спуска равным руководящему $i_c = i_p = 8$ ‰, а подъем уменьшив на сопротивление в кривых $i_{\text{п}} = i_p - 700/R$, получим

$$l_{\text{пл}} = 57,2 + \frac{10\,000 \cdot 8}{2 \cdot 1000} + \frac{10\,000(8 - 700/1200)}{2 \cdot 1000} = 134,2 \text{ м}.$$

Принимаем $l_{\text{пл}} = 200$ м. Длина подъемной части путепроводной развязки

$$l_{\text{п}} = \frac{H_{\text{п}}}{i_{\text{п}}},$$

Рис. 11.6. Профиль путей путепроводной развязки



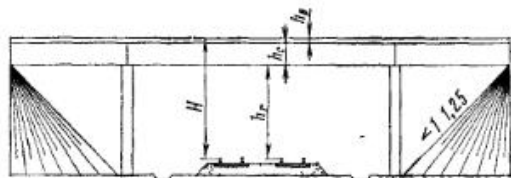


Рис. 11.7. Схема путевода через два железнодорожных пути

где H_{II} — высота бровки земляного полотна пути III в точке B относительно точки A;

$$H_{II} = h_{I-II} + H;$$

H — разность отметок головок рельсов верхнего и нижнего путей (рис. 11.7):

$$H = h_r + h_c + h_p;$$

h_r — расстояние от головки рельса нижнего пути до низа пролетного строения, принимаемое по габариту приближения строений (при ширине путевода не более 5 м $h_r = 6,3$ м, при ширине 5 м и более $h_r = 6,5$ м);

$$l_{II} = 10,51/7,4 = 1,421 \text{ км} = 1421 \text{ м};$$

$$L_{IIp} = 200/2 + 1421 = 1521 \text{ м};$$

$$H = 6,5 + 0,83 + 0,18 = 7,51 \text{ м};$$

$$H_{II} = 3 + 7,51 = 10,51 \text{ м}.$$

Длина трассы пути III в плане 2773,86 м (см. пример 11.5) обеспечивает набор необходимой высоты на путевод $L_{IIp} > L_{II}$.

Пример 11.7. Определим оптимальный угол путеводной развязки при пересечении однопутной и двухпутной линий. На направлении B проходит за сутки 30 грузовых, 15 пассажирских и 45 пригородных поездов. Масса грузового поезда $Q_{гр} = 4000$ т, тепловоз ТЭ3 (2 секции). Масса дальнего пассажирского поезда $Q_{дп} = 1000$ т, тепловоз ТЭП60, максимальная скорость до 120 км/ч. Пригородное движение обслуживают дизель-поезда ДР1. Исходные данные для проектирования путеводной развязки: $R_1 = R_2 = 1200$ м; $C_1 = C_2 = 100$ м; $d_0 = 75$ м; руководящий уклон на направлении B $i_p = 8 \text{ ‰}$; полезная длина приемо-отправочных путей на станциях $l_{п0} = 850$ м. Рельеф местности представлен на рис. 11.8.

Решение. Оптимальный угол путеводной 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 4 варианта путеводной развязки под углами пересечения 20, 30, 45 и 60°. Основные параметры плана (табл. 11.10) рассчитаны аналогично примеру 11.5. По ним вычерчены все варианты плана. Разработка начата с точки A и закончена в районе подхода линии к станции в сечении a—a (см. рис. 11.8). Для всех вариантов плана спроектирован продольный профиль и расставлены уклоноуказатели. Длина трассы в сравниваемых пределах L_{IIp} : вариант 1—3,10 км; вариант 2—3,16 км; вариант 3—3,44 км; вариант 4—3,86 км. Приведенные расходы в каждом варианте

$$E_{IIp} = EK + \mathcal{E},$$

где E — нормативный коэффициент эффективности: $E = 0,10 \div 0,12$;

\mathcal{E} — ежегодные эксплуатационные расходы;

K — единовременные капитальные вложения;

$$K = K_{сн} + K_{зр} + K_{иск} + K_{вс} + K_{дл} + K_{эл} + K_{ут} + K_3 + K_{пс} + K_{г1};$$

$K_{сн}$ — затраты на снос зданий, перенос инженерных коммуникаций и др.;

$K_{зр}$ — то же сооружение земляного полотна главного пути;

$K_{иск}$ — то же строительство искусственных сооружений;

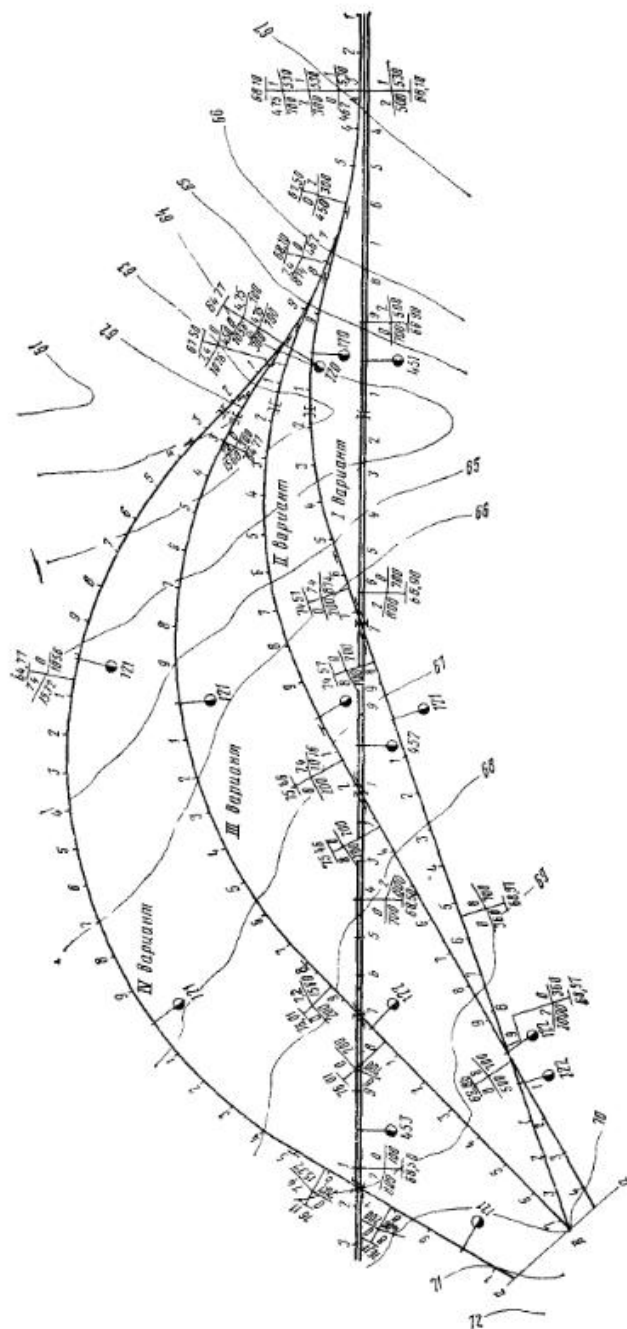


Рис. 11.8. Варианты плана путеводной развязки

Таблица 11.10

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	1256,4

Продолжение табл. 11.10

Вариант	Линейный элемент, м				
	T_1	T_2	T_3	$L_{пл}$	L
1	161,52	211,56	40	1431,80	1410,35
2	238,68	321,48	40	1932,54	1844,48
3	354,24	497,04	40	2686,00	2434,10
4	469,44	693,00	40	3391,00	2891,80

 $K_{вс}$ — то же укладку верхнего строения главного пути; $K_{дл}$ — то же устройств СЦБ, связи и освоение территории для трассы и др.; $K_{эл}$ — то же устройств энергоснабжения (для электрифицированных линий); $K_{пут}$ — то же строительство путепровода; K_3 — то же отвод занимаемых земель; $K_{ис}$ — капитальные вложения в подвижной состав; $K_{гр}$ — стоимость грузовой массы на колесах.

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 $C_{зр}$ — стоимость 1 м³ земляных работ, руб.; $\sum Q_i$ — объем земляных работ в отдельных массивах — на насыпях и в выемках; рассчитывают по средним рабочим отметкам.

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 руб. Объем и стоимость земляных работ показаны в табл. 11.11. 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 руб., получим $K_{иск} = 31 \cdot 660 = 20 \cdot 460$ руб.

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.

Таблица 11.11

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	10 240	3 379
0,454	2,50	27 600	13 753
0,170	4,72	67 300	12 585
0,906	6,94	121 740	121 286
0,186	8,05	155 340	31 782
0,700	4,21	56 850	43 775
0,300	0,28	2 750	908
Выемка			
0,130	0,15	1 500	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

Продолжение табл. 11.11

Длина массива, км	Средняя рабочая отметка, м	Объем земляных работ, м ³	
		на 1 км пути	на массив с увеличением на 10 %
В а р и а н т 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

Принимаем тип рельсов Р65, щебеночный балласт и железобетонные шпалы
Тогда

$$K_{вс} = 3,10 \cdot 91 \cdot 500 = 283\,650 \text{ руб.}$$

Стоимость устройств СЦБ и связи, расходы на освоение трассы

$$K_{дл} = L_{тр} c_{дл} = 3,1 (1100 + 600 + 5000) = 20\,770 \text{ руб.};$$

где $c_{дл}$ — расходы, пропорциональные длине линии, руб/км.
Стоимость путепровода принимаем $K_{пут} = 364\,000$ руб.
Стоимость занимаемых земель

$$K_{з} = 10^{-4} L_{тр} b_{по} c_{з},$$

где $b_{по}$ — ширина полосы отвода; принимаем равной 100 м;
 $c_{з}$ — стоимость 1 га занимаемых земель;

$$K_{з} = 10^{-4} \cdot 3100 \cdot 100 \cdot 1000 = 31\,000 \text{ руб.}$$

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 руб., получим затраты в вариантах:

$$1 - 209\,615 \cdot 1,8 = 377\,307 \text{ руб.};$$

$$2 - 227\,663 \cdot 1,8 = 409\,793 \text{ руб.};$$

$$3 - 215\,719 \cdot 1,8 = 388\,294 \text{ руб.};$$

$$4 - 170\,769 \cdot 1,8 = 307\,384 \text{ руб.}$$

Общая сумма капитальных вложений в варианте 1—1 097 187 руб.

Эксплуатационные расходы

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{пр}^{гр} + \mathcal{E}_{пр}^{п} + \mathcal{E}_{пр}^{пр} + \mathcal{E}_{гл} + \mathcal{E}_{пут} + \mathcal{E}_{сн} + \mathcal{E}_{сцб} + \mathcal{E}_{св} + \mathcal{E}_{р} + A_{пут},$$

где $\mathcal{E}_{пр}^{гр}$, $\mathcal{E}_{пр}^{п}$, $\mathcal{E}_{пр}^{пр}$ — годовые расходы на пробег соответственно грузовых, дальних пассажирских и пригородных поездов;

$\mathcal{E}_{гл}$, $\mathcal{E}_{пут}$ — то же на содержание главных путей, путепровода и малых искусственных сооружений;

$\mathcal{E}_{сн}$ — то же на снего-, водо- и пескоборьбу и содержание защитных лесонасаждений;

$\mathcal{E}_{сцб}$, $\mathcal{E}_{св}$, $\mathcal{E}_{р}$ — то же на содержание соответственно устройств СЦБ, связи и поездной радиосвязи;

$A_{пут}$ — 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.

$$\mathcal{E}_{пр}^{гр} = 365 N_{гр} [c_{пк. гр}^0 L_{тр} + A_{гр} (H + 0,012 \sum \alpha) + B_{гр} (H_c - 0,012 \sum \alpha_c) - B_{гр} L_c]; \quad (11.6)$$

дальние пассажирские

$$\mathcal{E}_{пр}^{п} = 365 N_{п} [c_{пк. п}^0 L_{тр} + A_{п} (H + 0,012 \sum \alpha) + B_{п} (H_c + 0,012 \sum \alpha_c) - B_{п} L_c], \quad (11.7)$$

где $N_{гр}$, $N_{п}$ — среднесуточное число грузовых и дальних пассажирских поездов на направлении B ;

H — алгебраическая разность отметок конечной и начальной точек маршрута, м;

$\sum \alpha$ — сумма центральных углов поворота всех кривых на маршруте, град;

H_c — сумма высот всех спусков (крутизной больше предельно безвредного уклона¹) на маршруте в данном направлении движения поездов (всегда положительная величина), м;

$\sum \alpha_c$ — сумма центральных углов поворота кривых в пределах тормозных спусков, град;

L_c — протяженность тормозных спусков, км;

$c_{пк. гр}^0$, $c_{пк. п}^0$ — норма расходов на 1 км пробега грузовых и дальних пассажирских поездов по площадке;

$A_{гр}$, $A_{п}$ — 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;

$B_{гр}$, $B_{п}$ — поправка к величине расходов на тормозных спусках, учитывающая часть кинетической энергии поезда, поглощаемую основным удельным сопротивлением подвижного состава.

Значения $c_{пк. гр}^0$, $c_{пк. п}^0$, $A_{гр}$, $A_{п}$, $B_{гр}$, $B_{п}$, $B_{гр}$, $B_{п}$ принимают по табл 112—119 [9]. Подставив исходные величины в формулы (11.6) и (11.7), получим

$$\mathcal{E}_{пр}^{гр} = 365 \cdot 30 [2,12 \cdot 3,1 + 0,249 (1,87 + 0,012 \cdot 50,67^\circ) + 0,377 (5,6 - 0,012 \cdot 0) - 1,13 \cdot 0,7] = 93\,185 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{пр}^{п} = 365 \cdot 15 [0,98 \cdot 3,1 + 0,09 (1,87 + 0,012 \cdot 50,67^\circ) + 0,122 (5,6 - 0,012 \cdot 0) - 0,43 \cdot 0,7] = 19\,874 \text{ руб.};$$

Годовые эксплуатационные расходы на пробег пригородных поездов

$$\mathcal{E}_{пр}^{пр} = 365 N_{пр} L_{тр} c_{пр},$$

¹ Предельно безвредный уклон ориентировочно можно принять для груженных поездов при максимально допустимой скорости $v_{\max} = 80 \text{ км/ч} - 3\text{‰}$, для груженных 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

Распределение интервалов между поездами

Градация интервала I_i , мин	Частость P_i	Градация интервала I_i , мин	Частость P_i	Градация 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

где $N_{пр}$ — среднесуточное число пригородных поездов на направлении В; $c_{пр}$ — стоимость 1 км пробега пригородного поезда ([9], табл. 35);

$$Э_{пр} = 365 \cdot 45 \cdot 3,1 \cdot 1,06 = 53\,972 \text{ руб.}$$

Годовые расходы на содержание главных путей

$$Э_{гл} = L_{тр} c_{гл} = 3,1 \cdot 3080 = 9548 \text{ руб.,}$$

где $c_{гл}$ — норма расхода на содержание 1 км главного пути ([9], табл. 91 и 92).
Годовые расходы на содержание путепровода и железобетонной трубы ([9], табл. 95)

$$Э_{пут} = 31 \cdot 210/100 + 960 = 1025 \text{ руб.}$$

Годовые расходы на снего-, водо- и пескоборьбу и содержание защитных лесонасаждений ([10], табл. 97—99)

$$Э_{сн} = 3,1 \cdot 260 = 806 \text{ руб.}$$

Годовые расходы на содержание линейных устройств [СЦБ ([9], табл. 100)

$$Э_{сцб} = 3,1 \cdot 1170 = 3627 \text{ руб.}$$

Годовые расходы на содержание линейных устройств связи ([9], табл. 102)

$$Э_{св} = 3,1 (240 + 300) = 1674 \text{ руб.}$$

Годовые расходы на содержание устройств поезда радиосвязи ([9], табл. 10)

$$Э_{р} = 3,1 \cdot 420 = 1302 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления от стоимости путепровода

$$A_{пут} = 0,013 K_{пут} = 0,013 \cdot 364\,000 = 4732 \text{ руб.}$$

Суммарные годовые эксплуатационные расходы в варианте 1

$$Э = 93\,185 + 19\,874 + 53\,972 + 9548 + 1025 + 806 + 3627 + 1674 + 1302 + 4732 = 189\,745 \text{ руб}$$

Приняв $E = 0,1$, найдем годовые приведенные расходы:

$$E_{пр} = 0,1 \cdot 1\,097\,187 + 189\,745 = 299\,463 \text{ руб.}$$

Таблица 11.12

Таблица 11.13

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	—	—

Аналогично рассчитывают годовые приведенные расходы в остальных трех вариантах.

Капитальные вложения	Вариант		
	2	3	4
Затраты на снос	0	0	0
Стоимость сооружения земляного полотна	409 793	388 294	307 384
Стоимость искусственных сооружений	16 500	10 428	10 428
Стоимость верхнего строения главного пути	289 140	314 760	353 190
Стоимость устройств, пропорциональная длине линии	21 172	23 048	25 862
Стоимость путепровода	300 000	105 060	95 000
Стоимость занимаемых земель	31 600	34 400	38 600
Итого . . .	1 068 205	875 930	830 464
Эксплуатационные расходы			
Пробег грузовых поездов	95 046	107 639	119 027
Пробег дальних пассажирских поездов	17 465	22 667	25 459
Пробег пригородных поездов	55 017	59 892	67 205
Содержание главных путей	9 733	10 595	11 889
Содержание путепровода и железобетонной трубы	840	580	496
Снегоборьба и содержание защитных лесонасаждений	822	894	1 004
Содержание линейных устройств СЦБ	3 697	4 025	4 516
Содержание линейных устройств связи	1 706	1 858	2 084
Содержание устройств поезда радиосвязи	1 327	1 445	1 621
Амортизационные отчисления	3 900	1 365	1 235
Итого . . .	189 553	210 960	234 536
Годовые приведенные расходы . . .	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 11.8. 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 4000 т; тепловоз ТЭЗ (2 секции); начальная скорость торможения при остановке у пересечения $v_{гор} = 60$ км/ч; время занятия пересечения поездами,

следующими по двухпутной линии, 5 мин, а по однопутной — 7 мин; средняя стоимость 1 ч простоя поезда $c_{п-ч} = 18$ руб; 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 11.7) 385 тыс. руб.; эксплуатационные расходы на текущее содержание путепровода $\mathcal{E}'_п = 4700$ руб, пересечения в одном уровне $\mathcal{E}'_0 = 9300$ руб в год (учтены расходы, различающиеся в вариантах), эксплуатационные расходы на преодоление спусков и подъемов при развязке пересечения в разных уровнях $\Delta\mathcal{E}_{пр} = 31\,978$ руб.; 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 табл. 11.12.

Решение. Переход к путепроводной развязке экономически целесообразен, когда затраты на строительство и эксплуатацию путепровода окупаются сокращением эксплуатационных расходов:

$$E(K_{п} - K_0) + (\mathcal{E}'_п - \mathcal{E}'_0) \leq \mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_п, \quad (11.8)$$

где $K_{п}$, K_0 — затраты соответственно на сооружение путепроводной развязки и пересечения в одном уровне;

$\mathcal{E}'_п$, \mathcal{E}'_0 — расходы соответственно на текущее содержание путепровода и пересечения;

\mathcal{E}_0 , $\mathcal{E}_п$ — эксплуатационные расходы при пересечениях в одном и разных уровнях.

Эксплуатационные расходы при пересечении в одном уровне

$$\mathcal{E}_0 = 365 [c_{п-ч} \sum T_з + c_{кз} f n_з] \pm N \Delta t c_{п-ч}, \quad (11.9)$$

где $\sum T_з$ — общее время задержек поездов у пересечения;

$n_з$ — число задержанных поездов;

f — число остановок поезда, приходящиеся на одну задержку;

Δt — разность времени хода при пересечении в одном и разных уровнях;

$c_{кз}$ — расходы на один разгон и торможение поезда.

Если $Q_{бр} = 4000$ т и $v_{гор} = 60$ км/ч, то по табл. 42 и 45 [8] $c_{кз} = 2,54 + 2,89 = 5,43$ руб

Продолжительность задержек и число остановок поездов у пересечения из-за сложности распределения интервалов между поездами на направлениях определим методом моделирования (статистических испытаний), который преду-

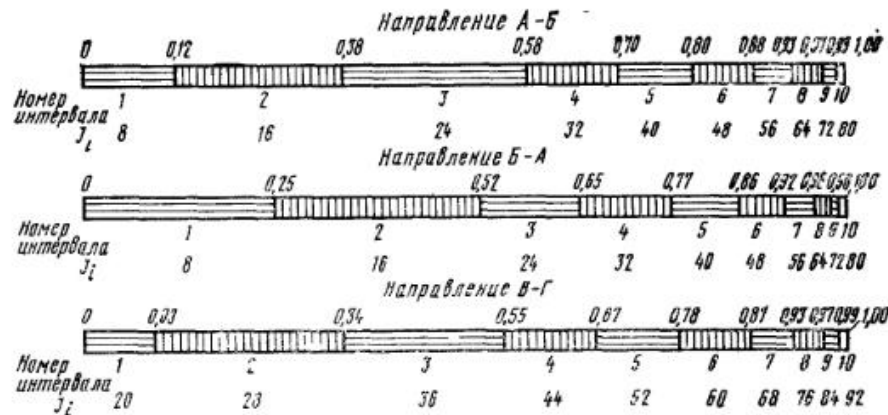


Рис. 11.9. Вспомогательные шкалы

Моделирование времени прибытия поездов с направления А—Б

Номер реализации	Случайное число ϕ_i	Продолжительность интервала I_i , мин	Время прибытия очередного поезда t_i , мин	Номер реализации	Случайное число ϕ_i	Продолжительность интервала I_i , мин	Время прибытия очередного поезда t_i , мин
—	—	—	0	102	0,78	40	2516
1	0,54	24	24	103	0,25	16	2532
2	0,35	16	40	104	0,50	24	2556
3	0,75	40	80	105	0,33	16	2572
4	0,57	24	104	106	0,53	24	2596
.
.
22	0,56	24	616	111	0,63	32	2748
23	0,20	16	632	112	0,59	32	2780
24	0,54	24	656	113	0,45	24	2804
25	0,40	24	680	114	0,98	72	2876
26	0,58	24	704				

Таблица 11.15

Моделирование времени прибытия поездов с направления Б—А

Номер реализации	Случайное число ϕ_i	Продолжительность интервала I_i , мин	Время прибытия очередного поезда t_i , мин	Номер реализации	Случайное число ϕ_i	Продолжительность интервала I_i , мин	Время прибытия очередного поезда t_i , мин
—	—	—	0	102	0,77	32	2600
1	0,89	48	48	103	0,50	16	2616
2	0,22	8	56	104	0,80	40	2656
3	0,55	24	80	105	0,71	32	2688
4	0,59	24	104
.
.
22	0,45	16	496	110	0,49	16	2792
23	0,42	16	512	111	0,16	8	2800
24	0,70	32	544	112	0,91	48	2848
25	0,45	16	560	113	0,54	24	2872
26	0,80	40	600				

Эксплуатационные расходы при пересечении в *разных* уровнях

$$\mathcal{E}_{\Pi} = \Delta \mathcal{E}_{\text{цр}} = 31\,978 \text{ руб.}$$

По выражению (11.8) определим экономическую целесообразность перехода к развязке в *разных* уровнях:

$$0,12 \cdot 385\,000 + (4700 - 9300) < 831\,655 - 31\,978,$$

$$41\,600 < 51\,187.$$

Так как экономия эксплуатационных расходов от ликвидации пересечения окупает дополнительные капитальные вложения на сооружение путепроводной развязки, целесообразность последней очевидна.

12. ИСХОДНЫЕ НОРМАТИВЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

12.1. СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ РАЗМЕРЫ РАБОТЫ

Пример 12.1. Определим характер и размеры предстоящей работы железнодорожного узла *H* треугольного типа (рис. 12.1). Основная сортировочная работа сконцентрирована на станции *I*, грузовая — на станциях *I* 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 народного хозяйства и города, обслуживаемого узлом, устанавливают на отчетный год и перспективные сроки размеры основных грузовых потоков в млн. т (табл. 12.1). 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 число вагонов для каждого рода грузов

$$n_i = \Gamma_i / 365 \bar{q}_i,$$

где Γ_i — годовой грузопоток (i — род груза), т;

\bar{q}_i — средняя нагрузка одного вагона, т:

$$\bar{q}_i = p_4 \alpha_{4i} \beta_{4i} + p_8 \alpha_{8i} \beta_{8i};$$

p_4, p_8 — соответственно грузоподъемность четырех- и восьмиосных вагонов, т,

α_{4i}, α_{8i} — коэффициент использования грузоподъемности соответственно четырех- и восьмиосных вагонов (табл. 12.2) для рода груза i ;

β_{4i}, β_{8i} — доля участия в перевозках соответственно четырех- и восьмиосных вагонов.

Например, для угля (груз 1) $q_1 = 63 \cdot 1,0 \cdot 0,8 + 125 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 75,4$ т. Для остальных грузов \bar{q}_i приведены в табл. 12.3. Среднесуточное число вагонов для каждого рода груза на все расчетные сроки приведено в табл. 12.4. Через узел за отчетный год проходит 3268 груженых вагонов, а в перспективе — 4141 вагон.

Пример 12.2. Для условий примера 12.1 определим расчетные размеры, структуру вагоно- и поездопотоков на 10-й год эксплуатации и перспективу, если масса состава брутто на 10-й год для направлений $A-H$, $H-B$ — 3800 т; $H-A$, $B-H$ — 3900, $H-B$ — 3600; $B-H$ — 3800 т, а в перспективе $A-H$, $H-B$ — 4000 т; $H-A$, $B-H$ — 4100 т, $H-B$ — 3800, $B-H$ — 3800 т.

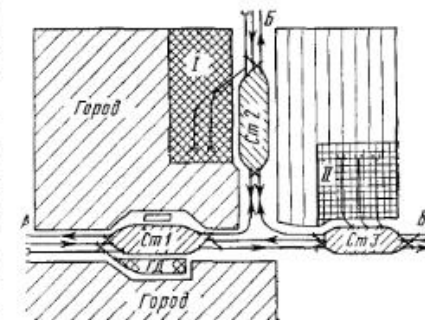


Рис. 12.1. Схема железнодорожного узла

Таблица 12.6

Среднесуточный порожний вагонопоток через узел *H*

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	$\frac{30}{47}$
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 то же, что к табл. 12.5.

Таблица 12.7

Масса груза в вагоне, т (числитель), и число вагонов (знаменатель)

Год	Направление					
	А-Н		Б-Н		В-Н	
	Г	П	Г	П	Г	П
10-й	$\frac{59,3}{46,7}$	$\frac{60,5}{47,3}$	$\frac{50,1}{52,4}$	$\frac{51,0}{47,9}$	$\frac{51,4}{51,8}$	$\frac{64,6}{41,6}$
Перспективный	$\frac{59,8}{48,9}$	$\frac{60,2}{49,9}$	$\frac{49,4}{53,2}$	$\frac{50,7}{56,4}$	$\frac{51,3}{54,6}$	$\frac{65,3}{43,5}$

суточные размеры грузового движения на подходах к узлу *H*, рассчитанные по формуле (12.1), приведены в табл. 12.8. Наибольшие среднесуточные размеры грузового движения на направлении *H-В*.

12.2. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ

Пример 12.3. Анализом хронометражных данных:

Горочный интервал t_1 , мин	7	8	9	10	11	12	13
Число повторений a_i	5	11	20	38	51	65	54
Горочный интервал t_1 , мин	14	15	16	17	18	Итого	
Число повторений a_i	45	40	24	9	6	368	

Таблица 12.8

Среднесуточные вагонопотоки на подходах к узлу *H*

Из	На						Итого	Всего грузовых поездов						
	А		Б		В									
	Г	П	Г	П	Г	П								
	Узел <i>H</i>		Узел <i>H</i>		Узел <i>H</i>									
А	0	0	$\frac{429}{441}$	$\frac{140}{160}$	$\frac{638}{705}$	$\frac{96}{140}$	$\frac{169}{186}$	0	0	$\frac{1236}{1332}$	$\frac{236}{300}$	$\frac{26,5}{27,2}$	$\frac{4,7}{6,0}$	$\frac{31,2}{33,2}$
	$\frac{548}{579}$	0	0	0	$\frac{591}{673}$	$\frac{30}{47}$	$\frac{58}{62}$	0	0	$\frac{1197}{1314}$	$\frac{30}{47}$	$\frac{25,3}{26,3}$	$\frac{0,6}{0,9}$	$\frac{25,9}{27,2}$
Б	$\frac{677}{716}$	$\frac{30}{80}$	$\frac{417}{461}$	$\frac{15}{43}$	0	0	$\frac{31}{31}$	$\frac{66}{87}$	$\frac{1125}{1208}$	$\frac{111}{210}$	$\frac{21,5}{22,7}$	$\frac{2,2}{4,2}$	$\frac{23,7}{26,9}$	
	$\frac{119}{152}$	$\frac{50}{34}$	$\frac{17}{17}$	$\frac{41}{45}$	$\frac{97}{118}$	0	0	0	$\frac{233}{287}$	$\frac{91}{79}$	—	—	—	
В	$\frac{1344}{1447}$	$\frac{80}{114}$	$\frac{863}{919}$	$\frac{196}{248}$	$\frac{1326}{1496}$	$\frac{126}{187}$	$\frac{258}{279}$	$\frac{66}{87}$	$\frac{3791}{4141}$	$\frac{468}{636}$	—	—	—	
	$\frac{28,1}{25,7}$	$\frac{1,6}{2,3}$	$\frac{16,7}{16,8}$	$\frac{3,9}{5,0}$	$\frac{31,8}{34,4}$	$\frac{2,5}{3,7}$	—	—	—	—	—	—	—	
Итого	$\frac{29,7}{28,0}$		$\frac{20,6}{21,8}$		$\frac{34,3}{38,1}$									
Всего поездов														

Примечания. 1. Числитель — на 10-й год эксплуатации, знаменатель — на 20-й
2. Г — грузовой вагонопоток, П — порожний

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 табл. 12.9. Математическое ожидание горочного интервала

$$\bar{t}_r = \sum_{i=1}^n t_i P_i,$$

где t_i — текущее значение горочного интервала;
 P_i — статистическая вероятность текущего значения горочного интервала:

$$P_i = a_i / \sum_{i=1}^n a_i,$$

a_i — число повторений текущего значения горочного интервала.
 Мера рассеяния значений горочного интервала — дисперсия

$$D = \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}_r)^2 P_i.$$

Среднее квадратичное отклонение характеризует степень колебаний горочного интервала:

$$\sigma = \sqrt{D}.$$

Результаты расчета приведены в табл. 12.9. Математическое ожидание $\bar{t}_r = 12,5$ 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 12.4. По данным примера 12.3 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 число наблюдений

$$n_{\min} = x^2/4\varepsilon^2,$$

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 $n_{\min} = 384$. Число наблюдений в примере 368, что находится в заданных пределах точности расчета. Число 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 критерия Романовского, Колмогорова, Пирсона и др. Критерий Пирсона

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n (a_i - R \Delta P_i)^2 / (R \Delta P_i),$$

где ΔP_i — вероятность случайной величины с заданным законом распределения;

$$R — \text{общее число наблюдений: } R = \sum_{i=1}^n a_i.$$

Расчет характеристик неравномерности

Горочный интервал t_i , мин	Число наблюдений a_i	Частость 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	0,66
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

Т а б л и ц а 12.10

Расчет критерия согласия χ^2

Горочный интервал t_i , мин	Число наблюдений a_i	$\sum \Delta P_i$	ΔP_i	$R \Delta P_i$	$(a_i - R \Delta P_i)^2$	$\frac{(a_i - R \Delta P_i)^2}{R \Delta P_i}$
—	—	0,0055	—	—	—	—
7	5	0,0169	0,0114	4,2	0,64	0,15
8	11	0,0446	0,0277	10,2	0,64	0,06
9	20	0,1003	0,0557	20,5	0,25	0,01
10	38	0,1977	0,0974	35,8	4,84	0,14
11	51	0,3336	0,1359	50,0	1,00	0,02
12	65	0,5000	0,1664	61,2	14,44	0,24
13	54	0,6628	0,1628	59,9	34,81	0,58
14	45	0,8023	0,1395	51,3	39,69	0,77
15	40	0,8997	0,0974	35,8	17,64	0,49
16	24	0,9564	0,0567	20,9	9,61	0,46
17	9	0,9837	0,0273	10,0	1,0	0,10
18	6	0,9946	0,0109	4,0	4,0	1,00
Итого	368	—	—	—	—	4,02

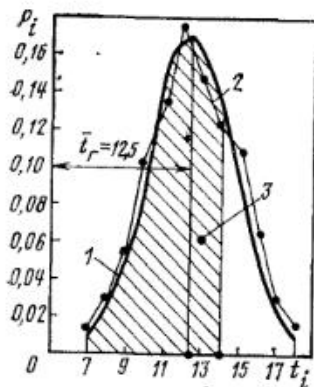


Рис. 12.2 Дифференциальные функции распределения: 1 — фактическая; 2 — теоретическая; 3 — доля, соответствующая вероятности $P(t_r < 14)$

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 [13] находим 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

$$P(t_i) = \frac{1}{2,34 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t_i - 12,5)^2}{10,94}}$$

На рис. 12.2 показана гистограмма и теоретическая кривая распределения колебаний горочного интервала. Вероятность того, что $t_r < 14$ мин, определяется по таблице нормальной кривой [1]:

$$P(t_r < 14) = \Phi[(14 - \bar{t}_r)/\sigma].$$

Следовательно,

$$P(t_r < 14) = \Phi[(14 - 12,50)/2,34] = \Phi(0,641) = 0,739,$$

т. е. в 74 случаях из 100 горочный технологический интервал будет меньше 14 мин.

Пример 12.5. Используя данные примера 12.2, установим расчетные размеры грузового движения на подходах к железнодорожному узлу H .

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

$$P(N_{ij}) = \frac{1}{\sigma_{Nt} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N_{ij} - \bar{N}_{ij})^2}{2\sigma^2}},$$

где N_{ij} — текущие размеры движения на участке ij ;
 σ_{Nt} — среднее квадратичное отклонение, учитывающее внутригодовую, внутримесячную и внутрисуточную неравномерность.

Последовательность вычисления χ^2 дана в табл. 12.10 ($\bar{t}_r = 12,5$ мин; $\sigma = 2,34$ мин).

Теоретические значения вероятностей ΔP_i вычисляются по таблице нормальной функции [13] $x_i = (t_i - \bar{t}_r)/\sigma$, 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 для всех x_i , например $x_i = -2,56$, находим значения интегральной функции распределения $\Phi(x_i) = 0,0055$. Теоретическая вероятность для нормального закона

$$\Delta P_i = \Phi[(t_i - \bar{t}_r)/\sigma] - \Phi[(t_{i-1} - \bar{t}_r)/\sigma].$$

Вероятность того, что горочный интервал будет равен 7 мин, $\Delta P_{t_i=7} = 0,0169 - 0,0055 = 0,0114$. Расчеты, выполненные в табл. 12.11, показали, что $\chi^2 = 4,02$. Чтобы проверить соответствие опытных данных теоретическому заложу, найдем предварительно число степеней свободы:

$$r = k - s - 1,$$

где k — число разрядов;

Кроме того, следует учитывать и отклонения размеров движения от расчетных величин, вызываемые ошибками прогнозирования. Поэтому

$$P(N_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{(\sigma_{kt}^2 + \sigma_{nt}^2) 2\pi}} e^{-\frac{(N_{ij} - \bar{N}_{ij})^2}{2(\sigma_{kt}^2 + \sigma_{nt}^2)}}, \quad (12.2)$$

где σ_{nt} — среднее квадратичное отклонение ошибки, зависящее от прогнозного горизонта. С достаточной для практических целей точностью

$$\sigma_{Nt} = 0,3333\bar{N}_{ij}(k_r k_M - 1), \quad (12.3)$$

k_r — коэффициент внутригодовой неравномерности, равный 1,05—1,20;
 k_M — коэффициент внутримесячной неравномерности. Для однопутных линий $k_M = 1,2 + 1,25$, а для двухпутных

$$k_M = 1 + 1,5(0,07 + 1/\bar{N}_{ij}),$$

Учитывая, что все подходы к узлу H двухпутные, и используя данные табл. 12.8, для направления $A-H$ (10-й год) получим

$$k_M^{AH} = 1 + 1,5(0,07 + 1/31,2) = 1,153.$$

Аналогично рассчитаны k_M для остальных направлений:

	A-H	B-H	B-H	H-A	H-B	H-B
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 $A-H$:

$$\sigma_{kt}^{AH} = 0,3333 \cdot 31,2(1,10 \cdot 1,153 - 1) = 2,79 \text{ поезда.}$$

Для остальных направлений значения σ_{kt} :

	A-H	B-H	B-H	H-A	H-B	H-B
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)

$$\sigma_{nt} = \frac{\beta_t N_{ijt}}{3}, \quad (12.4)$$

где β_t — относительная ошибка прогноза в году t .

Для периода прогнозирования 0,5, 10, 15, 20 лет β_t 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 следующие:

	A-H	B-H	B-H	H-A	H-B	H-B
10-й год	0,94	0,78	0,71	0,89	0,62	1,03
20-й год	2,32	1,81	1,88	1,96	1,53	2,67
(перспектива)						

Расчетные размеры грузового движения на подходах к узлу H при заданной расчетной надежности

$$N_{ij}^P = \bar{N}_{ij} + t_{\beta} \sqrt{\sigma_{kt}^2 + \sigma_{nt}^2}$$

где t_{β} — расчетный параметр, значения которого зависят от уровня надежности P . Для практических целей достаточно $P = 0,95 \div 0,97$. Используя формулу (12.2) и таблицу Лапласа, при $P = 0,95$ получим $t_{\beta} = 1,65$, а при $P = 0,97$ $t_{\beta} = 1,88$.

Принимаем $P = 0,95$. Поэтому для рассматриваемого примера на 10-й год

$$N_{AH}^P = 31,2 + 1,65 \sqrt{2,79^2 + 0,94^2} = 36,3 = 37 \text{ поездов.}$$

Для остальных направлений расчетные размеры движения рассчитаны аналогично:

	A—H	B—H	B—H	H—A	H—B	H—B
10-й год	37	30	28	35	25	40
20-й год	40	33	32	34	27	45
(перспектива)						

Пример 12.6. Основная в узле H станция I . Определим расчетные размеры движения на 10-й и 20-й годы в транзитном парке, обслуживающем направления $B—H$ и $B—H$, если они составляют 70 % среднесуточных размеров движения на подходе $B—H$ и 30 % на подходе $B—H$.

Решение. По табл. 12.8 устанавливаем среднесуточные размеры движения транзитных поездов:

$$N_{BH}^{TP(10)} = 23,7 \cdot 0,7 = 17; \quad N_{BH}^{TP(10)} = 25,9 \cdot 0,3 = 8;$$

$$N_{BH}^{TP(20)} = 26,9 \cdot 0,7 = 19; \quad N_{BH}^{TP(20)} = 27,2 \cdot 0,3 = 8.$$

Расчетные размеры движения транзитных поездов, прибывающих в парк:

$$\bar{N}_t^P = \sum_{s=1}^k \bar{N}_{ijt} + t_p \sigma_t, \quad (12.5)$$

где s — число подходов к парку;

\bar{N}_{ijt} — расчетное число поездов, прибывающих в парк в году t ;

σ_t — расчетное значение среднего квадратичного отклонения в году t :

$$\sigma_t = \sqrt{\sum_{s=1}^k \sigma_{st}^2 + 2 \sum_{s < l} r_{sl} \sigma_{st} \sigma_{lt}}$$

σ_{st} — среднее квадратичное отклонение потока поездов на подходе s ;

r_{sl} — коэффициент взаимной корреляции потоков двух линий s и l , равный $-0,12 \div +0,38$

Если к парку примыкают две линии, то

$$\sigma_t^{(2)} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2r_{12}\sigma_1\sigma_2}. \quad (12.6)$$

Рассчитаем σ_{kt} по формуле (12.3), а σ_{nt} — по формуле (12.4). Тогда

$$\sigma_{st} = \sqrt{\sigma_{kt}^2 + \sigma_{nt}^2}$$

Подставляя в эту формулу исходные данные, получим:

$$\sigma_{BH(10)} = \sqrt{(0,3333 \cdot 17 (1,193 \cdot 1,10 - 1))^2 + ((0,09 \cdot 17) : 3)^2} = \\ = \sqrt{3,1312 + 0,2601} = 1,84;$$

$$\sigma_{BH(20)} = 2,33; \quad \sigma_{BH(10)} = 1,15; \quad \sigma_{BH(20)} = 1,15,$$

а по формуле (12.6):

$$\sigma_{(10)}^{(2)} = \sqrt{1,84^2 + 1,15^2 + 2 \cdot 0,15 \cdot 1,84 \cdot 1,15} = 2,31;$$

$$\sigma_{(20)}^{(2)} = \sqrt{2,33^2 + 1,15^2 + 2 \cdot 0,15 \cdot 2,33 \cdot 1,15} = 2,80.$$

Тогда расчетные размеры работы транзитного парка станции I составят [см. формулу (12.5)]:

$$N_{(10)}^P = 17 + 8 + 1,65 \cdot 2,31 = 29;$$

$$N_{(20)}^P = 19 + 8 + 1,65 \cdot 2,80 = 32 \text{ поезда.}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Венецкий И. Г., Кильдишев Г. С. Основы теории вероятности и математической статистики. М.: Статистика, 1968. 360 с.
2. Железнодорожные станции и узлы: задачи, примеры, расчеты/Н. В. Правдин, Т. С. Банек, В. Я. Негрей и др.; Под ред. Н. В. Правдина. М.: Транспорт, 1976. 352 с.
3. Земблинов С. В., Страковский И. И. Станции и узлы. М.: Транжелдориздат, 1963. 348 с.
4. Инструктивно-методические указания по проектированию железнодорожных узлов и станций/Киев, Киевгипротранс, 1975—1983.
5. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений на железнодорожном транспорте/МПС СССР. М.: Транспорт, 1973. 199 с.
6. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР: ВСН 56—78/Минтрансстрой СССР, МПС СССР. М.: Транспорт, 1978. 175 с.
7. Кочнев Ф. П., Акулиничев В. М., Макарович А. М. Организация движения на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1979. 567 с.
8. Методика технико-экономических расчетов при развитии транспортных узлов/К. Ю. Скалов, Г. С. Молярчук, Э. В. Островская и др.; Под ред. К. Ю. Скалова. М.: Транспорт, 1972. 568 с.
9. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций/Оргтрансстрой. М.: 1973. 440 с.
10. Нормы технологического проектирования железнодорожных вокзалов/Минтрансстрой СССР. М.: Транспорт, 1971. 53 с.
11. Правдин Н. В. Пассажирские станции. М.: Транспорт, 1973. 272 с.
12. Правдин Н. В., Негрей В. Я. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах. Минск: Высшая школа, 1977. 295 с.
13. Правдин Н. В., Банек Т. С., Негрей В. Я. Проектирование железнодорожных станций и узлов. Минск: Высшая школа, 1982. 510 с.
14. Правдин Н. В., Негрей В. Я. Прогнозирование пассажирских потоков. М.: Транспорт, 1980. 224 с.
15. Проектирование железнодорожных станций и узлов: Справочное и методическое руководство/А. М. Козлов, К. Г. Гусева, Э. В. Бакутов и др.; Под ред. А. М. Козлова, К. Г. Гусевой. М.: Транспорт, 1981. 592 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

16. Сортировочные станции: теория, практика, прогнозы/Н. В. Правдин, Т. С. Банек, В. Я. Негрей, М. Н. Луговцов, В. А. Подкопаев. Гомель: Ч. 1. 1979. 51 с. Ч. II. 1980. 80 с. Ч. III. 1982. 76 с.
17. Правила технической эксплуатации железных дорог Союза ССР/МПС СССР. М.: Транспорт, 1972. 159 с.
18. Руководство по техническому нормированию маневровой работы/МПС СССР. М.: Транспорт, 1978. 54 с.
19. Савченко И. Е., Земблинов С. В., Страковский И. И. Железнодорожные станции и узлы/Под ред. В. М. Акулиничева, Н. Н. Шабалина. М.: Транспорт, 1980. 479 с.
20. Сотников И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог. Исследование операций на станциях. М.: Транспорт, 1976. 271 с.
21. Строительные нормы и правила. СНиП II-39-76. Ч. II. Нормы проектирования. Железные дороги колеи 1520 мм. М.: Стройиздат, 1977. 69 с.
22. Справочник по земляному полотну эксплуатируемых железных дорог/Под ред. А. Ф. Подпалого, М. А. Чернышева, В. П. Титова. М.: Транспорт, 1978. 200 с.
23. Справочник проектировщика железнодорожных станций. М.: Транспорт, 1954. 100 с.
24. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог: СН 449—72/Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1973. 113 с.
25. Федотов Н. И. Проектирование сортировочных горок. Новосибирск: 1981. 85 с. В надзаг.: НИИЖТ.
26. Шабалин Н. Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях. М.: Транспорт, 1973. 184 с.

От авторов	3
1. Соединения путей	4
1.1. Стрелочные переводы	4
1.2. Соединение двух путей	7
1.3. Стрелочные улицы	10
1.4. Раздвижка и сплетение путей	16
2. Основные расстояния и длина путей на станциях	18
2.1. Габариты и нумерация путей	18
2.2. Размещение предельных столбиков, сигналов и опор контактной сети	21
2.3. Полная и полезная длина путей	27
3. Конструкции горловины	30
3.1. Промежуточные и участковые станции	30
3.2. Сортировочные станции	40
3.3. Пассажирские и технические пассажирские станции	46
4. Техническое оснащение станций	50
4.1. Парки транзитный, приема и отправления	50
4.2. Сортировочные и вытяжные пути	54
4.3. Пути на пассажирской и технической пассажирской станциях	57
4.4. Путевое развитие грузовых станций	63
4.5. Устройства для обслуживания пассажиров	67
4.6. Грузовые устройства	69
4.7. Устройства локомотивного хозяйства	78
5. Сортировочные устройства	88
5.1. Силы, действующие на отцеп при скатывании с горки	88
5.2. Расстояния от вершины горки до первой разделительной стрелки	91
5.3. Высота горки и мощность тормозных позиций	96
5.4. Профиль спускной части	103
5.5. Аналитический расчет скоростей отцепов	105
5.6. Проверка профиля и размещения тормозных средств	108
5.7. Горка малой мощности	115
6. Переустройство станций	120
6.1. Промежуточные станции. Объем земляных работ	120
6.2. Участковые и грузовые станции	148
6.3. Сортировочные станции	157
6.4. Примыкания подъездных путей	167
7. Оптимизация проектных решений	171
7.1. Реконструкция станций	171
7.2. Проектирование станций	175

8. Поэтапное развитие станций и узлов	183
8.1. Железнодорожный узел	183
8.2. Сортировочная станция	201
9. Пропускная и перерабатывающая способность станций	210
9.1. Горловины, парки и пути	210
9.2. Сортировочные горки, вытяжные пути и погрузочно-разгрузочные фронты	220
10. Техничко-экономические расчеты	225
10.1. Выбор оптимального варианта реконструкции станции	225
10.2. Переустройство промежуточных станций	229
10.3. Переустройство сортировочных станций	236
11. Железнодорожные узлы	252
11.1. Размещение устройств	25с
11.2. Путепроводные развязки	262
12. Исходные нормативы для проектирования станций и узлов	281
12.1. Среднесуточные размеры работы	281
12.2. Статистические методы расчета параметров	286
Список литературы	293

**Николай Владимирович Правдин, Тамара Семеновна Банек,
Виктор Яковлевич Негрей, Михаил Николаевич Луговцов,
Виктор Архипович Вербило, Александр Иосифович Шелелев,
Виталий Алексеевич Подкопаев, Владимир Федорович Ляшенко,
Евгений Михайлович Залесский**

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ СТАНЦИИ И УЗЛЫ
(задачи, примеры, расчеты)

Переплет художника *А. А. Медведева*
Технический редактор *Н. И. Первова*
Корректор-вычитчик *Р. А. Казачкина*
Корректор *В. Н. Яговкина*
ИБ № 2398

Приложение: схемы 1 л.

Сдано в набор 27.09.83. Подписано в печать 21.04.84. Т-10413.
Формат 60×90^{1/16} Бум тип № 2 Гарнитура литературная. Высокая печать.
Усл печ. л. 18,5 + 1 вкл Усл. кр -отт. 19,09 Уч.-изд. л. 22,11+0,42 вкл.
Тираж 10 500 экз Заказ 262. Цена 1 р. 60 к. Изд № 1-3-1/4 № 1510

Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ», 107174, Москва, Басманный туп., 6а

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.