

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»

Кафедра «Технология транспортных процессов и логистика»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Рекомендовано
Методическим советом по качеству
образовательной деятельности ДВГУПС
в качестве учебного пособия

Под редакцией Е.Э. Червотенко

Хабаровск
Издательство ДВГУПС
2014

УДК 656.21-047.84(075.8)
ББК О213.45-041-022я73
П 791

Рецензенты:

Кафедра «Управление эксплуатационной работой»
Иркутского государственного университета путей сообщения,
(заведующий кафедрой, кандидат технических наук, доцент *Р.Ю. Упырь*)

Главный инженер проекта отдела «Станции и узлы»
ОАО «Дальневосточный проектно-изыскательский институт
транспортного строительства» (Дальгипротранс) *В.В. Губкевич*

Авторы:

Е.Э. Червотенко (Введение, разд. 1, 4, 5; Заключение); Д.Н. Куклев (разд. 2);
Н.В. Куклева (разд. 3); А.Р. Калинина (подразд. 2.6; 3.5, 4.3)

Проектирование сортировочных устройств : учеб. пособие /
П 791 Е.Э. Червотенко [и др.]; под ред. Е.Э. Червотенко. – Хабаровск :
Изд-во ДВГУПС, 2014. – 75 с. : ил.

Учебное пособие соответствует ФГОС ВО по специальности 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог» и направлению подготовки бакалавров 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

Рассмотрены: основное назначение, классификация сортировочных устройств, мероприятия по повышению перерабатывающей способности сортировочных горок.

Изложены: основные требования к проектированию сортировочных устройств; расчет высоты сортировочной горки и построение профиля подвижной и спускной ее частей; методика выбора вагонных замедлителей; расчет перерабатывающей способности сортировочной горки.

Освещены основные вопросы проектирования в соответствии с Правилами и техническими нормами проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм, введенными в действие в 2003 г.

Предназначено для студентов 4-го курса всех форм обучения при изучении теоретического материала дисциплины «Железнодорожные станции и узлы», подготовке к экзаменам и выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ.

УДК 656.21-047.84(075.8)
ББК О213.45-041-022я73

© ДВГУПС, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Сортировочные устройства на станциях играют важную роль в процессе формирования и расформирования составов, перестановки групп или отдельных вагонов в парки и на места общего и необщего пользования. От мощности, стабильной и надежной работы этих устройств зависит перерабатывающая способность станций. Поэтому при проектировании объектов и устройств инфраструктуры железнодорожных станций, сортировочным устройствам уделяется особое внимание.

При проектировании сортировочных устройств руководствуются нормативными документами, основным из которых являются «Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм».

В настоящем пособии обобщены теоретические работы ряда авторов по вопросам расчета отдельных параметров сортировочных устройств и автоматизации процесса роспуска вагонов, учтен большой опыт проектирования и эксплуатации.

В настоящее время основным видом устройств для сортировки вагонов являются горки, имеющие по сравнению с другими устройствами, ряд преимуществ.

Сортировочные горки позволяют:

- повысить перерабатывающую способность сортировочной станции;
- снизить стоимость переработки вагонов вследствие сокращения расходов на содержание штата и маневровые средства;
- ускорить оборот вагона за счет сокращения времени их переработки;
- повысить безопасность и культуру труда станционных работников.

Настоящее учебное пособие разработано в помощь студентам, изучающим дисциплину «Железнодорожные станции и узлы», для ознакомления, выполнения проекта сортировочной горки и подготовки к экзаменам. Использование данного пособия будет крайне полезно при разработке дипломного проекта по тематике увеличения перерабатывающей способности железнодорожных станций.

1. СОРТИРОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Назначение и классификация сортировочных устройств

Новые и реконструируемые сортировочные устройства должны проектироваться в соответствии с их потребной перерабатывающей способностью на расчетные сроки с учетом особенностей расположения на направлениях сети железных дорог и в промышленном районе [1].

Сортировочные устройства на станциях в зависимости от местных условий делятся на две группы: основные и вспомогательные.

Основные сортировочные устройства проектируются на сортировочных станциях для расформирования и формирования одногруппных составов, а на участковых и грузовых станциях – также и для формирования многогруппных составов поездов и подач вагонов на грузовые пункты общего и необщего пользования.

Вспомогательные сортировочные устройства при наличии основных проектируются на станциях для формирования многогруппных составов и передач (подач) вагонов на грузовые станции и указанные выше грузовые пункты, а также для завершения формирования составов.

Для сортировки вагонов на станциях проектируются основные и вспомогательные сортировочные устройства следующих типов:

- **горочные** – сортировочные горки повышенной, большой, средней и малой мощности, где для скатывания вагонов используется в основном сила тяжести;

- **негорочные** – вытяжные пути со стрелочными горловинами на уклоне, где используется сила тяги локомотива и сила тяжести вагонов; вытяжные пути, а также стрелочные горловины на горизонтальной площадке, на которых используется только сила тяги локомотива.

Тип и мощность основных и вспомогательных сортировочных устройств устанавливается в зависимости от планируемых размеров и структуры перерабатываемых вагонопотоков. Расчетные прогнозные размеры вагонопотоков должны устанавливаться для сортировочных станций на 10-й, а для остальных технических станций – на 5-й год эксплуатации [1].

Для выполнения функций основного сортировочного устройства проектируются горки повышенной (ГПМ), большой (ГБМ), средней (ГСМ) и малой мощности (ГММ). Для вспомогательных устройств проектируются горки средней и малой мощности (ГСМ, ГММ) и негорочные устройства вместе с сортировочными (или сортировочно-группировочными, группировочными) парками.

От мощности сортировочной горки зависит количество сортировочных, подвижных, спускных и обходных путей, число тормозных позиций, расчетная скорость роспуска, необходимое техническое оснащение.

Горки повышенной мощности (ГПМ) проектируются для переработки не менее 5500 вагонов в сутки. ГПМ должна иметь не менее трех путей надвига и до четырех путей роспуска. Количество путей в сортировочном парке при ГПМ, как правило, более 40. Конструкция ГПМ предусматривает все технологические линии переработки вагонов, в том числе и параллельный роспуск составов.

Горки большой мощности (ГБМ) проектируются при среднесуточной переработке от 3500 до 5500 вагонов и числе сортировочных путей от 30 до 40. ГБМ должна иметь не менее двух путей надвига и два-три (при обосновании четыре) спускных пути.

При устройстве двух и более путей надвига и двух спускных путей проектируется соединение этих путей перекрестными съездами.

При сооружении или реконструкции ГПМ и ГБМ в ряде случаев предусматривается путепровод под горкой, для выполнения параллельных операций по расформированию составов на горке и смене поездных локомотивов.

Горки средней мощности (ГСМ) проектируются при переработке от 1500 до 3500 вагонов в сутки и числе путей в сортировочном парке от 17 до 29, с учетом перспективы переустройства их в горки большой мощности. ГСМ, как правило, имеют два пути надвига и один или два спускных пути.

Горки малой мощности (ГММ) сооружаются для переработки от 250 до 1500 вагонов в сутки при числе сортировочных путей от 4 до 16. ГММ проектируются с одним путем надвига и одним путем роспуска.

Вагонные замедлители на спускной части ГПМ, ГБМ и ГСМ устанавливаются на двух тормозных позициях, в сортировочном парке – на одной. Для ГММ вагонные замедлители устанавливаются по одному на спускной части и в парке. В отдельных случаях на ГММ допускается организация немеханизированной парковой тормозной позиции, на которой торможение отцепов осуществляется тормозными башмаками. Такая тормозная позиция должна быть оборудована башмакосбрасывателями.

Вытяжные пути со стрелочными горловинами на уклоне или на горизонтальной площадке проектируются при объеме переработки до 250 вагонов в сутки, а также для окончания формирования и перестановки составов в выходных горловинах сортировочных парков. Маневровая работа выполняется осаживанием групп вагонов или толчками при обеспечении безопасного движения и стоянки отцепленных вагонов.

1.2. Оборудование сортировочных горок

Современные сортировочные горки необходимо оборудовать комплексом технических средств систем автоматизации, обеспечивающих:

- управление надвигом и роспуском составов;

- управление маршрутами движения;
- регулирование скорости скатывания отцепов;
- управление маневровыми передвижениями;
- контроль заполнения сортировочного парка;
- контроль и диагностику технических средств;
- автоматизацию компрессорных;
- обмен информацией в рамках КСАУСС.

Новое поколение систем горочной автоматизации и их функции (на основании [1]) приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Современные системы горочной автоматизации

Наименование	Выполняемые функции
ГПЗУ Горочное программно-задающее устройство	Для ввода программы роспуска из АСУ СС в ГАЦ М и синхронизации этой процедуры с ходом роспуска
ГАЦ М, МН Микропроцессорная горочная автоматическая централизация	Для управления стрелками по маршрутам движения отцепов
ГАЛС Р Горочная автоматическая локомотивная сигнализация с передачей информации по радиоканалу и телеуправлением локомотивом	Для телеуправления горочным локомотивом при надвиге, роспуске, осаживании и маневрах, в том числе в сортировочном парке
УУПТ Устройство управления прицельным торможением АРС Автоматическое регулирование скорости скатывания отцепа	Управление процессом торможения отцепов (регулирование скорости скатывания отцепов)
КЗП Устройство контроля заполнения путей	Для контроля свободности пути, наличия «окон» и определения скоростей соударения отцепов в сортировочном парке
КСАУ КС Система автоматизированного управления компрессорной станцией	Автоматизация управления компрессорной станцией
КТС ОДУ СГ (пульт) Комплекс технических средств оперативно-диспетчерского управления сортировочной горки	Для оперативно-диспетчерского управления сортировочной горкой

В качестве технического оснащения вытяжных путей и стрелочных горловин предусматриваются устройства электрической централизации стрелок, стационарной радио- и телефонной связи оператора поста ЭЦ с составителем и другими работниками, прочие устройства и сооружения, обеспечивающие стабильное функционирование технологической системы.

1.3. Основные элементы и параметры сортировочной горки

Наиболее эффективным и производительным сортировочным устройством при массовой переработке вагонов является сортировочная горка.

Основными элементами сортировочной горки являются (рис. 1.1):

- подвижная часть;
- перевальная часть (горб горки);
- спускная часть.

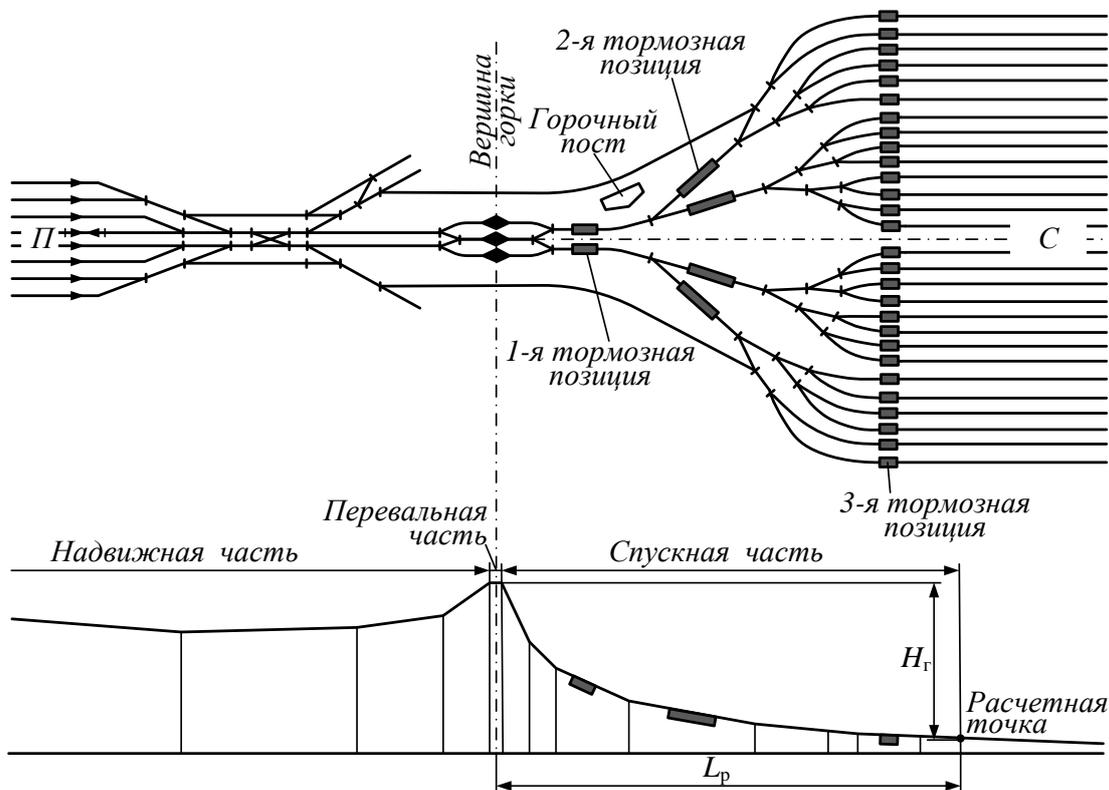


Рис. 1.1. Схема плана и профиля сортировочной горки

Надвижная часть предназначена для подачи вагонов к вершине горки и подготовке их к роспуску. На подвижной части размещаются пути надвига, соединяющие горб горки с парком приема, а при параллельном расположении парков приема и сортировки – с горочной вытяжкой. Подвижная часть должна обеспечить возможность трогания состава при остановке на горке, а также необходимое сжатие автосцепных устройств для возможности расцепки.

Перевальная часть или горб горки – элемент горки, на котором происходит сопряжение надвигной и спускной частей. Границами перевальной части являются вершины углов поворота вертикальных сопрягающих кривых.

Вершина угла вертикальной кривой, сопрягающей скоростной уклон с горизонтальной прямой и проходящей через наивысшую точку горба горки называется **условной вершиной горки (УВГ)**.

Отрыв отцепов от состава и их быстрое продвижение с безопасными интервалами на пути назначения обеспечиваются на *спускной части* горки, которая располагается между вершиной и расчетной точкой.

Расчетная точка (РТ) находится на расстоянии 50 м* от выходного конца парковой тормозной позиции. На спускной части располагаются тормозные позиции для регулирования скорости отцепов.

Каждая горка характеризуется следующими основными параметрами:

- расчетной длиной;
- высотой;
- общей мощностью тормозных средств;
- перерабатывающей способностью.

Расчетной длиной горки называется расстояние от вершины горки до расчетной точки. **Расчетная высота** – разность отметок вершины и расчетной точки. **Мощность тормозных средств** характеризуется погашаемой ими суммарной энергетической высотой, а **перерабатывающая способность горки** – максимальным числом вагонов, которое можно расформировывать через нее за сутки.

Кроме указанных параметров для обеспечения безопасности роспуска с горки при проектировании рассчитываются интервалы между отцепами на разделительных стрелках и тормозных позициях.

При устройстве горба с двумя и более путями надвига и спускными путями можно выполнять одновременно две операции: роспуск двух составов или уборку горочного локомотива по одному пути и роспуск с горки на втором пути и др.

При проектировании сортировочной горки должны быть соблюдены пять основных условий: безопасность движения, необходимая перерабатывающая способность станции, комплексность проекта (с учетом требований СЦБ, охраны труда и окружающей среды, специальных условий и т.п.), экономичность решения и возможность дальнейшего развития станционных устройств.

Сортировочные горки классифицируются по основным характеристикам (табл. 1.2).

* При смешанном вагонопотоке. Если через горку распускается порожний вагонопоток, то расстояние принимается равным 100 м.

Таблица 1.2

Классификация сортировочных горок

Основная характеристика	Сортировочные горки			
	повышенной мощности (ГПМ)	большой мощности (ГБМ)	средней мощности (ГСМ)	малой мощности (ГММ)
Движущая сила при сортировке вагонов	сила тяжести	сила тяжести	сила тяжести	сила тяжести
Объем переработки вагонов в сутки	более 5500	3500...5500	1500...3500	250...1500
Число путей: сортировочных надвижных спускных обходных	более 40 ≥ 3 2...3/4** 2	30...40 2...3 2 1...2	17...29 1...2 1...2 1...2	4...16 1/2* 1 0...2
Число тормозных позиций: на спускной части на путях парка	2 1/2***	2 1/2***	1...2 1/2***	0...2 1
Величина скоростного уклона, ‰	40...50	40...50	35...50	≥ 25
Расчетная скорость роспуска, м/с	1,7	1,7	1,4	0,8...1,2
Режим роспуска	Параллельный	Последовательный	Последовательный	Последовательный
Техническое оснащение	АРС, ГАЦ, АЗСР, ТГЛ, вагонные замедлители	АРС, ГАЦ, АЗСР, ТГЛ, вагонные замедлители	ГАЦ, АЗСР, вагонные замедлители	ГАЦ (ЭЦ), вагонные замедлители

Примечания:

* – для тяжелых климатических условий, а также в случае использования ГММ для формирования групп составов групповых поездов и подач вагонов допускается устройство двух путей надвига. При этом вершины горбов могут располагаться на разных отметках;

** – при обосновании;

*** – при обосновании, с размещением второй парковой тормозной позиции на расстоянии 150 м от первой.

1.4. Основы динамики скатывания вагонов с горки.

Понятие энергетической высоты

При скатывании вагона по наклонной плоскости на него действуют движущие силы и силы сопротивления.

В основу динамики движения вагона положена модель скатывания тела по наклонной плоскости.

Исходными теоретическими предпосылками для расчета горок являются дифференциальное уравнение движения вагона и теорема об изменении кинетической энергии.

На вагон, движущийся по наклонной плоскости, действуют (рис. 1.2):

- сила тяжести Q ;
- сила сопротивления W ;
- основная движущая сила F ;
- сила нормального давления на наклонную плоскость P .

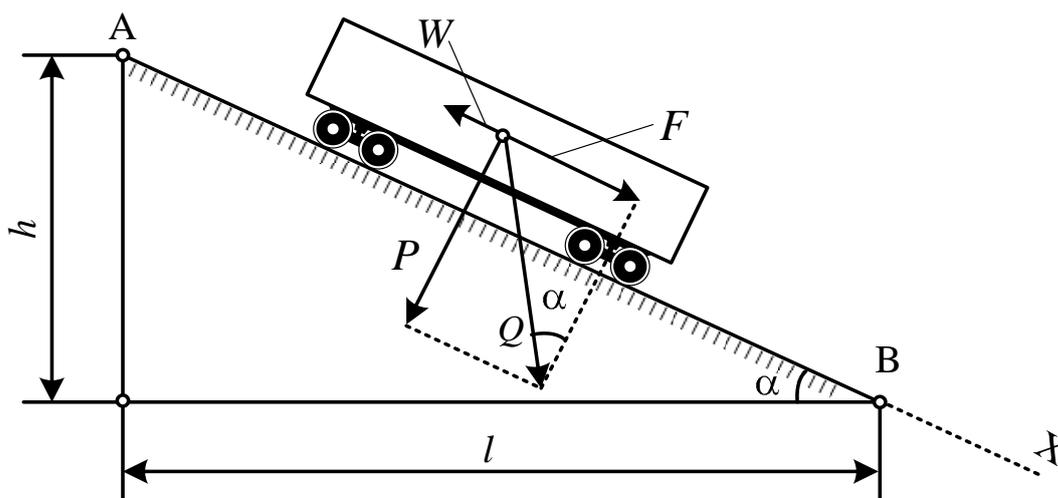


Рис. 1.2. Силы, действующие на вагон при скатывании с горки

Из рис. 1.2 видно, что:

$$P = Q \cos \alpha; \quad (1.1)$$

$$F = Q \sin \alpha. \quad (1.2)$$

Но так как величина α на горках, как правило, не превышает 4° , то принимается

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l} = i \cdot 10^{-3}, \quad (1.3)$$

где i – уклон, ‰.

Приблизительно можно считать силу сопротивления W пропорциональной весу вагона, т.е.

$$W = Q \omega 10^{-3}, \quad (1.4)$$

где $\omega = \omega_0$ – общее удельное ходовое сопротивление движению вагона, кгс/тс (Н/кН) или ‰.

Силы сопротивления бывают:

– *непрерывные* (основное удельное ω_0 , от воздушной среды и ветра $\omega_{св}$, от снега и инея $\omega_{сн}$);

– *периодические* (от стрелок ω_c , от кривых ω_k , от тормозных позиций $\omega_{тп}$ в рабочем положении).

Тогда суммарную силу сопротивления можно вычислить по формуле

$$W = \omega_0 + \omega_{св} + \omega_{сн} + \omega_c + \omega_k + \omega_{тп}^* . \quad (1.5)$$

Тогда дифференциальное уравнение движения вагона (как материальной точки) вдоль оси АХ составит:

$$ma = Q \sin\alpha = Q (i - \omega) l 10^{-3}, \quad (1.6)$$

где m – масса вагона; a – ускорение вагона.

Из этого уравнения видно, что если на некотором участке:

$i > \omega$ – вагон движется ускоренно;

$i < \omega$ – замедленно;

$i = \omega$ – равномерно.

Согласно теореме об изменении кинетической энергии

$$\frac{mV_1^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = Q (i - \omega) l 10^{-3}, \quad (1.7)$$

Здесь правая часть представляет собой работу силы тяжести и средней силы сопротивления на участке l , уклон которого i ; V_1 и V_0 – соответственно начальная и конечная скорости движения вагона на участке l .

Выразив величину m через $\frac{Q}{g'}$ и сократив на Q обе части равенства (1.7),

получим уравнение кинетической энергии, отнесенной к единице веса вагона:

$$\frac{V_1^2}{2g'} - \frac{V_0^2}{2g'} = i \cdot l \cdot 10^{-3} - \omega \cdot l \cdot 10^{-3}, \quad (1.8)$$

$$V_1^2 - V_0^2 = 2g'l (i - \omega) 10^{-3}. \quad (1.9)$$

Следовательно,

$$V_1 = \sqrt{V_0^2 + 2g'l (i - \omega) 10^{-3}}. \quad (1.10)$$

* В литературе встречаются также единицы измерения Н/кН, при этом 10 кН = 1 тс.

Величина приведенного ускорения, соответствующего силе тяжести, зависит от отношения веса вращающихся частей вагона к его полному весу и определяется из выражения:

$$g' = \frac{9,81^2 \cdot q_{\text{бр}}}{9,81 \cdot q_{\text{бр}} + 4,2 \cdot n}, \quad (1.11)$$

где $q_{\text{бр}}$ – вес вагона брутто, тс; n – число осей.

Значения g' можно принимать из табл. 1.3 в зависимости от веса вагона.

Таблица 1.3

Значения величины приведенного ускорения g'

$q_{\text{бр}}, \text{ тс}$	22	25	30	40	50	70 и более
$g', \text{ м/с}^2$	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6

Учет сил, действующих на скатывающийся вагон, удобно вести по величине энергетической высоты. Через энергетическую высоту обычно выражают удельную работу движущей силы и сил сопротивления при расчете параметров горки (1 метр энергетической высоты (м.э.в.) $\approx 1 \text{ кН} \approx 0,1 \text{ тс}$). Другими словами, **энергетическая высота это либо удельная работа, либо удельное сопротивление силы тяжести**. Поэтому, переходя к энергетическим высотам, выражение зависимости (1.8) можно представить как

$$h_{V_1} - h_{V_0} = h - h_{\omega}. \quad (1.12)$$

На рис. 1.3 представлено графическое изображение зон энергетических высот.

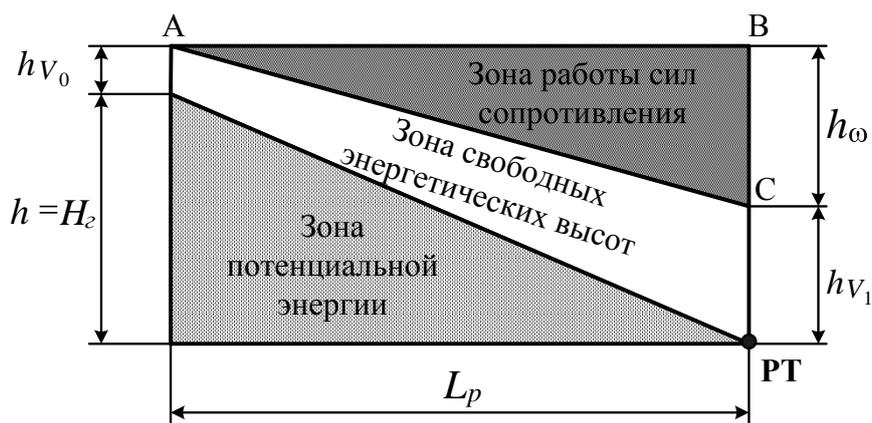


Рис. 1.3. Графическое изображение энергетических зон: АВ – линия начальных энергетических высот (в любой точке – полная энергия вагона постоянна); ABC – зона работы сил сопротивления; AC – показывает, как изменяется работа сил сопротивления от вершины горки до расчетной точки

Таким образом, силы, способствующие движению отцепа в любой точке профиля К (рис. 1.4), характеризуются:

1) полной энергетической высотой h_s , равной $h^k + h_{V_0}$, где h^k – разница отметок начала участка L_p и данной точки;

2) силами сопротивления движению – удельной работой этих сил или потерянной энергетической высотой на протяжении l_k и обозначаемой h_{ω}^k ;

3) результирующей силой – скоростной или остаточной энергетической высотой h_V^k , равной:

$$h_V^k = h_s - h_{\omega}^k = h^k + h_{V_0} - h_{\omega}^k. \quad (1.13)$$

То есть для любой точки горки:

$$h + h_{V_0} = h_{\omega}^k + h_V^k + H^k, \quad (1.14)$$

где h_{ω}^k – энергия, которая потеряна на преодоление сопротивления в точке К; h_V^k – свободная энергетическая высота, которая реализована в скорости скачивания вагона; H^k – профильная высота, численно равная высоте той точки, в которой находится вагон (в данном случае в точке К).

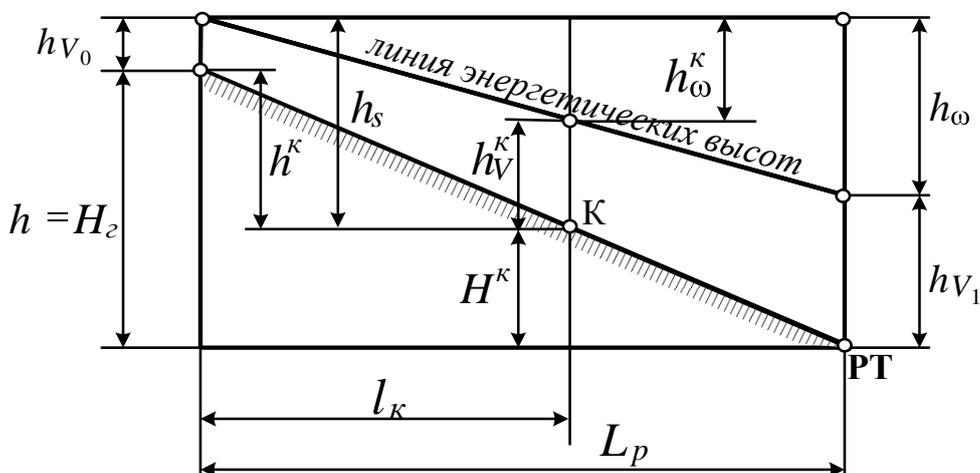


Рис. 1.4. Графическое изображение энергетических высот: $h + h_{V_0}$ – полная энергетическая высота на вершине горки (суммарная удельная потенциальная и кинетическая энергия на вершине горки); h_{V_0} и h_{V_1} – свободные энергетические высоты, соответствующие начальной и конечной скоростям на участке L_p ; h – высота наклонной плоскости; h_{ω} – потерянная энергетическая высота, затрачиваемая на преодоление всех видов сопротивлений на участке L_p , т.е. удельная работа всех сил сопротивления (потери кинетической энергии)

Скорость отцепа в точке К теоретически можно определить по формуле

$$V^k = \sqrt{V_0^2 + 2g'l(i - \omega) \cdot 10^{-3}}, \quad (1.15)$$

Или, переходя к энергетическим высотам:

$$V^k = \sqrt{2g'h_V^k}. \quad (1.16)$$

Спускная часть горки проектируется вогнутым профилем, чтобы увеличить скорость движения отцепа.

Время прохода участка можно определить:

$$t = \frac{2 \cdot l}{V_0 + V_1}. \quad (1.17)$$

1.5. Сопротивления движению вагонов и удельная работа сил сопротивления

При расчетах параметров сортировочных горок необходимо определить весовую категорию расчетного бегуна (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Весовые категории отцепов

Диапазон веса вагонов, тс	До 28	28–44	44–60	60–72	Свыше 72
Весовая категория вагонов	Легкая (Л)	Легко-средняя (ЛС)	Средняя (С)	Средне-тяжелая (СТ)	Тяжелая (Т)

Для этого выполняется анализ перерабатываемого вагонопотока в максимально грузонапряженный и неблагоприятный по погодным условиям период года.

При скатывании вагонов с горки им необходимо преодолевать различные виды сопротивлений, которые могут иметь как постоянный, так и переменный характер, зависящий от определенных факторов.

1. Основное сопротивление ω_0 – это постоянно действующее сопротивление, на величину которого влияют тип подшипников и нагрузка на ось вагона.

При выполнении расчетов **высоты горки** следует пользоваться средними значениями основного удельного сопротивления, которые представлены в табл. 1.5.

Для горочных конструктивных и технологических расчетов, кроме вычисления расчетной высоты горки, значения основного удельного сопротивления движению принимаются согласно табл. 1.6 применительно к расчетным бегунам: очень плохой (ОП), плохой (П), хороший (Х), очень хороший (ОХ).

Таблица 1.5

Средние значения основного удельного сопротивления ω_0

Вес вагона, q , тс	Весовая категория вагонов		Среднее значение основного удельного сопротивления, $\overline{\omega_0}$, кгс/тс
	Наименование	Обозначение	
До 28	Легкая	Л	1,75
28–44	Легко-средняя	ЛС	1,54
44–60	Средняя	С	1,40
60–72	Средне-тяжелая	СТ	1,25
Свыше 72	Тяжелая	Т	1,23

Таблица 1.6

Значения основного удельного сопротивления ω_0 для выполнения конструктивных и технологических расчетов

Характеристика	Значения характеристик расчетных бегунов (вагонов)			
	ОП	П	Х	ОХ
Расчетный вес, тс	22	25	70	85
Основное удельное сопротивление ω_0 , кгс/тс	4,5	4,0	0,8	0,5

2. Удельное воздушное сопротивление (от воздушной среды и ветра) $\omega_{св}$, кгс/тс, определяется по формулам:

а) для одиночных вагонов (одновагонных отцепов)

$$\pm \omega_{св} = \frac{17,8 \cdot C_x S}{\sqrt{73 + t^0} q} \cdot V_{от}^2; \quad (1.18)$$

б) для отцепов из нескольких вагонов

$$\pm \omega_{св} = 17,8 \frac{C_x S + \sum_{j=1}^n C_{xx_j} S_j}{\sqrt{73 + t^0} \sum_{j=1}^n q_j} \cdot V_{от}^2, \quad (1.19)$$

где C_x – коэффициент воздушного сопротивления одиночных вагонов или первого вагона в отцепе; C_{xx_j} – коэффициент воздушного сопротивления вагонов в отцепе, кроме первого; S , S_j – площадь поперечного сечения (мидель) соответственно одиночного или первого вагона в отцепе и последующих вагонов в отцепе, м²; q , $\sum_{j=1}^n q_j$ – вес вагона или отцепа, состоящего из n ваго-

нов, тс; t° – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $V_{\text{от}}$ – относительная (результующая) скорость вагона (отцепа) с учетом направления ветра, м/с.

Коэффициенты C_x и C_{xx_j} принимаются в зависимости от рода вагона и угла α между результирующим вектором относительной скорости $V_{\text{от}}$ и направлением скатывания отцепа по данным табл. 1.7.

Таблица 1.7

Значения коэффициентов воздушного сопротивления C_x и C_{xx_j}

Род вагона	Число осей	$S, \text{ м}^2$	Угол α между результирующим вектором относительной скорости и направлением движения отцепа, град.						
			0	10	20	30	50	70	90
Значение коэффициентов C_x / C_{xx_j}									
Крытый	4	9,7	$\frac{1,12}{0,22}$	$\frac{1,46}{0,38}$	$\frac{1,64}{0,56}$	$\frac{1,58}{0,67}$	$\frac{0,92}{0,85}$	$\frac{0,29}{0,29}$	$\frac{0,10}{0,10}$
Полувагон	4	8,5	$\frac{1,36}{0,50}$	$\frac{1,68}{0,69}$	$\frac{1,83}{0,82}$	$\frac{1,76}{0,88}$	$\frac{1,11}{0,80}$	$\frac{0,43}{0,43}$	$\frac{0,10}{0,10}$
То же	8	10,7	$\frac{1,56}{0,75}$	$\frac{1,95}{0,97}$	$\frac{2,09}{1,13}$	$\frac{2,03}{1,16}$	$\frac{1,15}{0,88}$	$\frac{0,40}{0,40}$	$\frac{0,15}{0,15}$
Значение коэффициента C_x									
Платформа	4	4,1	1,51	2,02	2,30	2,23	1,30	0,40	0,10
Цистерна	4	9,8	0,59	0,82	0,96	0,96	0,56	0,19	0,05
То же	8	10,3	0,81	1,08	1,22	1,10	0,65	0,19	0,05
Хоппер	4	9,9	0,92	1,18	1,38	1,46	1,21	0,68	0,25

Относительная скорость $V_{\text{от}}$ и угол α определяются по формулам:

$$V_{\text{от}}^2 = V^2 + V_{\text{в}}^2 \pm 2V \cdot V_{\text{в}} \cos\beta; \quad (1.20)$$

$$\alpha = \arcsin \frac{V_{\text{в}} \sin\beta}{V_{\text{от}}}, \quad (1.21)$$

где V – средняя скорость движения вагона по рассматриваемому участку, м/с; $V_{\text{в}}$ – скорость ветра (знак «+» принимается при встречном ветре, знак «-» – при попутном), м/с; β – угол между направлением ветра и осью участка пути, по которому движется вагон (отцеп), град.

Если угол β не превышает 30° , то можно принимать

$$V_{\text{от}} = V \pm V_{\text{в}}, \quad (1.22)$$

$$\alpha = \beta/2. \quad (1.23)$$

Величина $\omega_{св}$ принимается со знаком « \rightarrow » при скорости попутного ветра, превышающей скорость скатывания вагона V . Значения средних скоростей движения расчетных бегунов по различным участкам горки принимаются по табл. 1.8.

Таблица 1.8

Значения средней скорости движения расчетных бегунов V по различным участкам спускной части горки

Расчетные участки горки	Средняя скорость движения вагонов на горках V , м/с						
	С двумя и более ТП на спускной части				С одной ТП на спускной части		Без ТП на спускной части
	ГПМ	ГБМ	ГСМ	ГММ	ГСМ	ГММ	ГММ
От ВГ* до начала I ТП**	4,5	4,2	4,0	3,5	4,5	3,5	–
От начала I ТП до начала II ТП	6,0	5,5	5,0	4,0	4,5	3,5	3,0
От начала II ТП до начала III ТП (парковой)	5,0	5,0	4,0	3,0	4,0	3,0	–
От начала III ТП (парковой) до расчетной точки	2,0	2,0	2,0	1,4	2,0	1,4	1,4

Примечания: * ВГ – вершина горки; ** ТП – тормозная позиция.

3. Удельное сопротивление движению вагонов от снега и инея $\omega_{сн}$ следует учитывать для зимних условий только в пределах стрелочной зоны (после второй ТП) и на сортировочных путях и устанавливать в зависимости от весовой категории вагонов и температуры наружного воздуха по табл. 1.9.

Таблица 1.9

Значения удельного сопротивления движению вагонов от снега и инея $\omega_{сн}$

Весовая категория	Дополнительное сопротивление $\omega_{сн}$, кгс/тс, при температуре, °С					
	–10	–20	–30	–40	–50	–60
Легкая	0,2	0,3	0,5	0,9	1,7	3,3
Легко-средняя	0,1	0,2	0,4	0,7	1,3	2,4
Средняя	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	2,0
Средне-тяжелая	–	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6
Тяжелая	–	0,1	0,2	0,3	0,7	1,5

4. Дополнительное сопротивление возникает при движении вагонов по стрелочным переводам ω_c (из-за ударов колесных пар об остряки, усовики и контррельсы), и кривым ω_k , включая переводные кривые стрелочных переводов (вследствие трения в шкворневых узлах вагонов при входе и выходе из

кривой, а также при прижатии колес к наружному рельсу кривой под действием инерционной центробежной силы).

При проектировании горок данное сопротивление не рассчитывается, а по эмпирическим формулам сразу определяется потерянная энергетическая высота, соответствующая этим видам сопротивлений в зависимости в основном от скорости движения вагона.

Для расчета *удельной работы сил сопротивления движению вагона* (потерянной энергетической высоты), измеряемой в метрах энергетической высоты (м.э.в.), следует использовать следующие формулы:

– для основного удельного сопротивления

$$\bar{h}_{\omega_0} = l\omega_0 \cdot 10^{-3}; \quad (1.24)$$

– удельного сопротивления от воздушной среды и ветра

$$\bar{h}_{\omega_{cb}} = l\omega_{cb} \cdot 10^{-3}; \quad (1.25)$$

– удельного сопротивления от снега и инея

$$h_{\omega_{ch}} = l_{ch}\omega_{ch} \cdot 10^{-3}; \quad (1.26)$$

– удельного сопротивления от кривых, включая переводные кривые

$$\bar{h}_{\omega_k} = 0,23 \cdot V^2 \sum \alpha_{ck}^0 \cdot 10^{-3}; \quad (1.27)$$

– удельного сопротивления от ударов колес об острия, крестовины и контррельсы стрелочных переводов

$$\bar{h}_{\omega_c} = 0,56 \cdot V^2 n_c \cdot 10^{-3}, \quad (1.28)$$

где l – длина участка, м; V – средняя скорость движения по участку, м/с; $\sum \alpha_{ck}^0$ – сумма углов поворота, включая стрелочные углы, град; n_c – число стрелочных переводов на участке; l_{ch} – расстояние от конца второй тормозной позиции до расчетной точки (РТ), м, на котором необходимо учитывать дополнительное сопротивление от снега и инея.

Так как средняя скорость движения вагонов по спускной части горки различна на разных участках (см. табл. 1.8), суммарные средние значения $\bar{h}_{\omega_{cb}}$, \bar{h}_{ω_k} , \bar{h}_{ω_c} определяются как сумма потерянных энергетических высот на отдельных участках:

$$\bar{h}_{\omega_{cb}} = \sum_{j=1}^k h_{\omega_{cbj}}; \quad (1.29)$$

$$\bar{h}_{\omega_k} = \sum_{j=1}^k h_{\omega_{kj}} ; \quad (1.30)$$

$$\bar{h}_{\omega_c} = \sum_{j=1}^k h_{\omega_{cj}} , \quad (1.31)$$

где k – количество расчетных участков от вершины горки до расчетной точки (обычно $k = 4$).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основное назначение и классификацию сортировочных устройств.
2. Какими устройствами оборудуются современные сортировочные горки?
3. Перечислите основные элементы и параметры сортировочной горки.
4. Какой закон физики применим к процессу скатывания вагонов с горки?
5. Дайте определение потерянной энергетической высоты.
6. Перечислите виды сопротивлений, действующих на вагон, скатывающийся с горки.
7. Каким образом величина потерянной энергетической высоты связана с различными видами сопротивлений?

Рекомендуемая литература: [1, 5–7, 9].

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ И ПОДГОРОЧНОЙ ГОРЛОВИНЫ СОРТИРОВОЧНОГО ПАРКА

2.1. Основные требования

План путевого развития горки проектируется в зависимости от мощности горки и в соответствии со структурой вагонопотока, с заданным технологическим процессом и темпом работы горки. Предварительно составляется схема соединения путей надвига и роспуска, путей и пучков в сортировочном парке, примыкания обходных путей, расположения тормозных позиций.

Совместно с путевым развитием горки должны проектироваться предгорочная горловина парка приема (с использованием типовых решений) и пути надвига.

План путевого развития предгорочной горловины парка приема должен обеспечивать параллельное выполнение операций заезда локомотива за очередным составом, надвига и роспуска составов с горки (при параллельном роспуске двух составов), уборки поездных локомотивов с части путей, прие-

ма поезда в расформирование непреимущества направления (на односторонней сортировочной станции при приеме поездов в парк приема навстречу надвигаемым на горку составам); а также необходимое число технологических линий переработки вагонов и составов на последующей очереди строительства.

При соответствующем обосновании допускается укладка в предгорочной горловине парка приема перекрестных съездов с глухими пересечениями марки 2/9 с целью сокращения времени занятия горловины передвижениями и обеспечения параллельности маршрутов.

Для новых горок повышенной и большой мощности при необходимости пути надвига проектируются длиной 350–400 м (для возможности удлинения путей). При реконструкции допускается уменьшать длину путей надвига до 150 м, а в особо трудных условиях – до 100 м.

В плане пути надвига и горочные вытяжные пути проектируются на прямом участке, в трудных условиях – на кривой радиусом 1200 м, в особо трудных – до 600 м, а в горных условиях – до 500 м.

В целях увеличения перерабатывающей способности горки (за счет сокращения продолжительности роспуска составов), снижения до минимума затрат на строительство и эксплуатацию (путем уменьшения её проектной высоты и потребной мощности тормозных средств) при проектировании плана спускной части горки необходимо обеспечить:

- наименьшую расчетную длину укладываемой горловины;
- по возможности одинаковую суммарную работу сил сопротивления движению при скатывании вагонов на любой путь сортировочного парка.

Соблюдение первого требования достигается:

1) укладкой симметричных стрелочных переводов марки 1/6 и глухих пересечений марки 2/6, а в отдельных случаях при обосновании укладкой односторонних стрелочных переводов марки 1/9;

2) применением на спускной части горки кривых радиусом 200 м, кривых за крестовинами последних разделительных стрелочных переводов пучков путей – не менее 180 м, а горловинах с числом путей более 32, при обосновании – не менее 150 м, при длине кривой не более 20 м с соответствующим усилением этих кривых;

3) обеспечением минимально возможного расстояния между центрами симметричных стрелочных переводов с крестовинами марки 1/6 при их попутной укладке, но не менее 23,85 м при рельсах типа Р65; при реконструкции в случае превышения этого расстояния допускается сохранять существующее расположение стрелочных переводов, если это не повлечет существенного снижения скорости роспуска;

4) устройством кривых непосредственно за хвостом крестовины стрелочного перевода.

Выполнение второго требования приводит к необходимости группирования путей сортировочного парка в пучки; при этом следует стремиться к тому, чтобы на всех путях число стрелочных переводов и сумма углов поворота на кривых были по возможности одинаковыми.

Расстояние между осями путей в подгорочном парке принимается 5,30 м, между пучками – 7,50 м с возможностью уменьшения в начале путей до 4,80 м, между путями надвига – 6,50 м.

Особенность проектирования головы сортировочного парка состоит в том, что еще до расчета высоты горки и мощности тормозных средств (для расчета нужен план горочной горловины) необходимо предусматривать места для установки тормозных позиций. При этом используется опыт разработки аналогичных проектов.

В горочной горловине сортировочного парка для размещения вагонных замедлителей на спускной части горки выделяют прямые участки пути. Парковую тормозную позицию возможно размещать в кривой. Основные эксплуатационно-технические характеристики замедлителей приведены в табл. 2.4 подразд. 2.6.

Следует иметь в виду, что нельзя сокращать длину горочной горловины за счет расстояния от вершины горки до первого разделительного стрелочного перевода или первого замедлителя, находящегося между вершиной горки и первым стрелочным переводом. Эти расстояния влияют на интенсивность роспуска составов и не могут быть меньше установленной расчетом величины.

Кроме того, в соответствии с [1] со 2–4-го крайних путей сортировочного парка в обход горки устраиваются выходы посредством укладки двух встречных стрелочных переводов марки 1/6. Эти выходы обеспечивают возможность передачи вагонов, которые нельзя распускать с горки из парка приема в сортировочный парк; отправления поездов с крайних путей или пучков сортировочного парка; возврата горочного локомотива в обход горки при попутном надвиге составов; передачи вагонов с части путей сортировочного парка на горочные вытяжки или в предгорочный парк.

Для удобства и безопасности работы составительской бригады на подвижной части горки от места расцепки вагонов до горба балластный слой поверху уширяется и заканчивается на расстоянии 1 м от конца шпалы с каждой стороны.

2.2. Конструктивные элементы плана головы сортировочного парка

В пределах горочной горловины размещаются следующие **конструктивные элементы**: стрелочные переводы, вагонные замедлители, весомерные или измерительные участки (на автоматизированных горках), изолированные участки ГАЦ и АЗСР.

В соответствии с действующими Правилами и нормами проектирования сортировочных устройств железных дорог колеи 1520 мм горочная горловина проектируется симметричными стрелочными переводами марки 1/6 (рис. 2.1) и рельсами типа Р65.

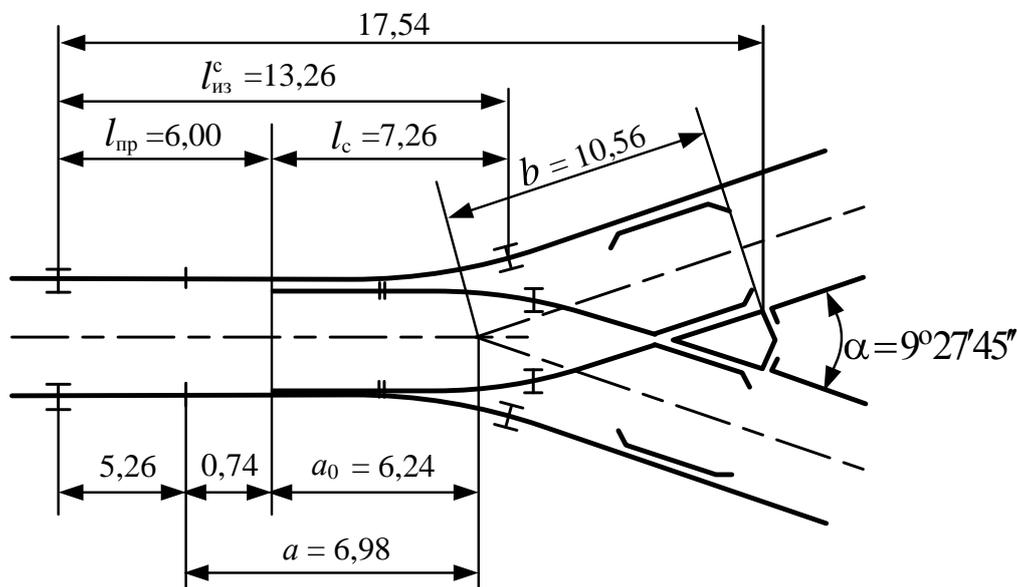


Рис. 2.1. Схема стрелочного перевода марки 1/6

Для исключения перевода стрелок под движущимися отцепами стрелочные переводы изолируют друг от друга и от тормозных позиций. Изолированный участок стрелки $l_{из}^c$ состоит из предстрелочного (от изостыков до начала остряков) $l_{пр} = 6,0$ м и стрелочного l_c , который при рельсах Р65 составляет 7,26 м (рис. 2.1).

Основные размеры стрелочных переводов, укладываемых в голове сортировочного парка, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Основные эксплуатационно-технические характеристики стрелочных переводов

Наименование показателя	Величина показателей	
	Р65 1/6	Р65 1/9
Длина стрелочного перевода, м	17,542	31,039
Передний вылет рамного рельса, м	0,741	2,769
Расстояние от переднего стыка рамного рельса до ЦП, м	6,975	15,227
Расстояние от ЦП до заднего стыка крестовины, м	10,563	15,812
Радиус переводной кривой, м	200	200
Угол крестовины	9°27'45"	6°20'25"
Время перевода стрелок с электроприводом СПГБ-4М, с	0,55	0,65
Длина изолированного участка, м	13,26	23,787

Схемы взаимного расположения стрелочных переводов в горочной горловине представлены на рис. 2.2.

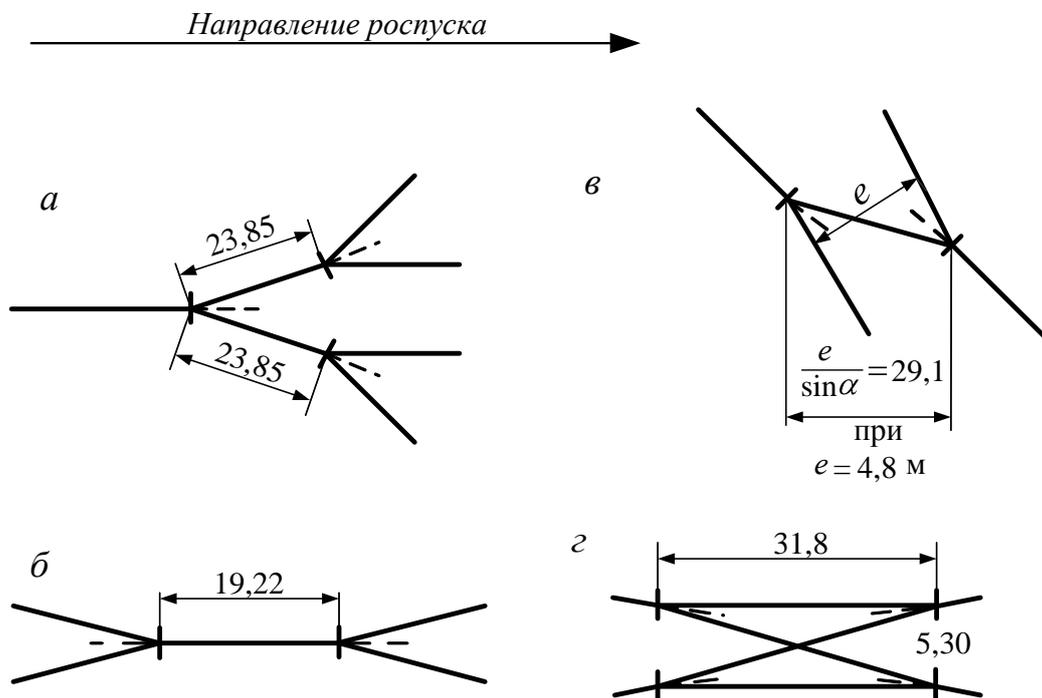


Рис. 2.2. Основные схемы взаимного расположения стрелочных переводов в горочных горловинах: *а* – попутная укладка; *б* – встречная укладка; *в* – параллельная укладка; *г* – с перекрестным съездом

На сортировочных горках, оборудованных устройствами автоматизации регулирования скоростей скатывания вагонов (АРС), в ее современном исполнении требуется исключить применение на спускной части перекрестных съездов с глухим пересечением. Поэтому соединение двух спускных путей осуществляется с применением сокращенных съездов, как показано на рис. 2.3.

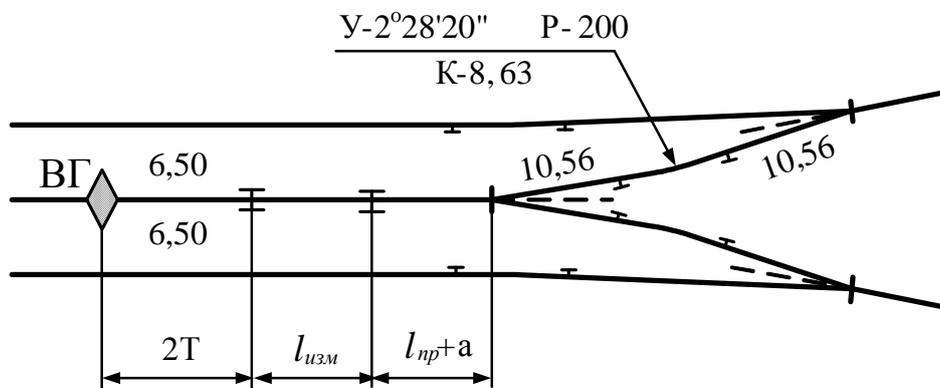


Рис. 2.3. Съезд на горках, оборудованных АРС

При оборудовании горки системами ГАЦ и АРС каждое звено замедлителя также устанавливается на изолированном участке, длина которого на спускной части горки принимается: при замедлителях типа КВ-3, КЗ-3, ВЗПГ-3 и ВЗП-3 – 11,5 м, а при пятизвенных замедлителях типа КНП-5, ВЗПГ-5, ВЗП-5, КЗ-5 и НК-114 – 13,475 м. Эти изолированные участки входят в состав непрерывных рельсовых цепей горочной горловины, используемых для передачи заданий ГАЦ, а также для трансляции в систему АРС информации об ускорении, весовой категории и длине отцепа.

Изолированные участки стрелочных переводов и замедлителей соединяются при этом промежуточными изолированными участками, длина которых по требованиям ГАЦ должна быть не менее 4,5 м, а по условиям обеспечения необходимого интервала между смежными отцепами – не более 16 м. На подгорочных путях при АРС допускается иметь изолированные участки длиной 25 м, которые используются для контроля заполнения путей и определения расчетной скорости выхода отцепов с парковой тормозной позиции.

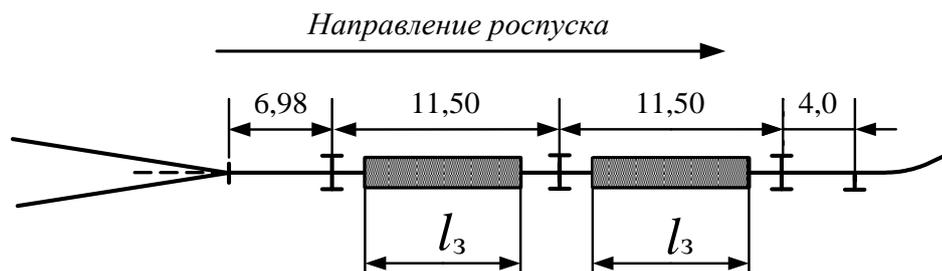
Для установки *замедлителей* на спускной части горки выделяются прямые участки, длина которых зависит от типа и числа замедлителей. При этом на первой тормозной позиции (I ТП) резервируется место для установки двух замедлителей, на II ТП – двух или трех замедлителей. Перед тормозными позициями предусматриваются прямые участки для размещения контррельсов, после ТП – для укладки направляющих башмаков, предохраняющих вагоны от схода с рельсов. Схемы взаимного расположения замедлителей и стрелочных переводов, а также кривых приведены на рис. 2.4.

На парковой тормозной позиции обычно устанавливаются замедлители типа РНЗ-2, РНЗ-2М, ПНЗ-1, ПГЗ-03, которые размещаются на прямых участках вразбежку или в створе (рис. 2.5). Первый вариант улучшает условия очистки замедлителей от снега. Возможно размещать двухрельсовые или однорельсовые парковые замедлители (длиной не более 3,5 м) в кривых радиусом не менее 200 м (рис. 2.5).

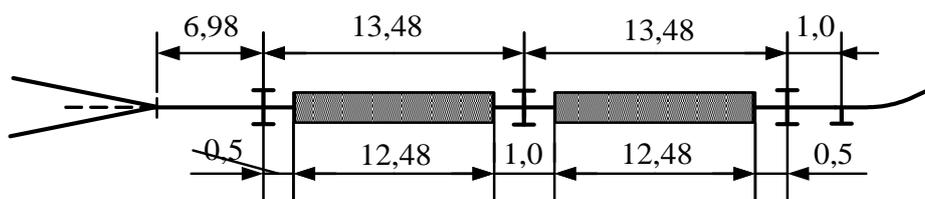
Расстояние от центра последнего разделительного стрелочного перевода до предельного столбика принимается согласно рис. 2.6.

Минимальное расстояние от вершины горки (ВГ) до первого разделительного стрелочного перевода зависит от системы автоматизации регулирования скорости роспуска и рассчитывается в зависимости от взаимного размещения этого стрелочного перевода и тормозной позиции, температуры наружного воздуха, скорости ветра при неблагоприятных зимних условиях. *В учебных целях данное расстояние может быть принято от 40 до 50 м.* Парковая тормозная позиция (III ТП) размещается на расстоянии 5 м от конца последней кривой на сортировочном пути (рис. 2.4). При этом желательно, чтобы III ТП размещалась в одном створе или с небольшим смещением (2,568 м), определяемым условиями укладки замедлителей в разбежку на всех путях парка или, по крайней мере, в пределах половины пучка путей.

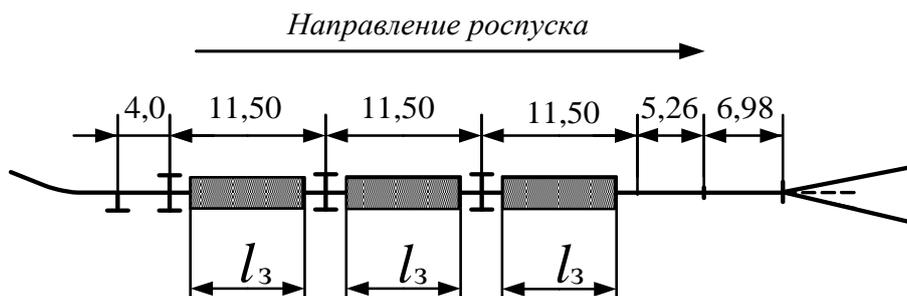
1. За стрелочным переводом
 а) замедлители типа КВ-3, КЗ-3, ВЗП-3, ВЗПГ-3



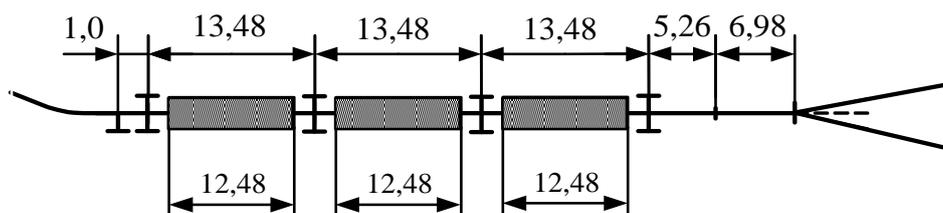
- б) замедлители типа КНП-5, ВЗПГ-5, ВЗП-5, КЗ-5, НК-114



2. Перед стрелочным переводом
 а) замедлители типа КВ-3, КЗ-3, ВЗП-3, ВЗПГ-3



- б) замедлители типа КНП-5, ВЗПГ-5, ВЗП-5, КЗ-5, НК-114



3. На путях сортировочного парка (РНЗ-2, РНЗ-2М, ПНЗ-1, ПГЗ-03)

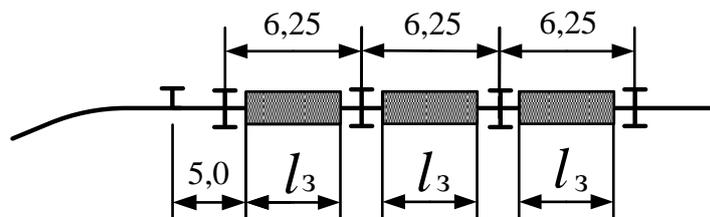
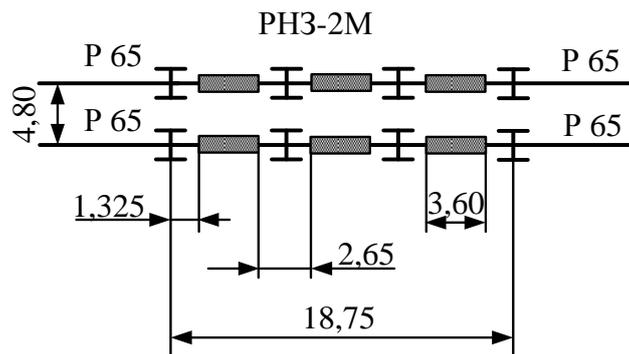
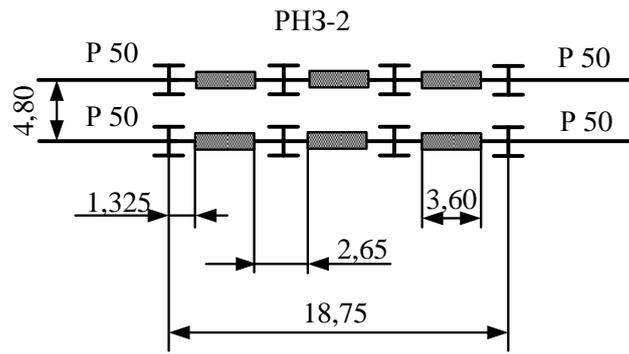


Рис. 2.4. Схемы взаимного расположения замедлителей, стрелочных переводов и кривых

1. Размещение замедлителей на III ТП в створе



2. Размещение замедлителей на III ТП в разбежку

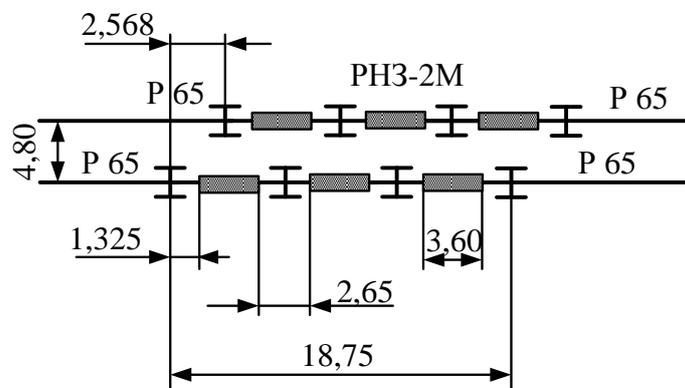
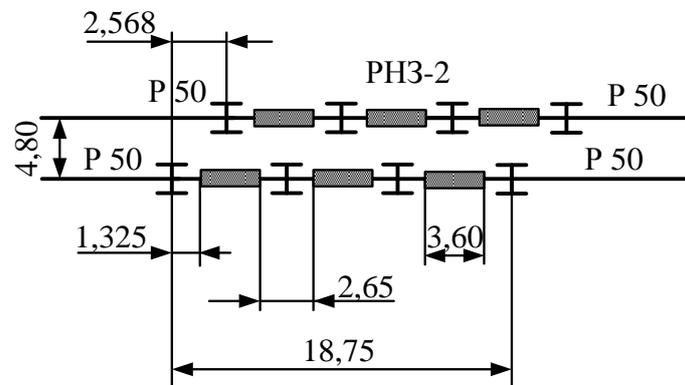


Рис. 2.5. Схемы расположения вагонных замедлителей на парковой тормозной позиции

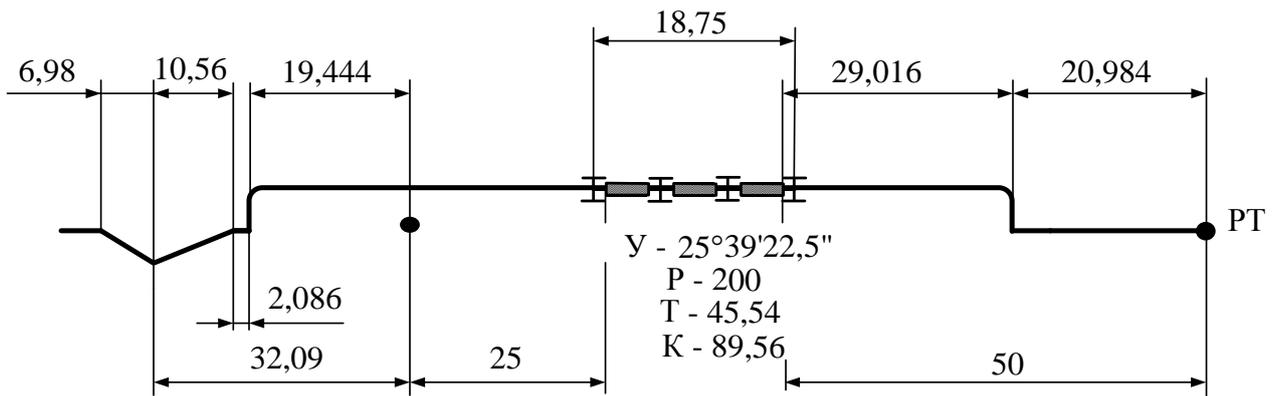


Рис. 2.6. Схема расположения вагонных замедлителей в кривой

Расстояние от конца III (парковой) ТП или башмакосбрасывателя до расчетной точки (РТ) принимается **50 м** при смешанном вагонопотоке (рис. 2.6) и **100 м** – при сортировке порожних вагонов.

2.3. Проектирование плана горочной горловины сортировочного парка

Перед масштабным проектированием подгорочной горловины сортировочного парка принципиальную схему горловины в осях путей (рис. 2.7), предварительно установив число подвижных и спускных путей (табл. 1.2) и разбив сортировочные пути на пучки с числом путей от 3 до 8. Во внутренних пучках рекомендуется принимать по 8 путей, а в наружных – оставшееся число путей (менее 16, но более 8), поделенное пополам.* С крайних 2–4 путей необходимо предусмотреть выход в парк приема в обход горки.

Существующие типовые решения систем ГАЦ и АРС предусматривают не более шести разделительных стрелочных переводов в маршруте скатывания отцепы от вершины горки до предельного столбика сортировочного пути, равномерное распределение путей относительно первого разделительного стрелочного перевода пучка и наличие не более трех разделительных стрелочных переводов в маршруте пучка.

На принципиальной схеме (рис. 2.7) указываются междупутья, а также все расстояния в плане. Эти расстояния, за исключением тангенсов кривых T_1, T_2, T_3, \dots , принимаются в зависимости от заданных типов замедлителей и наличия или отсутствия системы АРС.

Длина прямых участков для размещения тормозных позиций должна устанавливаться с учетом возможности укладки на первой позиции не менее двух замедлителей принятого типа.

* В реальных проектах при общем числе сортировочных путей, не кратном восьми, меньше восьми путей предусматривается в крайних пучках с учетом возможности увеличения в перспективе их числа до восьми.

От базиса	По базису	Наименование точки	№ точки	Координаты	
				у	х
0,00	0,00	ПСП	0	3,75	45,31
3,75	104,19	ВУ	2	3,75	104,19
11,567	135,09	ПСП	3	11,567	135,09
16,124	148,39	ВУ	4	16,124	148,39
35,493	199,04	ПСП	5	35,493	199,04
48,092	225,27	ПСП	6	48,092	225,27
54,956	243,23	ПСП	7	54,956	243,23
80,15	295,68	ВУ	8	80,15	295,68

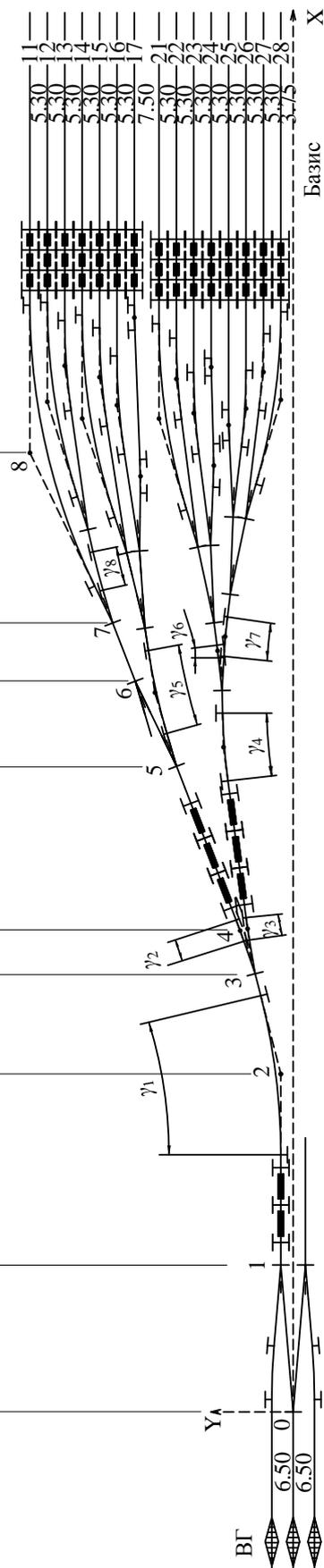


Рис. 2.7. Схематичный план головы сортировочного парка на 30 сортировочных путей

При двух тормозных позициях на спускной части, если верхняя из них размещается за первым разделительным стрелочным переводом, дополнительную кривую не рекомендуется размещать перед этой позицией, так как это вызывает увеличение длины нерегулируемой зоны. Такую кривую следует располагать за первой тормозной позицией (см. рис. 2.7).

Вторые тормозные позиции смежных пучков, соединенных общим стрелочным переводом, проектируются, как правило, в створе, что обеспечивает наименьшую вероятность одновременного нахождения двух отцепов на смежных позициях, наилучшие условия построения профиля, прокладки воздухопровода и устройства котлованов под замедлители. Длина прямого участка должна позволять разместить на данной позиции не менее двух пятизвенных замедлителей (ВЗПГ-5, КНП-5) или трех замедлителей типа КВ-3 (ВЗПГ-3, ВЗП-3 и др.).

Процесс проектирования плана головы сортировочного парка заключается в подборе или расчете углов поворота кривых (см. углы $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6$), а также в размещении стрелочных переводов, тормозных позиций и устройств автоматики при соблюдении допускаемых радиусов кривых, ширины междупутий и других технических условий.

Для приобретения практических навыков масштабного проектирования горловин из симметричных стрелочных переводов рекомендуется использовать графический метод построения головы сортировочного парка.

В связи с тем, что при проектировании горловин приходится иметь дело с малыми углами поворота и сравнительно небольшими длинами элементов пути, *необходимо вести масштабное проектирование с особой тщательностью*. Углы поворота следует откладывать по их тангенсам.

Масштабная укладка плана начинается с нанесения оси сортировочного парка (базиса) и осей путей (см. рис. 2.7). Для обеспечения точности укладки положение осей путей находят по сумме междупутных расстояний от базиса. Углы поворота дополнительных кривых $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6$ подбираются по возможности кратные стрелочным, что позволяет откладывать их по тангенсам.

Укладку можно начинать как с внешнего, так и с внутреннего пучка, начиная с крайних путей.

Углы поворота последних кривых на каждом пути определяются как алгебраическая сумма всех предыдущих углов поворота на стрелках и кривых, считая от начала координат. Например, применительно к схеме на рис. 2.7, последний угол поворота на 11-м пути составит:

$$\frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2} + \gamma_1 + \frac{\alpha}{2} + \gamma_2 + \frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha}{2}, \quad (2.1)$$

где $\alpha = 9^\circ 27' 45''$, угол крестовины марки 1/6, а $\frac{\alpha}{2} = 4^\circ 43' 52,5''$.

В процессе масштабной укладки желательнее избегать в плане S-образных (обратных) кривых, так как они увеличивают сопротивление движению, вызывают повышенный износ пути и подвижного состава, и, кроме того, ухудшают видимость при маневрах.

В процессе проектирования рекомендуется сразу же вписывать на плане все расстояния между отдельными точками и элементы кривых с точностью до 0,01 м, а величины углов поворота – до 1", так как эти данные понадобятся в дальнейшем для расчета координат.

2.4. Координирование основных точек плана

Координирование производится для разбивки на местности плана горловины сортировочного парка и одновременно для проверки точности масштабного проектирования.

Рассчитываются следующие *основные точки*: центры стрелочных переводов, вершины углов поворота и вершина горки.

Координирование ведется в прямоугольной системе координат. При симметричных планах можно принять за ось X продольную ось сортировочного парка, а за ось Y – перпендикуляр к ней, проходящий через центр первого разделительного стрелочного перевода, расположенного на базисе.

Для расчета координат на проектном плане должны быть пронумерованы все элементы плана, подлежащие координированию, выписаны все междупутья, длины прямых и элементы кривых (*У, Р, Т, К*) до расчетной точки каждого пути.

Форма для расчета координат приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Таблица для расчета координат

Номер точки	Наименование точки	Расстояние между точками l , м	Угол поворота α , град.	Угол к базису β , град.	Sin β	Cos β	Приращение координат, м		Координаты, м	
							$\Delta x = l \cdot \cos \beta$	$\Delta y = l \cdot \sin \beta$	$x_n = x_{n-1} + \Delta x$	$y_n = y_{n-1} + \Delta y$
0									0,00	0,00
1										
2										
3										

Значения l , Δx , x , Δy , y выписываются в таблицу с точностью до 0,01 м, а углы поворота – до 1", синусы и косинусы – до 0,0001. При обнаружении расхождений при масштабной укладке и подсчете координат, их следует устранить, руководствуясь данными таблицы координат.

Координаты последней вершины угла поворота каждого пути определяются из условия, когда известными являются координаты предыдущей точки (рис. 2.8), величина $y_n = \sum e$ и значение β_n , полученное как алгебраическая сумма всех предыдущих углов поворота.

Тогда

$$l = \frac{\Delta y}{\sin \beta_n} = \frac{y_n - y_{n-1}}{\sin \beta_n} \quad (2.2)$$

и, следовательно,

$$\Delta x = l \cos \beta_n; \quad x_n = x_{n-1} + \Delta x. \quad (2.3)$$

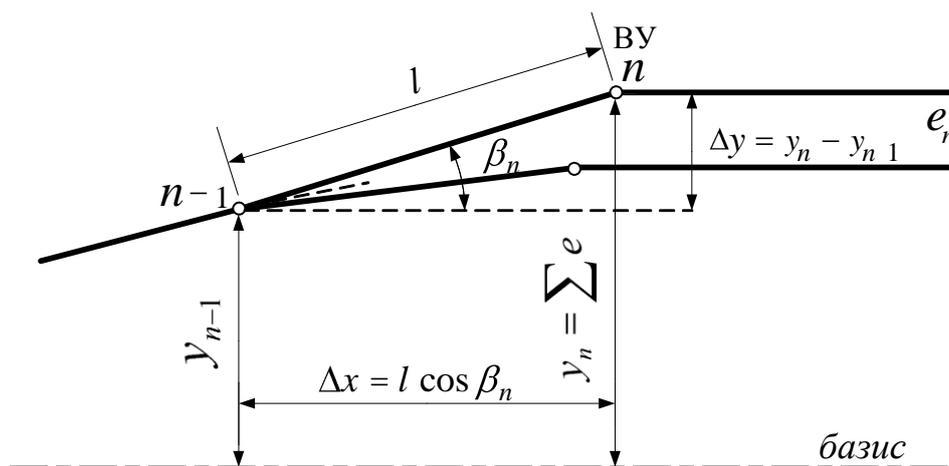


Рис. 2.8. Схема к расчету координат вершины угла поворота крайнего пути сортировочного парка

После определения величины l необходимо проверить соблюдение условия $l \geq b + T$, где b – расстояние от центра стрелочного перевода до торца крестовины; $b = 10,56$ м; T – тангенс кривой, радиус которой R должен быть не менее величины, указанной в п. 2.1, $T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta_n}{2}$.

Если условие $l \geq b + T$ не выполняется, необходимо изменить план, уменьшив предыдущий угол поворота.

2.5. Определение трудного и легкого пути по условиям скатывания. Составление плана (развертки) трудного пути

Трудным является путь, который имеет максимальное сопротивление движению отцепов (как правило, это крайний путь или соседний с крайним). Развертка или план трудного пути строится от вершины горки (ВГ) до расчетной точки (РТ). РТ находится на расстоянии 50 м от конца парковой тормозной позиции.

Для определения исходных параметров горки, необходимых для расчета ее высоты, разрабатываются развернутые планы двух путей – трудного и легкого. Построение этих разверток производится под масштабным планом подгорочной горловины сортировочного парка.

Тип пути устанавливается по наибольшему (наименьшему) значению суммарной удельной работы всех действующих сил сопротивления движению ОП-бегуна – $\max \sum_i h_{\omega_i}$, где i – вид сопротивления.

Расчет $\sum_i h_{\omega_i}$ выполняется по каждому сортировочному пути плана подгорочной горловины сортировочного парка по форме, приведенной в табл. 2.3. При выполнении расчетов величина ω_0 берется из табл. 1.5, подразд. 1.4. Путь, имеющий минимальное значение $\sum_i h_{\omega_i}$, будет считаться **легким**, а максимальное – **трудным**.

Таблица 2.3

**Расчет суммарной удельной работы сил
сопротивления движению**

№ пути	Значения параметров плана			Потерянная энергетическая высота, М.Э.В.						Прим (трудный путь; легкий путь)
	L , м	$\sum \alpha_{ск}$, град.	n_c , шт.	h_{ω_0}	$h_{\omega_{св}}$	h_{ω_c}	h_{ω_k}	$h_{\omega_{сн}}$	$\sum h_{\omega}$	
...										
...										
...										

Пример развертки пути применительно к входной горловине сортировочного парка (рис. 2.7, путь 11), изображен на рис. 2.9.

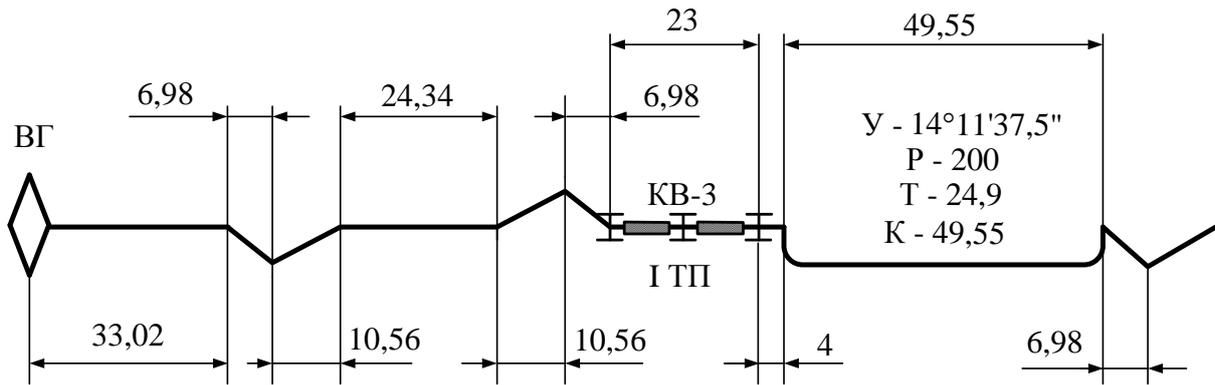


Рис. 2.9. Фрагмент развернутого плана подгорочного пути

2.6. Характеристика и принцип действия вагонных замедлителей

Для механизации процесса регулирования скорости движения вагонов сортировочные горки и подгорочные пути оборудуются тормозными позициями (ТП), где в качестве средств торможения применяют вагонные замедлители.

На существующих горках широко распространены **клевещевидно-нажимные вагонные замедлители Т50**, которые на новых горках не применяются. Данные замедлители бывают пяти- и шестизвенные с пневматическим приводом.

Клевещевидно-нажимные подъемные вагонные замедлители КНП-5 созданы на базе замедлителей типа Т-50 и также работают по принципу клещей. Для повышения надёжности работы данных замедлителей их модернизируют с учетом постановки на рельсы Р-65 и изменением конструкции основных секций. Тип их меняют на клевещевидно-нажимной и обозначают **ВЗКН-5**.

Сила торможения нажимных замедлителей зависит от величины давления сжатого воздуха в тормозных цилиндрах. При торможении вагона обод колеса зажимается балками с шинами, как клещами, образованными одноплечими 2 и двухплечими 8 рычагами, насаженными на общую ось 5 (рис. 2.10). Концы рычагов соединены с корпусом и поршнем пневматических тормозных цилиндров 1. При заполнении цилиндров сжатым воздухом клещи сжимаются (балки 3), шины 4 давят с двух сторон на обод колеса, и происходит торможение вагона. Замедлитель реализует четыре ступени торможения.

Подъем тормозной системы производится при заполнении горизонтальных цилиндров 7 сжатым воздухом, вследствие чего шиберы (металлические рейки со скошенными верхними поверхностями) 6 перемещаются перпендикулярно оси пути и поднимают своей наклонной частью тормозную систему.

Для оттормаживания производится выпуск сжатого воздуха из тормозного цилиндра, и под действием силы тяжести и регулирующих пружин тормозная система возвращается в отторможенное состояние, которому соответствует разжатое положение тормозных шин.

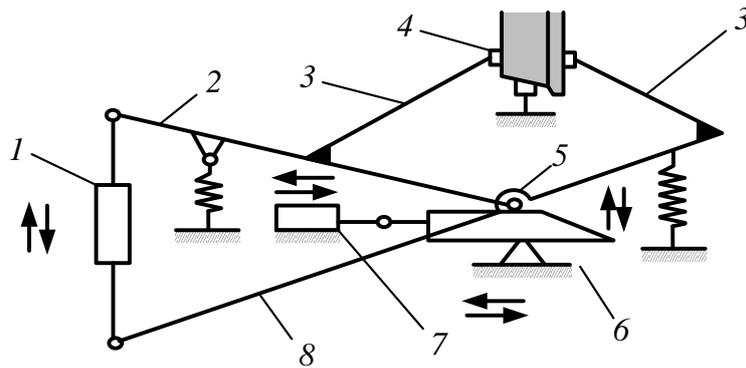


Рис. 2.10. Кинематическая схема замедлителя КНП-5: 1 – пневматические тормозные цилиндры; 2 – одноплечий рычаг; 3 – балки; 4 – шины; 5 – ось; 6 – шибер; 7 – пневматический цилиндр подъема; 8 – двухплечий рычаг

Замедлитель КНП-5 имеет следующие положения:

- исходное нижнее (отторможенное);
- верхнее (тормозное и отторможенное).

Поэтому, подъем замедлителя производится, как правило, только один раз перед началом роспуска составов. После окончания роспуска или для пропуска маневрового локомотива замедлитель опускается в отторможенное нижнее положение.

Клещевидно-весовые вагонные замедлители типа КВ бывают трех типов: однозвенный КВ-1, двухзвенный КВ-2, трехзвенный КВ-3. Замедлители типов КВ в зависимости от звенности отличаются тормозной мощностью и габаритными размерами.

Замедлитель КВ-3 имеет цельносварную раму 6, на которой размещена силовая система с неподвижной внутренней балкой 5 и поворачивающейся наружной балкой 3 с подпорной шиной 4 (рис. 2.11). Подъем и опускание рамы производится пневматическими цилиндрами 1, корпус и поршень которых соединены с концами одноплечего 2 и двухплечего 7 рычагов.

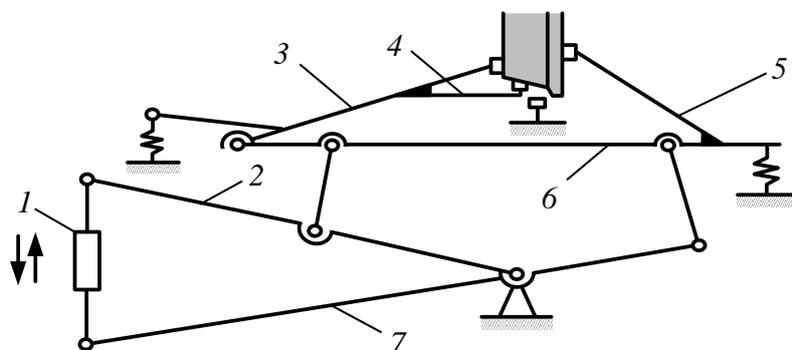


Рис. 2.11. Кинематическая схема замедлителя КВ-3: 1 – пневматические тормозные цилиндры; 2 – одноплечий рычаг; 3 – балки; 4 – шины; 5 – внутренние балки; 6 – цельносварная рама; 7 – двухплечий рычаг

Торможение вагонов осуществляется путем зажатия боковых поверхностей колеса между шинами тормозных балок. При этом колесо катится по опорной поверхности шины подпорной балки, поднятой над головкой рельса. Надвигающееся колесо вагона при входе на подготовленный к торможению замедлитель накатывается на шину подпорной балки и своей тяжестью осаживает балку вниз. Балка поворачивается вокруг оси, зажимает колесо вагона между тормозными шинами. Сила нажатия тормозных шин на бандаж колеса зависит от массы вагона и соотношения плеч кинематики механизма. Тормозные устройства на обоих нитях пути одинаковы и действуют независимо друг от друга.

Клещевидные вагонные замедлители КЗ выпускаются трехзвенными и пятизвенными для эксплуатации в районах с температурой наружного воздуха от минус 50 °С до плюс 45 °С и относительной влажностью до 100 %. По принципу действия замедлители КЗ относятся к нажимным тормозным устройствам с пневматическим приводом. При въезде вагона на замедлитель оператор включает требуемую ступень торможения в зависимости от веса вагона, скорости его движения и наличия подвижного состава на сортировочном пути, на который следует отцеп. Сигнал от пульта управления поступает на регулятор давления управляющей аппаратуры. Регулятор, в свою очередь, подает воздух из пневмосети в пневмоцилиндры под давлением, соответствующим выбранной ступени. Усилие от пневмоцилиндров через рычажные системы приводных секций передается тормозным балкам как снаружи, так и внутри колеи, что приводит к одновременному соприкосновению тормозных шин с колесом вагона. При автоматическом снятии давления воздуха в воздухопроводной сети тормозная система возвращается в исходное положение (полное оттормаживание) под действием пружинного механизма и собственного веса.

Пневмогидравлические замедлители ВЗПГ-ВНИИЖТ выпускаются трех- и пятизвенными, и также, как и замедлители типа КЗ, выпускаются для применения в районах с умеренным климатом. Основными элементами замедлителя (рис. 2.12), которые осуществляют передачу тормозного усилия на колеса вагонов являются тормозные балки с шинами 2, 3, которые перемещаются из одного положения в другое с помощью пневмогидравлического привода и силовых гидроцилиндров 1. Сжатый воздух для привода подается от компрессорной станции, созда-

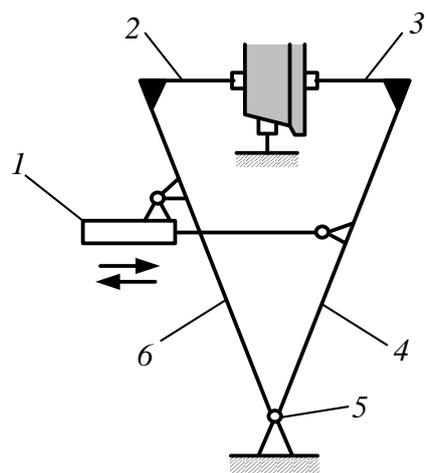


Рис. 2.12. Кинематическая схема замедлителя ВЗПГ-ВНИИЖТ: 1 – гидравлические цилиндры; 2, 3 – тормозные балки; 4, 6 – рычаги; 5 – силовые шарниры

вая высокое давление в гидросистеме, за счет которого замедлитель переводится в тормозное положение. В замедлителе предусмотрены четыре ступени торможения, которые устанавливаются в зависимости от веса вагона и скорости его скатывания.

Рычажно-нажимные вагонные замедлители РНЗ-2, РНЗ-2М предназначены для парковых позиций и представляют собой специальные тормозные устройства, выполненные в виде однозвенной двурельсовой балочно-нажимной подъемной конструкции с пневматическим приводом, приводимым в действие сжатым воздухом, подаваемым через воздухопроводы от магистрального трубопровода горки.

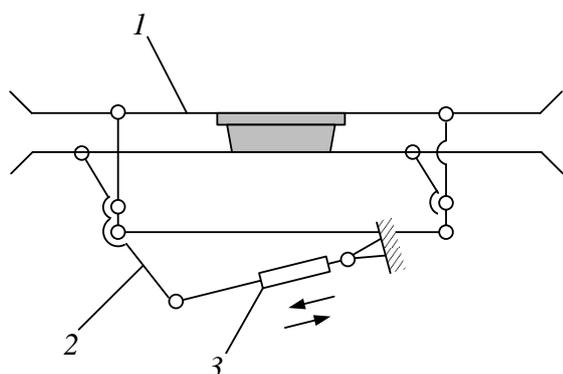


Рис. 2.13. Кинематическая схема замедлителя РНЗ-2 (вид сверху): 1 – тормозные балки; 2 – рычаги; 3 – тормозные цилиндры

Для этого замедлители РНЗ содержат тормозные балки 1, шарнирно соединенные с рычагами 2. Подъем и торможение осуществляются с помощью цилиндров 3 (рис. 2.13).

Каждый замедлитель РНЗ выполнен в виде нескольких совместно управляемых звеньев. В зависимости от требуемой мощности оборудуемой тормозной позиции на один путь устанавливают три или два таких замедлителя.

РНЗ-2М укладываются на рельсах Р65, на рельсах Р50 укладывались замедлители РНЗ-2.

Замедлители типов КНП, КВ и ВЗПГ устанавливают в прямых участках пути, РНЗ-2 могут устанавливать в кривых.

Существуют другие виды замедлителей: электродинамические, винтовые (спиральные), точечные.

Основные эксплуатационно-технические характеристики замедлителей, применяемых на отечественных железных дорогах, приведены в табл. 2.4.

Для обеспечения вагонных замедлителей сжатым воздухом проектируются компрессорные. Число компрессоров устанавливают с учетом монтажа резервных компрессоров, необходимых в случаях отказов и ремонта эксплуатируемых компрессоров. Компрессорные оснащают автоматическим управлением. Здания компрессорных располагают по возможности ближе к месту максимального потребления сжатого воздуха. Во время роспуска составов компрессорные должны обеспечивать подачу к наиболее удаленным замедлителям сжатого воздуха под давлением не менее 0,65 МПа.

Вагонные замедлители типов КВ, КНП, КЗ, ВЗП, ВЗПГ монтируются на специальном бетонном основании из ригелей, предусмотренном типовыми проектными решениями, а РНЗ-2, РНЗ-2М, ПНЗ-1 – на щебеночном основании.

Таблица 2.4

**Эксплуатационно-технические характеристики
вагонных замедлителей**

Тип замедлителя	Принцип действия	Масса без рельсов и шпальных брусьев, т	Длина по балкам, мм	Ширина конструкции, м	Расчетная погашаемая энергетическая высота, м.э.в.	Время затормаживания, с	Время отгормаживания, с	Допустимая скорость входа вагонов, м/с	Тип рельса
Т-50-5	Нажимной	20,6	12475	3,54	0,65	1,1	1,0	6,0	P50
Т-50-6	Нажимной	24,6	14750	3,54	0,75	1,1	1,0	6,0	P50
КНП-5 (ВЗКН-5)	Нажимной	34,8	12475	3,90	1,2	0,8	1,2	7,0	P50 (P65)
КВ-3	Весовой	33	7600	3,80	1,0	0,6	0,7	7,0	P65
КЗ-3	Нажимной	17,0	7925	3,68	1,0	0,8	0,7	8,0	P65
КЗ-5	Нажимной	28,0	12475	3,68	1,4	0,8	0,7	8,0	P65
ВЗПГ-3	Нажимной	13	7900	3,25	1,0	0,7	0,6	8,0	P50 P65
ВЗПГ-5	Нажимной	23	12475	3,25	1,3	0,7	0,6	8,0	P50 P65
ВЗП-3	Нажимной	17,0	7900	3,30	0,8	0,8	1,0	8,5	P65
ВЗП-5	Нажимной	25,0	12475	3,30	1,4	1,0	1,0	8,5	P65
РНЗ-2	Нажимной	6,5	3600	4,84	0,35	0,7	0,6	6,0	P50
РНЗ-2М	Нажимной	7,3	3600	4,84	0,45	0,7	0,6	6,0	P65
ПНЗ-1	Нажимной	5,5	3600	3,42	0,25	0,7	0,6	6,0	P65

При установке замедлителей необходимо предусматривать меры по защите окружающей среды. Для снижения шумового уровня, возникающего при выпуске сжатого воздуха из цилиндров, все устанавливаемые замедлители оборудуют устройствами глушения шума. При установке пневмогидравлических замедлителей предусматривают меры по защите почвы от попадания в нее рабочих масел.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные требования к конструкции горочной горловины сортировочного парка.
2. Назовите основные принципы проектирования подгорочной горловины сортировочного парка.
3. Сколько замедлителей размещается на спускной части горки?

4. Каков алгоритм расчета координат основных точек плана подгорочных горловин?

5. Каким образом определяются трудный и легкий по условиям скатывания пути?

6. Перечислите основные типы замедлителей, применяемых на подгорочных путях и в сортировочном парке, и охарактеризуйте принцип их действия.

Рекомендуемая литература: [1, 3–7, 9, 11].

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

3.1. Проектирование профиля подвижной и перевальной частей горки

Профиль подвижной части горки должен обеспечивать:

1) трогание с места и интенсивный разгон полновесного состава при нахождении первого вагона у вершины горки;

2) создание необходимого усилия нажатия сцепных приборов для расцепки вагонов;

3) благоприятные условия для эффективного применения переменной скорости роспуска составов.

Профиль перевальной части горки должен исключать возможность саморасцепа вагонов на горке. Это достигается ограничением суммарной крутизны сопрягаемых уклонов подвижной и спускной частей величиной 55 ‰. Если это условие не соблюдается, на подвижной части непосредственно перед вершиной горки предусматривается разделительный элемент, располагаемый на подъеме 5 ‰, длиной между тангенсами смежных вертикальных кривых не менее 10 м.

На рис. 3.1 представлены варианты профиля подвижной и перевальной частей горки.

Величина l на рис. 3.1 представляет собой расстояние от первого стрелочного перевода предгорочной горловины. Предгорочная горловина и пути парка приема проектируются на площадке или уклоне 1 ‰ в сторону горки, что облегчает трогание составов с места при надвиге. На горках малой и средней мощности при параллельном расположении парков приема и сортировочного конца горочного вытяжного пути, проектируемого на длину состава, рекомендуется на протяжении 200 м размещать на спуске крутизной до 8 ‰ в сторону горки.

Радиусы вертикальных кривых при сопряжении элементов профиля на горбе должны быть 350–400 м в сторону подвижной части и 250–300 м в сторону спускной части. Сопрягающие кривые должны размещаться вне пределов остряков и крестовин стрелочных переводов.

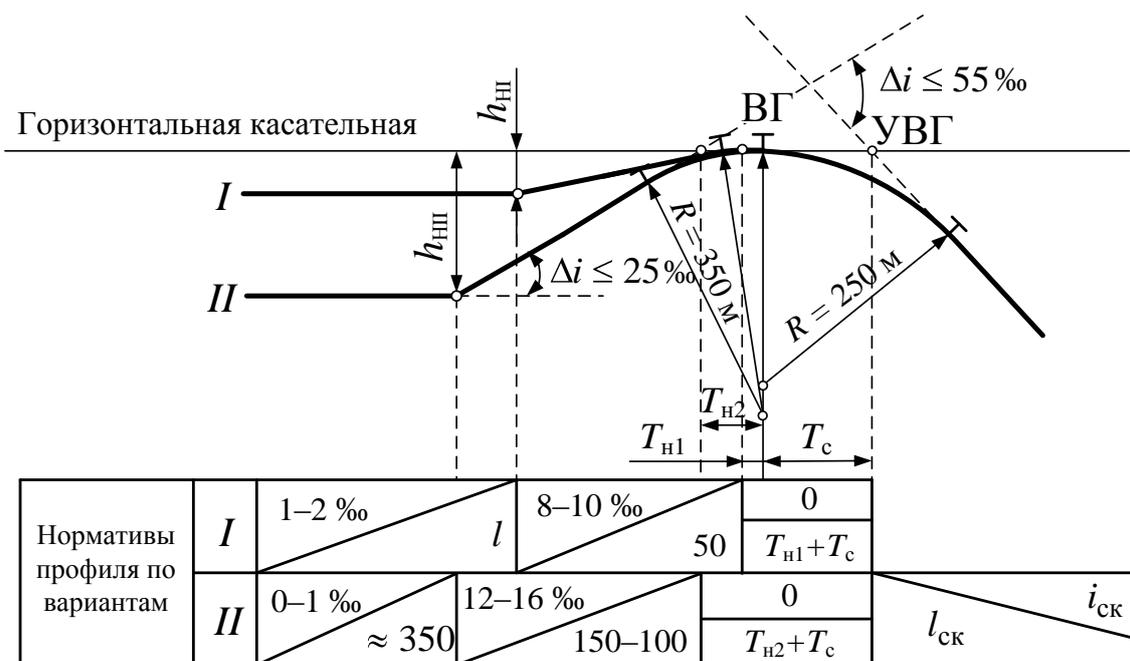


Рис. 3.1. Профиль надвигной и перевальной частей горки без разделительного элемента

Профиль надвигной и перевальной частей горки может проектироваться по двум вариантам – без разделительного элемента на вершине горки (рис. 3.1) и с разделительным элементом (рис. 3.2).

При проектировании профиля надвигной части горки без разделительного элемента, рассматриваются два случая:

1) перед сопрягающей кривой горки может проектироваться подъем крутизной 8–10 ‰ на протяжении 50 м (рис. 3.1, случай I), предыдущий участок пути надвига (от стрелочного перевода предгорочной горловины парка приема до начала подъема) проектируется на подъеме в сторону горки крутизной в пределах 1–2 ‰;

2) перед сопрягающей кривой горба горки подъем проектируется крутизной в среднем 12–16 ‰ на протяжении 100–150 м в целях повышения эффективности роспуска составов с переменной скоростью и безопасности скатывания длинных тяжелых отцепов (рис. 3.1, случай II); предыдущий участок надвигной части (длиной около 350 м) перед подъемом следует располагать на горизонтальной площадке или на подъеме не круче 1 ‰; разность крутизны этого и смежного элемента не должна превышать 25 ‰.

При проектировании профиля с разделительным элементом учитывается следующее требование нормативов: примыкающий к разделительному элементу участок надвигной части проектируется по условию обеспечения потребной профильной высоты h_{ni} длиной не менее 20 м. При этом суммарная крутизна уклонов этого участка и скоростного элемента не должна превышать 70 ‰ (рис. 3.2).

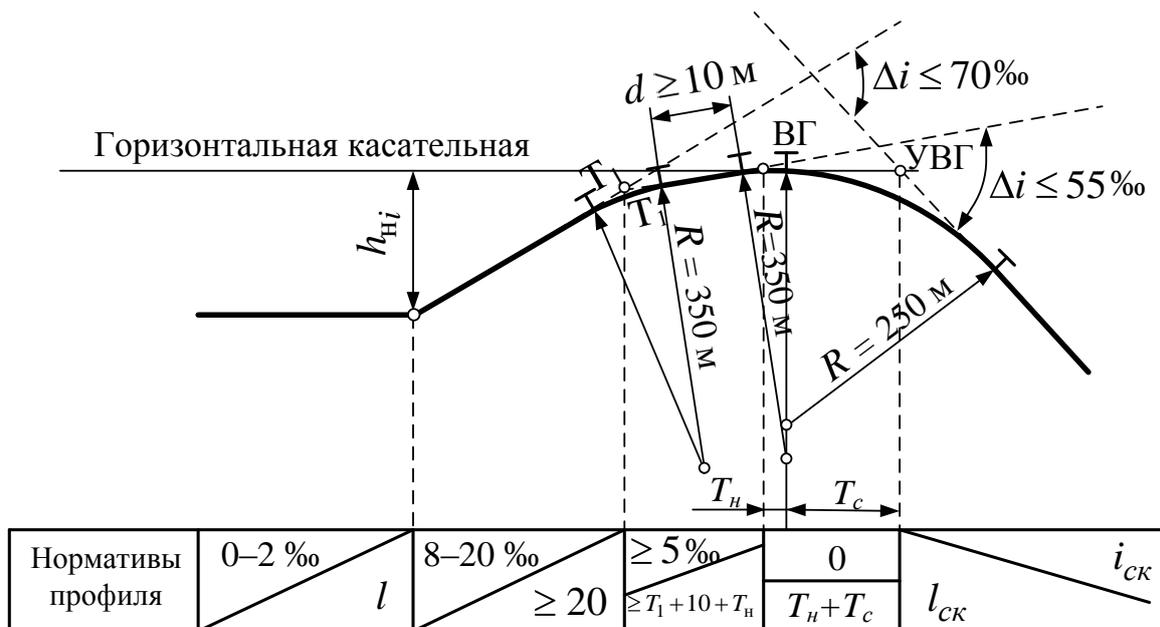


Рис. 3.2. Профиль надвигной и перевальной частей горки с разделительным элементом

Минимально допустимые значения радиусов вертикальных кривых определяются условиями прохода вагонов с неблагоприятными параметрами (в частности, рефрижераторных, АРВ) в сцепленном состоянии без повреждения автосцепного устройства или конструкции вагона. Увеличение радиуса вертикальной кривой спускной части в зоне вершины горки ухудшает условия отделения вагонов от состава и вызывает нарушения технологии роспуска составов.

3.2. Исходные данные и условия для расчета высоты сортировочной горки

Высотой горки называют разность отметок головок рельсов путей на вершине горки и в расчетной точке.

В действующих Правилах проектирования сортировочных устройств различают *расчетную* H_p и *конструктивную* H_k высоту сортировочной горки.

Для расчета высоты сортировочной горки необходимо знать: весовую категорию вагона; температуру окружающей среды (для зимних и летних условий работы горки); скорость ветра (встречного и попутного); расчетную скорость роспуска составов; составить план (развертку) трудного и легкого путей.

Для определения расчетной и конструктивной высоты горки необходимо принять исходные условия расчета, обозначенные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные условия для расчета параметров сортировочных горок

Параметр	Условия				
	Расчетный бегун	Путь	Ветер	Температура	
Расчетная высота горки	ОП	Трудный	Встречный	Отрицательная	
Конструктивная высота горки (профиль спускной части горки)	ОХ	Легкий	Попутный	Положительная	
Мощность тормозных средств					
Интервал между отцепами на разделительных стрелках и ТП	ГММ*	П-Х-П	Трудный и смежный с им	Встречный	Отрицательная
	ГСМ	ОП-Х-ОП			
	ГБМ, ГПМ	ОП-ОХ-ОП			

Примечание. Данное сочетание верно при доле порожних вагонов менее 30 %, в другом случае принимается как для ГСМ

В качестве расчетного бегуна при определении высоты горки принимают порожний четырехосный крытый вагон. Если на сортировочной горке предполагается перерабатывать преимущественно один тип вагонов (70 % и более), то в качестве расчетного принимается именно этот тип вагонов. При расчете конструктивной высоты горки за расчетный бегун принимается груженный полувагон.

3.3. Определение расчетной высоты

Расчетная высота сортировочной горки H_p определяется из условия докатывания бегуна легкой весовой категории до расчетной точки по трудному пути при неблагоприятных условиях скатывания (встречный ветер, минусовая температура) по формуле

$$H_p = 1,75 \cdot (\bar{h}_{\omega_0} + \bar{h}_{\omega_{cb}} + \bar{h}_{\omega_c} + \bar{h}_{\omega_k}) + h_{\omega_{ch}} - h_{V_0}, \quad (3.1)$$

где 1,75 – мера отклонения расчетного значения суммы в скобках от ее среднего значения; \bar{h}_{ω_0} , $\bar{h}_{\omega_{cb}}$, \bar{h}_{ω_c} , \bar{h}_{ω_k} – средние значения потерь энергетической высоты на преодоление сопротивлений движению соответственно основного, воздушной среды и ветра, стрелок и кривых на участке от ВГ до РТ, м.э.в.; $h_{\omega_{ch}}$ – потерянная энергетическая высота на преодоление сопротивления от снега и инея в стрелочной зоне и путях сортировочного парка, м.э.в.; h_{V_0} – энергетическая высота, соответствующая расчетной скорости роспуска, м.э.в.

Значения \bar{h}_{ω_0} , $\bar{h}_{\omega_{cb}}$, \bar{h}_{ω_c} , \bar{h}_{ω_k} , $h_{\omega_{ch}}$ определяются по формулам (1.22)–(1.26).

Так как средняя скорость движения вагонов на спускной части горки различна на разных участках (см. табл. 1.8), значения $\bar{h}_{\omega_{св}}$, $\bar{h}_{\omega_{с}}$, $\bar{h}_{\omega_{к}}$ определяются как сумма потерянных энергетических высот на отдельных участках:

$$\bar{h}_{\omega_{св}} = \sum_{i=1}^{\kappa} \overline{h_{\omega_{свi}}}; \quad \bar{h}_{\omega_{с}} = \sum_{i=1}^{\kappa} \overline{h_{\omega_{ci}}}; \quad \bar{h}_{\omega_{к}} = \sum_{i=1}^{\kappa} \overline{h_{\omega_{ki}j}}, \quad (3.2)$$

где κ – количество расчетных участков от вершины горки до расчетной точки (обычно $\kappa = 4$).

Энергетическая высота, соответствующая расчетной скорости роспуска V_0 (для ГБМ $V_0 = 1,7$ м/с; для ГСМ $V_0 = 1,4$ м/с) определяется из выражения

$$h_{V_0} = \frac{V_0^2}{2g'}, \quad (3.3)$$

где g' – ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся частей вагона, м/с², принимаемое в зависимости от веса вагона q по табл. 1.3.

Таким образом, подставляя значения отдельных элементов в формулу (3.4), можно рассчитать высоту горки H_p :

$$H_p = 1,75 \cdot \left[L_p \cdot \omega_0 + \sum_{j=1}^{\kappa} \left(\omega_{свj} + 0,56V_j^2 n_{сj} + 0,23V_j^2 \sum \alpha_{скj}^0 \right) \right] 10^{-3} + L_{сн} \cdot \omega_{сн} \cdot 10^{-3} - \frac{V_0^2}{2g'}, \quad (3.4)$$

где L_p – расчетная длина горки, т.е. расстояние от ВГ до РГ.

3.4. Комплексное проектирование высоты и продольного профиля спускной части горки

3.4.1. Требования к профилю спускной части горки

Полученное значение расчетной высоты горки H_p сравнивается с **конструктивной высотой** H_k , определяемой как сумма профильных высот отдельных элементов спускной части горки по легкому пути:

$$H_k = \sum_{j=1}^n l_j i_j 10^{-3}. \quad (3.5)$$

Скоростной элемент спускной части горки проектируется наиболее крутым (до 50 ‰) для обеспечения требуемых интервалов на вершине горки при свободном скатывании отцепов.

Длины l отдельных элементов профиля принимаются с таким расчетом, чтобы сопрягающие вертикальные кривые находились вне пределов вагонных

замедлителей, остряков и крестовин стрелочных переводов. Поэтому расстояние от точек перелома профиля до замедлителей, остряков и крестовин должно быть не менее длины тангенса вертикальной кривой. Переломы профиля можно делать в любом месте горизонтальной кривой, а также внутри стрелочного перевода между остряками и крестовиной. Для этого точка перелома профиля отодвигается на 2–3 м от центра стрелочного перевода в сторону крестовины.

Кроме того, длина первого скоростного уклона между тангенсами вертикальных кривых должна быть не менее 20 м.

Радиусы вертикальных кривых при сопряжении элементов профиля спускной части горки должны быть не менее 250 м. Расстояние от концов указанных устройств до точек перелома профиля должно быть не менее тангенса вертикальной кривой, определяемого для спускной части по формуле, м:

$$T_B = \frac{R\Delta i}{2000}, \quad (3.6)$$

где Δi – разность сопрягаемых уклонов, ‰.

Допустимые величины уклонов отдельных элементов профиля представлены в табл. 3.2, расчетная схема продольного профиля спускной части горки при двух тормозных позициях на спускной части – на рис. 3.3.

Таблица 3.2

**Допустимые величины уклонов отдельных элементов
продольного профиля спускной части горки**

Наименование элемента профиля	Обозначение длины элемента	Обозначение уклона	Допустимая величина уклона i , ‰	Примечание
1. Первый скоростной	$l_{ск1}$	$i_{ск1}$	До 50	$i_{ск1} - i_{ск2} \leq 25 \text{ ‰}$
2. Второй скоростной	$l_{ск2}$	$i_{ск2}$	От $i_{Т1}$ до $i_{ск1}$	
3. I ТП	$l_{Т1}$	$i_{Т1}$	От 12 до $i_{ск2}$	На ГСМ и ГБМ. На ГММ (с одной тормозной позицией на спускной части) – не менее 7 ‰
4. Промежуточный	$l_{пр}$	$i_{пр}$	От $i_{Т2}$ до $i_{Т1}$	
5. II ТП	$l_{Т2}$	$i_{Т2}$	Не менее 7	В холодных зонах не менее 10 ‰
6. Стрелочная зона	$l_{сз}$	$i_{сз}$	1–2	Допускается до 2,5 ‰
7. Сортировочные пути до III ТП	$l_{сп1}$	$i_{сп1}$	1–2	На прямых до 1,5 ‰
8. III ТП	$l_{Т3}$	$i_{Т3}$	В кривой до 2, на прямой до 1,5	
9. Сортировочные пути от III ТП до РТ	$l_{сп2}$	$i_{сп2}$	0,6	

3.4.2. Расчет конструктивной высоты горки

Конструктивная высота, согласно нормам проектирования, считается для легкого по условиям скатывания пути и для благоприятных условий (попутный ветер, положительная температура) для очень хорошего бегуна. Однако в учебных целях расчет конструктивной высоты можно выполнять для трудного по условиям скатывания пути (см. рис. 3.3), но для благоприятных условий и очень хорошего бегуна (груженный полувагон, весом 100 тс).

Конструктивная высота горки H_k в общем случае может быть представлена (см. рис. 3.3) как сумма трех профильных высот расчетных участков: головного (от вершины горки до точки 7) h_1 , среднего (от точки 7 до точки 5) h_2 и нижнего (от точки 5 до РТ) h_3 , т. е.

$$H_k = h_1 + h_2 + h_3. \quad (3.7)$$

Для сортировочных горок с одной ТП на спускной части, высота горки определяется суммой профильных высот двух участков – головного h_1 и нижнего h_3 (как правило, для ГММ).

$$H_k = h_1 + h_3. \quad (3.8)$$

Профильная высота h_1 головного участка горки (рис. 3.3, 3.4) определяется из условия входа на второй замедлитель I ТП* первой колесной пары *расчетного бегуна (ОХ) при благоприятных условиях скатывания с максимально допустимой для принятого типа замедлителя скоростью $V_{вх}$* (табл. 2.4). Так как энергетические высоты рассчитываются по центру тяжести вагона, точка 7 (рис. 3.3) должна отстоять от начала второго замедлителя I ТП на половину базы полувагона (примерно на 5 м).

Из рис. 3.3 видно, что

$$h_1 + h_{V_0}^{OX} = h_{V_{вх}}^{OX} + h_{\omega_1}^{OX}, \quad (3.9)$$

откуда
$$h_1 = h_{V_{вх}}^{OX} - h_{V_0}^{OX} + h_{\omega_1}^{OX}, \quad (3.10)$$

или в развернутом виде

$$h_1 = \frac{V_{вх}^2 - V_0^2}{2g'_{OX}} + l_1 \left[\omega_0^{OX} \pm \omega_{св1}^{OX} \right] 10^{-3} + \left[0,56n_1 + 0,23 \sum \alpha_{ск1}^0 \right] V_1^2 \cdot 10^{-3}, \quad (3.11)$$

* Принимается наиболее неблагоприятный случай, когда первый замедлитель I ТП выключен для ремонта.

где l_1 – расстояние от ВГ до точки 7, м; ω_0^{OX} – основное удельное сопротивление ОХ, кгс/тс; $\omega_{св1}^{OX}$ – сопротивление воздушной среды для ОХ при попутном ветре при скорости движения вагона V_1 в пределах головного участка, кгс/тс; n_1 – число стрелочных переводов на участке l_1 ; $\sum \alpha_{ск1}^0$ – сумма градусов углов поворота на кривых, включая стрелочные, на участке l_1 , град.

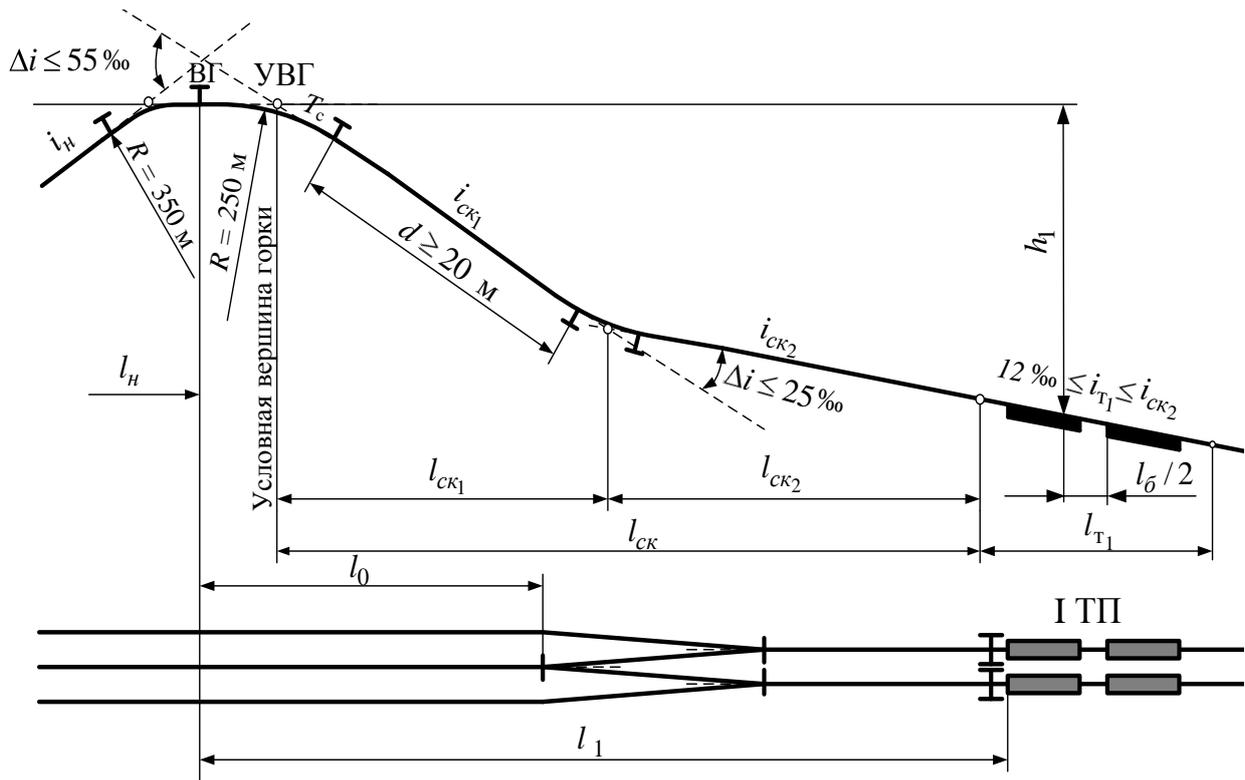


Рис. 3.4. Схема для расчета высоты и продольного профиля головного участка горки при размещении I ТП за первым разделительным стрелочным переводом

Для получения профильных высот h_2 и h_3 первоначальные значения уклонов участков № 3, 4 и 5 (табл. 3.3) могут быть приняты минимальными (12; 7 и 7 ‰), участков № 6, 7 и 8 – максимально допустимыми (2; 1,5 и 1,5 ‰).

Следовательно, профильные высоты нижнего участка h_3 и среднего участка h_2 определяются как сумма профильных высот образующих ее элементов (см. рис. 3.3):

$$h_2 = \left[i \cdot l_{np} + 12 \cdot l_{T1}'' \right] \cdot 10^{-3}; \quad (3.12)$$

$$h_3 = \left[6 \cdot l_{сн2} + 1,5 \cdot l_{Т3} + 1,5 \cdot l_{сн1} + 2,0 \cdot l_{с3} + 7,0 \cdot l_{Т2} \right] \cdot 10^{-3}, \quad (3.13)$$

где l_{T1}'' – расстояние от точки 7 (см. рис. 3.3) до конца уклона I ТП, м.

Таким образом, конструктивная высота горки может быть рассчитана суммированием профильных высот элементов, начиная от расчетной точки:

$$H_k = h_1 + \left(2 \cdot l_{T1}'' + 7 \cdot l_{np} \right) \cdot 10^{-3} + \left[l_{T2} + 2 \cdot l_{сз} + 1,5 \left(l_{сп1} + l_{T3} \right) + 0,6 \cdot l_{сп2} \right] \cdot 10^{-3}, \quad (3.14)$$

Значение H_k сравнивается с величиной H_p .

Если $H_k \geq H_p$, то высота горки $H_{Г} = H_k$ и первоначальный профиль среднего h_2 и нижнего h_3 участков может быть принят окончательно. Остается определить уклоны и длины первого и второго скоростных элементов. При этом первый скоростной участок желательно проектировать по возможности более крутым – до 50 ‰, длиной между тангенсами вертикальных сопрягающих кривых не менее 20 м. Приняв $i_{ск1}$ и $l_{ск1}$, можно определить $i_{ск2}$, ‰

$$i_{ск2} = \frac{h_1 \cdot 10^3 - l_{ск1} \cdot i_{ск1} - l'_{T1} \cdot i'_{T1}}{l_{ск2}}, \quad (3.15)$$

где l'_{T1} – расстояние от точки перелома профиля до точки 7.

Если $i_{ск1} - i_{ск2} \leq 25$ ‰, расчет заканчивается.

Если $i_{ск1} - i_{ск2} > 25$ ‰, то необходимо выполнить следующее:

1) уменьшить $i_{ск1}$ или $l_{ск1}$;

2) уменьшить H_k до величины не менее H_p за счет h_1 , т. е. за счет снижения скорости входа ОХ при благоприятных условиях на ИП.

При $H_k < H_p$ высота горки $H_{Г}$ принимается равной H_p . Для получения $H_k = H_p$ можно увеличить i_{np} , или i_{np} и i_{T1} , или i_{T2} , i_{np} и i_{T1} . Далее необходимо определить $i_{ск1}$, $i_{ск2}$.

После приведения H_k к необходимой величине, оформляется *окончательный продольный профиль спускной части горки*: определяются отметки всех точек перелома профиля относительно отметки расчетной точки, принимаемой за ноль; уточняется положение точек перелома относительно вагонных замедлителей, остряков и крестовин стрелочных переводов. Проверяется правильность расчета профиля по условию (3.5).

Последовательность проектирования продольного профиля спускной части горки зависит от того, что является первым разделительным элементом – стрелочный перевод или замедлитель.

Если первым разделительным элементом является стрелочный перевод (см. рис. 3.4), то порядок проектирования продольного профиля выглядит следующим образом:

1. Согласно табл. 3.2 принимаются величины уклонов $i_{cn2} = 0,6\%$, $i_{ТЗ} = 1,5\%$, $i_{cn1} = 1,5\%$, $i_{сз} = 2\%$, $i_{Т2} = 7\%$, $i_{np} = 7\%$, $i''_{Т1} = 12\%$, $i'_{Т1} = 12\%$ ($i'_{Т1} = i''_{Т1} = i_{Т1}$).

2. Рассчитывается профильная высота нижнего участка h_3 по формуле (3.13).

3. Рассчитывается высота среднего участка h_2 по формуле (3.12).

4. Определяется максимальная профильная высота головного участка h_1 по формуле (3.11).

5. Рассчитывается конструктивная высота сортировочной горки по формуле (3.7).

6. Если $H_k \geq H_p$, то высота горки $H_g = H_k$. В этом случае:

а) первоначальный профиль среднего h_2 (уклоны i_{np} , $i''_{Т1}$) и нижнего h_3 (уклоны i_{cn2} , $i_{ТЗ}$, i_{cn1} , $i_{сз}$, $i_{Т2}$) участков принимается окончательно;

б) уклон $i_{ск1}$ принимается до 50 ‰, его длина $l_{ск1}$ – не менее 20 м;

в) определяется уклон $i_{ск2}$, ‰, по формуле (3.15). Проверяется условие $i_{Т1} \leq i_{ск2} \leq i_{ск1}$. Если $i_{ск1} - i_{ск2} \leq 25\%$, расчет заканчивается;

г) если $i_{ск1} - i_{ск2} > 25\%$, то необходимо выполнить следующее:

– уменьшить $i_{ск1}$ или $l_{ск1}$, и по формуле (3.15) пересчитать $i_{ск2}$;

– уменьшить H_k до величины не менее H_p за счет h_1 , т. е. за счет снижения скорости входа ОХ при благоприятных условиях на ИПП.

7. При $H_k < H_p$ высота горки H_g принимается равной H_p . Тогда:

а) для получения $H_k = H_p$ можно увеличить только i_{np} ($i_{Т2} \leq i_{np} \leq i_{Т1}$), или i_{np} и $i_{Т1}$ ($i_{np} \leq i_{Т1} \leq i_{ск2}$), или $i_{Т2}$, i_{np} и $i_{Т1}$;

б) далее принимается уклон $i_{ск1}$ до 50 ‰, определяется $i_{ск2}$ (по формуле (3.15));

в) проверяется условие $i_{Т1} \leq i_{ск2} \leq i_{ск1}$;

г) если $i_{ск1} - i_{ск2} \leq 25\%$, расчет заканчивается;

д) если $i_{ск1} - i_{ск2} > 25\%$, то необходимо выполнить следующее:

– уменьшить $i_{ск1}$ или $l_{ск1}$, и по формуле (3.15) пересчитать $i_{ск2}$;

– уменьшить H_k до величины не менее H_p за счет h_1 , т. е. за счет снижения скорости входа ОХ при благоприятных условиях на ИПП.

8. Правильность расчетов конструктивной высоты сортировочной горки проверяется по формуле (3.5).

Если первым разделительным элементом является замедлитель (рис. 3.5), то порядок проектирования продольного профиля выглядит следующим образом.

1. Согласно табл. 3.2 принимаются величины уклонов $i_{cn2} = 0,6 \text{ ‰}$, $i_{T3} = 1,5 \text{ ‰}$, $i_{cn1} = 1,5 \text{ ‰}$, $i_{c3} = 2 \text{ ‰}$, $i_{T2} = 7 \text{ ‰}$, $i_{np} = 7 \text{ ‰}$, $i''_{T1} = 12 \text{ ‰}$, $i'_{T1} = 12 \text{ ‰}$ ($i'_{T1} = i''_{T1} = i_{T1}$).

2. Рассчитывается профильная высота нижнего участка h_3 по формуле (3.13).

3. Рассчитывается высота среднего участка h_2 по формуле (3.12).

4. Определяется максимальная профильная высота головного участка h_1 по формуле (3.11).

5. Рассчитывается конструктивная высота сортировочной горки по формуле (3.7).

6. Если $H_k \geq H_p$, то высота горки $H_T = H_k$. В этом случае:

а) первоначальный профиль среднего h_2 (уклоны i_{np} , i''_{T1}) и нижнего h_3 (уклоны i_{cn2} , i_{T3} , i_{cn1} , i_{c3} , i_{T2}) участков принимается окончательно;

б) длина первого скоростного участка l_{ck1} принимается не менее 20 м, а уклон определяется по формуле:

$$i_{ck1} = \frac{h_1 \cdot 10^3 - l'_{T1} \cdot i'_{T1}}{l_{ck1}} \leq 25 \text{ ‰}; \quad (3.16)$$

в) если условие $i_{T1} \leq i_{ck1} \leq 25 \text{ ‰}$ выполняется, то расчет заканчивается;

г) если условие $i_{ck1} \geq 25 \text{ ‰}$ не выполняется, то необходимо выполнить следующее:

– увеличить l_{ck1} , и по формуле (3.16) пересчитать i_{ck1} ;

– уменьшить H_k до величины не менее H_p за счет h_1 , т. е. за счет снижения скорости входа ОХ при благоприятных условиях на ИП.

7. При $H_k < H_p$ высота горки H_T принимается равной H_p . В таком случае:

а) для получения $H_k = H_p$ можно увеличить только i_{np} ($i_{T2} \leq i_{np} \leq i_{T1}$), или i_{np} и i_{T1} ($i_{np} \leq i_{T1} \leq i_{ck1}$), или i_{T2} , i_{np} и i_{T1} ;

б) далее рассчитывается уклон i_{ck1} по формуле (3.16);

в) проверяется условие $i_{T1} \leq i_{ck1} \leq 25 \text{ ‰}$;

г) если условие $i_{Т1} \leq i_{ск1} \leq 25\%$ выполняется, то расчет заканчивается;

д) если условие (3.16) $i_{ск1} \geq 25\%$ не выполняется, то необходимо выполнить следующее:

– увеличить $l_{ск1}$ и по формуле (3.16) пересчитать $i_{ск1}$;

– уменьшить H_k до величины не менее H_p за счет h_1 , т. е. за счет снижения скорости входа ОХ при благоприятных условиях на ИП.

8. Правильность расчетов конструктивной высоты сортировочной горки проверяется по формуле (3.5).

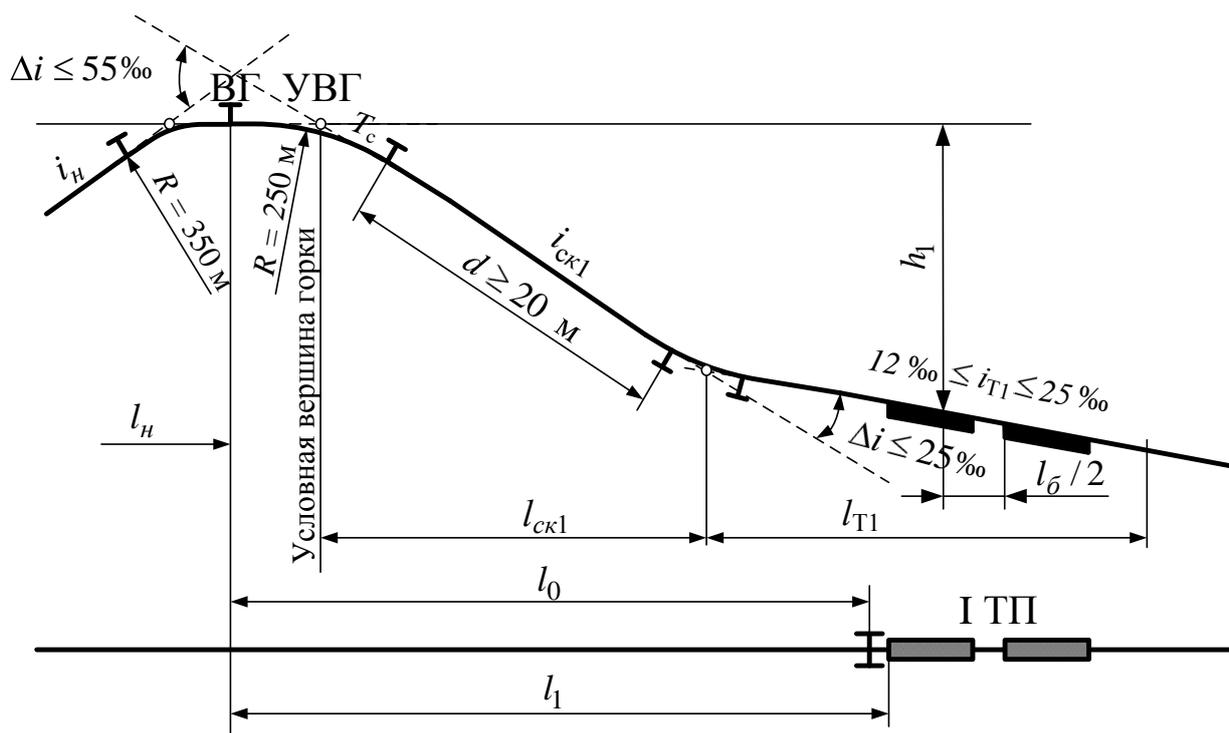


Рис. 3.5. Схема для расчета высоты и продольного профиля головного участка горки при размещении I ТП до первого разделительного стрелочного перевода

3.4.3. Построение продольного профиля спускной части горки

Для удобства проектирования и чтения чертежа продольный профиль спускной части горки должен располагаться ниже плана подгорочной горловины, причем так, чтобы вершина горки в плане и профиле находилась в одном сечении (рис. 3.3).

Вначале выполняется разбивка профиля на отдельные участки, опираясь на данные об их принятых длинах. Построение высоты ведется в направлении от РТ к ВГ путем вычисления высоты профиля в искомой точке, определяемой как произведение длины элемента на его уклон: $h_i = l_i \cdot i_i$ (рис. 3.6). Для минимизации погрешности при построении рекомендуется каждое после-

дующее значение высоты откладывать от нулевой точки (РТ), прибавляя полученное значение высоты на конкретном участке профиля к предыдущей отметке (например, $\sum h_4 = h_{3-4} + h_3 = l_{c3} \cdot i_{c3} + h_3$). В результате отметка профиля ВГ должна быть равна высоте горки, т.е. должно выполняться условие (3.5).

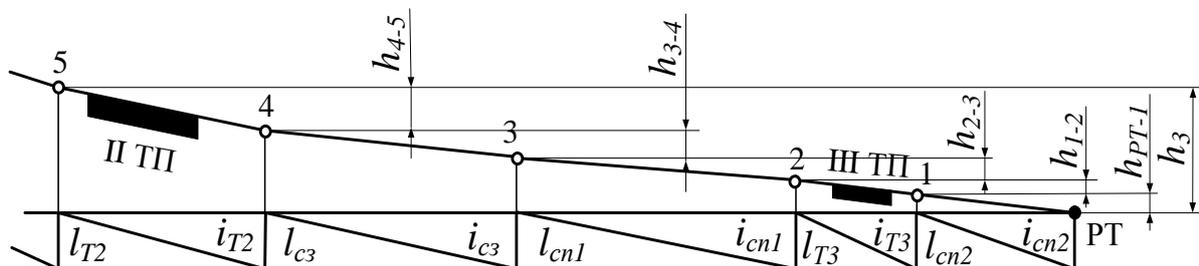


Рис. 3.6. Фрагмент профиля спускной части горки

При определении высоты горки рекомендуется следующая *точность расчетов*:

$t^0 - 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\gamma - 0,001$; $g' - 0,01 \text{ м/с}^2$; $l - 0,01 \text{ м}$; $\alpha^\circ_{\text{к}} - 0,01^\circ$; $V - 0,01 \text{ м/с}$;
 $\omega - 0,01 \text{ кгс/тс}$; $h - 0,01 \text{ м.э.в.}$

3.5. Расчет мощности тормозных средств.

Выбор числа замедлителей на тормозных позициях

Число и мощность замедлителей зависят от высоты горки, ее профиля и принятых технологических режимов роспуска. Расчеты мощности тормозных средств производятся для ОХБ весом 100 тс при следовании его на легкий путь при благоприятных условиях скатывания.

Потребная расчетная мощность тормозных средств на каждой тормозной позиции должна обеспечивать реализацию расчетной скорости роспуска составов, живучесть технологической системы регулирования скорости и безопасность сортировки вагонов.

Наличная мощность монтируемых в пути замедлителей устанавливается на основании данных о принятом типе замедлителей и должна быть *не менее потребной*.

Суммарная потребная мощность тормозных позиций спускной части горки $H_{\text{ТСЧ}}$ (без парковой тормозной позиции), м.э.в., должна составлять:

$$H_{\text{ТСЧ}} = k_y \left(\sum_{\Gamma} + h_{V_0} - h_{\omega}^{\text{OX}} - H_{\text{пр}} \right), \quad (3.17)$$

где k_y – коэффициент увеличения потребной расчетной мощности тормозных позиций спускной части горки, вызываемый требованиями совместного интервального и прицельного торможения; безопасной сортировки вагонов при занятии участка между пучковой и парковой тормозными позициями;

компенсации погрешностей регулирования скорости скатывания вагонов и обеспечения живучести технологической системы этого регулирования, равный 1,20–1,25 при двух тормозных позициях; h_{ω}^{OX} – потерянная энергетическая высота ОХБ при благоприятных условиях скатывания на участке от вершины горки до конца второй (пучковой) ТП, м.э.в.; $H_{пр}$ – профильная высота горки конца второй ТП, м.

Суммарная наличная мощность тормозных средств в пределах спускной части горки $H_{ТСЧН}$, м.э.в., должна обеспечивать при благоприятных условиях скатывания остановку четырехосного вагона весом 100 тс и сопротивлением 0,5 кгс/тс на пучковой тормозной позиции. При этом торможение вагона на I ТП предусматривается до уровня, определяемого по условиям оптимизации расчетной скорости роспуска (0,7–1,2 м.э.в.).

Расчетная схема для определения общей наличной мощности тормозных средств $H_{ТСЧН}$ приведена на рис. 3.7.

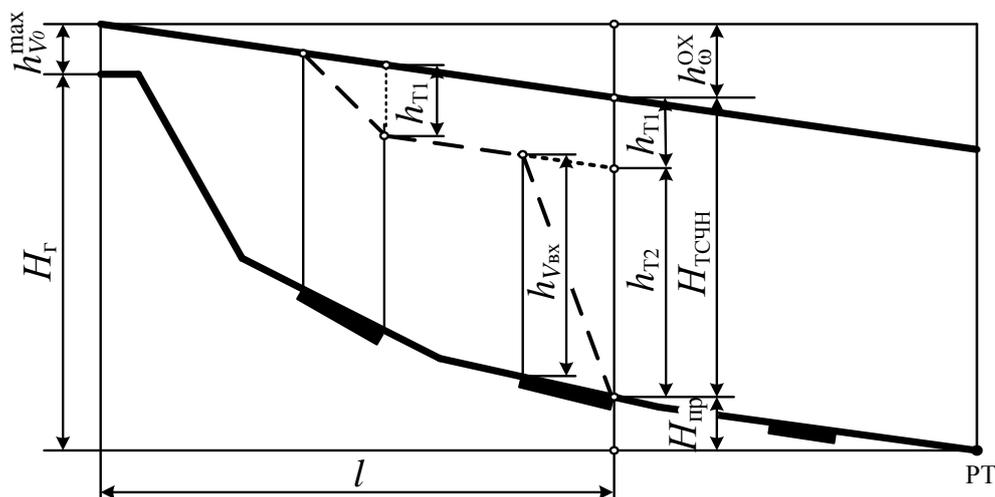


Рис. 3.7. Схема для расчета суммарной наличной мощности тормозных средств

Из расчетной схемы (рис. 3.7) следует

$$H_{ТСЧН} = H_{\Gamma} + h_{V_0}^{\max} - h_{\omega}^{OX} - H_{пр}, \quad (3.18)$$

где $h_{V_0}^{\max}$ – энергетическая высота, м.э.в., соответствующая максимальной скорости роспуска, равной 2,5 м/с.

Энергетическая высота, потерянная ОХБ на преодоление всех сил сопротивлений на участке (ВГ – конец II ТП), м.э.в., определяется по формуле

$$h_{\omega}^{OX} = 10^{-3} \left[\sum_{i=1}^{T2} l_i \omega_0^{OX} \pm \sum_{i=1}^{T2} l_i \omega_{свi}^{OX} + \sum_{i=1}^2 \left(0,56n_i + 0,23 \sum \alpha_{ски}^0 \right) \bar{V}_i^2 \right], \quad (3.19)$$

$$\text{или } h_{\omega}^{\text{OX}} = 10^{-3} \left[\begin{aligned} & \left(\omega_0^{\text{OX}} \pm l_1 \omega_{\text{CB1}}^{\text{OX}} \pm l_2 \omega_{\text{CB2}}^{\text{OX}} \pm l_{\text{T2}} \omega_{\text{CB3}}^{\text{OX}} + \right. \\ & \left. + 0,56n_1 + 0,23 \sum \alpha_{\text{CK1}}^{\circ} \right) \bar{V}_1^2 + \left(0,56n_2 + 0,23 \sum \alpha_{\text{CK2}}^{\circ} \right) \bar{V}_2^2 \end{aligned} \right], \quad (3.20)$$

где l_1, l_2, l_{T2} – длины участков (ВГ – начало I ТП), (начало I ТП – начало II ТП) и (начало II ТП – конец II ТП); $\omega_{\text{CB1}}^{\text{OX}}, \omega_{\text{CB2}}^{\text{OX}}, \omega_{\text{CB3}}^{\text{OX}}$ – удельные сопротивления воздушной среды и ветра ОХБ соответственно на 1-м, 2-м и 3-м расчетных участках; n_1, n_2 – число стрелочных переводов на 1-м и 2-м расчетных участках; $\sum \alpha_{\text{CK1}}^{\circ}, \sum \alpha_{\text{CK2}}^{\circ}$ – сумма углов поворота (включая стрелочные углы) на 1-м и 2-м расчетных участках.

Профильная высота $H_{\text{пр}}$ конца II ТП определяется из продольного профиля спускной части горки произведением уклонов элементов на их длину, начиная от РТ.

Минимальная мощность I ТП (т.е. мощность одного ее замедлителя) $h_{\text{T}}^{\text{min}}$ должна обеспечивать такое торможение ОХБ при благоприятных условиях скатывания, чтобы скорость входа его II ТП не превышала максимально допустимой:

$$h_{\text{T1}}^{\text{min}} = H_{\text{T}} + h_{V_0}^{\text{max}} - H'_{\text{пр}} - h_{V_{\text{BX}}} - h'_{\omega}^{\text{OX}}, \quad (3.21)$$

где $H'_{\text{пр}}$ – профильная отметка начала II ТП, м, определяемая из продольного профиля; $h_{V_{\text{BX}}}$ – энергетическая высота, соответствующая допустимой скорости входа вагона на замедлитель V_{BX} (табл.); h'_{ω}^{OX} – энергетическая высота, потерянная ОХБ на преодоление всех видов сопротивлений от ВГ до начала II ТП при благоприятных условиях скатывания, м.

Для определения h'_{ω}^{OX} можно использовать формулу (3.20), исключив из нее элементы $10^{-3} \left(\omega_0^{\text{OX}} \pm l_{\text{T2}} \omega_{\text{CB3}}^{\text{OX}} \right)$.

Общая потребная мощность I ТП:

$$h_{\text{T1}} = 2h_{\text{T1}}^{\text{min}}. \quad (3.22)$$

Первая тормозная позиция должна обеспечивать интервальное регулирование скорости скатывания вагонов и ограничения скорости входа вагонов на II ТП. Потребная расчетная мощность I ТП на горках повышенной и большой мощности может находиться в пределах 2,0–2,5 м.э.в..

На II ТП осуществляется прицельное торможение. **Мощность II ТП** должна обеспечивать остановку ОХБ при благоприятных условиях скатывания в конце этой (II) тормозной позиции при входе на нее с максимальной допустимой скоростью:

$$h_{\text{T2}}^{\text{max}} = \frac{V_{\text{BX}}^2}{2g'_{\text{OX}}} + 10^{-3} l''_{\text{T2}} \left(\omega_0^{\text{OX}} - \omega_{\text{CB3}}^{\text{OX}} \right), \quad (3.23)$$

где l''_{T2} – расчетная длина торможения вагона на II ТП, равная длине самой тормозной позиции по концам балок плюс база вагона.

При наибольшей допустимой скорости входа на II ТП $V_{вх} = 7$ м/с мощность этой тормозной позиции должна быть не менее 2,5 м.э.в., а при $V_{вх} = 8$ м/с – не менее 3,2 м.э.в.

Потребная расчетная мощность парковой тормозной позиции (III ТП) устанавливается в ходе оптимизационных расчетов при комплексном проектировании высоты и продольного профиля горки в зависимости от расчетной скорости роспуска. Наличная мощность парковых тормозных позиций на эксплуатируемых горках составляет от 0,8 до 1,2 м.э.в.

На III ТП, в учебных целях, рекомендуется принимать три замедлителя типа РНЗ-2 с суммарной погашаемой энергетической высотой 1,05 м.э.в., либо три замедлителя типа РНЗ-2М с суммарной погашаемой энергетической высотой 1,35 м.э.в.

Тип замедлителей выбирается исходя из потребной мощности тормозных позиций. Для этого составляется сводная таблица мощности тормозных позиций по форме табл. 3.3. Наличная мощность тормозных позиций заполняется согласно конструктивных параметров замедлителей, потребная – в соответствии с расчетными данными.

Таблица 3.3

Сводная таблица мощности тормозных средств

Тормозная позиция	Погашаемая энергетическая высота, м.э.в.	
	Наличная $\zeta_{Ti}^{нал}$	Потребная ζ_{Ti}^{max}
I ТП*		
II ТП		
I и II ТП		

Таким образом:

- на I ТП торможение ОХБ осуществляется до уровня h_{T1} , не превышающего мощности одного замедлителя;
- на II ТП (пучковой) погашаемая энергетическая высота h_{T2} должна соответствовать суммарной мощности замедлителей на данной позиции. При этом необходимо выполнение условия $h_{T2}^{max} \leq h_{T2} \leq h_{T2}^{нал}$. В противном случае, необходимо принять меры, которые обеспечат потребную мощность тормозных позиций и безопасность роспуска составов.

Расчет потребной мощности тормозных средств в пределах спускной части горки осуществляется в следующем порядке:

* Погашаемая энергетическая высота одним замедлителем (условие применяется только для первой тормозной позиции).

- 1) определяется длина второй тормозной позиции l_{T2} , м, по балкам укладываемых на ней замедлителей;
- 2) рассчитывается сопротивление движению ОХБ весом 100 тс от воздушной среды и ветра $\omega_{св1}$, $\omega_{св2}$, $\omega_{св3}$, кгс/тс, при благоприятных условиях по расчетным участкам;
- 3) вычисляется энергетическая высота h_{ω}^{OX} , м.э.в., потерянная ОХБ на преодоление всех сил сопротивлений на участке от ВГ до конца II ТП;
- 4) находится энергетическая высота $h_{V_0}^{max}$, м.э.в., соответствующая максимальной скорости роспуска, равной 2,5 м/с;
- 5) вычисляется профильная отметка горки $H_{пр}$, м, конца II ТП;
- 6) определяется суммарная наличная мощность тормозных средств $H_{ТСЧн}$, м.э.в., в пределах спускной части горки;
- 7) рассчитывается суммарная потребная мощность тормозных позиций $H_{ТСч}$, м.э.в.

Далее производится **расчет потребной мощности I ТП:**

- 8) находится профильная отметка начала II ТП $H'_{пр}$, м;
- 9) рассчитывается энергетическая высота, соответствующая допустимой скорости входа вагона на замедлитель $h_{V_{вх}}$, м.э.в.;
- 10) вычисляется энергетическая высота, потерянная ОХБ на преодоление всех видов сопротивлений от ВГ до начала II ТП h'_{ω}^{OX} , м.э.в.;
- 11) определяется минимальная мощность I ТП h_{T1}^{min} , м.э.в.;
- 12) рассчитывается потребная мощность I ТП h_{T1} , м.э.в.

После этого выполняется **расчет потребной мощности II ТП:**

- 13) вычисляется расчетная длина торможения вагона на II ТП l''_{T2} , м;
- 14) находится потребная мощность II ТП h_{T2}^{max} , м.э.в..

После расчетов выполняется графическая проверка мощности тормозных позиций путем анализа построенной кривой потерянной энергетической высоты ОХБ с торможением.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается особенность проектирования надвижной и перевальной частей горки. Каковы основные ограничения по уклонам?
2. Перечислите основные условия и необходимые исходные данные для расчета высоты сортировочной горки.
3. В чем сущность определения расчетной высоты сортировочной горки? Для каких условий она определяется?
4. Дайте определение конструктивной высоты сортировочной горки. Для каких условий она определяется?

5. В чем заключается комплексное проектирование спускной части горки и расчет ее высоты?

6. Перечислите основные требования к проектированию профиля спускной части горки и принципы его построения.

7. Для чего производится расчет мощности тормозных средств. Каким образом определяется число замедлителей на тормозных позициях?

Рекомендуемая литература: [1, 5–7].

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

4.1. Назначение технологических расчетов

Для проверки работоспособности запроектированной горки выполняется графическое моделирование процесса роспуска составов с горки. В связи с этим необходимо выполнить ряд технологических расчетов: установить режим работы тормозных позиций при последовательном скатывании отцепов в сочетаниях ОП – Х и Х – ОП, или ОП – ОХ и ОХ – ОП; проверить достаточность интервалов между ними на разделительных стрелках и тормозных позициях и определить среднюю скорость роспуска составов на горке. Выполнение таких расчетов требует построения кривых энергетических высот, скоростей и времени скатывания указанных бегунов. Вышеперечисленные расчеты производятся при неблагоприятных условиях скатывания вагонов (зима, встречный ветер).

4.2. Построение кривых энергетических высот

Кривые энергетических высот для бегунов ОП и Х (или ОХ) рекомендуется строить по расчетным потерянным энергетическим высотам h_{ω} (табл. 2.3, подразд. 2.5).

Расчет величин h_{ω} выполняется для всех точек изменения плана пути: начала и конца каждого перевода и каждой кривой. На развернутом плане трудного пути эти точки целесообразно пронумеровать от вершины горки (1) до расчетной точки (i). Расчеты для бегунов ОП и Х (или ОХ) сводятся в табл. 4.1.

Для построения кривых энергетических высот значения h_{ω} (для соответствующего бегуна – табл. 4.1) откладываются в масштабе 1:20 от горизонтальной линии MN вниз по вертикали, проходящей через рассматриваемую точку развернутого плана (рис. 4.1). Линия MN строится параллельно основанию профиля на расстоянии h_{V0} от вершины горки. Полученные точки последовательно соединяют прямыми отрезками, совокупность которых и представляет собой линию, характеризующую удельную работу сил сопротивления движению отцепов (потери энергетических высот) для соответствующего бегуна *без торможения*. Такие линии необходимо построить для ОП(П) и ОХ (Х).

Таблица потерь энергетических высот бегуна ОП (или Х, или ОХ)
при $t = \dots^\circ\text{C}$, ветре $V_e = \dots$ м/с, $\omega_0 = \dots$ кгс/тс (форма)

Точки на плане трудного пути	Расстояние между точками l , м	Средняя скорость скатывания отцепа (из табл. 1.8 подразд. 1.5)	$\omega_{\text{св}}$, кгс/тс	$\omega_0 + \omega_{\text{св}}$, кгс/тс	$\omega_{\text{сн}}$, кгс/тс	α°	n_c	Приращение потерь энергетической высоты Δh на участке l , м.э.в.					Потерянная энергетическая высота от вершины горки $\sum h_{\omega}$, м.э.в.
								$\Delta h_{\omega_0 + \omega_{\text{св}}} =$ $l \cdot (\omega_0 + \omega_{\text{св}}) \times 10^{-3}$	$\Delta h_{\omega_k} =$ $0,23 \cdot V^2 \times$ $\alpha^\circ \cdot 10^{-3}$	$\Delta h_{\omega_c} =$ $0,56 \cdot V^2 \times$ $n_c \cdot 10^{-3}$	$\Delta h_{\omega_{\text{сн}}} =$ $l \cdot \omega_{\text{сн}} \times$ 10^{-3}	$\Delta h_{\omega} =$ $\Delta h_{\omega_0 + \omega_{\text{св}}} +$ $\Delta h_{\omega_{\text{сн}}} +$ $\Delta h_{\omega_k} + \Delta h_{\omega_c}$	
ВГ-1													0,00
2													
3													
4													
...													
...													
РТ													

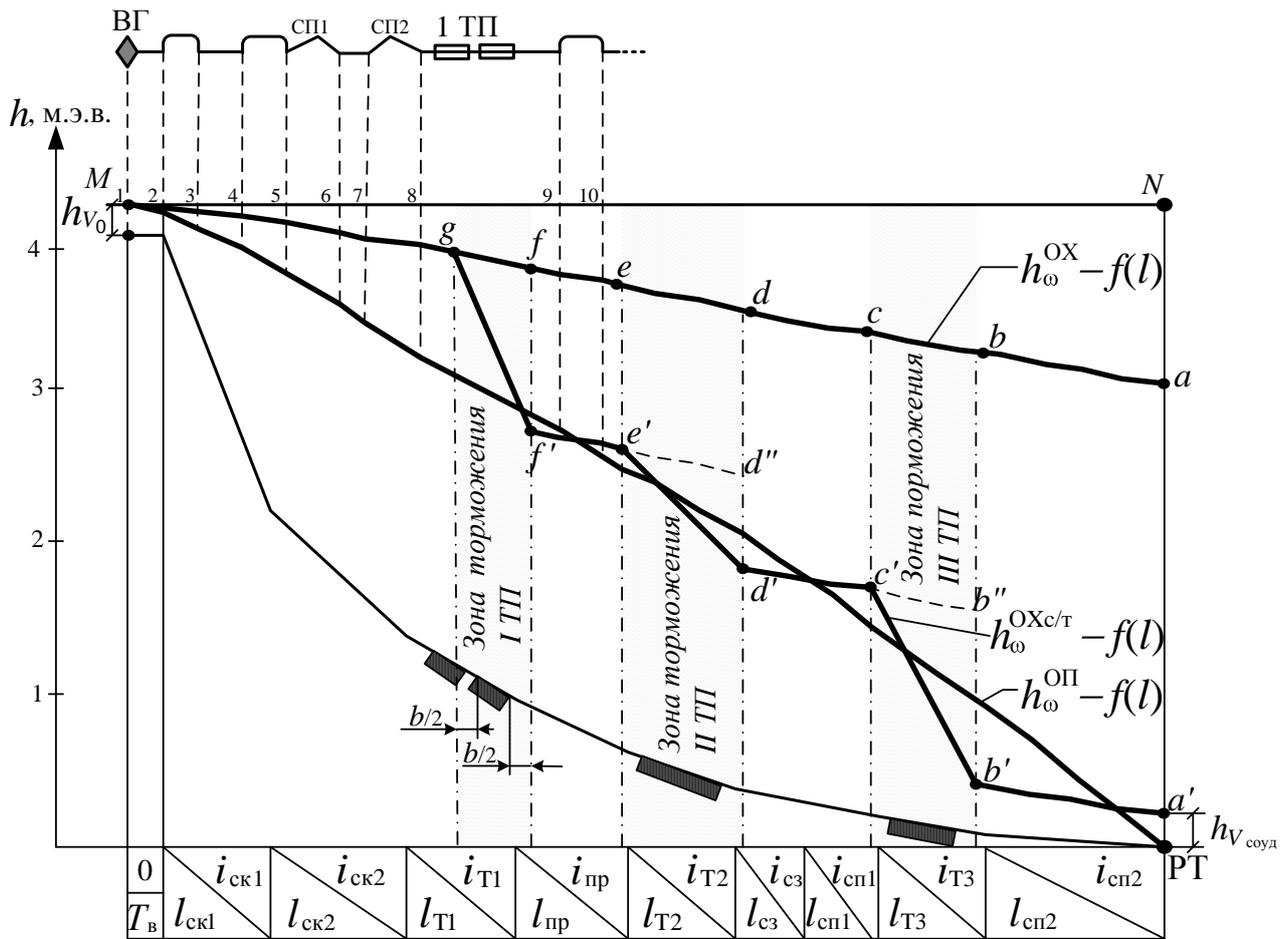


Рис. 4.1. Построение кривых энергетических высот (способ 1)

Анализ кривой $h_{\omega} - f(l)$ показывает, что остаточная энергетическая высота в расчетной точке для ОХ, скатывающегося при неблагоприятных условиях без торможения, велика и не обеспечивает безопасности отпуска. Поэтому ОХ должен подтормаживаться для подхода к РТ с допустимой скоростью соударения $V_{\text{соуд}} = 1,4$ м/с.

Для построения кривой энергетических высот $h_{\omega}^{\text{OXc/t}} - f(l)$ с торможением необходимо определить границы зоны торможения. Для этого от начала и конца ТП откладывается величина равная половине длины колесной базы ОХ (для четырехосного полувагона база составляет $b = 10,50$ м). Точки пересечения линии энергетических высот без торможения и перпендикуляров зон торможения на рис. 4.1 обозначены буквами (a, b, c, d, e, f, g).

Затем вверх по вертикали, проходящей через РТ, от линии профиля откладывается $h_{v_{\text{соуд}}} = 0,10$ м и от полученной точки a' справа налево строится линия, параллельная кривой h_{ω}^{X} или h_{ω}^{OX} без торможения, до пересечения с вертикалью, проходящей через зону торможения конца парковой тормозной позиции (III ТП) – точка b' .

Дальнейшие построения можно выполнять двумя способами.

Первый способ (см. рис. 4.1). Условие разделения отцепов ОП и ОХ выполняется наилучшим образом при равенстве скоростей от ВГ до разделительного элемента. При равенстве V_{cp}^{OP} и V_{cp}^{OX} интервал на разделительном элементе будет примерно равен интервалу на вершине горки, что достаточно для гарантированного разделения отцепов. Ввиду значительных различий в ходовых свойствах ОП и ОХ и возможности торможения только на ограниченных участках, обеспечить равенство их скоростей во всех точках невозможно. Поэтому более высокие скорости ОХ (по сравнению с ОП) перед тормозными позициями должны компенсироваться более низкими скоростями после торможения.

Дальнейшее построение кривой $h_{\omega T}^{OX}$ выполняется следующим образом: через середину отрезка кривой h_{ω}^{OP} без торможения, между границами зон торможения II ТП и III ТП проводится линия, параллельная кривой h_{ω}^{OX} без торможения. Фиксируются точки c' и d' на границах зон торможения. От точки c' строится отрезок $c'b''$ параллельный cb . Величина отрезка bb'' соответствует погашаемой энергетической высоте на III ТП. Причем, эта величина не должна превышать конструктивно допустимую для выбранного типа замедлителей (например: для замедлителей РНЗ – 1,05 м.э.в.).

Аналогично через середину отрезка кривой h_{ω}^{OP} без торможения между границами зон торможения I ТП и II ТП проводится линия, параллельная кривой h_{ω}^{OX} без торможения. Фиксируются точки $e'f'$. Далее, точка f' соединяется с точкой g . Строится отрезок $e'd''$ параллельный ed . Отрезки ff' и $d'd''$ – погашаемые энергетические высоты соответственно на I ТП и II ТП. Эти величины не должны превышать конструктивно допустимых для выбранного типа замедлителей. Ломаная линия $gf'l'e'd'c'b'a'$ является кривой потерь энергетических высот ОХ с торможением $h_{\omega T}^{OX}$.

Второй способ (рис. 4.2) основан на полном использовании мощности парковой тормозной позиции и обеспечении максимальной скорости входа на II ТП по конструктивным характеристикам замедлителей.

От точки b' строится отрезок $b'b''$, величина которого принимается равной суммарной мощности парковой тормозной позиции. Точка c' получается путем переноса отрезка cb , а $d' - cd$ с кривой h_{ω}^{OX} без торможения. Далее определяется положение точки e' исходя из обеспечения максимальной скорости входа бегуна на замедлитель, что выражается в откладываемой от профиля соответствующей энергетической высоты $h_{V_{ex}}^{OX}$. Точка f' получается переносом линии fe с кривой h_{ω}^{OX} без торможения, которая затем соединяется с точкой g . При этом проверяется достаточность мощности одного замедлителя I ТП для выполнения данного торможения.

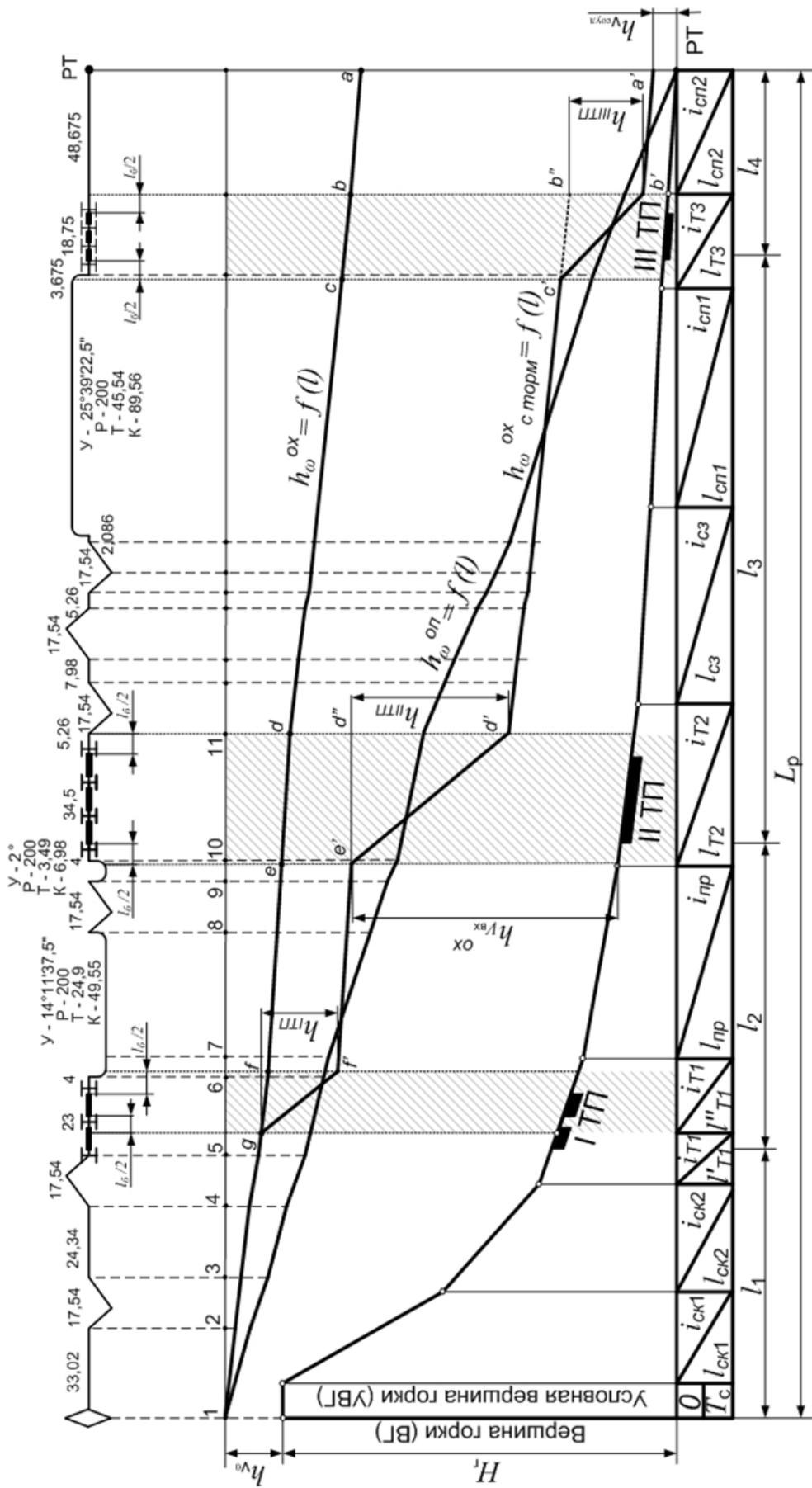


Рис. 4.2. Построение кривых энергетических высот (способ 2)

4.3. Графическая проверка мощности тормозных средств

Проверка мощности тормозных позиций выполняется путем анализа кривой потерь энергетической высоты ОХБ с торможением (рис. 4.3).

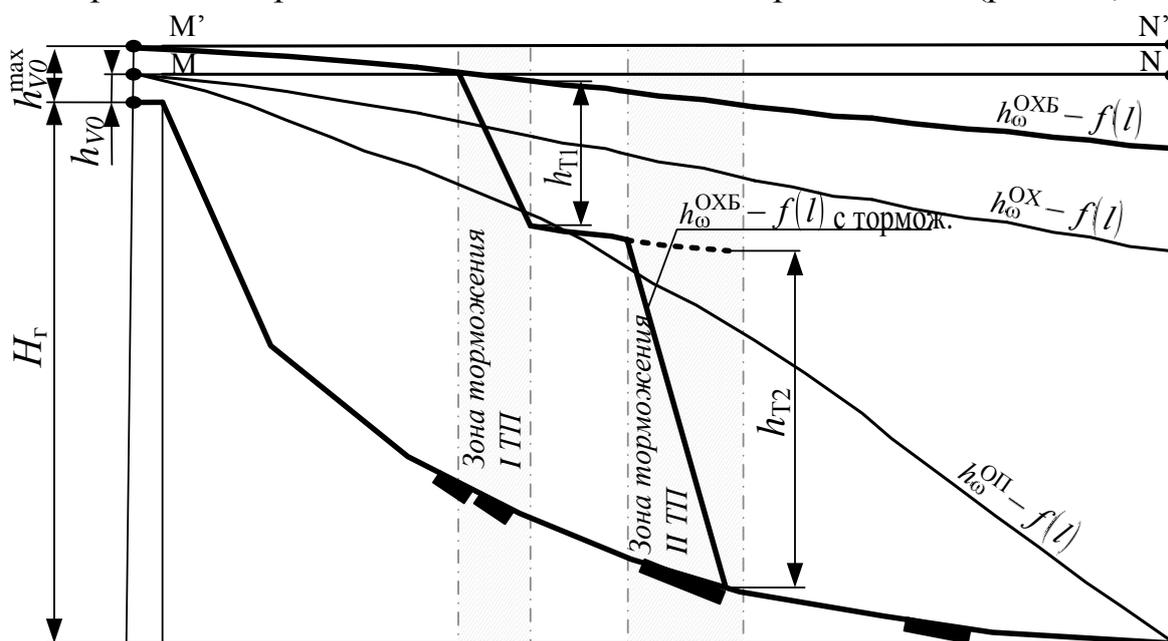


Рис. 4.3. График проверки мощности тормозных средств

Порядок выполнения:

1) строится кривая потерь энергетической высоты ОХБ без торможения $h_{\omega}^{\text{ОХБ}} - f(l)$;

2) на I ТП торможение ОХБ осуществляется до уровня $h_{Г1}$, не превышающего мощности одного замедлителя;

3) на II ТП (пучковой) погашаемая энергетическая высота $h_{Г2}$ должна соответствовать суммарной мощности замедлителей на данной позиции. При этом необходимо выполнение условия $h_{Г2}^{\text{max}} \leq h_{Г2} \leq h_{Г2}^{\text{нал}}$.

Проверка будет считаться выполненной, если линия потерь энергетических высот $h_{\omega}^{\text{ОХБ}}$ с торможением пересечет линию профиля в зоне торможения II ТП.

Если проверка не выполняется, тогда мощность тормозных средств на спускной части горки не является достаточной. В таком случае, необходимо принять меры, обеспечивающие потребную мощность тормозных позиций и безопасность роспуска составов.

4.4. Построение кривых скоростей скатывания бегунов

Имея профиль спускной части горки и линию h_{ω} , можно получить масштабные величины остаточных энергетических высот h_v в любой точке, измерив по вертикали расстояние между линией профиля и кривой h_{ω} , начиная

от вершины горки, через каждые 10 м для соответствующего бегуна. Скорость отцепа в любой рассматриваемой точке можно определить по формуле (1.16), и все расчеты свести в табл. 4.2. Таких таблиц необходимо составить две, отдельно для ОХ (X) и ОП.

Таблица 4.2

Определение скорости и времени скатывания бегуна ОП (ОХ или X)

Номера точек	h_{Vi} , м.э.в.	$V_i = \sqrt{2g'h_{Vi}}$, м/с	V_{cp} , м/с	$t_{yч} = \frac{\Delta S}{V_{cp}}$, с	$\Delta t_{yч}$, с, (с нарастающим итогом)
0	h_0	V_0	$\frac{V_0 + V_1}{2}$	t_1	t_1
1	h_1	V_1			
2	h_2	V_2	$\frac{V_1 + V_2}{2}$	t_2	$t_1 + t_2$
3	h_3	V_3	$\frac{V_2 + V_3}{2}$	t_3	$t_1 + t_2 + t_3$
...	$\frac{V_3 + V_4}{2}$	t_4	$t_1 + t_2 + t_3 + t_4$
...

От нулевой линии основания профиля (рис. 4.4) вверх по линии высоты горки в масштабе скоростей (в 1 см – 1 м/с) необходимо отложить расстояние, равное начальной скорости роспуска (табл. 1.2, подразд. 1.3), соответствующее типу сортировочной горки, и рассчитанные значения скоростей в каждой точке. При соединении полученного семейства точек обозначится кривая $V = f(l)$.

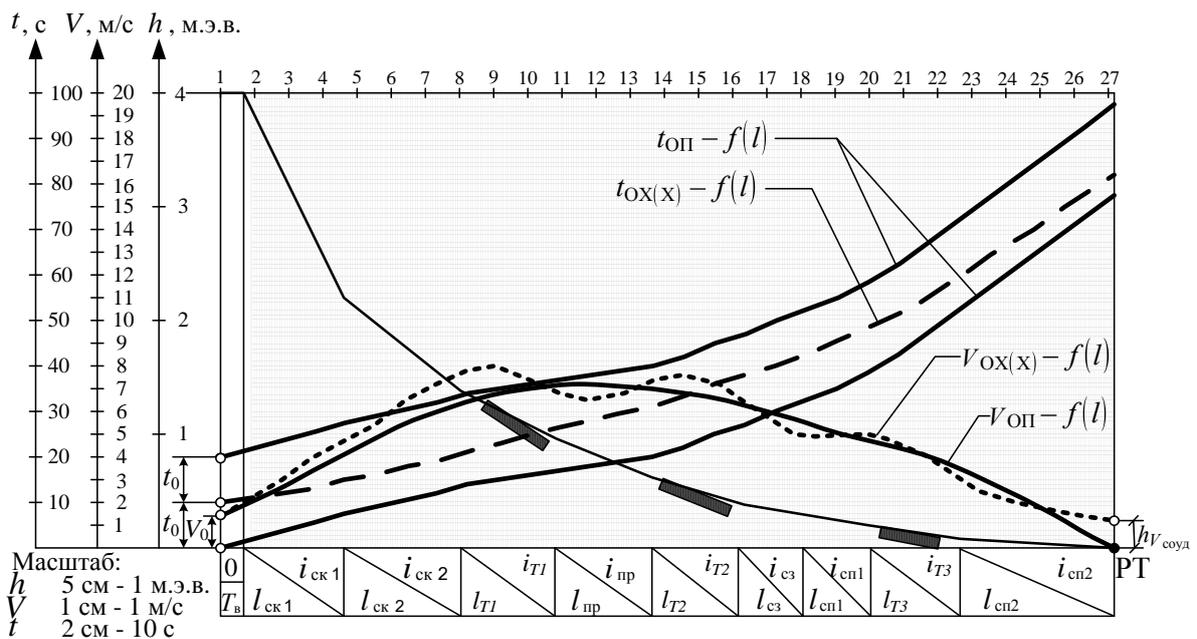


Рис. 4.4. Кривые скорости и времени

Кривые скорости строятся для условий скатывания ОП (П) и ОХ (Х) бегунов с торможением в зависимости от мощности горки. При этом необходимо заметить, что кривые скорости для обоих бегунов начинаются в одной точке, равной значению скорости роспуска.

4.5. Построение кривых времени хода бегунов

Имея кривые скоростей, можно построить кривые времени скатывания бегунов. Для этого на каждом десятиметровом участке определяются приращения времени хода

$$\Delta t_{\text{уч}} = \frac{10}{V_{\text{ср}}}, \quad (4.1)$$

где $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения на 10-метровом участке, м/с, определяемая как полусумма начальной и конечной скоростей участка (табл. 4.2).

Общее время хода бегуна рассчитывается суммированием приращений $\Delta t_{\text{уч}}$.

Следует отметить, что если отсчет времени первого бегуна начинается с нуля, то следующего за ним второго бегуна от времени t_0 .

Интервал между отцепами на вершине горки t_0 , с, определяется по формуле

$$t_0 = \frac{l_{\text{ОП}} + l_{\text{Х}}}{2V_0} \quad \text{или} \quad t_0 = \frac{l_{\text{ОП}} + l_{\text{ОХ}}}{2V_0}, \quad (4.2)$$

где $l_{\text{ОП}}$ – длина очень плохого бегуна, 14,73 м; $l_{\text{ОХ}}$, $l_{\text{Х}}$ – длина очень хорошего и хорошего бегуна, 13,92 м; V_0 – расчетная скорость роспуска состава, м/с, принимается из табл. 1.2, подразд. 1.3.

Для построения кривых времени величины $\Delta t_{\text{уч}}$ последовательно суммируются и откладываются в масштабе времени (2 см – 10 с) от горизонтальной линии основания профиля в конце каждого рассматриваемого участка (рис. 4.4).

Для удобства определения интервалов между отцепами рекомендуется построить две кривые времени хода ОП (П) $t^{\text{ОП}} - f(\zeta)$ и одну – ОХ (Х) $t^{\text{ОХ}} - f(\zeta)$ с торможением. Первая кривая $t^{\text{ОП}} - f(\zeta)$ строится из нулевой точки, кривая $t^{\text{ОХ}} - f(\zeta)$ или $t^{\text{Х}} - f(\zeta)$ – из точки, приподнятой вверх по шкале времени на интервал между отцепами на вершине горки t_0 , вторая кривая $t^{\text{ОП}} - f(\zeta)$ – из точки, отстоящей от нулевой на величину $2t_0$.

Графическое изображение кривых скорости и времени представлено на рис. 4.4.

4.6. Анализ фактических и потребных интервалов между отцепами

К важным технологическим горочным расчетам относятся определение фактических интервалов между отцепами на разделительных стрелках и тормозных позициях, их сопоставление с потребными величинами интервалов и установление на этой основе оптимального режима торможения. Проверка достаточности интервалов выполняется для комбинаций бегунов ОП (П) – ОХ(Х) – ОП (П) с использованием кривых скорости и времени скатывания.

Положение отцепов в моменты входа на разделительные элементы и выхода из них показаны на рис. 4.5.

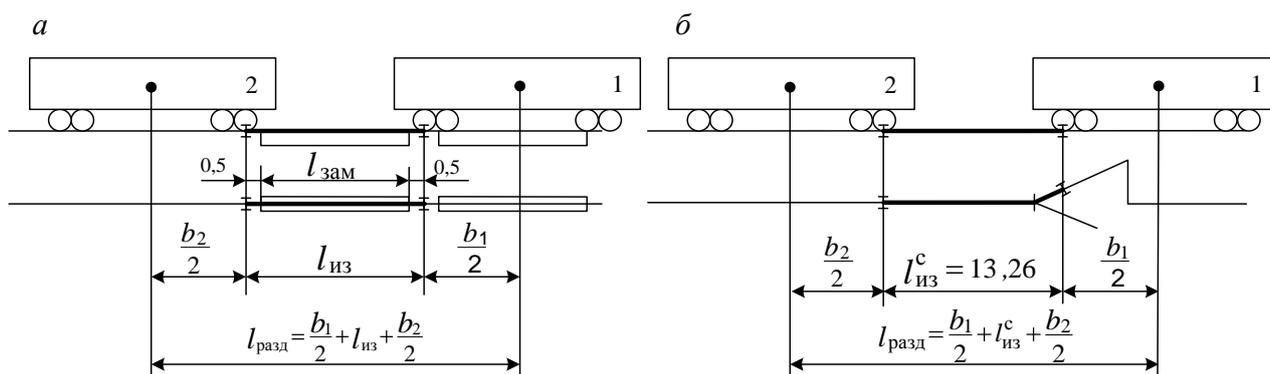


Рис. 4.5. Схемы для определения положений отцепов на разделительных элементах: *а* – замедлителях; *б* – стрелочных переводах

Границы зон торможения соответствуют положениям центра тяжести отцепов в моменты входа на тормозную позицию и выхода из нее, поэтому их назначают на расстоянии половины базы вагона от начала и конца балок замедлителей, уложенных на тормозной позиции.

Для проверки перевода разделительных стрелок надо знать минимальное расстояние между отцепами, фактические интервалы между отцепами и скорость следования второго отцепа.

Если маршруты следования двух смежных отцепов разделяются на стрелочном переводе (рис. 4.6), то наименьшее расстояние между центрами тяжести этих отцепов должно удовлетворять условию:

$$l_{\text{разд}} = b_1/2 + l_{\text{из}}^c + b_2/2, \quad (4.3)$$

где $l_{\text{из}}^c$ – длина стрелочного изолированного участка, 13,26 м; b_1 , b_2 – длина колесной базы соответственно 1-го и 2-го отцепов, м.

При проверке интервалов между отцепами на разделительных стрелках следует использовать соотношение:

$$\Delta t = T_{\text{вх}2} - T_{\text{вых}1} - t_{\text{ин}} \geq 0, \quad (4.4)$$

где $T_{\text{вх}2}$ – время хода второго отцепа от ВГ до точки входа в разделительный элемент (определяется по кривой $t-f$ для соответствующего бегуна), с; $T_{\text{вых}1}$ – время хода первого отцепа от ВГ до точки, соответствующей выходу из разделительного элемента (определяется по кривой $t-f$ для соответствующего бегуна), с; $t_{\text{ин}}$ – инерционность ГАЦ, принимается 1 с.

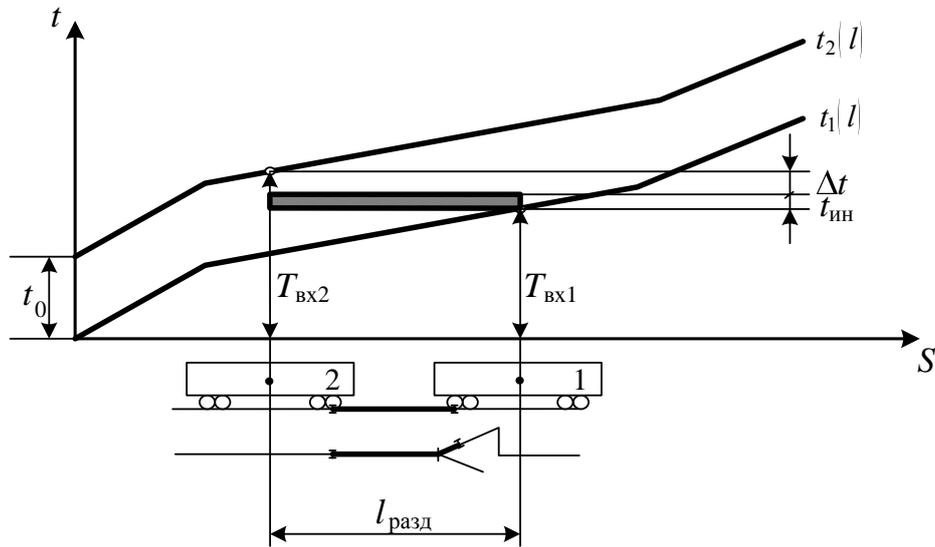


Рис. 4.6. Схема проверки разделения отцепов на стрелочных переводах

Необходимое расстояние для разделения отцепов на замедлителях (рис. 4.7) должно составлять:

$$l_{\text{разд}} = b_1/2 + l_{\text{из}} + b_2/2, \quad (4.5)$$

где $l_{\text{из}}$ – длина изолированной секции одного самостоятельного управляемого замедлителя.

При проверке интервалов между отцепами на замедлителях следует использовать соотношение:

$$\Delta t = T_{\text{вх}2} - T_{\text{вых}1} - t_{\text{пш}} \geq 0, \quad (4.6)$$

где $t_{\text{пш}}$ – время перевода шин замедлителя из одного положения в другое: при сочетании бегунов ОП-ОХ – $t_{\text{пш}}$ – время на затормаживание замедлителей. При сочетании ОХ-ОП – $t_{\text{пш}}$ – время на оттормаживание замедлителя. $t_{\text{пш}}$ определяется согласно табл. 2.4, подразд. 2.6.

В случае невыполнения проверок следует выбрать другие режимы торможения ОХ на всех тормозных позициях и выполнить проверки повторно.

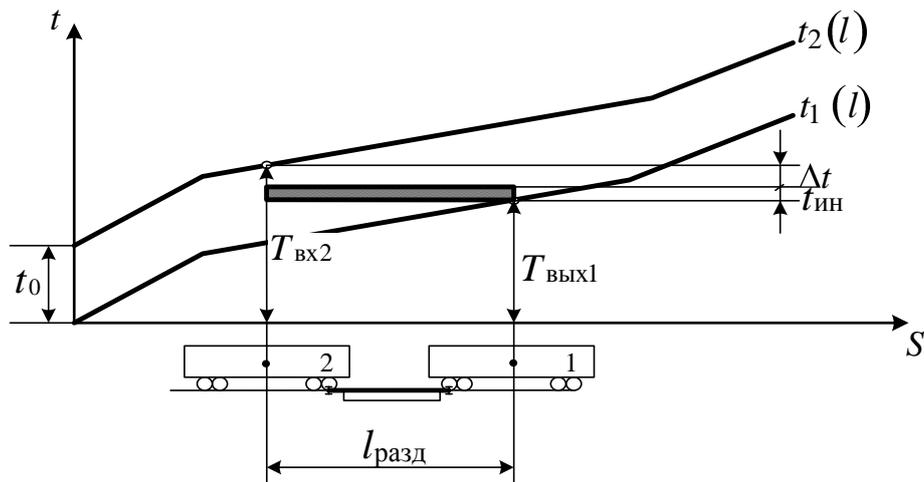


Рис. 4.7. Схема проверки разделения отцепов на замедлителях

При реализации разделения отцепов на стрелках и замедлителях выбранный режим торможения ОХ и запроектированный продольный профиль сортировочной горки обеспечивают заданную скорость роспуска.

Расчет интервалов для комбинаций бегунов ОП (П) – ОХ(Х) и ОХ(Х) – ОП (П) рекомендуется выполнить в виде табл. 4.3.

Таблица 4.3

Проверка возможности перевода стрелок и шин замедлителей при скатывании бегунов в сочетании ОП-ОХ(Х), ОХ(Х)-ОП

Разделительный элемент	$T_{вх2}, c$	$T_{вых1}, c$	Потребный интервал $t_{ин}$ или $t_{пш}, c$	$\Delta t, c$
ОП-ОХ(Х)				
СП 1			$t_{ин}$	
СП 2			$t_{ин}$	
ТП I			$t_{пш}$	
СП 3			$t_{ин}$	
...
ОХ(Х)-ОП				
СП 1			$t_{ин}$	
...
...

Таким образом, фактический интервал между отцепами на разделительном элементе можно определить как сумму потребного интервала $t_{потр}$ (необходимого для изменения положения стрелочного перевода или шин замедлителя $t_{ин}$ или $t_{пш}$) и времени Δt :

$$t_{\phi} = t_{потр} + \Delta t. \quad (4.7)$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается сущность технологических расчетов?
2. Назовите порядок и принципы построения кривых потерянных энергетических высот.
3. Каковы особенности построения кривой потерянных энергетических высот ОХ с торможением?
4. В чем заключается проверка мощности тормозных средств?
5. Назовите порядок и принципы построения кривых скорости.
6. Назовите порядок и принципы построения кривых времени.
7. Каким образом можно определить интервал между отцепами на стрелочных переводах и тормозных позициях?

Рекомендуемая литература: [1, 4, 7, 9].

5. ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГОРКИ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЕЕ УВЕЛИЧЕНИЮ

5.1. Расчет перерабатывающей способности горки

Перерабатывающая способность горки, т.е. максимальное число вагонов, которое может быть рассортировано с горки в течение суток, определяется по формуле

$$B_{\Gamma}^{\max} = \frac{\alpha_{\text{вр}} \left(440 - \sum T_{\text{пост}} \right)}{t_{\Gamma} \mu_{\text{повт}} \left(1 + \rho_{\Gamma} \right)} B_{\text{сост}} + B_{\text{пост}}, \quad (5.1)$$

где $\alpha_{\text{вр}}$ – коэффициент, учитывающий перерывы в работе горки из-за наличия враждебных передвижений. Для объединенного парка приема односторонней сортировочной станции, а также при расположении транзитного парка параллельно парку приема и пропуску поездных локомотивов через предгорочную горловину принимается 0,95, а в остальных случаях – 0,97; $\sum T_{\text{пост}}$ – время технологических перерывов в работе горки для профилактического осмотра и ремонта горочного оборудования, смены бригад и экипировки горочных локомотивов, сортировки вагонов, поступающих из вагонного депо, с грузового двора и др. (90–120 мин); t_{Γ} – горочный технологический интервал, т.е. время занятия горки операциями по заезду за составом, надвигу, роспуску его, а также формированию и осаживанию вагонов, приходящееся на один состав, мин.; $\mu_{\text{повт}}$ – коэффициент, учитывающий повторную сортировку части вагонов из-за недостатка в периоды сгущенного поступления поездов числа и длины сортировочных путей, $\mu_{\text{повт}} = 1,05$; ρ_{Γ} –

коэффициент, учитывающий отказы технических устройств, нерасцепы вагонов и др. Его значение зависит от типа и интенсивности использования горки, типа замедлителей и составляют от 0,04 до 0,12; $B_{\text{сост}}$ – среднее число вагонов в составе; $B_{\text{пост}}$ – количество вагонов с путей ремонта, грузового двора и др., распускаемых с горки за время $\sum T_{\text{пост}}$.

Основным элементом, подлежащим расчету при определении перерабатывающей способности горки, является горочный технологический интервал t_{Γ} , зависящий от числа работающих на горке локомотивов, взаимного расположения парков приема и сортировки, режимов роспуска составов (последовательный или параллельный).

При работе на горке одного локомотива:

$$t_{\Gamma} = t_3 + t_{\text{надв}} + t_{\text{росп}} + t_{\text{ос}}. \quad (5.2)$$

При работе на горке двух локомотивов:

$$t_{\Gamma} = t_{\text{росп}} + t_{\text{ос}}, \text{ если } t_3 + t_{\text{надв}} \leq t_{\text{росп}} \quad (5.3)$$

или
$$t_{\Gamma} = t_3 + t_{\text{надв}} + t_{\text{ос}}, \text{ если } t_3 + t_{\text{надв}} > t_{\text{росп}}, \quad (5.4)$$

где t_3 , $t_{\text{надв}}$, $t_{\text{росп}}$ – соответственно время на заезд локомотива, надвиг и роспуск состава, мин; $t_{\text{ос}}$ – время осаживания вагонов в сортировочном парке горочными локомотивами, приходящееся на один состав, которое можно принимать 3–6 мин.

Время на заезд локомотива определяется:

$$t_3 = t_{\text{м}} + \frac{l_3}{16,7V_3}, \quad (5.5)$$

где $t_{\text{м}}$ – время на приготовление маршрута, мин ($t_{\text{м}} = 0,15 \dots 0,20$ мин); V_3 – средняя скорость локомотива при заезде ($V_3 = 15 \dots 20$ км/ч); l_3 – расстояние, проходимое локомотивом при заезде, м:

- при последовательном расположении парков приема и сортировочного

$$l_3 = l_{\text{надв}} + l_{\text{вых}}^{\Gamma} + l_0 + 2l_{\text{вх}}^{\Gamma}, \quad (5.6)$$

- при параллельном расположении парков приема и сортировочного

$$l_3 = l_{\text{надв}} + l_{\text{с}} + l_{\text{вых}}^{\Gamma}, \quad (5.7)$$

где $l_{\text{надв}}$ – длина пути надвига, м; $l_{\text{вых}}^{\Gamma}$ – длина выходной горловины парка приема, м; l_0 – полезная длина приемоотправочных путей; $l_{\text{вх}}^{\Gamma}$ – длина входной горловины парка приема, м; $l_{\text{с}}$ – длина соединительного пути между парками приема и сортировочным.

Время надвига определяется:

- при последовательном расположении парков приема и сортировочного

$$t_{\text{надв}} = \frac{l_{\text{ВЫХ}}^{\Gamma} + l_{\text{надв}}}{16,7V_{\text{надв}}}, \quad (5.8)$$

- при параллельном расположении парков приема и сортировочного

$$t_{\text{надв}} = \frac{l_{\text{ВЫХ}}^{\Gamma} + l_{\text{с}} + l_0 + l_{\text{надв}}}{16,7V_{\text{надв}}}, \quad (5.9)$$

где $V_{\text{надв}}$ – средняя скорость надвига состава на горку, км/ч ($V_{\text{надв}} = 5 \dots 10$ км/ч).

Время роспуска определяется по формуле

$$t_{\text{росп}} = \frac{l_{\text{в}} m_{\text{ср}}}{16,7V_{\text{росп}}}, \quad (5.10)$$

где $l_{\text{в}}$ – длина вагона, м (принимается 15 м); $m_{\text{ср}}$ – среднее количество вагонов в составе; $V_{\text{росп}}$ – средняя скорость роспуска состава, км/ч.

Средняя скорость роспуска определяется по каждому стрелочному переводу по формуле

$$V_{\text{р}}^{\text{ср}} = \sum p_i V_i, \quad (5.11)$$

где p_i – вероятность, с которой отцеп будет отклонен по стрелке; V_i – скорость отцепа на каждом стрелочном переводе, м/с.

Наибольшее ее значение на первой разделительной стрелке, а наименьшее на последней. При этом, средняя скорость роспуска не должна превышать максимально допустимой по условиям табл. 1.2.

Вероятности отклонения отцепов на каждом стрелочном переводе по формуле

$$p = \frac{m_i}{m_{\text{с}} - 1}, \quad (5.12)$$

где m_i – число путей сортировочного парка, на которое может попасть вагон при отклонении по этой стрелке; $m_{\text{с}}$ – общее число путей в сортировочном парке.

Например, для стрелочных переводов горловины, изображенной на рис. 5.1, вероятности определяются следующим образом:

$$p_1 = \frac{4}{8-1} = \frac{4}{7}; \quad p_2 = \frac{2}{8-1} = \frac{2}{7}; \quad p_3 = \frac{1}{8-1} = \frac{1}{7}.$$

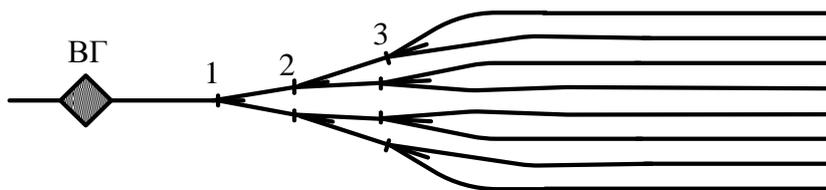


Рис. 5.1. Пример горловины сортировочного парка для определения вероятностей отклонения отцепов

Результаты расчетов рекомендуется свести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Определение средней скорости роспуска

Номер стрелочного перевода	$t_{\phi}, \text{с}$	Скорость на стрелочном переводе $V_{\text{СП}i} = l_{\text{разд}}/t_{\phi}, \text{м/с}$	Вероятность отклонения p_i	$p_i V_i$
СП1				
СП2				
...				
				$V_p^{\text{cp}} = \sum p_i V_i$

Средняя скорость роспуска должна удовлетворять ограничению по условию расцепки вагонов: $V_p^{\text{cp}} \leq 2,5 \text{ м/с}$.

При работе на горке трех и более локомотивов для определения t_{Γ} необходимо составить технологический график на полный цикл работы горки, который позволит выявить основные связи между операциями. По этому графику определяется продолжительность цикла $T_{\text{ц}}$, число составов, распускаемых с горки за один цикл $n_{\text{ц}}$ и величина t_{Γ} , равная $T_{\text{ц}}/n_{\text{ц}}$.

5.2. Мероприятия по увеличению перерабатывающей способности горки

Мероприятия по увеличению перерабатывающей способности горки вытекают из анализа расчетной формулы (5.1) по определению B_{Γ}^{max} . Из формулы следует, что перерабатывающую способность можно повысить за счет:

– уменьшения $\sum T_{\text{пост}}$, т.е. сокращения перерывов в работе горки (выдача подменного локомотива, смена бригад без перерыва в работе, повышение надежности горочного оборудования и внедрение методов его ускоренного ремонта);

– увеличения $\alpha_{вр}$ путем снижения числа враждебных пересечений посредством укладки параллельных ходов в предгорочной горловине, устройства петлевого подхода для приема поездов направления, встречного сортировке, шлюза в предгорочной горловине или путепровода под горкой для пропуска поездных локомотивов в депо и др.;

– увеличения $B_{сост}$ путем укрупнения в парке приема небольших составов сдваиванием их или добавлением отдельных групп вагонов;

– уменьшения $\mu_{повт}$ за счет увеличения числа и длины сортировочных путей;

– уменьшения ρ_r за счет повышения надежности горочного оборудования;

– сокращения горочного технологического интервала t_r , что достигается:

1) увеличением числа горочных локомотивов;

2) сокращением интервалов между роспусками составов за счет сооружения дополнительных путей надвига, уменьшения времени на осаживание, заменой его подтягиванием со стороны хвостовой горловины сортировочного парка и др.;

3) применением переменной скорости роспуска в зависимости от длины отцепов и маршрутов их следования;

4) увеличением темпа сортировки за счет пересмотра специализации подгорочных путей и уменьшения вероятности разделения отцепов на последних разделительных стрелках;

5) применением параллельного роспуска составов.

Из всех перечисленных мероприятий наибольший прирост перерабатывающей способности обеспечивает увеличение числа горочных локомотивов и применение параллельного роспуска составов.

Параллельный роспуск требуется организовывать при переработке свыше 4–5 тыс. вагонов в сутки. Он характеризуется следующими особенностями:

- при одновременном роспуске составов по двум спускным путям горки каждый из них работает как самостоятельная технологическая линия;

- вагоны в параллельно распускаемых составах, имеющие назначение на пути другой секции подгорочного парка, направляются на специально выделенные в каждой половине сортировочного парка отсевные пути и затем повторно сортируются по назначениям плана формирования;

- из-за неравномерного прибытия поездов с вагонами в левую и правую секции сортировочного парка и поездов с большим числом вагонов перекрестного потока часть составов расформировывается в режиме последовательного роспуска.

Для параллельного роспуска составов на станции необходимо иметь:

- не менее двух путей надвига;

- не менее двух путей роспуска;
- не менее двух горочных локомотивов;
- строгую специализацию сортировочного парка для четного и нечетного направления;
- отсевные пути для углового вагонопотока в каждой специализированной части сортировочного парка.

Эффективность параллельного роспуска в значительной степени зависит от соотношения размеров грузового и негрузового направления, структуры вагонопотоков и доли вагонов перекрестного потока. Считается целесообразным применение параллельного роспуска, когда доля углового потока составляет не более 10 %.

Для снижения доли повторной переработки рекомендуются следующие мероприятия:

- выделение общего среднего пучка сортировочного парка;
- введение строгой специализации путей сортировочного парка, при которой повторная переработка исключится или будет минимальной;
- предварительная подготовка составов к параллельному роспуску.

Предварительную подготовку составов можно производить на отдельной вспомогательной сортировочной или участковой станции, или на основной сортировочной станции предусмотреть дополнительные сортировочные устройства для предварительной сортировки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От чего зависит перерабатывающая способность сортировочных горок?
2. Как рассчитать среднюю скорость роспуска составов?
3. Перечислите мероприятия, направленные на увеличение перерабатывающей способности горок.
4. Когда применяется параллельный роспуск составов? Каковы условия организации параллельного роспуска?
5. Назовите мероприятия, позволяющие сократить горочный технологический интервал.

Рекомендуемая литература: [1, 3, 5, 6, 9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сортировочные устройства являются одним из значимых элементов, от стабильной работы которых зависит перерабатывающая способность станций. Для четкой организации работы технических станций необходимо знать назначение и классификацию каждого вида сортировочных устройств, их роль в производственном процессе.

На современном этапе большое значение уделяется модернизации сортировочных горок. Важным критерием в этом вопросе является комплексный подход к проектированию и расчету сортировочных устройств. Как правило, в изданной методической литературе, недостаточно внимания уделяется технологическим расчетам, которые позволяют проверить работоспособность запроектированной горки. В данной работе подробно представлен материал для анализа проверки интервалов между отцепами на спускной части сортировочной горки.

Одним из главных параметров работы сортировочных станций является перерабатывающая способность горки. В пособии предлагается не только алгоритм расчета перерабатывающей способности, но также мероприятия по ее увеличению.

Учебное пособие представляет собой самостоятельный раздел дисциплины «Железнодорожные станции и узлы». Для его написания были использованы последние нормативные документы и инструкции, перечень которых приведен в списке литературы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм / МПС. – М. : Техинформ, 2003. – 168 с.
2. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм / МПС РФ. – М. : Техинформ, 2001. – 255 с.
3. Строительно-технические нормы МПС РФ. Железные дороги колеи 1520 мм СТН Ц-01-95. – М. : МПС, 1995. – 87 с.
4. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю.А. Муха [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 220 с
5. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) : учеб. / Н.В. Правдин [и др.]. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на желез. транспорте», 2012. – 1086 с.
6. Железнодорожные станции и узлы : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / В.Г. Шубко [и др.] ; под ред. В.Г. Шубко и Н.В. Правдина. – М. : УМК МПС России, 2002. – 368 с.
7. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / Н.В. Правдин [и др.] ; под ред. Н.В. Правдина и В.Г. Шубко. – М. : Маршрут, 2005. – 502 с.
8. Железнодорожные станции и узлы : учеб. пособие / Ю.И. Ефименко [и др.]. – СПб. : ПГУПС, 1996. – 202 с.
9. Иванкова, Л.Н. Проектирование сортировочных горок : учеб. пособие / Л.Н. Иванкова, А.Н. Иванков. – Иркутск : ИрИИЖТ, 2003. – 31 WEB-страница.
10. Червотенко, Е.Э. Проектирование сортировочных станций с горками большой и средней мощности : учеб. пособие / Е.Э. Червотенко, Е.Н. Крикунова. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2002. – 112 с.
11. Куклев, Д.Н. Проектирование плана головы сортировочного парка с использованием графического редактора AUTOCAD : метод. пособие / Д.Н. Куклев, Н.В. Медведева. – Хабаровск : Изд. ДВГУПС, 2010. – 40 с.
12. Проектирование сортировочных станций : учеб. пособие / Е.Э. Червотенко [и др.] ; под ред. Е.Э. Червотенко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2013 – 80 с.
13. Проектирование сортировочных горок большой и средней мощности : учеб. пособие / Ю.И. Ефименко [и др.]. – СПб. : ПГУПС, 1996. – 202 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СОРТИРОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
1.1. Назначение и классификация сортировочных устройств	4
1.2. Оборудование сортировочных горок	5
1.3. Основные элементы и параметры сортировочной горки	7
1.4. Основы динамики скатывания вагонов с горки. Понятие энергетической высоты	9
1.5. Сопротивления движению вагонов и удельная работа сил сопротивления ..	14
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ И ПОДГОРОЧНОЙ ГОРЛОВИНЫ СОРТИРОВОЧНОГО ПАРКА	19
2.1. Основные требования	19
2.2. Конструктивные элементы плана головы сортировочного парка	21
2.3. Проектирование плана горочной горловины сортировочного парка	27
2.4. Координирование основных точек плана	30
2.5. Определение трудного и легкого пути по условиям скатывания. Составление плана (развертки) трудного пути	32
2.6. Характеристика и принцип действия вагонных замедлителей	33
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ	38
3.1. Проектирование профиля надвижной и перевальной частей горки	38
3.2. Исходные данные и условия для расчета высоты сортировочной горки	40
3.3. Определение расчетной высоты	41
3.4. Комплексное проектирование высоты и продольного профиля спускной части горки	42
3.5. Расчет мощности тормозных средств. Выбор числа замедлителей на тормозных позициях	51
4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	56
4.1. Назначение технологических расчетов	56
4.2. Построение кривых энергетических высот	56
4.3. Графическая проверка мощности тормозных средств	61
4.4. Построение кривых скоростей скатывания бегунов	61
4.5. Построение кривых времени хода бегунов	63
4.6. Анализ фактических и потребных интервалов между отцепами	64
5. ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГОРКИ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЕЕ УВЕЛИЧЕНИЮ	67
5.1. Расчет перерабатывающей способности горки	67
5.2. Мероприятия по увеличению перерабатывающей способности горки	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	74

Учебное издание

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Учебное пособие

Червотенко Елена Эдуардовна; **Куклев** Денис Николаевич;
Куклева Наталья Владимировна; **Калинина** Анна Робертовна

Под редакцией Е.Э. Червотенко

Редактор *Г.Ф. Иванова*
Технический редактор *И.А. Нильмаер*

План 2014 г. Поз. 2.10. Подписано в печать 05.06.2014 г.
Формат 60×84¹/₁₆. Гарнитура «Times New Roman». Уч.-изд. л. 4,8.
Усл. печ. л. 4,4. Зак. 92. Тираж 155 экз. Цена 123 руб.

Издательство ДВГУПС
680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Учебное пособие

Хабаровск

2014
