

**РОСЖЕЛДОР**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Ростовский государственный университет путей сообщения»**  
**(ФГБОУ ВО РГУПС)**

---

О.Н. Числов, В.А. Лебедева, В.В. Хан

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ**  
**СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК**

Учебное пособие

Издание третье, переработанное и дополненное

*Утверждено учебно-методическим советом университета*

Ростов-на-Дону  
2017

УДК 656.212.5 + 06

Рецензенты: доктор технических наук, профессор Ю.И. Ефименко  
(ПГУПС Императора Александра I);  
начальник технического отдела Сев.-Кав. дирекции управления  
движением – филиал ОАО «РЖД» И.А. Сарапулов

**Числов, О.Н.**

Проектирование и расчет сортировочных горок: учеб. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. / О.Н. Числов, В.А. Лебедева, В.В. Хан; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 83 с.

ISBN

В пособии рассматриваются вопросы, связанные с расчетом плана и профиля сортировочных горок большой и средней мощности, определением высот и мощности тормозных средств. Приводятся схемы пучков и голов сортировочных парков для различного количества путей, содержатся рекомендации по выполнению горочных расчетов на ПЭВМ, составлению расчетной таблицы для графоаналитической проверки продольного профиля спускной части горки. Приводится методика анализа кривых скоростей и времени роспуска расчетных бегунов для проверки запроектированного профиля спускной части горки и даются необходимые расчеты.

Предназначено для студентов всех форм обучения при выполнении курсового проекта по дисциплине «Железнодорожные станции и узлы (часть III)», а также дипломных проектов по специальности «Эксплуатация железных дорог». Также пособие будет полезно специалистам, занимающимся вопросами реконструкции и проектирования сортировочных горок большой и средней мощности реальных железнодорожных станций.

Одобрено к изданию кафедрой «Станции и грузовая работа».

ISBN

© Числов О.Н., Лебедева В.А., Хан В.В., 2017  
© ФГБОУ ВО РГУПС, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Проектирование плана головы сортировочного парка .....	5
1.1 Основные требования и технические нормы .....	5
1.2 Соединения путей в пучках и составление типовой схемы головы сортировочного парка. Определение углов поворота пучков .....	14
1.2.1 Расчет элементов внутреннего (первого) пучка путей .....	17
1.2.2 Расчет элементов внешнего (второго) пучка путей .....	18
1.2.3 Расчет элементов горочных горловин сортировочных парков при других схемах взаимной укладки пучков .....	18
1.3 Примеры схем подгорочных горловин сортировочных парков, повышающих эффективность параллельного роспуска составов .....	22
1.4 Графическое построение масштабного плана головы сортировочного парка .....	26
2 Определение высоты сортировочной горки .....	31
3 Проектирование продольного профиля надвижной и спускной частей сортировочной горки .....	36
4 Расчет мощности тормозных позиций на спускной части сортировочной горки .....	43
5 Проверка продольного профиля спускной части сортировочной горки .....	46
5.1. Расчет и построение кривых энергетических высот, скорости и времени скатывания вагонов с горки .....	46
5.2. Анализ кривых скорости и времени скатывания расчетных бегунов с горки .....	52
6 Расчет перерабатывающей способности сортировочной горки .....	57
7 Автоматизированный учебно-методический комплекс проектирования и расчета сортировочных горок .....	62
8 Перспективные направления развития горочных сортировочных процессов .....	73
Библиографический список .....	81

## ВВЕДЕНИЕ

Наиболее сложным при изучении курса «Железнодорожные станции и узлы» с точки зрения глубокого понимания, осмысления, а затем и умения является раздел, посвященный проектированию и расчету сортировочных горок. Это связано с пространственными тригонометрическими уравнениями, описывающими планы головы сортировочных парков; громоздкостью и сложностью их решения, где для получения верного результата необходимо вести расчеты с точностью до седьмого знака после запятой и вычисления углов поворота в кривых с точностью до секунды; трудностью изучения и понимания теоретических основ динамики и регулирования скоростей скатывающихся вагонов с горки и т.п.

Поэтому, на наш взгляд, целесообразно этот раздел курса изложить более детально, чему и посвящается данное учебное пособие.

В зависимости от размеров и характера перерабатываемых вагонопотоков на станциях для сортировки вагонов применяются: сортировочные горки повышенной, большой, средней и малой мощности; полугорки; вытяжные пути специального профиля и стрелочные горловины на уклоне; вытяжные пути и стрелочные горловины на площадке.

Сортировочные горки повышенной мощности проектируются при переработке не менее 5500 вагонов в сутки или при числе путей в сортировочном парке более 40.

Горки большой мощности проектируются при переработке от 3500 до 5500 вагонов в сутки, при числе сортировочных путей от 30 до 40.

Горки средней мощности проектируются при среднесуточной переработке от 1500 до 3500 вагонов и наличии в сортировочном парке от 17 до 29 путей.

Горки малой мощности проектируются при переработке от 250 до 1500 вагонов в сутки и наличии от 8 до 16 путей в сортировочном парке.

При меньших размерах сортировки проектируются полугорки, вытяжные пути специального профиля, стрелочные горловины на уклоне или площадке.

# 1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА ГОЛОВЫ СОРТИРОВОЧНОГО ПАРКА

## 1.1 Основные требования и технические нормы

Основным элементом сортировочной горки является ее путевое развитие (план и продольный профиль), от правильности расчета и построения которого зависит как производительность, так и безопасность работы на сортировочной горке. Поэтому к планам головы сортировочных парков предъявляется ряд требований, которые известны специалистам – проектировщикам. Рационально запроектированная голова сортировочного парка (ГСП) с точки зрения эксплуатационных и технико-экономических требований должна обеспечивать:

1) наименьшую длину (следовательно, и наименьшее время) пробега вагонов от вершины горки (ВГ) до предельного столбика наиболее удаленной разделительной стрелки подгорочной горловины СП;

2) скорейшее разделение отцепов по назначениям и сокращение тем самым длины общего пути их следования. Это позволяет повышать скорость роспуска составов, так как при большом совместном пути следования двух смежных отцепов труднее осуществить регулирование интервалов между ними;

3) одинаковое, по возможности, число стрелочных переводов и длину пробега отцепов по маршрутам следования их от ВГ до последних разделительных стрелок;

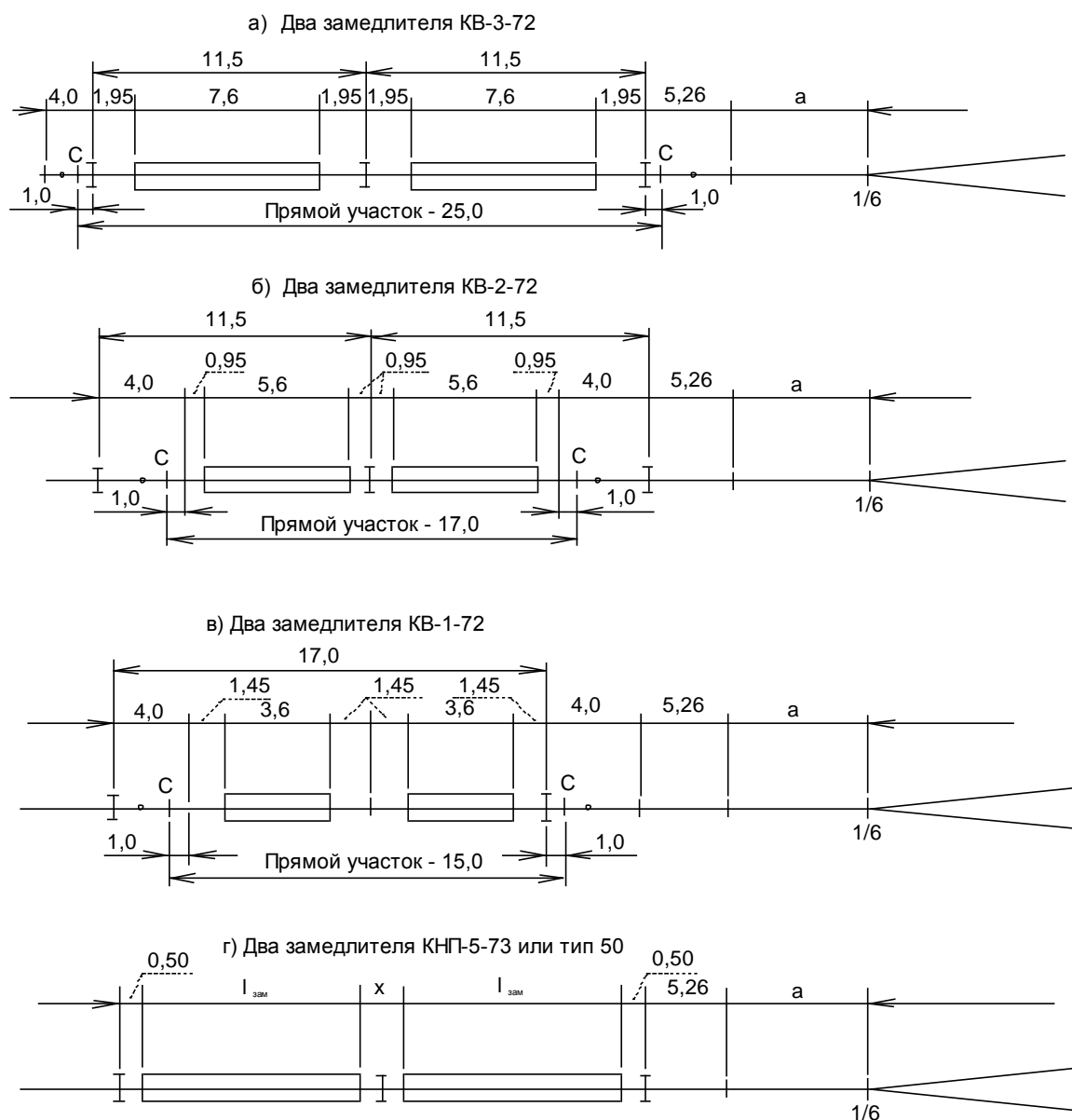
4) равную, по возможности, работу сил сопротивления при движении отцепов на различные пути пучка;

5) возможность размещения тормозных позиций (ТП) и устройств автоматизации на спускной части горки;

6) устранение таких элементов плана, как излишние искривления путей, обратные кривые, излишние стрелочные соединения и т.п., которые вызывают дополнительные сопротивления движению и увеличивают длину пробега вагонов без получения какого-либо эффекта для работы горки.

Указанным требованиям в наибольшей мере отвечает короткая пучкообразная конструкция горочной горловины сортировочного парка с числом путей в пучке от четырех до восьми. Для сокращения ее длины применяются симметричные стрелочные переводы с крестовинами марки 1/6 и перекрестные съезды с глухими пересечениями марки 2/6 с минимально допустимой по их конструкции шириной междупутья, равной 4,8 м.

При проектировании планов горочных горловин сортировочных парков необходимо предварительно рассчитать координаты всех основных точек горловины (центров стрелочных переводов, вершин углов поворота, начала и конца кривых и др.). Здесь важно заметить, что определение углов поворота кривых в горочных горловинах является, в свою очередь, достаточно сложной и трудоемкой задачей, а расчеты углов в ней ведутся с точностью до секунд.



Замедлитель	x	Длина замедлителей		
		6 зв	5 зв	4 зв
Тип 50	0,7	14,75	12,475	10,2
КНП	1,0	12,475		

Рис. 1. Минимальные длины прямых участков при разных схемах размещения вагонных замедлителей

Прежде чем рассчитать и вычертить горочную горловину сортировочного парка, необходимо решить: какие типы замедлителей разместить на тормозных позициях спускной части горки и их количество по позициям, какие пучки из

симметричных стрелочных переводов использовать и в каком порядке их размещать.

Основные эксплуатационно-технические характеристики стрелочных переводов и вагонных замедлителей, применяемых при проектировании горочных горловин сортировочных парков, приведены в табл. 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1

**Основные технико-эксплуатационные характеристики стрелочных переводов**

Наименование показателей	Величина показателей стрелочных переводов			
	P65 1/6 °	P65 1/9	P50 1/6 °	P50 1/9
Длина стрелочного перевода, м	17,538	31,039	17,542	31,061
Передний вылет рамного рельса, м	0,741	2,769	0,741	4,327
Расстояние от переднего стыка рамного рельса до ЦП, м	6,975	15,227	6,979	15,459
Расстояние от ЦП до заднего стыка крестовины, м	10,563	15,812	10,563	15,602
Радиус переводной кривой, м	200	200	200	200
Угол крестовины	9°27'45"	6°20'25"	9°27'45"	6°20'25"
Время перевода стрелок с электроприводом СПГБ-4М, с	0,55	0,65	0,50	0,60

Для исключения перевода стрелок под движущимися отцепами стрелочные переводы изолируют друг от друга и от тормозных позиций. Изолированный участок стрелки (рис. 2) состоит из предстрелочного участка  $l_{пр}$  (от изолирующего стыка до начала острьяков) и стрелочного  $l_c$  (от начала острьяков до изолирующего стыка в конце рамного рельса).

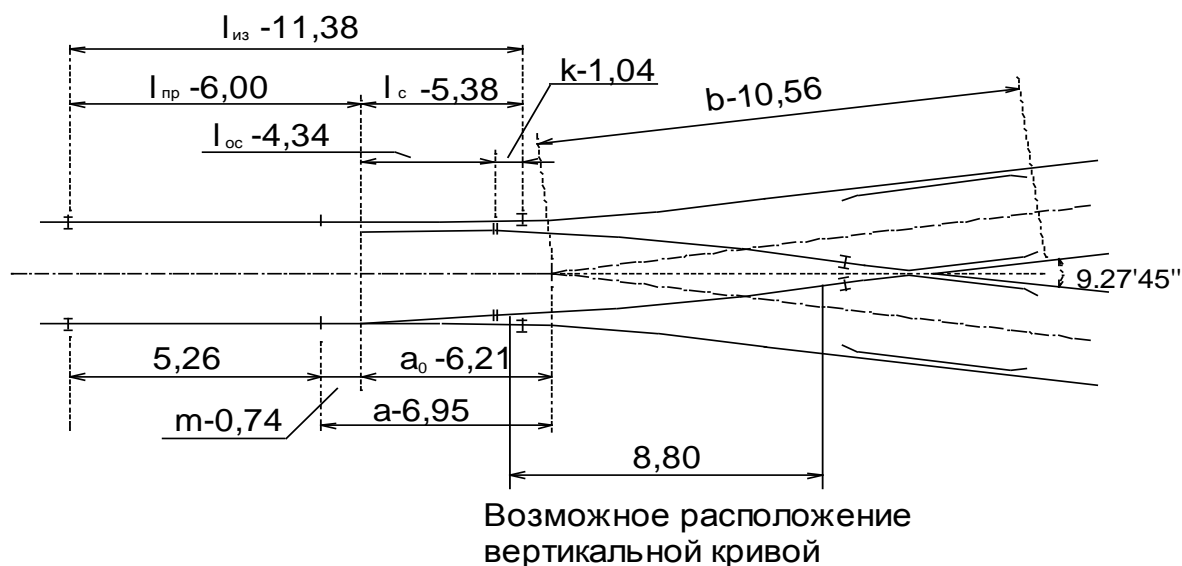


Рис. 2. Эпюра симметричного стрелочного перевода марки 1/6

Возможные схемы взаимной укладки стрелочных переводов в горочной горловине приведены на рис. 3.

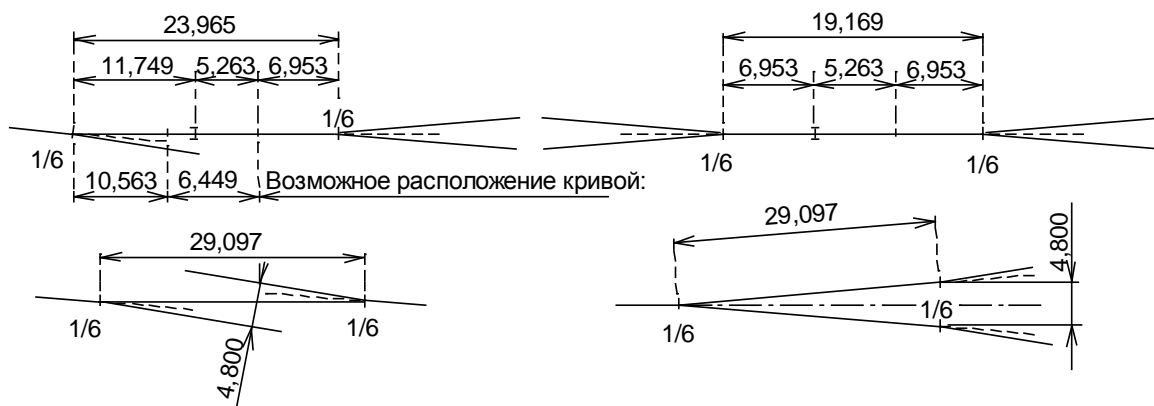


Рис. 3. Совместная укладка симметричных стрелочных переводов  
 (Примечание: возможное расположение кривой:  
 а) в плане:  $У-1^{\circ}50'52''$ ,  $R-200$ ; б) в профиле:  $\Delta i-25,8 \%$ ,  $R-250$  м)

Таблица 1.2

**Основные технико-эксплуатационные характеристики вагонных замедлителей**

Тип замедлителя	Показатели												Примечание
	Масса (без рельсов и шпал), т	Длина по балкам, м	Длина по рельсам, м	Тип рельса	Глубина заложения от УГР, м	Допустимая скорость входа, м/с	Расчетная погашаемая энергетическая высота, м	Время затормаживания, с	Время отгормаживания, с	Расход воздуха на 1 срабатывание, куб. м	Ширина конструкции, м	Удельная металлоемкость, т/мэв	
Клещевидный, Т-50: 4-звенный 5-звенный 6-звенный	22,0	10,2	10,9	P43	0,6	6,0	0,45	0,7	1,0		3,54		
	25,7	12,475	13,2			6,0	0,65	0,7	1,0				
		14,75	15,45			6,0	0,85	0,7	1,0				
Клещевидно-весовые КВ-1 КВ-2 КВ-3	16,0	3,6	8,50	P65	1,1	7,0	0,50	0,6	0,7		3,8		
	25,0	5,6	11,50			7,0	0,80	0,6	0,7				
	33,0	7,6	11,50			7,0	1,00	0,6	0,7				
Клещевидно-подъемный КНП-5	34,8	12,475	13,475	P50	0,9	7,0	1,2	0,8	1,2	1,5	3,9	29,2	Горочные
Пневмогидравлический ВЗПГ-3 ВЗПГ-5	13,0	7,9	11,50	P50,	0,9	8,0	1,0	0,7	0,6	0,4	3,25	13,0	Горочные
	23,0	12,475	13,475	P65	0,9	8,0	1,3	0,7	0,6	0,6		17,7	
Пневматический ВЗП-3 ВЗП-5	17,0	7,9	11,50	P65	0,9	8,5	1,0	0,7	0,7	0,7	3,25	17,0	Горочные
	22,0	12,475	13,475	P65	0,9	8,5	1,35	0,7	0,7	0,9		16,3	



Пневматический клещевидный КЗ-3	17,0	7,9	11,50	P65	0,9	8,5	1,1	0,8	0,7	1,0	3,25	15,5	Горочные
	КЗ-5	28,0	12,475	13,475	P65	0,9	8,5	1,5	0,8	0,7			
НК114 5-звен. 4-звен. 3-звен. 3-звен.	28,0	12,475	13,475	P65	0,9	9,0	2,2	0,6	0,6	1,1	3,25		Горочные
	21,9	10,20	11,20	P65	0,9	9,0	1,9	0,6	0,6	0,95			
	16,7	7,925	11,50	P65	0,9	9,0	1,6	0,6	0,6	0,8			
	18,7	7,925	11,50	P65	0,9	9,0	1,6	0,6	0,6	0,8			
Весовые гидравлические ЦНИИ-ЗВ однозвенный четырёхзвен.	4,5	3,2				7,0	0,25	0,7	0,3				Горочно-парковые
	18,0	15,6				7,0	0,90	1,6	0,3				
Рычажно-нажимной РНЗ-2	6,5	3,6	6,25	P50	0,5	6,0	0,35	0,7	0,6	0,25	4,84	18,6	Парковый
РНЗ-2М	7,3	3,6	6,25	P65	0,5	6,0	0,45	0,7	0,6	0,2	4,84	16,2	Парковый
ПНЗ-1	4,4	3,6	6,25	P65	0,5	6,0	0,3	0,7	0,6	0,1	4,84	14,7	Однорельсовый аналог РНЗ-2М
Пружинно-гидравлический ПГЗ-0,3Р	3,5	4,75	6,25	P65	0,36	6,0	0,45	0,3	0,2		4,84		Механизация ГММ, со сплошным уклоном, для парковых позиций

На плане горочной горловины сортировочных парков следует предусматривать укладку прямых участков пути для размещения тормозных позиций, устройства измерительных участков для определения ходовых свойств скатывающихся с горки вагонов, и по конструкционным соображениям. В пределах этих прямых участков не должны размещаться вертикальные кривые. Длина участков для замедлителей определяется в зависимости от типа и числа замедлителей. На горках повышенной, большой и средней мощности на первой тормозной позиции (ТП) резервируется место для установки двух мощных замедлителей (типов КНП-5, ВЗПГ-5, ВЗП-5), а на пучковой ТП – двух или трех замедлителей.

На рис. 1 приведены минимальные длины прямых участков  $l_{ну}$ , требующихся для тормозных позиций при разных схемах размещения на них замедлителей, с показанием расстояний до изолирующих стыков, длины замедлителей, переходных вставок и др. В пределах этих прямых участков не должны заходить также и вертикальные кривые.

Длина изолированной секции на тормозных позициях и для стрелочных переводов должна быть не менее 11,38 м (округленно – 11,5 м). Поэтому для клещевидно-весовых замедлителей (КВ) с различным числом секций приняты разные расстояния от конца замедлителя до ближайшего стыка, чтобы обеспечить требуемую длину изолированной секции: для односекционного замедлителя КВ-1 оно равно 1,45 м, двухсекционного КВ-2 – 0,95, трехсекционного КВ-3 – 1,95 м.

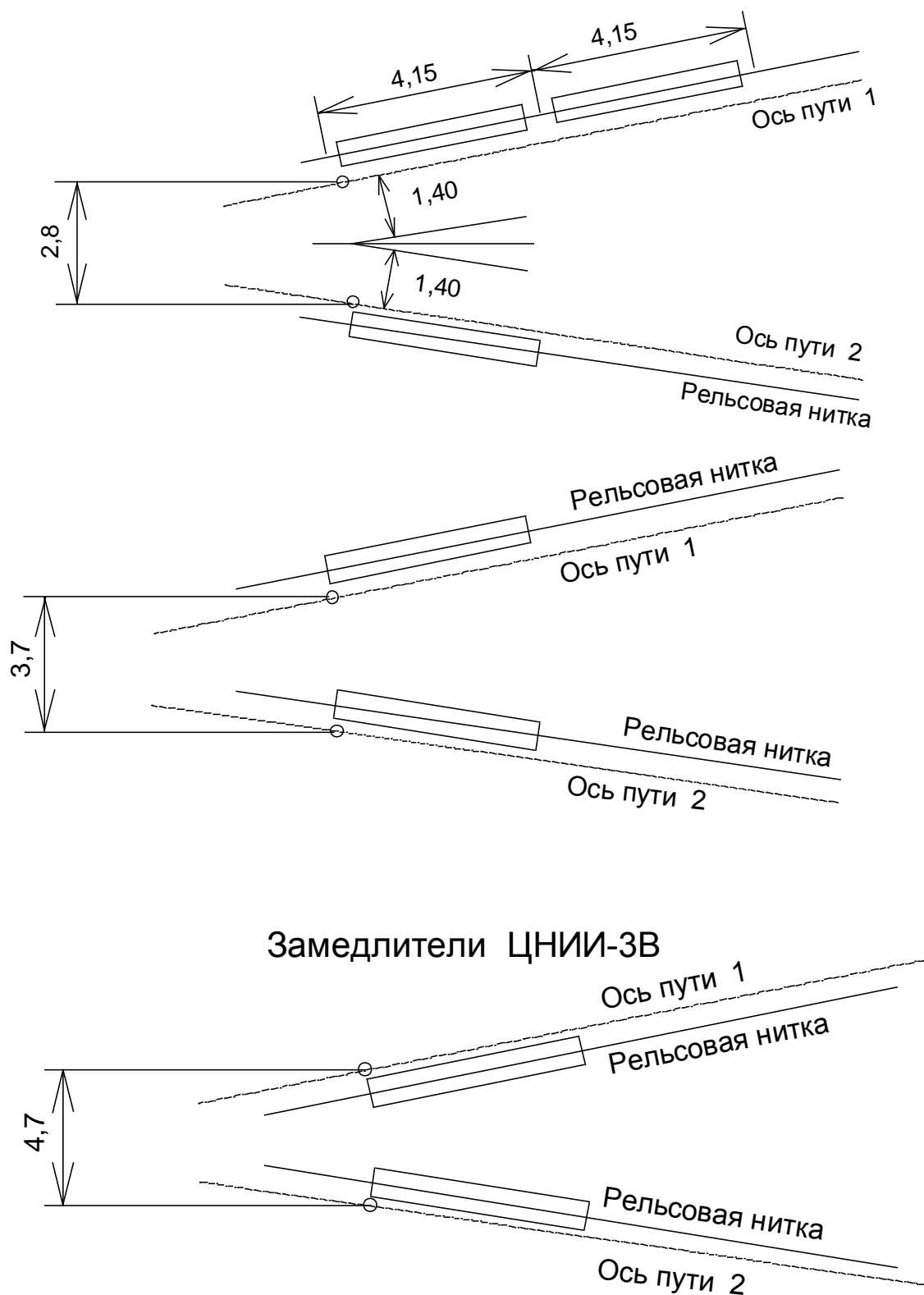


Рис. 4. Минимальные расстояния между осями расходящихся путей при укладке однорельсовых замедлителей ЦНИИ-ЗВ

Соединение рельсов Р65 у замедлителей типа КВ с рельсами Р43 на горочных путях осуществляется переходной сварной вставкой, а с рельсами Р50 – посредством переходных накладок в стыках, отмеченных на рис. 1 буквой С. Если в схеме, приведенной на рис. 1, а, непосредственно за

замедлителем не укладывается стрелочный перевод, то длина переходной вставки принимается равной 4,0 м.

Минимальное расстояние между осями расходящихся путей в начале укладки замедлителя составляет: для клещевидно-весовых замедлителей 4,15 м; для клещевидных типа 50 – 3,8 м; типа КНП – 4,4 м. Однорельсовые весовые замедлители ЦНИИ-3В можно устанавливать в прямых и кривых участках пути, но размещение их на тормозных позициях имеет свои особенности. В кривых участках замедлители ЦНИИ-3В необходимо укладывать только на внешней рельсовой нити, в прямых их можно укладывать на любой рельсовой нити пути. В соответствии с этим минимальные расстояния между осями расходящихся путей в начале укладки замедлителей ЦНИИ-3В будут разные, как показано на рис. 4. Минимально допустимое расстояние между осями расходящихся путей в начале укладки замедлителей измеряется по нормали к оси пути (рис. 4).

При оборудовании сортировочных горок системами автоматизации регулирования скоростей скатывания вагонов (АРС) замедлители устанавливают на изолированных участках, длина которых на спускной части горки принимается при замедлителях типа КВ-3 и ВЗПГ-3 – 11,50 м, а при пятизвенных замедлителях типа КНП-5, Т-50, ВЗПГ-5 – 13,475 м (рис. 5).

Изолированные участки на сортировочных горках 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 4,4 м, а по условиям интервала между смежными отцепами – не более 16 м.

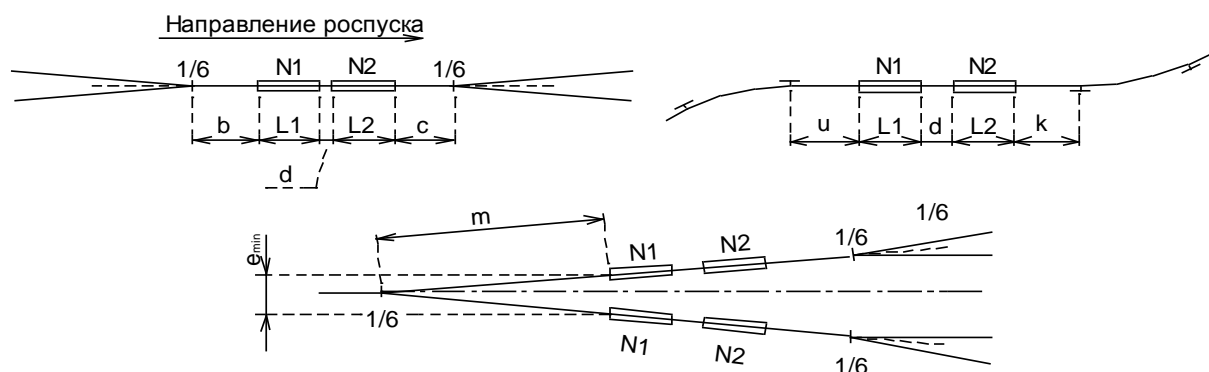


Рис. 5. Схемы размещения вагонных замедлителей

Значения конструктивных элементов плана, указанные рис. 5, приведены в табл. 1.3. Значение величины  $m$  определяется минимальной шириной между-пути на входе замедлителей и определяется по формуле

$$m = \frac{e_{\min}}{2 \sin \alpha / 2}.$$

### Конструктивные элементы плана головы сортировочного парка

Элементы	N1	КНП-5	КВ-3	ВЗПГ-3	ВЗПГ-3	ВЗПГ-5	РНЗ-2М
	N2	КНП-5	КВ-3	ВЗПГ-3	ВЗПГ-5	ВЗПГ-5	РНЗ-2М
b		7,45	12,90	8,75	8,75	7,45	
L	12,475		7,60	7,90	7,90 12,475	12,475	3,60
d		1,00	3,90	3,60	2,30	1,00	2,65
c		12,71	14,16	14,01	12,71	12,71	
u		1,50	5,95	2,80	2,80	1,50	4,80 *
$e_{min}$		4,40	4,15	3,80	3,80	3,80	
k		1,50	5,95	2,80	1,50	1,50	

**Примечание:** Замедлители РНЗ-2М могут укладываться в кривых радиусом до 150 м

При автоматизации регулирования скоростей скатывания вагонов с горки требуется между вершиной горки и первой тормозной позицией устроить измерительный участок для определения ходовых свойств отцепов.

Измерительный участок следует располагать на прямом отрезке пути и на однообразном уклоне, что обеспечивает получение наиболее достоверных данных о ходовых свойствах отцепов, которые определяются по величине ускорения движения при свободном скатывании их на этом участке.

Величина измерительного участка  $l_{изм}$  составляется из длины колесной базы измеряемого отцепа  $b_{отц}$  и расчетной длины специально оборудованного участка непосредственного измерения ускорения (контрольного). Измерительный участок предусматривается, как правило, на вместимость двух четырехосных вагонов ( $b_{отц} = 26,5$  м) при длине контрольного участка, равной 12–14 м. Ходовые свойства более длинных отцепов устанавливаются по весовой категории. В состав контрольного участка входит весомерный участок, который располагается перед первой тормозной позицией, как правило, на прямой в плане. Рекомендуемое расстояние от вершины горки до начала весомерного участка составляет 15–20 м. Длина весомерного участка составляет 11,50 м.

Чтобы исключить перевод под вагоном централизованной стрелки, перед остряками укладывают предстрелочный участок  $l_{np}$ , величина которого определяется по формуле  $l_{np} = vt_{nc}$ , где  $v$  – скорость подхода вагонов к стрелочному переводу, м/с;  $t_{nc}$  – время на перевод стрелки, с. Длину предстрелочного участка на горках принимают не менее 6 м.

Для возможности оборудования сортировочных горок устройствами АРС в системах, где контроль занятости участков осуществляется с помощью рельсовых электрических цепей, необходимо исключить применение на спускной части перекрестных съездов с глухим пересечением, а соединение спускных путей горки осуществить обыкновенными съездами (рис. 6), что вызывает определенное удлинение спускной части горки. На схеме I показано соединение двух спускных путей горки, а на схеме II – трех спускных путей. В системах, где контроль занятости участков осуществляется подсчетом

количества осей, вошедших на участок и вышедших с него, целесообразно применять перекрестные съезды с глухим пересечением, что позволяет сократить длину спускной части горки.

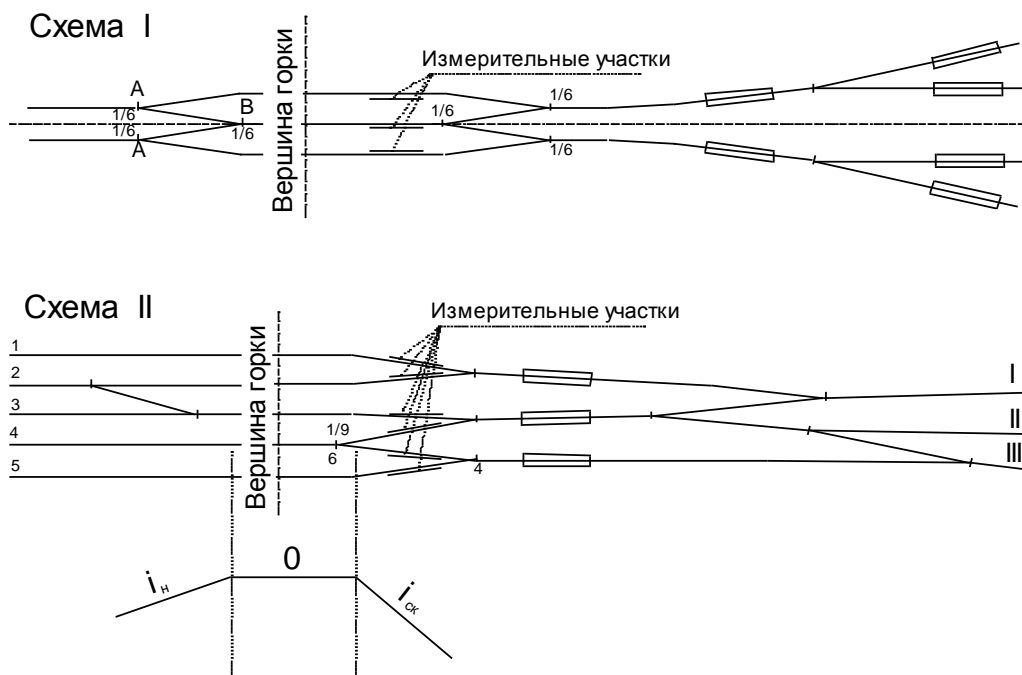


Рис. 6. Схемы размещения измерительного участка для определения ходовых свойств отцепов

Съезды А – Б (рис. 6, I) на надвигной части горки следует укладывать на расстоянии 70 – 90 м от вершины, поскольку в пределах зоны расцепки вагонов для обеспечения безопасной работы составительской бригады, как правило, не должно быть стрелочных переводов. Со средних путей надвига 3 – 4 (рис. 6, II) можно сортировать вагоны на все пути сортировочного парка, а с крайних путей – только на пути правой или левой его половины. Использование средних путей надвига также и для параллельного роспуска с них двух составов возможно при укладке на спускной части горки съезда б – 4. В этом случае стрелочный перевод б у вершины горки надо укладывать симметричный с крестовиной марки 1/9 и сопряжение в вертикальной плоскости надвигной и спускной части делают в пределах стрелочной кривой. Измерительные участки располагают сразу за вершиной горки после сопрягающей вертикальной кривой.

При оборудовании сортировочных горок устройствами АРС в ряде случаев исключается применение на спускной части перекрестного съезда с глухим пересечением. Поэтому в таких случаях соединение двух спускных путей осуществляется с применением симметричных стрелочных переводов и простых съездов (рис. 7).

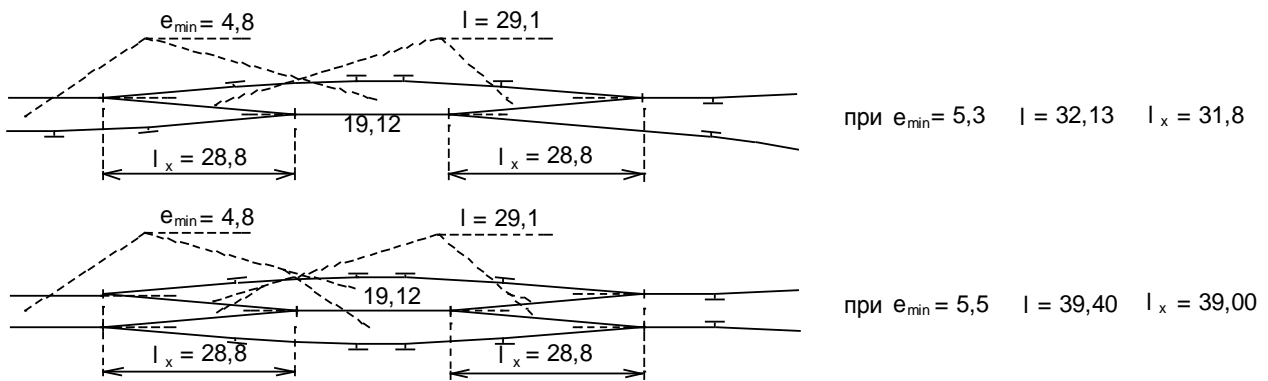


Рис. 7. Схемы соединения двух спускных путей без перекрестного съезда

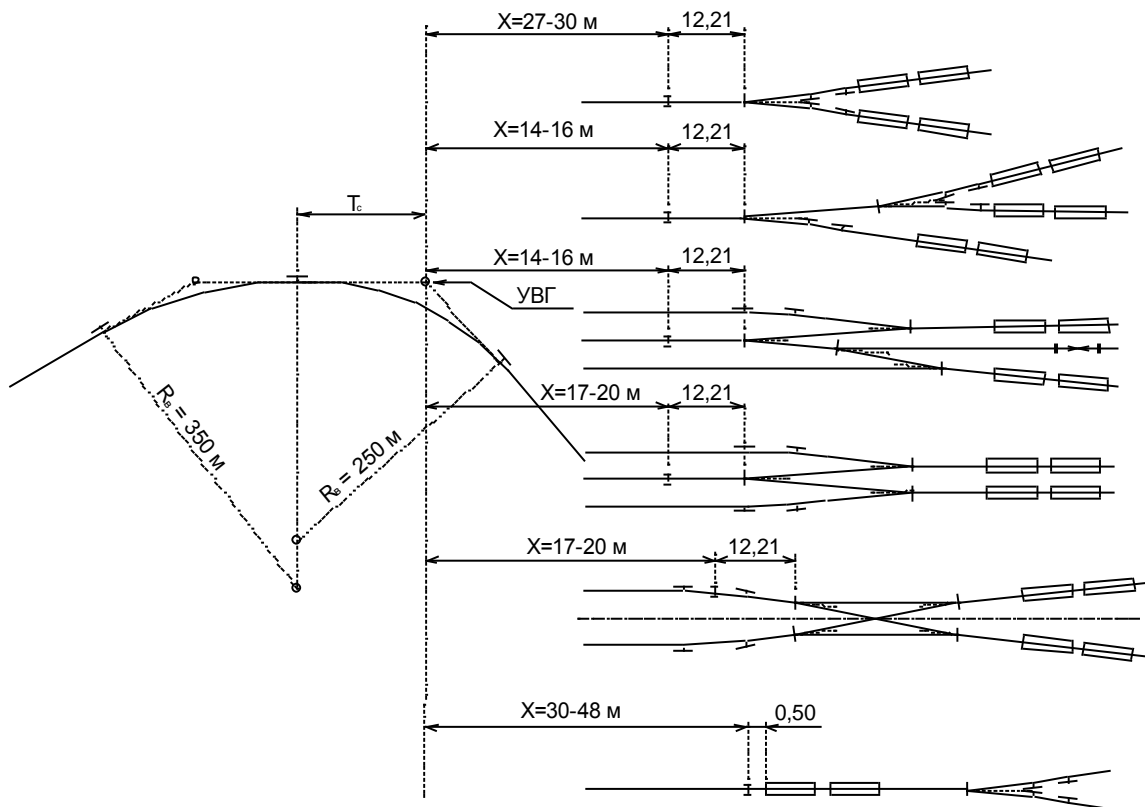


Рис. 8. Расстояние от УВГ до первого разделительного элемента

Расстояние от условной вершины горки до первого разделительного элемента (стрелки или замедлителя) определяется по расчетным схемам, представленным на рис. 8.

## 1.2 Соединения путей в пучках и составление типовой схемы головы сортировочного парка. Определение углов поворота пучков

При проектировании плана головы СП необходимо помнить, что расстояние между центрами смежных симметричных стрелочных переводов с крестовинами марки 1/6 при попутной укладке их в пучках сортировочных путей принимается не менее 23,96 м; при реконструкции допускается сохранять существующее расположение стрелочных переводов. В отдельных случаях,

когда невозможно обеспечить расстояние 23,96 м, допускается проектировать укладку стрелочных переводов со вставкой (между торцом крестовины одного стрелочного перевода и рамным рельсом другого) не менее 4,5 м. Нормальное расстояние между осями смежных путей СП принимают 5,3 м, а между пучками – не менее 6,5 м.

На переустройстваемых горках могут быть оставлены существующие междупутья, но не менее 4,8 м. Расстояние между осями путей подвижной части горки должно быть не менее 5,3 м. Минимальное расстояние между осями расходящихся путей в начале укладки замедлителей составляет для клещевидно-весовых замедлителей 4,15 м, для замедлителей КНП – 4,40 м, для клещевидных – 3,8 м.

Стрелочные переводы рекомендуется располагать на минимальном расстоянии друг от друга, но с обеспечением необходимой длины изолированных участков (см. рис. 3).

Иногда для сокращения длины горловины пучка, а следовательно, и общей длины горловины СП, укладывают дополнительные кривые (с углом  $\delta$ ) между хвостом крестовины одного и стыком рамного рельса другого перевода (рис. 9 и 10). Величины и расположение углов поворота дополнительных кривых устанавливают приближенно при графическом построении горловины и уточняют при расчете координат соответствующих элементов. Наибольшая величина дополнительного угла поворота  $\delta$  на длине участка  $l_c$  определяется из выражения кривой

$$l_c = \frac{\pi R \delta}{180}, \quad \text{откуда} \quad \delta = \frac{l_c \cdot 180}{\pi \cdot R}.$$

Разрабатывая план головы СП, определяют прежде всего число пучков и количество путей в каждом пучке в соответствии с размерами СП. В курсовом проекте можно принять типовые схемы пучков. При этом с крайних пучков головы СП должны быть предусмотрены выходы в сторону парка приема в обход горки. Количество путей, имеющих выход в обход горки, определяется заданием и местными условиями. Схемы пучков, применяемых при проектировании плана головы сортировочного парка, приведены на рис. 9 и 10.

Типовая симметричная горловина СП может состоять из 2-х, 3-х, 4-х и более пучков в каждой половине головы СП. При проектировании плана головы СП, содержащей по два пучка в каждой половине, исходят из следующих условий (рис. 11):

1) угол поворота  $bet1$  определяется условием вписывания нижнего (для 7-ми или 8-путных пучков) или второго снизу (для 5-ти или 6-путных пучков) пути пучка при минимальном отклонении этого пучка вниз по чертежу. Это соответствует минимальному значению угла  $bet1$ ;

2) угол поворота  $bet2$  определяется условием вписывания крайнего наружного (для 8-путного пучка) или второго от края (для 6-ти или 7-путных пучков) пути при максимальном отклонении верхнего пучка вверх по чертежу.

При соблюдении этих условий обеспечивается достаточная ширина междупутья между верхним и нижним пучками.

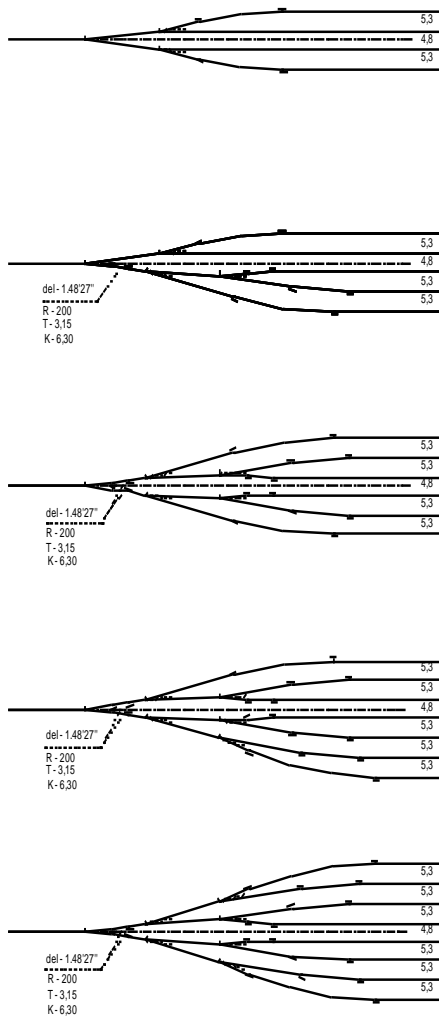


Рис. 9. Варианты пучкообразных стрелочных улиц без выходов

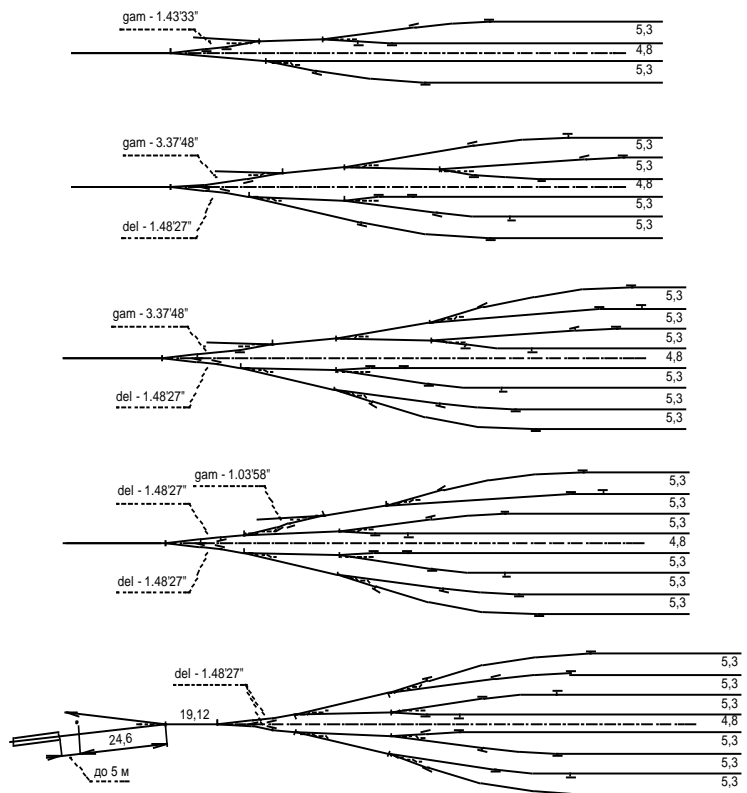


Рис. 10. Варианты пучкообразных стрелочных улиц с выходами в обход сортировочной горки

На рис. 11 приведена схема половины симметричной горочной горловины на 32 пути. Проектирование плана головы сортировочного парка ведется, начиная от первой стрелки. Расчетом определяются угол наклона направляющего пути каждого пучка к основному направлению подгорочного парка, углы поворота сопрягающих кривых на спускной части горки и подгорочных путей, координаты центров стрелочных переводов, начал и концов кривых и длины всех элементов.

Для расчета плана головы сортировочного парка (рис. 11) приняты следующие обозначения:  $L1$ ,  $L21$ ,  $L22$  – длины прямых вставок для размещения тормозных средств на первой и второй тормозных позициях спускной части горки;  $a$ ,  $b$  – основные параметры стрелочных переводов;  $S$  – минимальная ширина междупутья на перекрестном стрелочном переводе, равная 4,8 м;  $l$ ,  $ll$  – прямые вставки между центрами стрелочных переводов при встречной и попутной их укладке. Нормальные расстояния между осями смежных путей сортировочного парка принимают 5,3 м, между отдельными пучками путей – не менее 6,5 м, между путями внутри сортировочного парка по оси симметрии – 7,5 м.



## 1.2.1 Расчет элементов внутреннего (первого) пучка путей

Угол  $bet1$  после первой тормозной позиции определяется условием оптимального вписывания наиболее трудного пути этого пучка (рис 11). На наш взгляд, таким путем является путь  $I$ .

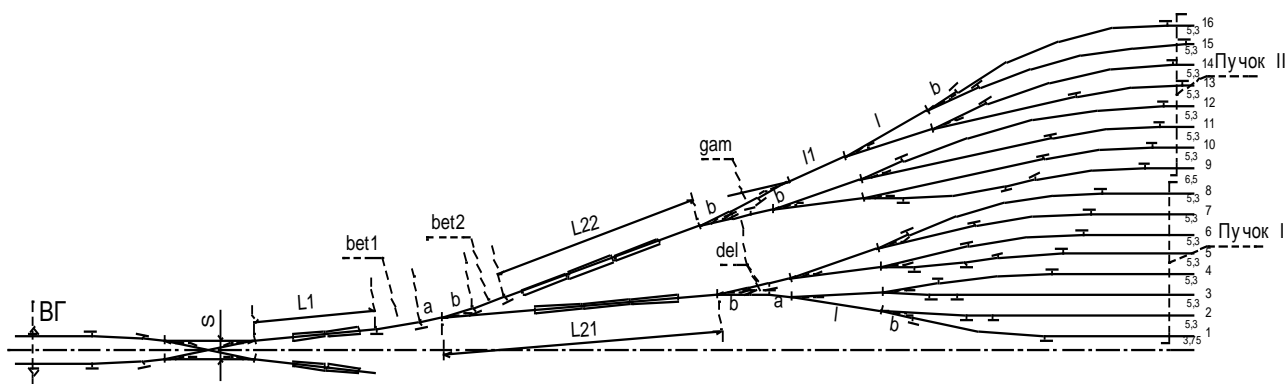


Рис. 11. Двухпучковая схема горочной горловины СП

Задавшись величинами радиусов кривых, прямых вставок и значениями углов, проектируем от начального стрелочного перевода все элементы пути  $I$  на направление, нормальное к оси этого пути. В результате получим уравнение

$$\begin{aligned} & \frac{S}{2} + L1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + R \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R \cdot \cos(\frac{\alpha}{2} + bet1) + a \cdot \sin(\frac{\alpha}{2} + bet1) + L21 \cdot \sin(bet1) + \\ & + b \cdot \sin(bet1 - \frac{\alpha}{2}) - R \cdot \cos(bet1 - \frac{\alpha}{2}) + R \cdot \cos(bet1 - \frac{\alpha}{2} - del) + a \cdot \sin(bet1 - \frac{\alpha}{2} - del) + \\ & + l \cdot \sin(bet1 - \alpha - del) + b \cdot \sin(bet1 - \frac{3\alpha}{2} - del) + R \cdot \cos(bet1 - \frac{3\alpha}{2} - del) - R = \frac{e_{max}}{2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Подставив в уравнение (1) значения всех известных членов и упростив его, получим уравнение с функциями неизвестного угла  $bet1$  вида

$$A \cdot \sin(bet1) \pm B \cdot \cos(bet1) = \pm C. \quad (2)$$

Разделив обе части уравнения (2) на  $A$ , получим

$$\sin(bet1) \pm \frac{B}{A} \cos(bet1) = \pm \frac{C}{A}. \quad (2 \text{ а})$$

Для решения уравнения (2 а) вводим в расчет вспомогательный угол  $\varphi$ , полагая, что

$$\frac{B}{A} = \operatorname{tg} \varphi. \quad (2 \text{ б})$$

Тогда уравнение (2 а) может быть представлено в следующем виде:

$$\sin(bet1) \pm \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \cos(bet1) = \pm \frac{C}{A}. \quad (3)$$

Умножив обе части уравнения (3) на  $\cos \varphi$ , получим

$$\sin(bet1) \cdot \cos \varphi \pm \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \cdot \cos \varphi \cdot \cos(bet1) = \pm \frac{C}{A} \cdot \cos \varphi$$

или 
$$\sin(bet1 \pm \varphi) = \pm \frac{C}{A} \cdot \cos \varphi, \quad (4)$$

откуда

$$bet1 = \arcsin\left(\pm \frac{C}{A} \cdot \cos \varphi\right) \mp \varphi . \quad (5)$$

Зная угол  $bet1$ , можно найти угол поворота каждого подгорочного пути. Например, для пути 1

$$\gamma_1 = \frac{\alpha}{2} + bet1 - \frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2} - del - \frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2} = bet1 - \frac{3 \cdot \alpha}{2} - del .$$

### 1.2.2. Расчет элементов внешнего (второго) пучка путей

Для определения элементов второго пучка следует определить угол поворота  $bet2$  (рис. 11). Этот угол определяется условием вписывания наиболее трудного пути 16. Проектируя на вертикальную ось координат все элементы этого пути, получим

$$\begin{aligned} & \frac{S}{2} + L1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + R \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2} + bet1\right) + a \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} + bet1\right) + b \cdot \sin(\alpha + bet1) + \\ & + R \cdot \cos(\alpha + bet1) - R \cdot \cos(\alpha + bet1 + bet2) + L22 \cdot \sin(\alpha + bet1 + bet2) + b \cdot \sin\left(\frac{3 \cdot \alpha}{2} + \right. \\ & + bet1 + bet2) + R \cdot \cos\left(\frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + bet2\right) - R \cdot \cos\left(\frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + bet2 + gam\right) + \\ & + b \cdot \sin\left(\frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + bet2 + gam\right) + l1 \cdot \sin(\alpha + bet1 + bet2 + gam) + l \cdot \sin\left(\frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + \right. \\ & + bet2 + gam) + b \cdot \sin(2\alpha + bet1 + bet2 + gam) - R \cdot \cos(2\alpha + bet1 + bet2 + gam) + \\ & + R = \Sigma e . \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь  $\Sigma e$  определяется, как  $14 \cdot 5,3 + 6,5 + 3,75$ .

Определив из уравнения (6) угол  $bet2$ , можно найти углы поворота подгорочных путей второго парка. Например, для пути 16

$$\gamma_{16} = \frac{\alpha}{2} + bet1 + \frac{\alpha}{2} + bet2 + \frac{\alpha}{2} + gam - \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot \alpha + bet1 + bet2 + gam .$$

### 1.2.3. Расчет элементов горочных горловин сортировочных парков при других схемах взаимной укладки пучков

При проектировании трехпучковой горловины в одной половине СП рекомендуется схема укладки пучков, показанная на рис. 12.

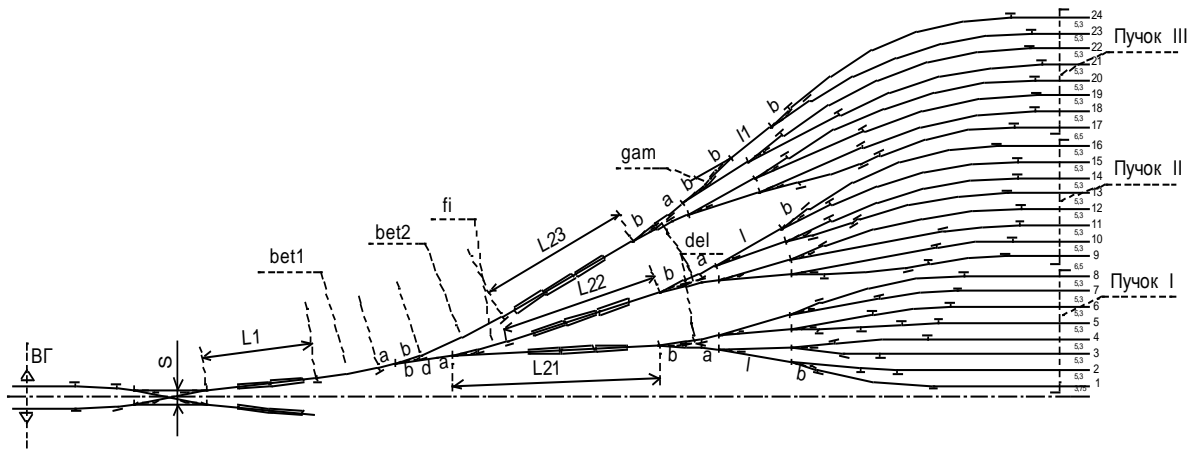


Рис.12. Трехпучковая схема головы сортировочного парка

Углы поворота  $bet1$  и  $bet2$  определяются теми же условиями, что и для рис. 11. Однако для угла  $bet1$  уравнение будет иметь несколько иной вид (см. рис. 12):

$$\begin{aligned}
 & \frac{S}{2} + L1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + R \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R \cdot \cos \left( \frac{\alpha}{2} + bet1 \right) + a \cdot \sin \left( \frac{\alpha}{2} + bet1 \right) + (b + d + a) \cdot \sin(bet1) + \\
 & + L21 \cdot \sin(bet1 - \frac{\alpha}{2}) + b \cdot \sin(bet1 - \alpha) - R \cdot \cos(bet1 - \alpha) + R \cdot \cos(bet1 - \alpha - del) + \\
 & + a \cdot \sin(bet1 - \alpha - del) + l \cdot \sin(bet1 - \frac{3 \cdot \alpha}{2} - del) + b \cdot \sin(bet1 - 2 \cdot \alpha - del) + \\
 & + R \cdot \cos(bet1 - 2 \cdot \alpha - del) - R = \frac{e_{max}}{2}.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Здесь  $d$  – прямая вставка при попутной укладке симметричных стрелочных переводов марки 1/6.

Так как в схеме на рис. 12 выход в обход горки сделан с крайних двух путей (пучка III), тригонометрическое уравнение для определения угла  $bet2$  выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
 & \frac{S}{2} + L1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + R \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R \cdot \cos \left( \frac{\alpha}{2} + bet1 \right) + a \cdot \sin \left( \frac{\alpha}{2} + bet1 \right) + b \cdot \sin(\alpha + bet1) + \\
 & + R \cdot \cos(\alpha + bet1) - R \cdot \cos(\alpha + bet1 + bet2) + L23 \cdot \sin(\alpha + bet1 + bet2) + b \cdot \sin \left( \frac{3 \cdot \alpha}{2} + \right. \\
 & \left. + bet1 + bet2 \right) + R \cdot \cos \left( \frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + bet2 \right) - R \cdot \cos \left( \frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + bet2 + del \right) + \\
 & + a \cdot \sin \left( \frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + bet2 + del \right) + b \cdot \sin(2 \cdot \alpha + bet1 + bet2 + del) + R \cdot \cos(2 \cdot \alpha + \\
 & + bet1 + bet2 + del) - R \cdot \cos(2 \cdot \alpha + bet1 + bet2 + del + gam) + b \cdot \sin(2 \cdot \alpha + bet1 + \\
 & + bet2 + del + gam) + l1 \cdot \sin \left( \frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + bet2 + del + gam \right) + b \cdot \sin(2 \cdot \alpha + bet1 + \\
 & + bet2 + del + gam) - R \cdot \cos(2 \cdot \alpha + bet1 + bet2 + del + gam) + R = \Sigma e.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Здесь  $\Sigma e = 21 \cdot 5,3 + 2 \cdot 6,5 + 3,75$ .

Угол поворота  $f_i$  среднего пучка (II) определяется из уравнения

$$\begin{aligned} & \frac{S}{2} + L1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + R \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R \cdot \cos(\frac{\alpha}{2} + bet1) + a \cdot \sin(\frac{\alpha}{2} + bet1) + (b + d + a) \cdot \sin(bet1) + \\ & + b \cdot \sin(\frac{\alpha}{2} + bet1) + R \cdot \cos(\frac{\alpha}{2} + bet1) - R \cdot \cos(\frac{\alpha}{2} + bet1 + fi) + L22 \cdot \sin(\frac{\alpha}{2} + bet1 + fi) + \\ & + b \cdot \sin(\alpha + bet1 + fi) + R \cdot \cos(\alpha + bet1 + fi) - R \cdot \cos(\alpha + bet1 + fi + del) + a \cdot \sin(\alpha + \\ & + bet1 + fi + del) + l \cdot \sin(\frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + fi + del) + b \cdot \sin(2 \cdot \alpha + bet1 + fi + del) - \\ & - R \cdot \cos(2 \cdot \alpha + bet1 + fi + del) + R = \Sigma e. \end{aligned} \quad (9)$$

Для формулы (9)  $\Sigma e = 14 \cdot 5,3 + 6,5 + 3,75$ .

Для четырехпучковой горловины сортировочного парка (см. рис. 13) значения углов  $bet1$  и  $bet2$  определяются указанными выше условиями, однако в связи с тем, что в этой схеме включаются дополнительные углы ( $f_i$ ,  $fi1$ ), уравнения, определяющие значения этих углов, выглядят несколько иначе.

Так, угол поворота  $bet1$  определяется уравнением:

$$\begin{aligned} & \frac{S}{2} + L1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + R \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R \cdot \cos(\frac{\alpha}{2} + bet1) + a \cdot \sin(\frac{\alpha}{2} + bet1) + b \cdot \sin(bet1) - \\ & R \cdot \cos(bet1) + R \cdot \cos(bet1 - fi) + a \cdot \sin(bet1 - fi) + b \cdot \sin(bet1 - fi - \frac{\alpha}{2}) - \\ & - R \cdot \cos(bet1 - fi - \frac{\alpha}{2}) + R \cdot \cos(bet1 - fi - \frac{\alpha}{2} - fi1) + L21 \cdot \sin(bet1 - fi - \frac{\alpha}{2} - fi1) + \\ & + b \cdot \sin(bet1 - fi - \alpha - fi1) - R \cdot \cos(bet1 - fi - \alpha - fi1) + R \cdot \cos(bet1 - \\ & - fi - \alpha - fi1 - del) + l \cdot \sin(bet1 - fi - \frac{3 \cdot \alpha}{2} - fi1 - del) + b \cdot \sin(bet1 - fi - \\ & - 2 \cdot \alpha - fi1 - del) + R \cdot \cos(bet1 - fi - 2 \cdot \alpha - fi1 - del) - R = \frac{e_{\max}}{2}. \end{aligned} \quad (10)$$

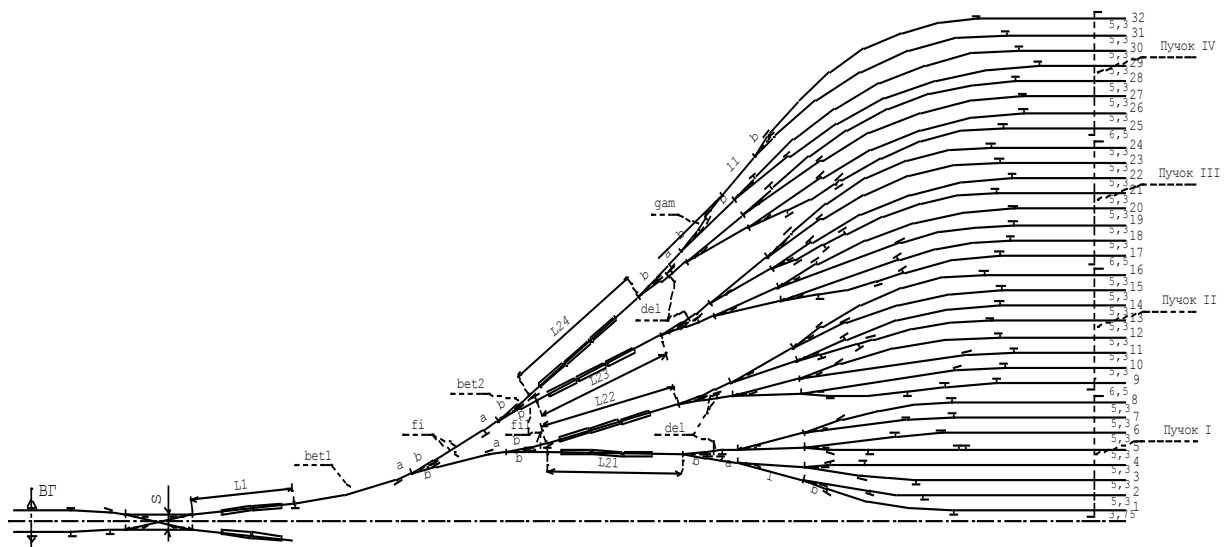


Рис. 13. Четырехпучковая схема головы сортировочного парка

Угол поворота  $bet2$  определяется из следующего условия:

$$\begin{aligned}
 & \frac{S}{2} + L1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + R \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R \cdot \cos \left( \frac{\alpha}{2} + bet1 \right) + a \cdot \sin \left( \frac{\alpha}{2} + bet1 \right) + b \cdot \sin(\alpha + bet1) + \\
 & + R \cdot \cos(\alpha + bet1) - R \cdot \cos(\alpha + bet1 + fi) + a \cdot \sin(\alpha + bet1 + fi) + b \cdot \sin\left(\frac{3 \cdot \alpha}{2} + \right. \\
 & + bet1 + fi) + R \cdot \cos\left(\frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + fi\right) - R \cdot \cos\left(\frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + fi + bet2\right) + \\
 & + L24 \cdot \sin\left(\frac{3 \cdot \alpha}{2} + bet1 + fi + bet2\right) + b \cdot \sin(2 \cdot \alpha + bet1 + fi + bet2) + R \cdot \cos(2 \cdot \alpha + \\
 & + bet1 + fi + bet2) - R \cdot \cos(2 \cdot \alpha + bet1 + fi + bet2 + del) + a \cdot \sin(2 \cdot \alpha + bet1 + fi + \\
 & + bet2 + del) + b \cdot \sin\left(\frac{5 \cdot \alpha}{2} + bet1 + fi + bet2 + del\right) + R \cdot \cos\left(\frac{5 \cdot \alpha}{2} + bet1 + fi + \right. \\
 & + bet2 + del) - R \cdot \cos\left(\frac{5 \cdot \alpha}{2} + bet1 + fi + bet2 + del + gam\right) + b \cdot \sin\left(\frac{5 \cdot \alpha}{2} + bet1 + \right. \\
 & + fi + bet2 + del + gam) + l1 \cdot \sin(2 \cdot \alpha + bet1 + fi + bet2 + del + gam) + \\
 & + b \cdot \sin\left(\frac{5 \cdot \alpha}{2} + bet1 + fi + bet2 + del + gam\right) - R \cdot \cos\left(\frac{5 \cdot \alpha}{2} + bet1 + fi + bet2 + \right. \\
 & + del + gam) + R = \Sigma e. \tag{11}
 \end{aligned}$$

Здесь  $\Sigma e = 28 \cdot 5,3 + 3 \cdot 6,5 + 3,75$ .

В свою очередь, угол  $fi1$  определяется условием взаимного вписывания двух соседних пучков  $I$  и  $II$  (см. рис. 14, форм. 12), а угол  $fi$  – условием взаимного вписывания пучков  $II$  и  $III$  (см. рис 15, форм. 13):

$$\begin{aligned}
 & b \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + R \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R \cdot \cos \left( \frac{\alpha}{2} + fi1 \right) + L2 \cdot \sin \left( \frac{\alpha}{2} + fi1 \right) + b \cdot \sin(fi1) - R \cdot \cos(fi1) + \\
 & + R \cdot \cos(fi1 - del) + a \cdot \sin(fi1 - del) + l \cdot \sin\left(fi1 - del - \frac{\alpha}{2}\right) + b \cdot \sin(fi1 - del - \alpha) + \tag{12} \\
 & + R \cdot \cos(fi1 - del - \alpha) - R = \frac{e}{2}.
 \end{aligned}$$

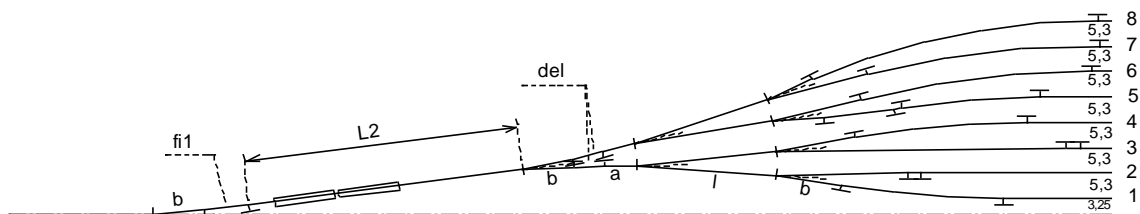


Рис. 14. Расчетная схема для определения угла  $fi1$

Уравнение, определяющее значение угла  $f_i$ , имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 & b \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + R \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2} + f_i\right) + a \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} + f_i\right) + b \cdot \sin(f_i) - R \cdot \cos(f_i) + \\
 & + R \cdot \cos(f_i - f_{i1}) + L2 \cdot \sin(f_i - f_{i1}) + b \cdot \sin\left(f_i - f_{i1} - \frac{\alpha}{2}\right) - R \cdot \cos\left(f_i - f_{i1} - \frac{\alpha}{2}\right) + \\
 & + R \cdot \cos\left(f_i - f_{i1} - \frac{\alpha}{2} - del\right) + a \cdot \sin\left(f_i - f_{i1} - \frac{\alpha}{2} - del\right) + l \cdot \sin(f_i - f_{i1} - \alpha - del) + \\
 & + b \cdot \sin\left(f_i - f_{i1} - \frac{3 \cdot \alpha}{2} - del\right) + R \cdot \cos\left(f_i - f_{i1} - \frac{3 \cdot \alpha}{2} - del\right) - R = \frac{e}{2}.
 \end{aligned} \tag{13}$$

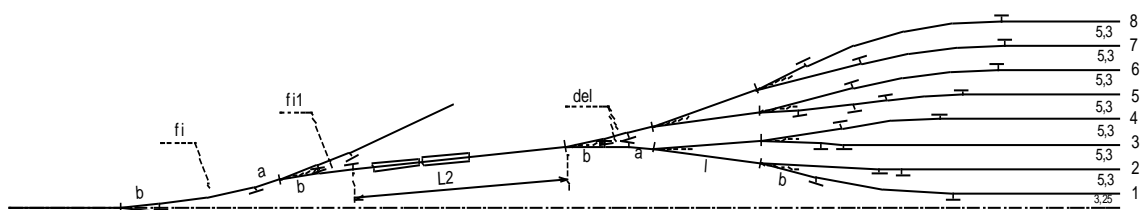


Рис. 15. Расчетная схема для определения угла  $f_i$

В формулах (12 и 13) ширина междупутья  $e$  принимается равной 6,5 м.

### 1.3 Примеры схем подгорочных горловин сортировочных парков, повышающих эффективность параллельного роспуска составов

Одним из способов увеличения перерабатывающей способности сортировочной станции является применение режима параллельного роспуска с горки двух составов в сочетании с последовательным роспуском. Для этого схема горочной горловины СП должна позволять скатывание вагонов на группу так называемых «общих путей» с любого подвижного пути параллельно скатыванию вагонов на остальные пути СП.

Схемы горловин, реализующих указанные требования с перекрестными съездами из симметричных стрелочных переводов марки 1/6, приведены на рис. 16 – 18. Возможные схемы горочных горловин без перекрестных съездов, благоприятствующих применению параллельного роспуска составов, приведены на рис. 19 – 22.

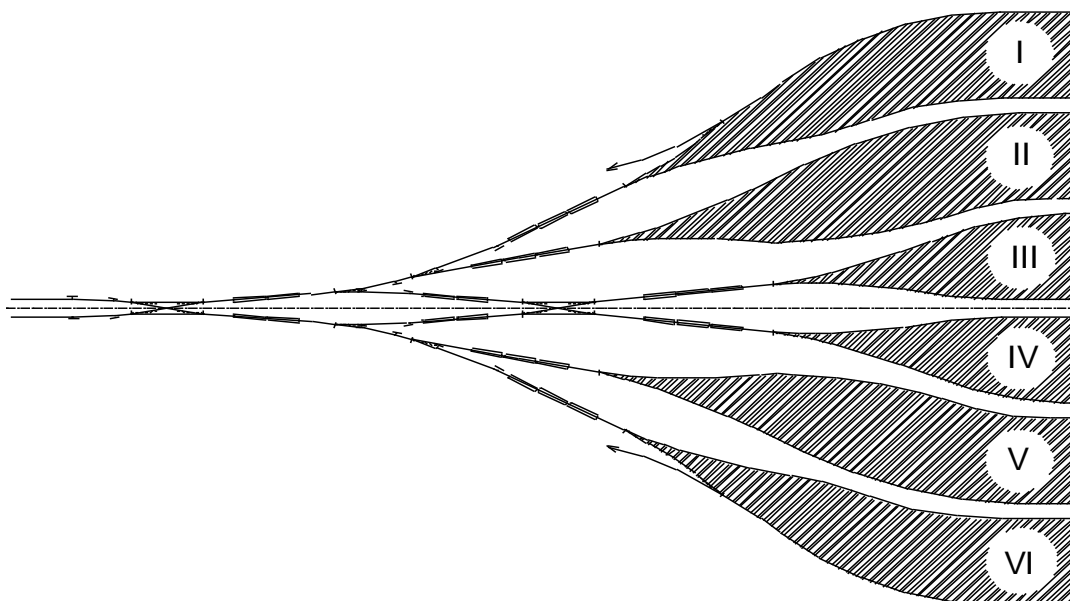


Рис. 16. Схема головы сортировочного парка с двумя общими средними пучками (ОСП – III, IV)

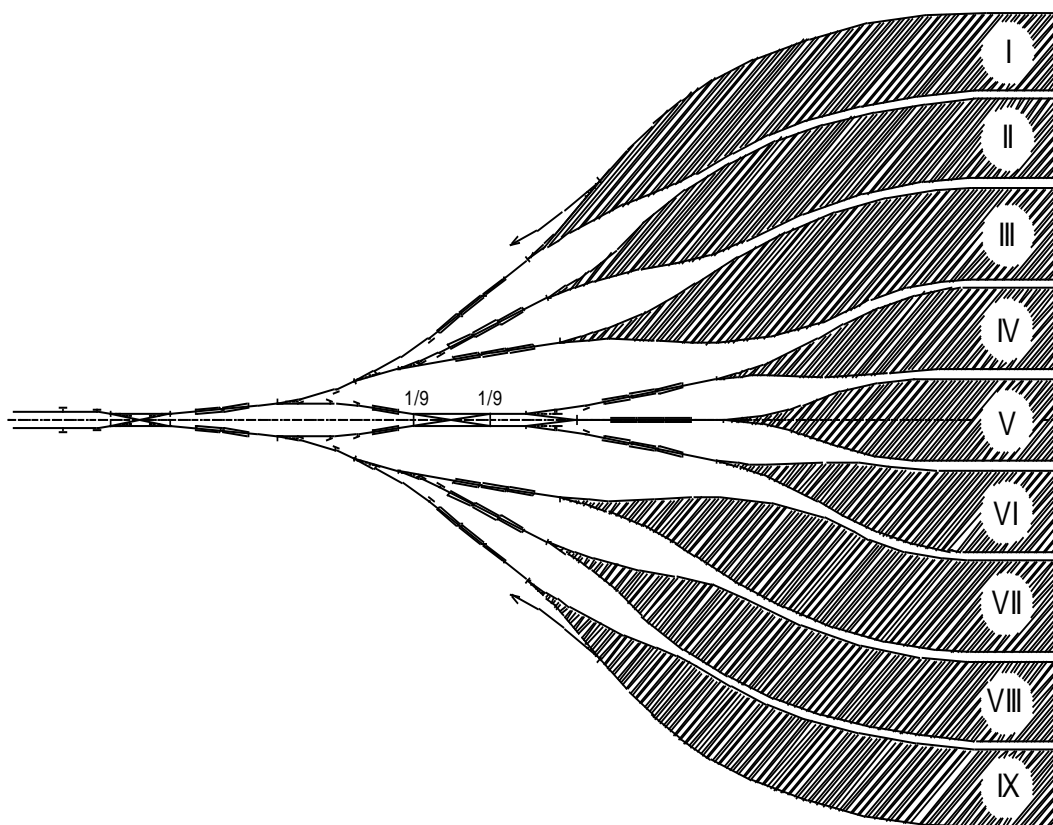


Рис. 17. Схема головы СП с тремя ОСП (IV, V, VI)

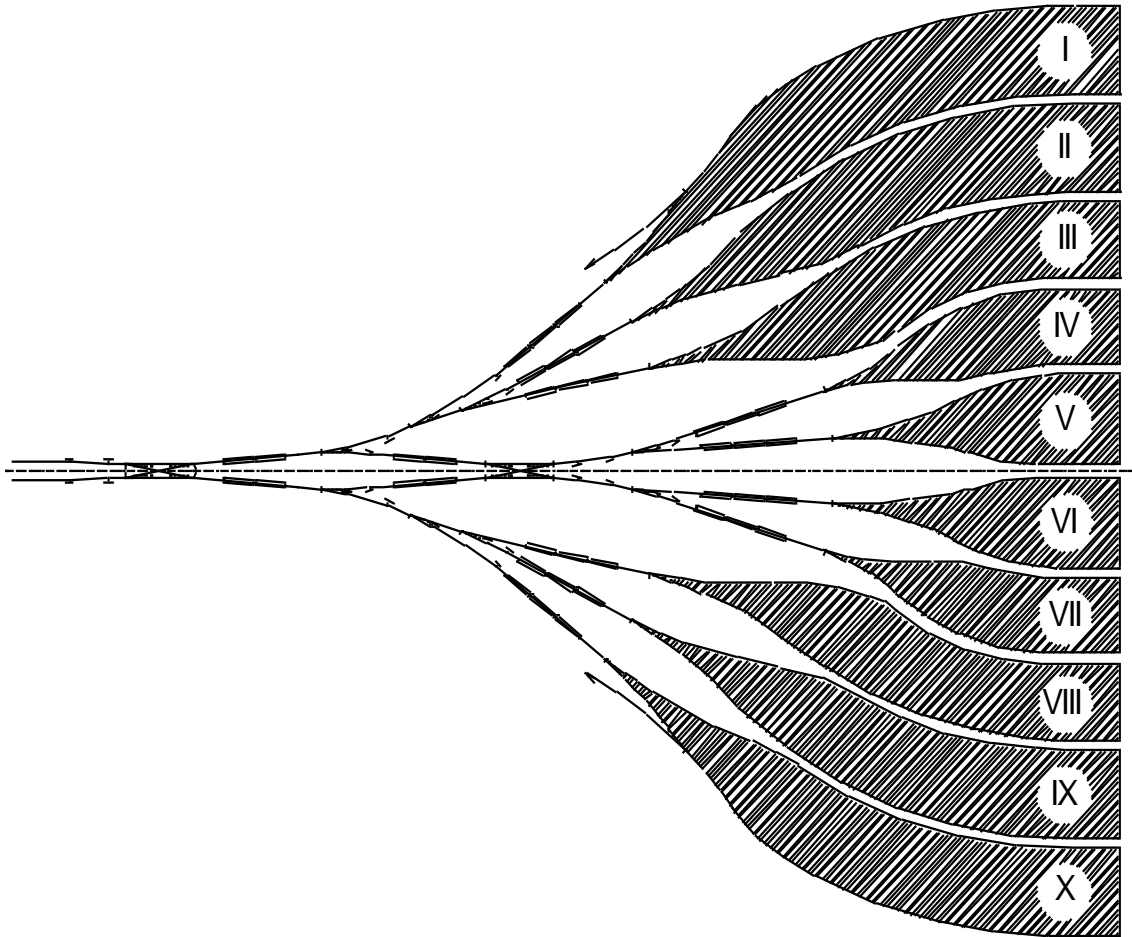


Рис. 18. Схема головы СП с четырьмя ОСП (IV, V, VI, VII)

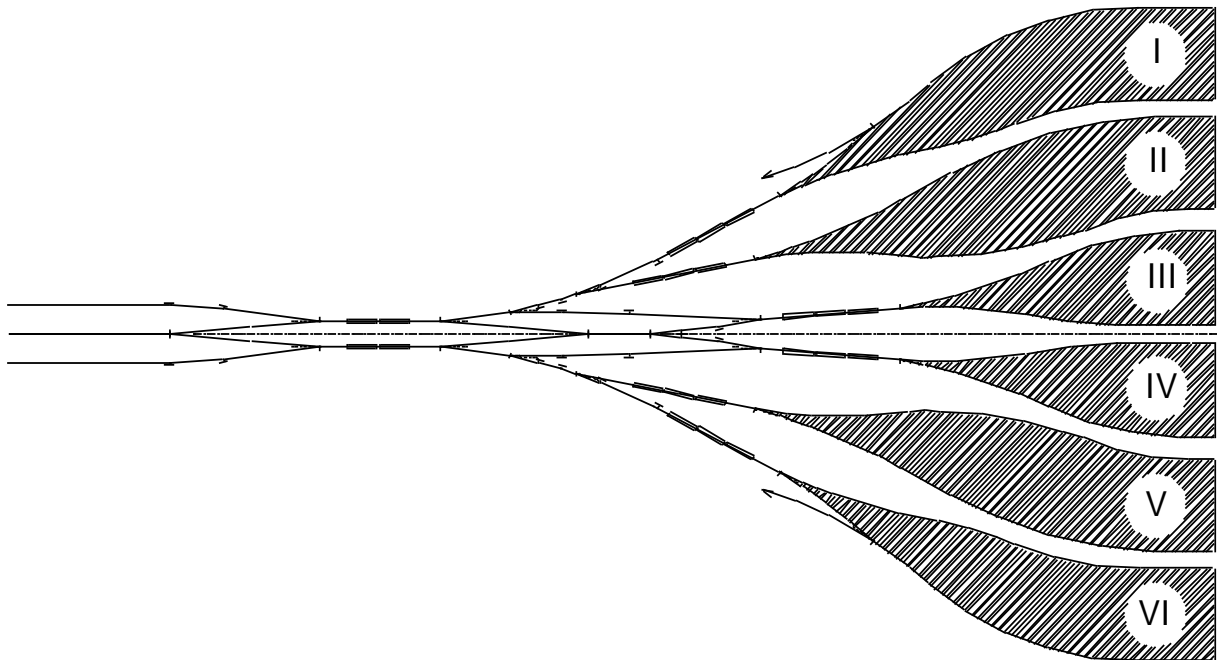


Рис. 19. Схема головы СП без перекрестного съезда с двумя ОСП (III, IV)



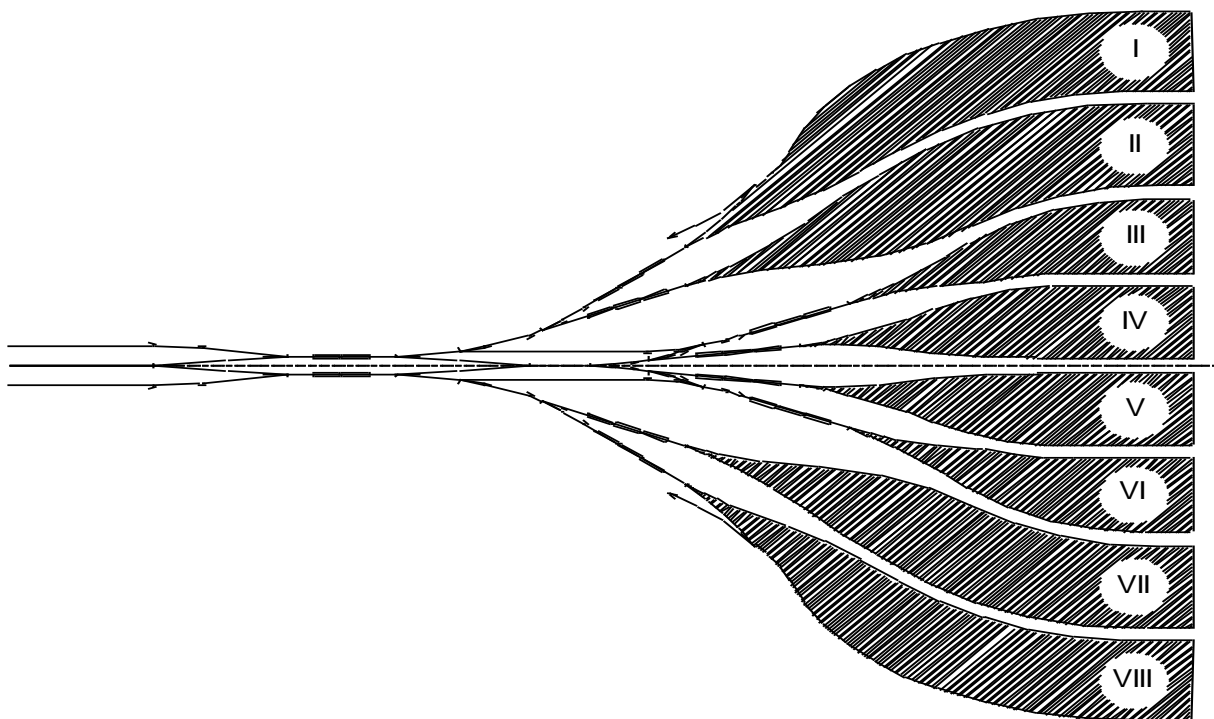


Рис. 20. Схема головы СП без перекрестного съезда с четырьмя ОСП (III, IV, V, VI)

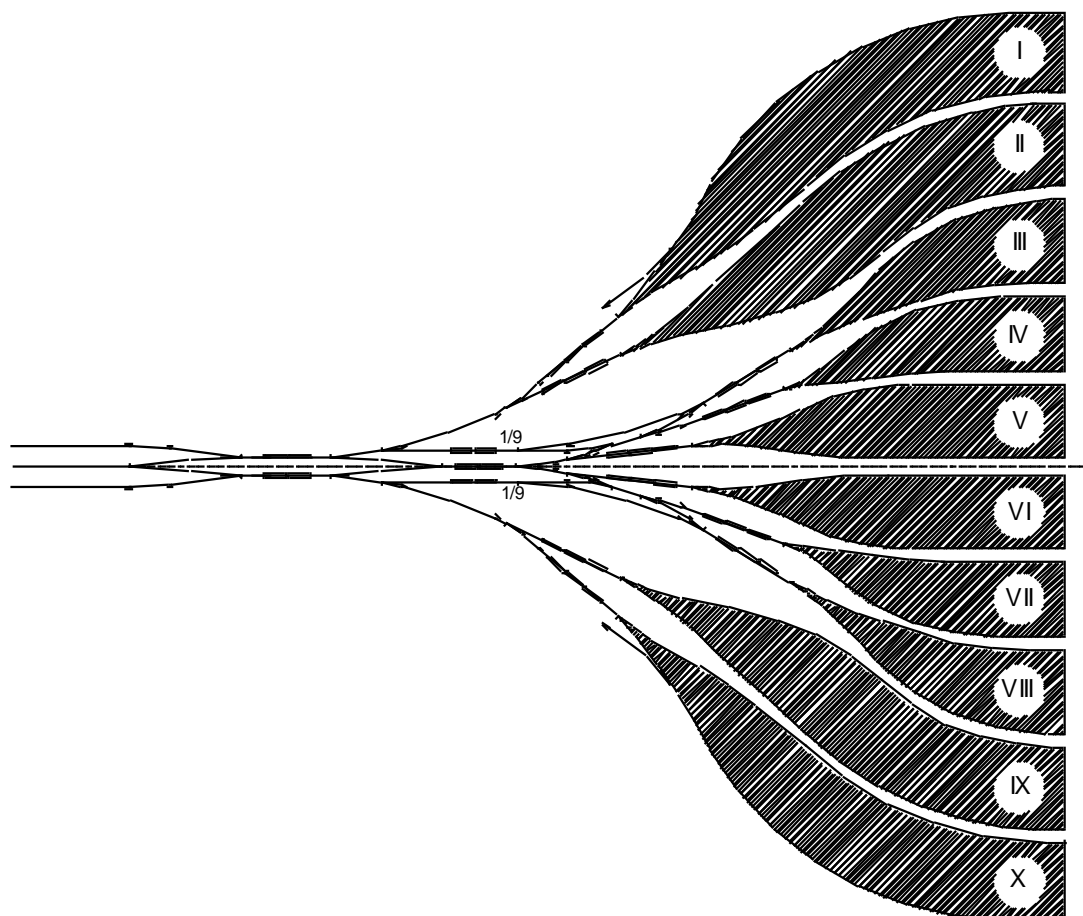


Рис. 21. Схема головы СП без перекрестного съезда с шестью ОСП (III, IV, V, VI, VII, VIII)

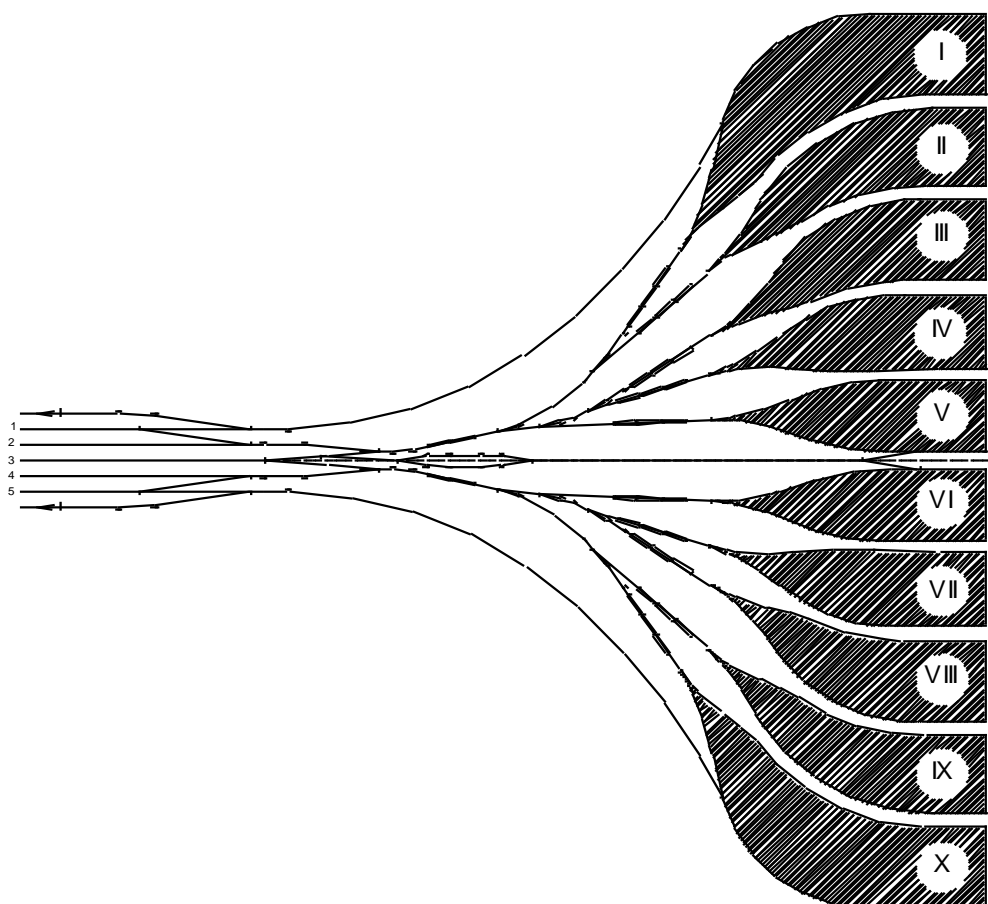


Рис. 22. Схема головы СП для горки повышенной производительности

Определение углов поворота в горочных горловинах по схемам, приведенным на рис. 16–22, проводится по условиям, аналогичным тем, которые рассмотрены для рис. 11–15.

#### 1.4 Графическое построение масштабного плана головы сортировочного парка

Графическое определение углов поворота кривых и построение масштабного плана головы сортировочного парка лучше всего пояснить на конкретном примере. Рассмотрим схему головы СП, изображенной на рис. 12, состоящей из трех восьмипутных пучков в одной половине парка.

Построение масштабного плана приведенной схемы производится в следующей последовательности.

1. В заданном масштабе на основном чертеже выполняется план горочной горловины от ее вершины до начала кривой с центральным углом  $bet1$ , а также показываются оси путей сортировочного парка с соответствующими междупутьями (рис. 23).

2. В точке  $B$ , где сопрягается прямой участок  $A-B$  с кривой, имеющей центральный угол  $bet1$ , вычерчивается дуга  $a-a$  с заданным радиусом  $R$ , (см. штрих-пунктирную кривую).

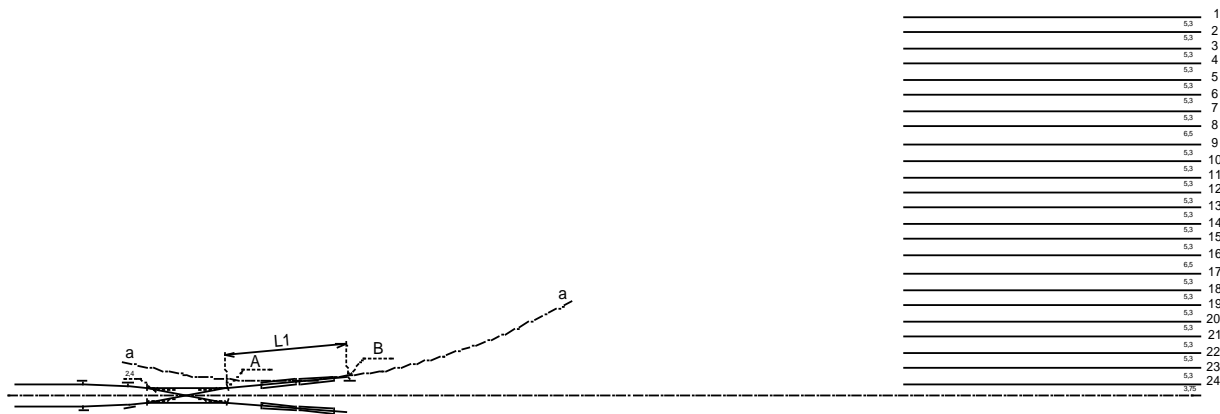


Рис. 23. Заготовка основного масштабного плана головы сортировочного парка на 48 путей

3. На кальке в том же масштабе вычерчивается план восьмипутного пучка с предшествующими тормозными позициями и стрелочными переводами до точки *C*, определяющей конец кривой с центральным углом  $bet1$  (рис. 24).

4. В указанной точке строится дуга  $a1-a1$  радиусом  $R$  (см. штрихпунктирную кривую).

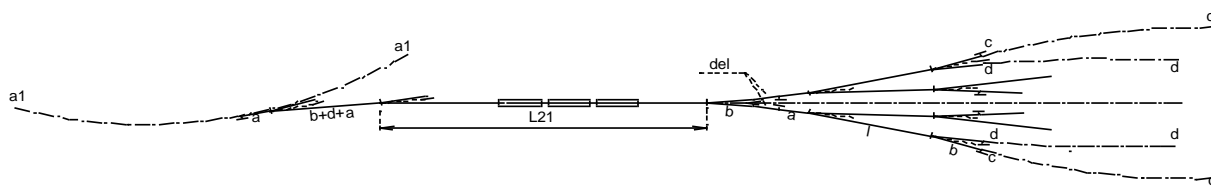


Рис. 24. План первого восьмипутного пучка

5. На схеме пучка после последних разделительных стрелок на расстоянии параметра  $b$  стрелочного перевода выполняются радиусом  $R$  дуги  $c-c$  и  $d-d$ , определяющие вписывание путей пучка в сортировочные пути (рис. 24).

6. Выполненный по п.п. 3–5 на кальке масштабный план пучка накладывается на основной план головы СП так, чтобы дуга  $a1-a1$  совпала с дугой  $a-a$  основного чертежа.

7. Передвигая схему пучка, выполненную на кальке, по дуге  $a-a$ , добиваемся вписывания (касания) кривой  $c-c$  во внутренний (24) путь сортировочного парка (рис. 25).

8. Закрепляем полученное положение внутреннего пучка и завершаем соединение остальных путей пучка с путями сортировочного парка (рис. 25).

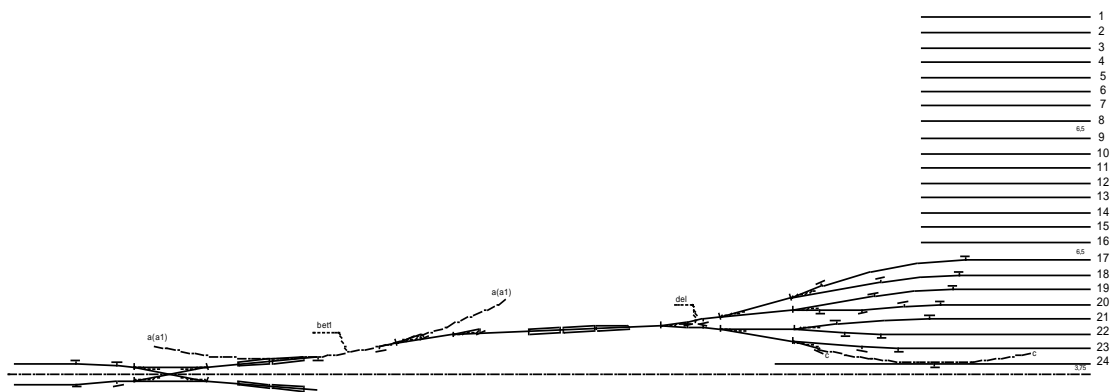


Рис. 25. Графическое вписывание внутреннего пучка

9. Измеряем по чертежу длину кривой первого угла поворота  $bet1$  и затем определяем величину этого угла.

К примеру, длина дуги по чертежу составила 23,5 м.

Зная, что

$$l_{кр} = \frac{\pi \cdot R \cdot bet1}{180}, \quad \text{откуда} \quad bet1 = \frac{180 \cdot l_{кр}}{\pi \cdot R}$$

при  $R = 200$  м, получим

$$bet1 = \frac{180 \times 23,5}{3,14 \times 200} = 6,735669^\circ \quad \text{или} \quad bet1 = 6^\circ 44' 08''.$$

10. На основном чертеже после разделительной стрелки, ведущей на второй пучок, вычерчиваем дугу радиусом  $R$  (рис. 26).

11. На кальке вычерчиваем масштабный план второго пучка с предшествующим ему прямолинейным участком пути с тормозными позициями и строим дугу  $b1 - b1$ , сопряженную с прямолинейным участком в конце кривой угла  $fi$  (рис. 27).

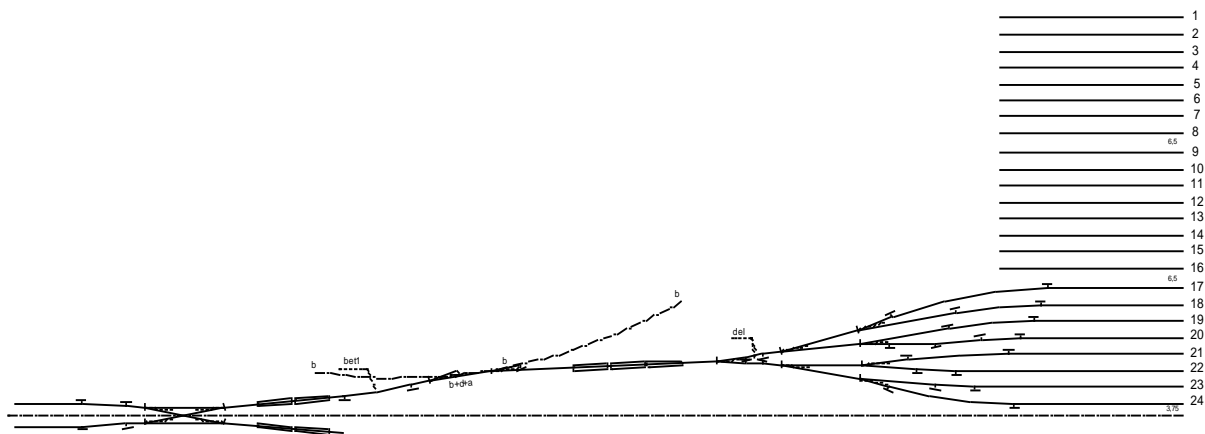


Рис. 26. Второй этап заготовки основного масштабного плана головы сортировочного парка для вписывания второго пучка

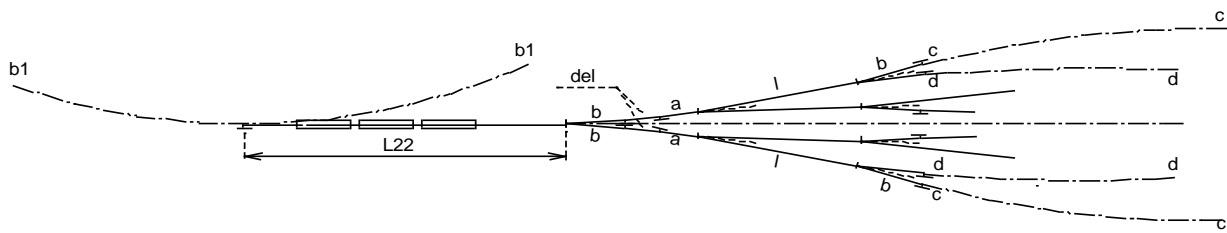


Рис. 27. План второго восьмипутного пучка

12. На схеме пучка после разделительных стрелок строим дуги  $c-c$  и  $d-d$  для вписывания путей пучка в пути сортировочного парка.

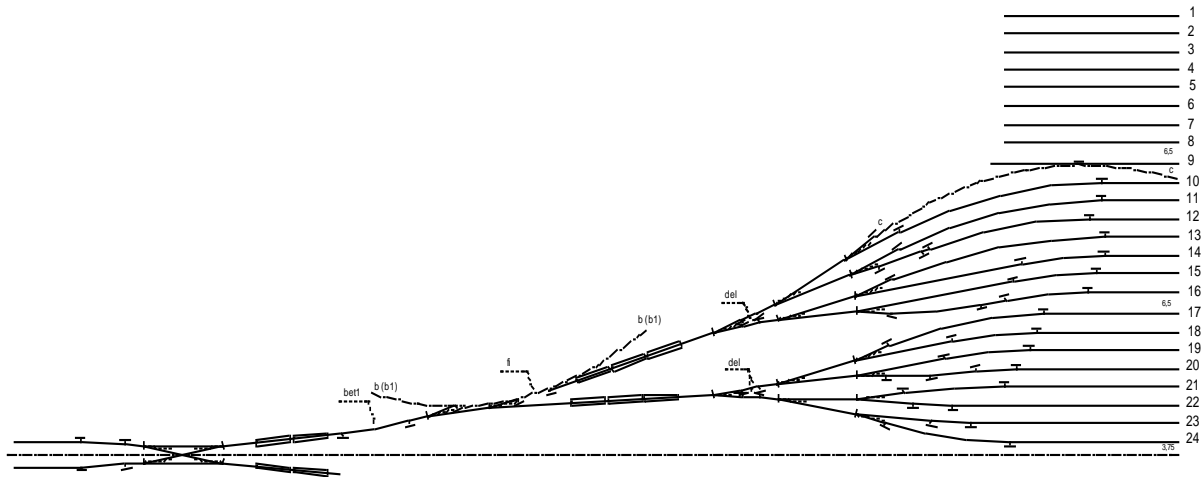


Рис. 28. Графическое вписывание второго пучка

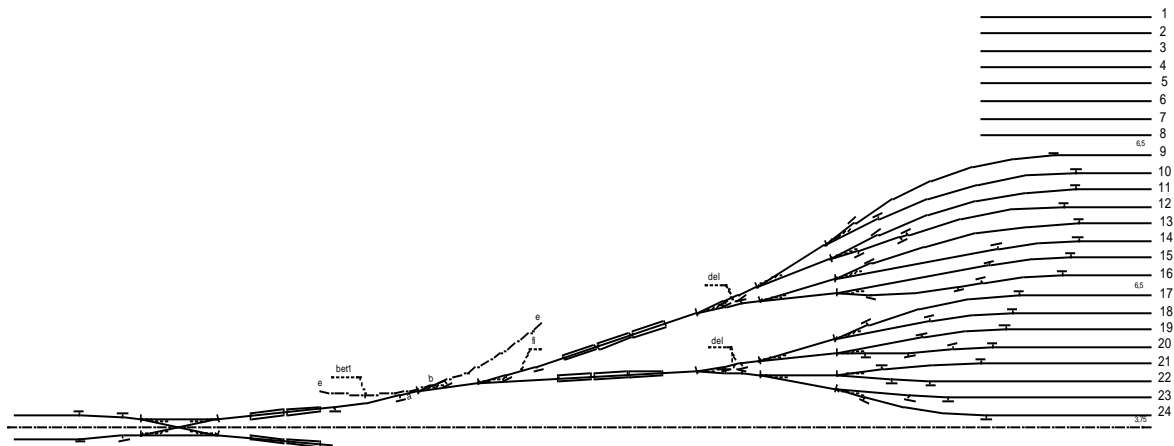


Рис. 29. Третий этап заготовки масштабного плана головы сортировочного парка для вписывания крайнего пучка

13. Накладываем план пучка на основной план головы сортировочного парка так, чтобы дуга пучка  $b1-b1$  совпала с дугой  $b-b$  и, передвигая план пучка строго по дуге  $b-b$ , добиваемся вписывания крайнего пути пучка в сортировочный путь (9) (рис. 28).

14. Закрепляем полученное положение второго пучка и завершаем соединение остальных путей пучка с сортировочными путями (рис. 28).

15. Измеряем по чертежу длину кривой угла  $f_i$  и определяем значение (величину) угла  $f_i$  по методу, изложенному в п. 9.

16. Для определения угла  $bet2$  на основном чертеже после разделительной стрелки строим дугу  $e - e$  (рис. 29).

17. На кальке вычерчиваем масштабный план крайнего пучка с предшествующей ему тормозной позицией и строим дугу  $e1 - e1$  (рис. 30).

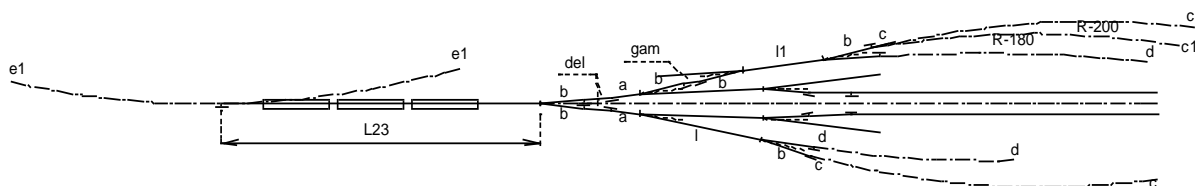


Рис. 30. План крайнего восьмипутного пучка

18. Накладываем план пучка с дугой  $e1 - e1$  на основной план головы СП, добиваясь совпадения с дугой  $e - e$ .

19. Вращая план пучка по дуге  $e - e$ , добиваемся вписывания крайнего пучка в сортировочный парк. Если при этом происходит нахлестка путей пучка на пути предыдущего пучка, можно уменьшить радиус вписывания крайних путей, но не менее  $R = 180$  м (рис. 31).

20. Закрепляем полученное положение пучка, определяем длину кривой и значение угла  $bet2$ , описанным выше методом.

Следует иметь в виду, что при графическом вписывании пяти-, шести- и семипутных пучков более сложно вписываются не крайние пути пучка, а предкрайние. Поэтому на масштабных заготовках и графическом вписывании пучков следует добиваться оптимального размещения их путем вписывания предкрайних путей.

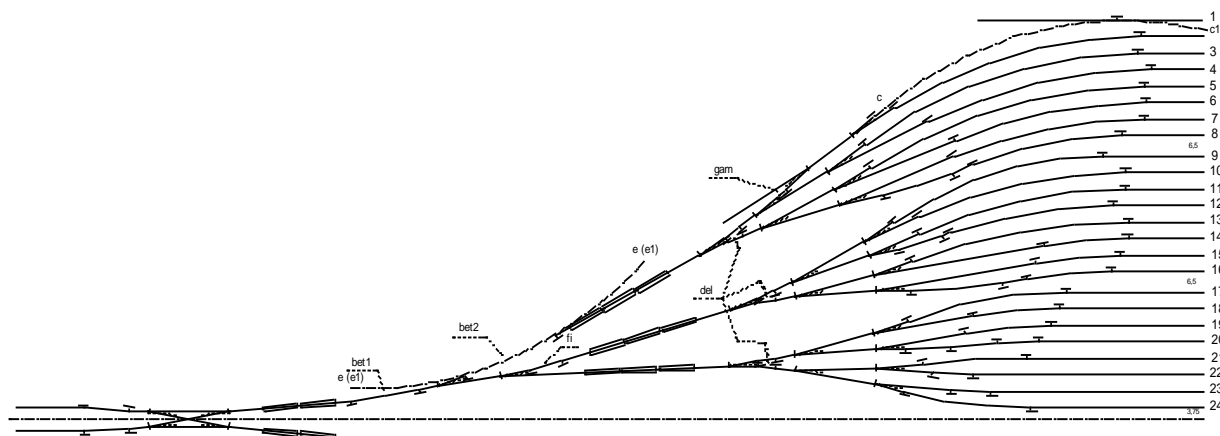


Рис. 31. Графическое вписывание крайнего пучка. Окончательное оформление масштабного плана головы сортировочного парка

Приведенный метод графического построения масштабного плана головы сортировочного парка и определения углов поворота сопрягающих кривых дает хорошую сходимость с методом, изложенным в разд. 1.2.

При расчетах, проектировании и построении масштабных планов горочных горловин сортировочных парков можно использовать методики, алгоритмы программного комплекса *Компас* или *AutoCAD* [5].

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Построив план головы сортировочного парка в заданном масштабе и определив расчетный путь скатывания для плохого бегуна, необходимо под планом (в том же масштабе) показать в направлении, параллельном оси СП, условную схему истинной длины расчетного пути, обозначить на ней стрелочные переводы, кривые и замедлители. Далее необходимо определить длину горочной горловины от вершины горки (ВГ) до расчетной точки ( $L_p$ ), сумму углов поворота всех круговых и стрелочных кривых ( $\Sigma\alpha^\circ$ ) и количество стрелочных переводов ( $n_c$ ) на расчетных участках горки.

Поэтому расчетная длина горки от ВГ до расчетной точки разбивается на четыре расчетных участка:

- 1 – от вершины горки до начала первой тормозной позиции;
- 2 – от начала первой тормозной позиции до начала второй тормозной позиции;
- 3 – от начала второй тормозной позиции до начала третьей (парковой) тормозной позиции;
- 4 – от начала третьей (парковой) тормозной позиции до расчетной точки.

Высотой горки называется разность отметок вершины горки и расчетной точки на наиболее трудном по сопротивлению подгорочном пути.

**Наименьшая расчетная высота сортировочной горки определяется из условия обеспечения скатывания при неблагоприятных условиях (зимой при встречном ветре) расчетного очень плохого (ОП) или плохого (П) бегуна до расчетной точки (РТ).**

На основании вышеизложенного и полученных данных высота сортировочной горки определяется по формуле

$$H_p = 1,75 \cdot \left[ L_p w_o + \sum_{i=1}^k (l_i w_{cs,i} + 0,56 \cdot v_i^2 \cdot n_{ci} + 0,23 \cdot v_i^2 \cdot \Sigma\alpha_{ki}^\circ) \right] \cdot 10^{-3} + L_{сн} w_{сн} 10^{-3} - \frac{v_o^2}{2g'} , \quad (14)$$

где 1,75 – мера отклонения расчетного значения суммарной потери удельной энергии при преодолении сил сопротивления от ее средней величины, указанной в квадратных скобках (для горок малой мощности мера отклонения равна 1,5);

$L_p$  – расчетная длина горки от ее вершины до расчетной точки, м;

$w_o$  – среднее значение основного удельного сопротивления движению вагона, кгс/тс (см. табл. 2.1.);

$k=4$  – число расчетных участков  $i$  от вершины горки до расчетной точки (см. табл. 2.3.);

$l_i$  – длина  $i$ -го расчетного участка (определяют по масштабному плану путевого развития горки с учетом возможных точек перелома продольного профиля у тормозных позиций и места нахождения парковой тормозной позиции), м;

$w_{cs,i}$  – среднее удельное сопротивление движению вагонов от воздушной среды и ветра на  $i$ -м расчетном участке, кгс/тс, определяемое по формулам (17, 18);

$0,56 \cdot v_i^2 \cdot 10^{-3}$  – средняя удельная работа сил сопротивления движению вагона от ударов об остряки, крестовину и контрельсы одного стрелочного перевода, м эн. в.;

$v_i$  – средняя скорость движения вагона на расчетном  $i$ -м участке, м/с (см. табл. 2.3.);

$n_{ci}$  – число стрелочных переводов на пути следования вагона по  $i$ -му расчетному участку;

$0,23 \cdot v_i^2 \cdot 10^{-3}$  – средняя удельная работа сил сопротивления движению вагона в кривых участках пути на каждый градус угла поворота, м эн. в.;

$\Sigma \alpha_{ki}^o$  – сумма углов поворота в кривых, включая переводные кривые стрелочных переводов на расчетном  $I$ -м участке, град.;

$L_{сн}$  – расстояние от начала головного стрелочного перевода пучка сортировочных путей до расчетной точки, м;

$w_{сн}$  – среднее удельное сопротивление движению вагона от снега и инея, кгс/тс (см. табл. 2.4.);

$\frac{v_0^2}{2g'} = h_0$  – энергетическая высота (удельная кинетическая энергия),

соответствующая расчетной скорости роспуска состава, м эн. в.;

$v_0$  – расчетная скорость роспуска состава, м/с (табл. 2.5.);

$g'$  – величина ускорения силы тяжести вагона с учетом инерции вращающихся масс, м/с<sup>2</sup>.

$$g' = \frac{g}{1 + \gamma}, \quad \gamma = 0,42 \frac{n}{q}, \quad (15, 16)$$

здесь  $g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>;  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей вагона;  $n$  – число осей в вагоне;  $q$  – вес вагона, тс.

Среднее значение основного удельного сопротивления движению вагонов на роликовых подшипниках определяется в зависимости от весовой категории (табл. 2.1.).

Таблица 2.1

Весовая категория вагонов	Диапазон веса вагонов, тс	Среднее значение $w_0$ . кгс/тс	Среднее квадратичное отклонение $\sigma_w$ , кгс/тс
Легкая (Л)	До 28	1,75	0,67
Легко-средняя (ЛС)	28 – 44	1,54	0,59
Средняя (С)	44 – 60	1,40	0,50
Средне-тяжелая (СТ)	60 – 72	1,25	0,38
Тяжелая (Т)	Свыше 72	1,23	0,35

При имитационном моделировании процесса расформирования состава случайное значение основного удельного сопротивления движению одиночного вагона  $\overline{w_0}^*$ , кгс/тс



$$\overline{w_0^*} = -\frac{1}{b} \ln \left( \prod_{j=1}^a R_j \right),$$

где  $a, b$  – параметры гамма-распределения;

$R_j$  – случайные числа, равномерно распределенные в интервале (0; 1).

Значения  $a$  и  $b$  для вагонов разных весовых категорий приведены в табл. 2.1.1.

Таблица 2.1.1

Параметры	Значения параметров для вагонов весовых категорий				
	Л	ЛС	С	СТ	Т
$a$	7,0	7,0	8,0	11,0	13,0
$b$	4,0	4,55	5,76	8,80	10,54

Удельное сопротивление движению вагона от воздушной среды и ветра:  
для одиночных вагонов

$$\pm w_{cv} = \frac{17,8 \cdot c_x \cdot S}{(273 + t^o) \cdot q} \cdot v_p^2; \quad (17)$$

для отцепов

$$\pm w_{cv} = \frac{17,8 \cdot (c_x \cdot S + \sum_{j=1}^n c_{xj} \cdot S_j)}{(273 + t^o) \sum_{j=1}^n q} \cdot v_p^2, \quad (18)$$

где  $c_x$  – коэффициент воздушного сопротивления одиночных вагонов или первого вагона в отцепе;

$c_{xj}$  – коэффициент воздушного сопротивления вагонов в отцепе (кроме первого вагона);

$S, S_j$  – площадь поперечного сечения (мидель) соответственно одиночного или первого вагона в отцепе и последующих вагонов в отцепе, м<sup>2</sup>;

$q$  – вес вагона, тс;

$\sum_{j=1}^n$  – вес отцепа из  $n$  вагонов, тс;

$v_p$  – относительная скорость скатывания отцепа с учетом направления ветра, м/с;

$t^o$  – температура наружного воздуха, °С, которая определяется для зимних неблагоприятных условий:

$$t^o = t_{cp}^o + 0,3 \tau (t_{min}^o - t_{min}^o), \quad (19)$$

где:  $t_{cp}^o$  – среднесуточная температура воздуха зимнего расчетного месяца, °С;

$t_{min}^o$  – минимальная температура воздуха зимнего расчетного месяца, °С;

$\tau$  – нормированное отклонение, принимаемое для:

горок повышенной мощности (ГПМ) – 3,0;

горок большой и средней мощности (ГБМ и ГСМ) – 2,5;

горок малой мощности (ГММ) – 2,0.

Коэффициенты  $c_x$  и  $c_{xj}$  принимаются по табл. 2.2 в зависимости от рода вагона и угла  $\alpha$  между результирующим вектором относительной скорости  $v_p$  и направлением движения отцепа.

Таблица 2.2

Род вагона	Число осей	S, м <sup>2</sup>	Угол $\alpha$ между результирующим вектором относительной скорости и направлением движения отцепа, град.						
			0	10	20	30	50	70	90
Значение коэффициентов воздушного сопротивления $c_x / c_{xj}$									
Полувагон	4	8,5	$\frac{1,36}{0,50}$	$\frac{1,68}{0,69}$	$\frac{1,83}{0,82}$	$\frac{1,76}{0,88}$	$\frac{1,11}{0,80}$	$\frac{0,43}{0,43}$	$\frac{0,10}{0,10}$
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	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 коэффициентов воздушного сопротивления $c_x$									
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
Цистерна	8	10,3	0,81	1,08	1,22	1,10	0,65	0,19	0,05
Хоппер	4	9,9	0,92	1,18	1,38	1,46	1,21	0,68	0,25

**Примечание.** Воздушное сопротивление четырехосной платформы с контейнерами приравнивают сопротивлению крытого четырехосного вагона.

Относительная скорость отцепа  $v_p$  и угол  $\alpha$  определяются формулами:

$$v_p^2 = v^2 + v_g^2 \pm 2vv_g \cdot \cos \beta; \quad (20)$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{v_g \cdot \sin \beta}{v_p}\right), \quad (21)$$

где  $v$  – средняя скорость отцепа на участке спускной части горки, м/с (табл.2.3);

$v_g$  – скорость ветра (принимается постоянной), м/с;

$\beta$  – угол между направлением ветра и осью участка пути, по которому движется отцеп.

При  $\beta < 30^\circ$  с допустимой погрешностью можно считать:

$$v_p = v \pm v_g; \quad \alpha = \beta / 2.$$

Знак «+» принимают при встречном ветре, а знак «-» – при попутном. Если скорость попутного ветра ( $v_g \cdot \cos \beta$ ) выше средней скорости отцепа, то  $w_{св}$  принимают со знаком «-». Значение средней расчетной скорости движения вагонов по разным участкам горки приведены в табл. 2.3.

В соответствии с табл. 2.3 расчетная длина горочного пути  $L_p$  равна сумме длин четырех расчетных участков, в состав которых входят и участки тормозных позиций:

$$L_p = l_1 + l_2 + l_3 + l_4.$$

Длину участка  $l_i$  определяют с учетом длины входящей в него кривой (если таковая имеется):

$$K_{кр} = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha_{кр}^{\circ}}{180},$$

где  $R$  – радиус кривой в плане, м;  
 $\alpha_k^o$  – значение центрального угла кривой (в градусах).

Таблица 2.3

Участки горки	Средняя скорость движения вагонов, м/с, на горках						
	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 I ТП	4,5	4,2	4,0	3,5	4,5	3,5	-
От I ТП до II ТП	6,0	5,5	5,0	4,0	-	-	3,0
От II ТП до III (парковой) ТП	5,0	5,0	4,0	3,0	4,0	3,0	-
От III ТП до расчетной точки	2,0	2,0	2,0	1,4	2,0	1,4	1,4

Таблица 2.4

Весовая категория	Дополнительное сопротивление от снега и инея ( $w_{сн}$ ), кгс/тс, при температуре, °С.					
	-10	-20	-30	-40	-50	-60
Л	0,2	0,3	0,5	0,9	1,7	3,3
ЛС	0,1	0,2	0,4	0,7	1,3	2,4
С	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	2,0
СТ	-	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6
Т	-	0,1	0,2	0,3	0,7	1,5

Таблица 2.5

**Расчетная скорость роспуска состава на горке**

Тип сортировочной горки			Расчетное сочетание бегунов *)	Скорость роспуска $v_o$ , м/с
Повышенной мощности (ГПМ)			ОП – ОХ – ОП	1,7
Большой мощности (ГБМ)			ОП – ОХ – ОП	1,7
Средней мощности (ГСМ)			ОП – Х – ОП	1,4
Малой мощности (ГММ)	С тормозной позицией на спускной части	Механизированной	ОП – Х – ОП **)	1,2
		Немеханизированной	ОП – Х – ОП **)	1,0
	Без тормозной позиции на спускной части		ОП – Х – ОП **)	0,8

При доле порожних вагонов менее 30 % (в табл. 2.5 \*\*) принимается сочетание П – Х – П. По формуле (14) также определяется расчетная высота горки при скатывании очень плохого бегуна (ОП) расчетной весовой категории при неблагоприятных условиях работы горки (зима, встречный ветер) до расчетной точки легкого по сопротивлению движения вагона сортировочного пути  $H_p^л$ . При этом различия в величинах исходных данных будут для:  $L_p$ ;  $l_i$ ;  $n_{ci}$ ;  $\Sigma\alpha_{ki}^o$ , 2-го и 3-го расчетных участков  $l_2$  и  $l_3$ ;  $L_{сн}$ . Как правило, легкий путь находится вблизи продольной оси сортировочного парка. Правилами и нормами проектирования сортировочных устройств предусматривается предварительное определение высоты горки как суммы высот элементов продольного профиля (без учета ходовых свойств расчетного

плохого бегуна). Поэтому, после расчета высоты сортировочной горки по условию скатывания расчетного плохого бегуна до расчетной точки по формуле (14), необходимо сопоставить ее с профильной высотой, особенно в случаях переустройства или реконструкции станций.

При определении высоты горки необходимо обеспечить следующую точность расчетов:  $t^{\circ} - 0,1$  °С;  $\gamma - 0,001$ ;  $g' - 0,01$  м/с<sup>2</sup>;  $l - 0,01$  м;  $\alpha_{\kappa}^{\circ} - 0,01^{\circ}$ ;  $v - 0,01$  м/с;  $w - 0,01$  кгс/тс;  $h - 0,01$  м эн. в.

### 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ НАДВИЖНОЙ И СПУСКНОЙ ЧАСТЕЙ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Продольный профиль сортировочной горки состоит из надвижной, перевальной (горб) и спускной частей и сортировочного пути.

Элементы продольного профиля горки сопрягают вертикальными кривыми, радиусы которых  $R_v$  должны быть на надвижной части не менее 350 м, а на спускной – не менее 250 м. Тангенс вертикальной кривой определяется по формуле

$$T_c = \frac{R_v \cdot \Delta i}{2000},$$

(22)

где:  $\Delta i$  – алгебраическая разность крутизны сопрягаемых уклонов.

**Вертикальная сопрягающая кривая не должна размещаться на прямых участках для вагонных замедлителей, на остриях и крестовинах стрелочных переводов, измерительных и весомерных участках систем автоматического регулирования скорости скатывания вагонов.**

Надвижная часть сортировочной горки может быть запроектирована по двум возможным вариантам (рис. 32):

**вариант 1** – перед сопрягающей кривой горба горки устраивается подъем крутизной 8 – 10 ‰ на протяжении 50 м, а предыдущий участок пути надвига проектируется на подъеме 1 – 2 ‰;

**вариант 2** – перед горбом горки проектируется подъем 12 – 16 ‰ на протяжении 100 – 150 м, а предыдущий участок пути перед подъемом располагается на горизонтальной площадке длиной 350 м.

При проектировании надвижной части горки по **варианту 2** должны обеспечиваться трогание с места и интенсивный разгон состава при нахождении первого вагона у вершины горки. На вершине горки продольный разделительный элемент отсутствует; если же он имеется – профиль надвижной и перевальной частей горки изменяется (рис. 33).

Длина путей надвига на горках повышенной и большой мощности устанавливается 350 – 400 м с учетом перспективного увеличения длины подгорочных путей; при реконструкции горки – не менее 150 м, в особо трудных условиях – не менее 100 м.

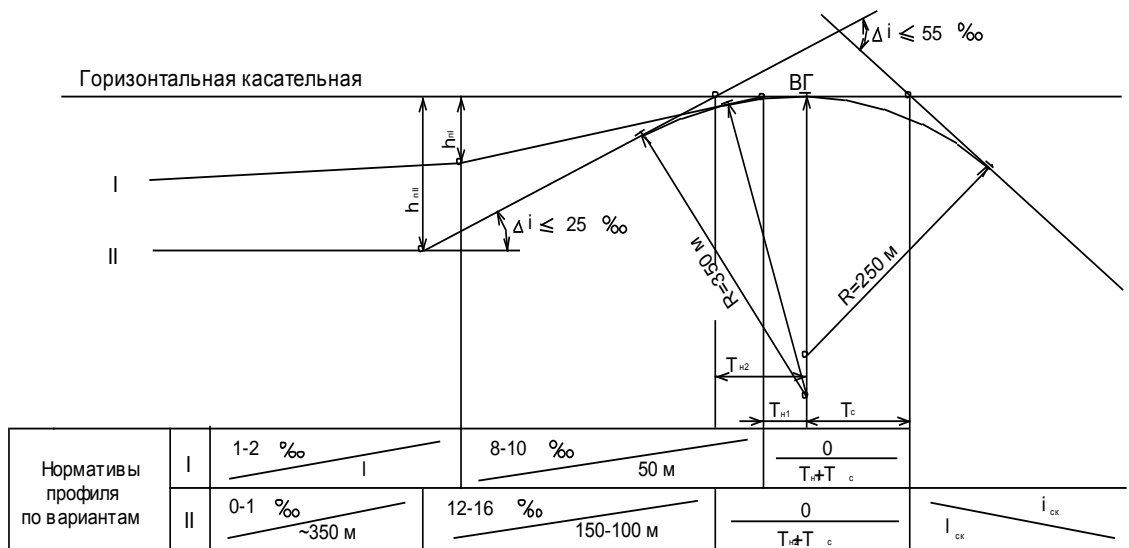


Рис. 32. Варианты профиля надвигной и перевальной частей горки без профильного разделительного элемента

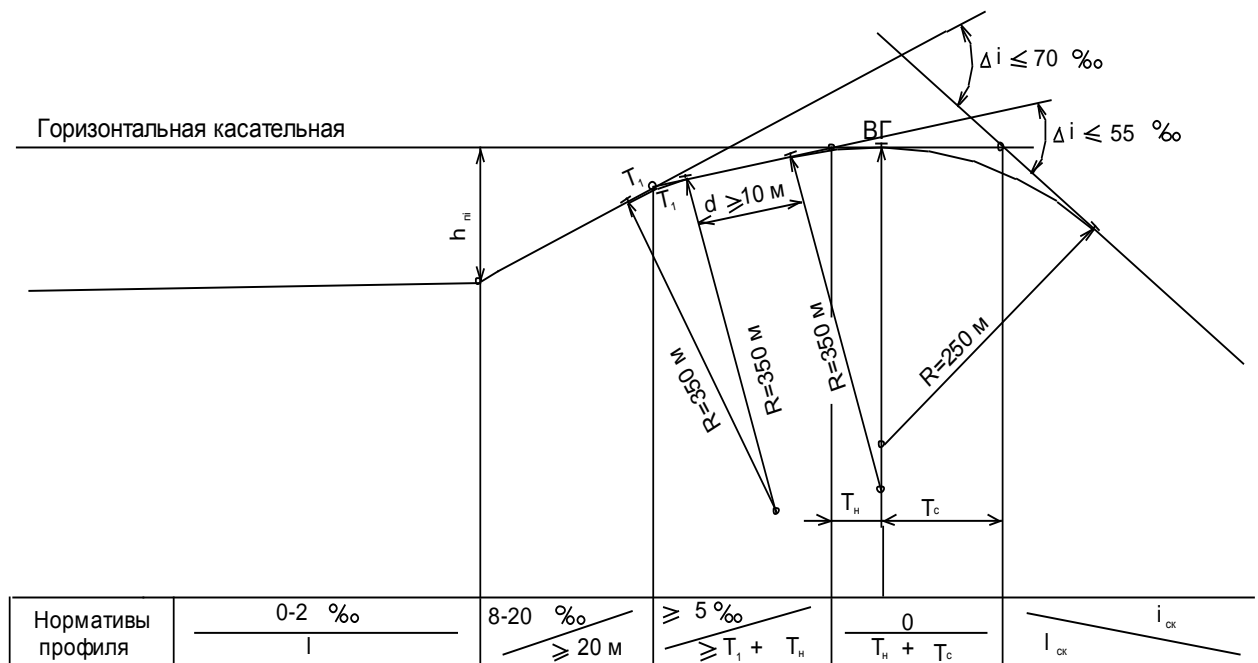


Рис. 33. Профиль надвигной и перевальной частей горки с профильным разделительным элементом

Пути надвига и горочные вытяжные пути проектируются в плане на прямых участках; в трудных условиях допускается наличие кривых радиусом 1200 м, а в особо трудных условиях – 600–500 м. В этом случае расстояние от вершины горки до начала кривой на надвигной части принимается не менее 40 м. Вершину горки (ВГ) сопрягают с началом первого элемента спускной части горки вертикальной кривой. Для расчета параметров продольного профиля спускной части горки и для ее дальнейшей проверки вертикальную кривую, сопрягающую ВГ и начало 1-го скоростного уклона заменяют двумя прямолинейными участками (рис. 34):  $l_{c1}$  – от ВГ до воображаемой точки перелома профиля, т. е. до условной вершины горки (УВГ);  $l_{c2}$  – от УВГ до начала первого скоростного участка.

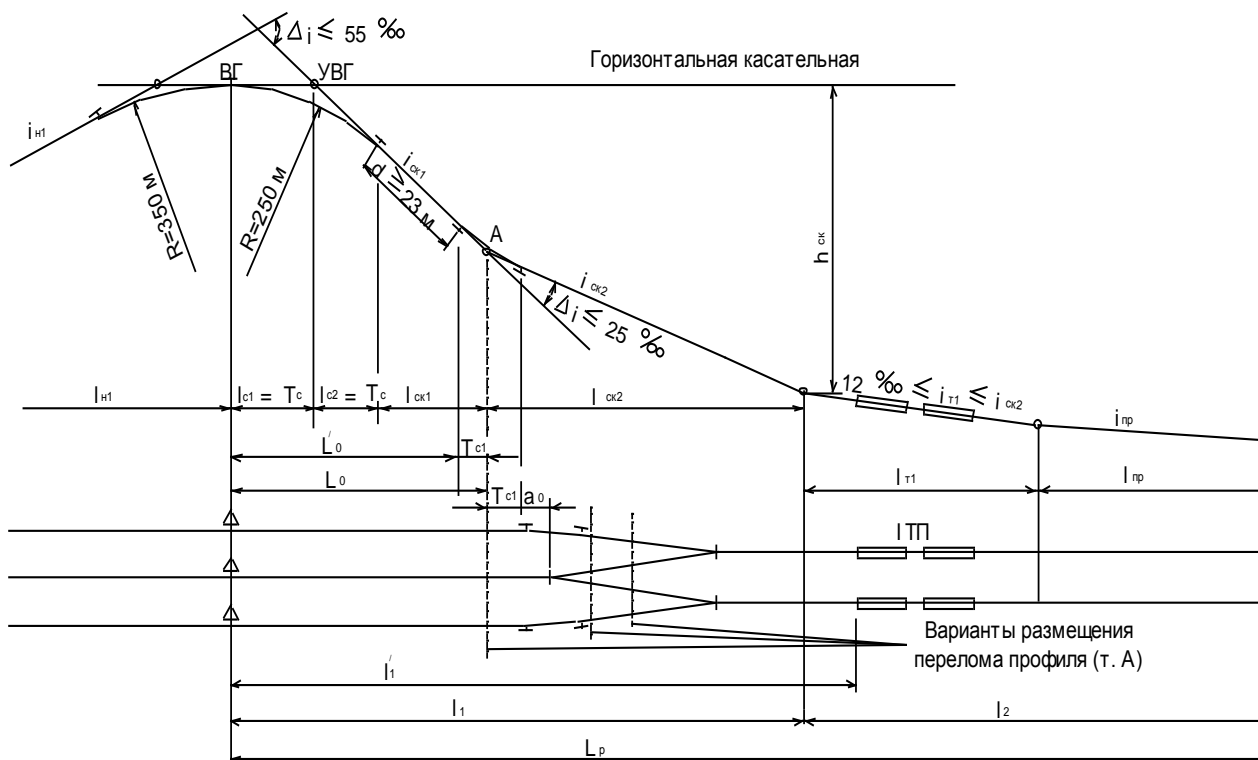


Рис. 34. Схема для расчета высоты и продольного профиля головного участка горки при размещении I ТП за первым разделительным стрелочным переводом

Кроме этих двух участков, продольный профиль спускной части горки и сортировочных путей включает следующие (рис. 35):

$l_{ск1}$  – первый скоростной;

$l_{ск2}$  – второй скоростной;

$l_{m1}$  – первой (верхней) тормозной позиции (I ТП);

$l_{пр}$  – промежуточный (межпозиционный);

$l_{m2}$  – второй (пучковой) тормозной позиции (II ТП);

$l_{сз}$  – стрелочной зоны от конца II ТП до предельного столбика последнего стрелочного перевода самого трудного по сопротивлению движения вагона сортировочного пути;

$l_{сн1}$  – сортировочного пути от предельного столбика до начала третьей (парковой) тормозной позиции (III ТП);

$l_{m3}$  – третьей (парковой) тормозной позиции (III ТП);

$l_{сн2}$  – сортировочного пути от конца III ТП до расчетной точки (РТ).

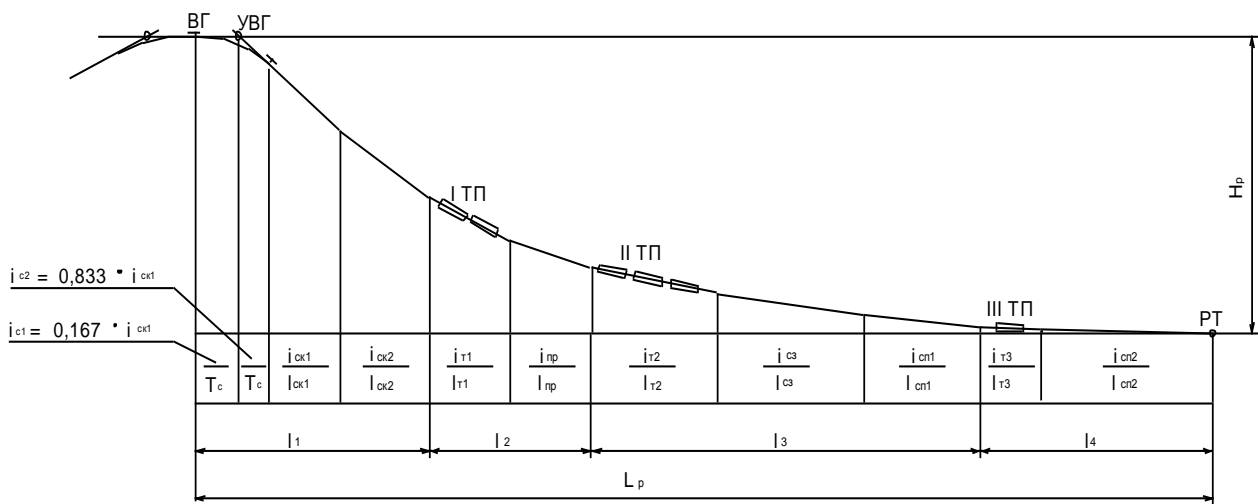


Рис. 35. Продольный профиль спускной части горки

От начала участка  $l_{ск1}$  до РТ продольный профиль спускной части горки и сортировочных путей должен быть вогнутым, т.е. крутизна уклона каждого последующего элемента горки не превышает крутизны уклона предыдущего элемента. Вогнутое очертание профиля соответствует циклоиде, которая обеспечивает наиболее быстрое скатывание вагонов с горки.

При наибольшей возможной крутизне уклона первого скоростного участка ( $i_{ск1} = 50 \text{ ‰}$ ) длина участка  $l_{c1}$  может быть принята равной длине тангенса вертикальной сопрягающей кривой  $T_c = R_e \cdot 50 / 2000$ . Крутизна уклона этого участка составляет  $i_{c1} = 0,167 \cdot i_{ск1}$ . Второй участок спускной части горки имеет  $l_{c2} = T_c$  и  $i_{c2} = 0,833 \cdot i_{ск1}$ .

Первый скоростной участок  $l_{ск1}$  проектируют наиболее крутым, с уклоном до  $50 \text{ ‰}$ . При отсутствии на вершине горки профильного разделительного элемента **суммарная крутизна сопрягаемых подъема и спуска не должна превышать  $55 \text{ ‰}$**  (без учета знака крутизны подъема и спуска). Поэтому, если принять, что крутизна подъема первого участка подвижной части  $i_{н1}$ , **максимальная крутизна спуска первого скоростного участка спускной части  $i_{ск1}^{max} = 55 - i_{н1}$ , но не более  $50 \text{ ‰}$**

**Скоростной участок сортировочной горки должен обеспечивать быстрый разгон отцепов для создания достаточных интервалов между ними с целью обеспечения перевода разделительных стрелок и вагонных замедлителей на всей спускной части горки. Однако скорость входа при благоприятных условиях скатывания (т.е. при попутном ветре и плюсовой температуре) очень хороших бегунов (ОХБ) весом 100 тс на первую тормозную позицию не должна быть выше допустимой в зависимости от конструкции замедлителя (табл. 1.2).**

На новых горках прямой (в профиле) участок  $l_{ск1}$ , ограниченный тангенсами вертикальных сопрягающих кривых, должен иметь длину не менее 20 м. Разница крутизны уклонов участков  $l_{ск1}$  и  $l_{ск2}$  не должна превышать  $25 \text{ ‰}$ . Обычно участок  $l_{ск1}$  продолжается до первой разделительной стрелки. Крутизна второго скоростного участка  $l_{ск2}$  не должна отличаться от  $i_{ск1}^{max}$

более чем на 25 ‰.

Параметры спускной части горки от ее вершины до начала I ТП определяют для условий скатывания ОХ бегуна, имеющего расчетный вес  $q_{ox} = 85$  тс и  $w_o^{ox} = 0,5$  кгс/тс (табл. 3.1).

Таблица 3.1

**Основные показатели для расчетных бегунов**

Показатели	Значение показателей для расчетных бегунов			
	ОП	П	Х	ОХ
Расчетный вес $q$ , тс	22,0	25,0	70,0	85,0
Основное удельное сопротивление $w_o$ , кгс/тс	4,5	4,0	0,8	0,5

Исходя из вышеизложенного и допустимой скорости входа ОХБ на I ТП  $V_{max}$  (см. табл. 1.2) и с учетом наибольшей скорости роспуска  $V_{0(max)}$ , определяют максимально возможную среднюю крутизну уклона от ВГ до начала I ТП, т.е. на длине 1-го расчетного участка  $l_1 = l_{c1} + l_{c2} + l_{ck1} + l_{ck2}$ , ‰ :

$$i_{скр}^{max} = \frac{(V_{max}^2 - V_{0(max)}^2)}{2g_{ox}' \cdot l_1 \cdot 10^{-3}} + w_o^{ox} + \frac{0,56 \cdot V_1^2 \cdot n_{c1} + 0,23 \cdot V_1^2 \cdot \alpha_{\kappa 1}^o}{l_1}, \quad (23)$$

где  $V_{max}$  – допустимая скорость входа вагонов на замедлитель, м/с;

$V_{0(max)}$  – наибольшая начальная (расчетная) скорость скатывания ОХБ (принимают 2,5 м/с);

$\frac{0,56 \cdot V_1^2 \cdot n_{c1}}{l_1}$  – среднее значение удельной работы сил сопротивления

движению вагона от ударов колес на стрелочных переводах на пути  $l_1$  ( $V_1$  на ГПМ для ОХБ можно принимать равной 5,3 м/с, т.е. на 0,8 м/с больше, чем в табл. 2.3; при  $V_{0(max)} = 2,5$  м/с  $V_1$  увеличивают на 0,8 м/с и для ГБМ и ГСМ);

$\frac{0,23 \cdot V_1^2 \cdot \alpha_{\kappa 1}^o}{l_1}$  – среднее значение удельной работы сил сопротивления

движению вагона в кривых на участке  $l_1$  (включая переводные кривые стрелочных переводов).

Тогда профильная высота 1-го расчетного участка  $l_1$  составляет, м:

$$h_{скр} = l_1 \cdot i_{скр}^{max} \cdot 10^{-3},$$

а крутизна уклона второго скоростного участка будет равна, ‰ :

$$i_{ск2} = \frac{h_{скр} - (h_{c1} + h_{c2} + h_{ск1}^{max})}{l_{ск} \cdot 10^{-3}}. \quad (24)$$

Первую тормозную позицию горок повышенной, большой и средней мощности располагают на уклоне крутизной не менее 12 ‰ с соблюдением условия  $i_{ск2} \geq i_{m1}$ . Крутизна промежуточного (межпозиционного) участка должна удовлетворять условию  $i_{m1} \geq i_{np} \geq i_{m2}$ .



**Участок второй тормозной позиции проектируют на спуске крутизной, обеспечивающей в неблагоприятных условиях трогание с места расчетных плохих бегунов.** При среднесуточной температуре зимой не ниже  $-19^{\circ}\text{C}$  крутизна уклона *II* ТП должна быть не менее  $7\text{‰}$ , а если среднесуточная температура равна  $-20^{\circ}\text{C}$  и ниже, т. е. соответствует холодным *IV – VI* температурным зонам, то  $i_{m2}^{min} = 10\text{‰}$ .

Крутизну участка стрелочной зоны  $l_{c3}$  проектируют в пределах от  $1,0$  до  $1,5\text{‰}$ , на крайних пучках – до  $2,0\text{‰}$  (для горок с числом путей до 30) и до  $2,5\text{‰}$  (для горок с числом путей более 30 и в холодных температурных зонах).

Крутизну участка сортировочных путей  $l_{cn1}$  при расположении *III* ТП в кривой допускается проектировать такой же, как и для  $l_{c3}$ , а на прямой – до  $1,5\text{‰}$  с соблюдением условия  $i_{c3} \geq i_{cn1}$ . Парковую тормозную позицию при ее расположении на прямой можно проектировать на уклоне крутизной  $1,5\text{‰}$  с соблюдением условия  $i_{cn1} \geq i_{m3}$ .

Сортировочные пути за парковой тормозной позицией до РТ и за ней проектируют на равномерном спуске крутизной  $0,6\text{‰}$ , кроме последнего участка длиной  $100$  м, который совместно с выходной горловиной сортировочного парка располагают на подъеме крутизной  $2\text{‰}$ .

В конечном итоге, устанавливаются профильные высоты всех участков от вершины горки до расчетной точки и проверяются условия:

$$H_p = \sum l_j \cdot i_j; \quad i_{ck1} \geq i_{ck2} \geq i_{m1} \geq i_{np} \geq i_{m2} \geq i_{c3} \geq i_{cn1} \geq i_{n3} \geq i_{cn2}.$$

Если эти условия не выполняются, то делается корректировка элементов продольного профиля. Основные случаи для корректировки элементов продольного профиля приведены в табл. 3.2.

Выполнив расчеты продольного профиля сортировочной горки на *трудный* путь, необходимо рассчитать продольный профиль при скатывании вагонов и на *легкий* путь.

Для сортировочного пучка, в котором находится *легкий* путь, параметры продольного профиля от вершины горки до конца *I* ТП те же, что и при скатывании очень плохого бегуна (ОПБ) на трудный путь. Остальную часть продольного профиля принимают:  $i_{np} = i_{m2}^{min}$ ;  $i_{c3} = i_{cn1} = i_{m3} = 1 - 1,5\text{‰}$ ;  $i_{cn2} = 0,6\text{‰}$ . Если при этом сумма профильных высот всех участков от ВГ до РТ легкого пути, равная  $H_{p(проф)}$ , получается больше  $H_p$ , рассчитанной по формуле (14) для легкого пути, то в дальнейших расчетах в качестве высоты горки для легкого пути принимают  $H_{p(проф)}$ . При этом ОПБ расчетной весовой категории в неблагоприятных условиях работы горки (зимой, при встречном ветре) будет докатываться дальше РТ легкого пути на расстояние  $\Delta l$ , которое определяется следующим образом.

Таблица 3.2

Случай расчета	Соотношение уклонов по предварительным расчетам	Соотношение уклонов, которое должно быть после корректировки	Формулы, по которым выполняют корректировку
1	$i_{ck1}^{\max} - i_{ck2} > 25 \text{ ‰}$	$i'_{ck1} - i'_{ck2} \cong 25 \text{ ‰}$	$i'_{ck1} = \frac{h_{ckcp} - (h_{c1} + h_{c2}) + 25 \cdot l_{ck2} \cdot 10^{-3}}{(l_{ck1} + l_{ck2}) \cdot 10^{-3}}$ $i'_{ck2} = \frac{h_{ckcp} - (h_{c1} + h_{c2} + h'_{ck1})}{l_{ck2} \cdot 10^{-3}}$
2	$(i_{ck2} \vee i'_{ck2} \vee \dots) <$ $(i_{m1}^{\min} \vee i'_{m1} \vee \dots)$	$i''_{ck2} \vee \dots = i_{m1}^{\min} \vee \dots$	$i'_{ck1} \vee \dots = (i_{ck1}^{\max} \vee i'_{ck1} \vee \dots) -$ $\frac{l_{ck2} \cdot [(i_{m1}^{\min} \vee i'_{m1} \vee \dots) - (i_{ck2} \vee i'_{ck2} \vee \dots)]}{l_{ck1}}$ $i''_{ck2} \vee \dots = i_{m1}^{\min} \vee \dots =$ $\frac{h_{ckcp} - [h_{c1} + h_{c2} + (h'_{ck1} \vee h''_{ck1} \vee \dots)]}{l_{ck2} \cdot 10^{-3}}$
3	$(i_{m1}^{\min} \vee i'_{m1} \vee \dots) <$ $< (i_{np} \vee i'_{np} \vee \dots)$	$i'_{m1} \vee \dots = i'_{np} \vee \dots$	$i'_{m1} \vee \dots = i'_{np} \vee \dots =$ $\frac{H_p - [\sum h_j - (h_{m1}^{\min} \vee h'_{m1} \vee \dots)]}{(l_{m1} + l_{np}) \cdot 10^{-3}}$
4	$(i_{np} \vee i'_{np} \vee \dots) < i_{m2}^{\min}$	$i''_{np} \vee \dots = i_{m2}^{\min}$	$i''_{ck2} \vee \dots =$ $\frac{H_p - [\sum h_j - (h_{ck2} \vee h'_{ck2} \vee h''_{ck2} \vee \dots) + i_{m2}^{\min} l_{np} \cdot 10^{-3}]}{l_{ck2} \cdot 10^{-3}}$

**Примечания.** 1.  $\vee$  (дизъюнкция) – символ алгебры логики, означающий логическую операцию «или».  
2. В гр. 2 – 4 учитывают последние на момент расчета скорректированные величины  $i_j$  и  $h_j$ .

Так как в РТ легкого пути ОПБ расчетной весовой категории имеет резерв удельной кинетической энергии, равный  $\Delta h = H_p^{\text{н(проф)}} - H_p^{\text{н}}$ , то его скорость в РТ будет равна, м/с:

$$V_{pm} = \sqrt{2g' \Delta h} . \quad (25)$$

От РТ до остановки ОПБ пройдет путь, равный

$$\Delta l = \frac{\Delta h}{(w_o + w_{cv} - i_{cn2}) \cdot 10^{-3}} , \quad (26)$$

где  $w_o$  – основное удельное сопротивление движению ОПБ расчетной весовой категории, определяемое по табл. 3.1;

$w_{cv}$  – удельное сопротивление движению ОПБ от воздушной среды и ветра, которое можно принимать при той же скорости, что и на 4-м расчетном участке (см. табл. 2.3), т. е. на сортировочных путях.

В дальнейших расчетах надо принимать, что в этом случае новая РТ легкого пути находится от III ТП на расстоянии  $(50 + \Delta l)$  м. При этом превышение конца II ТП над новой расчетной точкой легкого пути равно:

$$h_{сз-пт(н)} = h_{сз} + h_{сн1} + h_{мз} + i_{сн2} (50 + \Delta l) \cdot 10^{-3}. \quad (27)$$

Расчетные продольные профили спускной части горки при скатывании расчетных бегунов на трудный и легкий пути сортировочного парка необходимо проверить на обеспечение расчетной скорости роспуска, требуемых интервалов на разделительных стрелках и замедлителях между последовательно скатывающимися бегунами в сочетании ОП – ОХ – ОП (см. табл. 2.5), которое требуется при проектировании ГПМ и ГБМ (для ГСМ и ГММ используют сочетание ОП – Х – ОП).

#### 4 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ТОРМОЗНЫХ ПОЗИЦИЙ НА СПУСКНОЙ ЧАСТИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Для обеспечения безопасности роспуска составов и повышение его темпа на спускной части горки и сортировочных путях оборудуют тормозные позиции, число и мощность которых зависят от высоты горки, ее профиля и принятых технологических режимов роспуска.

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.

Наличную мощность монтируемых в пути замедлителей устанавливают по справочным данным о выбранном типе замедлителей (см. табл. 1.2); наличная мощность должна быть не менее потребной.

**Суммарная потребная мощность тормозных средств на спускной части горки по маршруту скатывания бегунов на легкий путь при благоприятных условиях и максимально допустимой скорости роспуска должна обеспечивать остановку ОХБ (четырёхосный полувагон весом 100 тс) на последней тормозной позиции спускной части горки, м ЭН. В.:**

$$H_{тсч} = K_y (H_p^n + h_{o(max)} - h_{сз-пт} - h_{w,вз-м2}^{ox}), \quad (28)$$

где  $K_y$  – коэффициент увеличения потребной расчетной мощности тормозных средств на спускной части горки, вызываемого требованиями совместного интервального и прицельного торможения, безопасной сортировки вагонов при занятии участка между пучковой (II ТП) и парковой (III ТП) тормозными позициями, компенсации погрешностей регулирования скорости скатывания вагонов и обеспечения живучести технологической системы этого регулирования (при двух ТП в пределах спускной части горки величина  $K_y$  составляет 1,20 – 1,25, причем меньшую величину принимают для горок, сооружаемых в местностях с сухим климатом, где редки туманы при температуре, близкой к нулевой);

$H_p^n$  – (или  $H_{p(проф)}^n$ ) – расчетная высота горки при скатывании бегуна

расчетной весовой категории при неблагоприятных условиях до расчетной точки легкого сортировочного пути, м;

$h_{o(max)} = \frac{V_{o(max)}^2}{2g_{ox}}$  – энергетическая высота, соответствующая максимальной скорости роспуска с учетом погрешностей регулирования ( $V_{o(max)} = 2,5$  м/с), м эн. в.;

$h_{cz-pm}$  – (или  $h_{cz-pm(n)}$ ) разность отметок конца последней тормозной позиции на спускной части горки (II ТП) и расчетной точки легкого пути, м;

$h_{w, \varrho z-m2}^{ox}$  – энергетическая высота, эквивалентная суммарной работе всех сил сопротивления движению при проходе ОХБ (четырёхосный полувагон весом 100 тс) от ВГ до конца последней тормозной позиции на спускной части горки (II ТП) легкого пути при благоприятных условиях скатывания, т.е. при плюсовой температуре и попутном ветре, м эн. в.

Энергетическая высота, м эн. в., теряемая ОХБ при преодолении всех сил сопротивления движению по маршруту на легкий путь:

$$h_{w, \varrho z-m2}^{ox} = \left[ w_o^{ox} \cdot l_{\varrho z-m2} + \sum_{i=1}^{k'} (0,56 \cdot V_i^2 \cdot n_{ci} + 0,23 \cdot V_i^2 \alpha_{ki}^o) \right] \cdot 10^{-3}, \quad (29)$$

где:  $w_o^{ox}$  – основное удельное сопротивление движению ОХБ (принимают 0,5 кгс/тс);

$l_{\varrho z-m2}$  – расстояние от ВГ до конца II ТП, м;

$k'$  – количество  $i$ -х расчетных участков от ВГ до начала II ТП (табл. 2.3);

$n_{ci}$ ,  $\alpha_{ki}^o$  – соответственно число стрелочных переводов и сумма углов поворота на  $i$ -м расчетном участке (включая углы поворота в переводной кривой стрелочных переводов) при следовании по маршруту на легкий путь.

В формуле (29) удельное сопротивление воздушной среды и ветра движению ОХБ при плюсовой температуре и попутном ветре не учитывается и принимается равным нулю. Здесь же для ОХБ на расчетном участке свободного скатывания  $l_1$  при  $V_{o(max)} = 2,5$  м/с скорость  $V_1$  равна для ГПМ 5,3 м/с, ГБМ – 5 м/с и ГСМ – 4,8 м/с.

Суммарную потребную мощность тормозных позиций следует распределить между I ТП и II ТП так, чтобы обеспечить безопасность роспуска и наибольшую перерабатывающую способность сортировочной горки. **Минимальная мощность I ТП** (т. е. мощность одного ее замедлителя, когда второй выключен для ремонта)  $h'_{m(min)}$  должна обеспечивать такое торможение ОХБ, скатывающегося при благоприятных условиях на легкий путь, чтобы выполнялись требования интервального регулирования скорости скатывания вагонов, а также скорость его входа на II ТП не превышала максимально допустимой по конструкции замедлителя, м эн. в., т. е.:

$$h'_{m(min)} = H_p^l + h_{o(max)} - h_{w, \varrho z-np}^{ox} - h_{max}^{ex} - h_{m2-pm}, \quad (30)$$

где  $h_{w, \varrho z-np}^{ox}$  – определяют по формуле (29), но при условии прохода ОХБ от

ВГ до II ТП, т. е. на расстояние  $l_{62-np}$  (а не  $l_{62-m2}$ );

$h_{\max}^{ex} = \frac{V_{\max}^2}{2g'_{ox}}$  – энергетическая высота (м эн. в.), эквивалентная максимально допустимой скорости входа вагонов на замедлитель  $V_{\max}$ ;  
 $h_{m2-pm}$  – разность отметок начала II ТП и расчетной точки легкого пути, м.

Если в формуле (30) вместо  $H_p^n$  учитывается  $H_{p(проф)}^n$ , то вместо  $h_{m2-pm}$  надо принимать  $h_{m2-pm(n)}$ .

Так как на I ТП всех горок необходимо устанавливать не менее двух замедлителей с целью обеспечения роспуска составов в период выключения для ремонта одного из замедлителей, то общая потребная мощность I ТП должна быть равна  $2h'_{m(min)}$ .

**Потребная мощность II ТП на ГПМ и ГБМ должна обеспечивать остановку ОХБ, вступившего на нее с максимально допустимой скоростью  $V_{\max}$ , м эн. в.:**

$$h'_{m(min)} = \frac{V_{\max}^2}{2g'_{ox}} + l_{m2} \cdot (i_{m2} - w_o^{ox}) \cdot 10^{-3}, \quad (31)$$

где:  $l_{m2}$  и  $i_{m2}$  – соответственно длина и крутизна уклона II ТП.

Для ГСМ  $h''_{m(min)} = H_{мсч} - \max(1,4 \vee 2h'_{m(min)})$  с установкой не менее двух замедлителей.

Если после корректировки продольного профиля наибольшая скорость входа ОХБ на первую и вторую тормозные позиции меньше  $V_{\max}$ , это должно быть учтено при расчетах по формуле (31).

После выполнения соответствующих расчетов необходимо, по данным табл. 1.2, подобрать тип и количество замедлителей для обеих тормозных позиций. Так, мощность выбранных замедлителей II ТП должна быть  $h''_{m(с)} \geq h'_{m(min)}$ . Тогда потребная мощность обоих замедлителей I ТП равна, м эн.в.:

$$h'_{m(n)} = H_{мсч} - h''_{m(с)}. \quad (32)$$

Расчетная мощность замедлителей I ТП  $h'_m$  принимается большей из двух величин  $2h'_{m(min)}$ , полученной по формуле (31), или  $h'_{m(n)}$ , определенной по формуле (32).

Скорректированная потребная мощность первой и второй тормозных позиций с учетом работы всех замедлителей II ТП равна, м эн. в.:

$$H_{мсч}^c = h'_m + h''_{m(с)}. \quad (33)$$

Потребная расчетная мощность парковой тормозной позиции для горок с двумя тормозными позициями на спускной части устанавливается в ходе расчетов при проектировании высоты и продольного профиля горки в зависимости от расчетной скорости роспуска. На эксплуатируемых горках мощность парковой тормозной позиции составляет 0,8 – 1,2 м эн. в.

На ГПМ, ГБМ и на четырехпучковых ГСМ необходимо на одном из путей каждого пучка устанавливать за основными замедлителями

дополнительные тормозные средства с целью направления на эти пути вагонов, скорость которых на спускной части по ряду причин не была снижена. Наличную мощность дополнительной (второй) парковой тормозной позиции следует проектировать равной 0,4 м эн. в.

Наличная мощность парковой тормозной позиции на ГММ при наличии тормозной позиции на спускной части проектируется равной 0,8 м эн. в.

Для большей уверенности, что надежность работы горки будет обеспечена, необходимо определять мощность тормозных позиций для условий скатывания ОХБ не только на легкий, но и на трудный путь. В качестве требуемой должна приниматься наибольшая из полученных мощностей *I* ТП и *II* ТП для условий скатывания ОХБ по маршрутам на легкий и трудный пути сортировочного парка.

## **5 ПРОВЕРКА ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ СПУСКНОЙ ЧАСТИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ**

### **5.1 Расчет и построение кривых энергетических высот, скорости и времени скатывания вагонов с горки**

Путь следования вагонов от точки перелома (за вершиной горки) до расчетной точки разбивается на расчетные участки длиной, как правило, не более 30 м. На крутых уклонах рекомендуется принимать длину расчетных участков 15 – 20 м. Весь расчет ведется в табличной форме.

Конструктивные и технологические расчеты по проверке качества запроектированного продольного профиля спускной части горки и мощности тормозных позиций выполняются анализом кривых скорости и времени скатывания ОП и ОХ бегунов при неблагоприятных и благоприятных условиях.

Кривые скорости строят на основе данных для кривых энергетических высот, которые для ГПМ и ГБМ должны соответствовать следующим условиям скатывания вагонов с горки:

ОПБ, следующего на трудный путь при неблагоприятных условиях скатывания без торможения или с частичным торможением, – кривые  $h_w^{on}(L)$  и  $h_w^{onm}(L)$ ;

ОХБ весом 85 тс, следующего на путь, соседний с трудным, при неблагоприятных условиях скатывания без торможения и с частичным торможением, – кривые  $h_w^{ox}(L)$  и  $h_w^{oxm}(L)$ ;

ОХБ весом 100 тс, следующего на легкий путь при благоприятных условиях скатывания с полным торможением, – кривая  $h_w^{oxmm}(L)$ .

Для ГПМ и ГБМ обеспечение расчетных скоростей роспуска, входа на тормозные позиции и выхода с них, достаточность мощности вагонных замедлителей, интервалов на стрелочных переводах, замедлителях и у предельного столбика трудного и соседнего с ним путей определяют при последовательном скатывании бегунов в сочетании ОП – ОХ – ОП (см. табл. 2.5). Для ГСМ и ГММ используют сочетание ОП – Х – ОП.

В соответствии с табл. 3.1 в качестве ОПБ принимают четырехосный полувагон на роликовых подшипниках расчетным весом  $q_{on} = 22$  тс с основным удельным сопротивлением  $w_o^{on} = 4,5$  кгс/тс, а для ОХБ –  $q_{ox} = 85$  тс и  $w_o^{ox} = 0,5$  кгс/тс. При проверке достаточности мощности вагонных замедлителей для ОХБ принимают  $q_{oxm} = 100$  тс и  $w_o^{oxm} = 0,5$  кгс/тс. Для ХБ –  $q_x = 70$  тс и  $w_o^x = 0,8$  кгс/тс.

Для обеспечения достаточных интервалов между бегунами, скатывающимися в расчетном сочетании ОП – ОХ – ОП (или ОП – Х – ОП), предусматривают резерв интервала на стрелочных переводах, вагонных замедлителях и у предельных столбиков на менее 1 с.

Скорость следования и время скатывания отцепов целесообразно определять графо-аналитическим способом. При графо-аналитическом методе на листе ватмана (обычно А-1) в верхней части вычерчивают масштабный план горочной горловины сортировочного парка и сортировочных путей в масштабе 1:500 или 1:1000 с показанием оси ВГ, углов поворота и других элементов, а в нижней части – продольный профиль (горизонтальный масштаб 1:500 или 1:1000, вертикальный – 1:20 или 1:40) с указанием уклонов и длины участков (рис. 36 или цветную вклейку).

Кроме указанных участков продольного профиля спускной части горки и сортировочных путей (см. рис. 35), выделяют дополнительно стрелочные изолированные участки первой и последней разделительных стрелок, изолированные участки вагонных замедлителей. Как было сказано выше, для более точных расчетов путь следования вагонов от ВГ до РТ целесообразно разбить (с учетом перечисленных точек) на расчетные участки длиной, как правило, не более 30 м. На крутых уклонах рекомендуется принимать длину расчетных участков 15 – 20 м.

Расчеты по проверке продольного профиля и мощности тормозных позиций сводят в стандартную таблицу, приведенную в учебнике [1], стр. 149, либо по табл. 5.1 (см. вклейку). В верхней части таблицы указываются условия скатывания для конкретного бегуна: основное удельное сопротивление движению вагона, его вес, количество осей, температура воздуха зимой, скорость встречного ветра, ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся масс. Здесь же указывают величину коэффициента 
$$z = \frac{17,8 \cdot c_x \cdot S}{(273 + t^o) \cdot q},$$
 необходимого для определения удельного сопротивления движению вагона от воздушной среды и ветра. Графы стандартной таблицы рассчитываются и заполняются в соответствии с их наименованием.

Определение наиболее целесообразной работы силы торможения бегунов на вагонных замедлителях спускной части горки относится к классу многовариантных задач. Наилучшие условия для перевода стрелок и шин замедлителей могут быть обеспечены при примерном равенстве скоростей скатывания ОПБ и ОХБ между тормозными позициями. Поэтому более высокие скорости ОХБ (по сравнению с ОПБ) перед тормозными позициями должны компенсироваться более низкими скоростями ОХБ после торможения.

В качестве одного из возможных вариантов можно принять следующий. Тормозное усилие на первой тормозной позиции может быть принято равным разнице энергетических высот ОХБ и ОПБ на входе первого замедлителя, т. е.  $h'_{\text{торм}} = h^{\text{охб}}_{\text{св}} - h^{\text{опб}}_{\text{св}}$ .

На наш взгляд, расчеты по проверке продольного профиля сортировочной горки и мощности тормозных позиций удобнее вести по табл. 5.1. Здесь нужно только помнить, что все расчеты ведут (построчно) по отдельным участкам, и фактически номера точек совпадают с концами расчетных участков.

Точность расчетов по приведенным таблицам должна быть следующей:  $i - 0,01 \text{ ‰}$ ;  $l - 0,01 \text{ м}$ ;  $\alpha^{\circ}_k - 0,01^{\circ}$ ;  $V - 0,01 \text{ м/с}$ ;  $t - 0,1 \text{ с}$ ; данные гр. 5 и 6 –  $0,001 \text{ м}$ ; данные гр. 10–18 –  $0,001 \text{ м эн. в}$ .

Построение кривых энергетических высот выполняют в тех же масштабах, которые были использованы при построении плана и продольного профиля горки (горизонтальный – 1:500 или 1:1000, вертикальный – соответственно 1:20 или 1:40).

Для того, чтобы построить энергетические высоты (см. рис. 36 или цветную вклейку), нужно выше отметки вершины горки на расстоянии  $h = V_o^2/2g'$  провести горизонтальную линию  $MN$ , соответствующую энергетической высоте при расчетной скорости роспуска  $V_o = 1,7 \text{ м/с}$  для ГПМ и ГБМ ( $V_o = 1,4 \text{ м/с}$  – ГСМ,  $V_o = 1,2 \text{ м/с}$  – ГММ), а на расстоянии  $h_{\text{охт}} = V_o^2(\text{max})/2g'$  – линию  $M'N'$  (для максимально допустимой скорости роспуска  $V_o(\text{max}) = 2,5 \text{ м/с}$ ).

Для ОПБ и ОХБ (при неблагоприятных условиях) от линии  $MN$  в точках 0, 1, 2, 3, ... откладывают вниз по перпендикулярам из графы 17 суммарную работу сил сопротивления от ВГ до конца соответствующего участка. Получаемые на перпендикулярах точки соединяют прямыми, образуя ломаную линию  $h_w(L)$ , которая характеризует суммарную работу сил сопротивления (или потерю энергетической высоты). Эта линия называется линией энергетических высот (ЛЭВ) соответствующих бегунов. Ордината от линии энергетических высот до линии  $MN$  характеризует энергетические высоты, потерянные при преодолении всех сил сопротивления при скатывании соответствующих вагонов. С другой стороны, в любой точке горки остаточная (свободная) энергетическая высота  $h_{\text{св}}$  (графа 18 стандартной таблицы) равна ординате между соответствующей кривой  $h_w(L)$  и линией профиля (см. рис. 36 или цветную вклейку). При расчетах в гр. 9 для первого участка проставляется расчетная скорость роспуска. Для каждого последующего участка в гр. 9 скорость принимается равной скорости в конце предыдущего участка (гр. 19).

На этом же чертеже строят графики скоростей и времени скатывания для ОПБ и ОХБ (без торможения и с учетом торможения) по данным гр. 19 и 22 при неблагоприятных условиях.



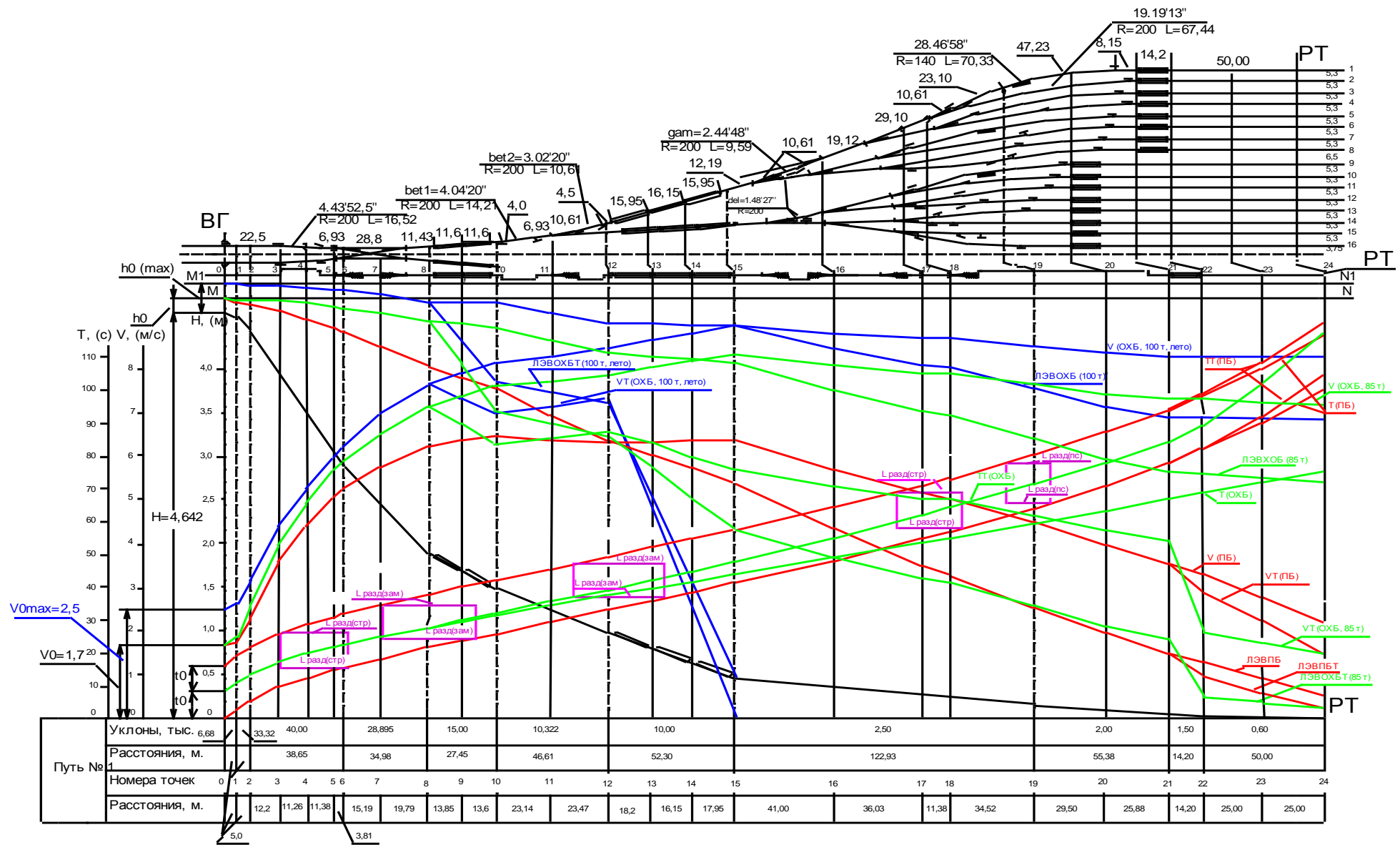


Рис. 36. План и продольный профиль сортировочной горки с кривыми энергетических высот, скорости и времени скатывания расчетных бегунов

Таблица 5.1

Таблица расчета данных энергетических высот, скоростей и времен скатывания отцепов

Характеристика расчетных участков									Проведение расчетов по данной форме для ОПБ, ОПБТ, ОХБ, ОХБТ, ОХТБТ												
Номер точки (участка)	Уклон продольного профиля $i, \%$	Расстояние между точками (длина участка) $l, м$	Расстояние от ВГ до конца участка, м	Профильная высота участка $i \cdot l \cdot 10^{-3}$	Сумма профильных высот от ВГ до конца участка $\sum i \cdot l \cdot 10^{-3}$	Число стрелок $n_c$	Сумма углов поворота $\alpha^{\circ}_k$	Скорость в начале участка $V_n, м/с$	Работа сил сопротивления на участке, м эн. в., от						Общая работа сил сопротивления на участке (сумма гр. 10 – 15), м. эн. в	Суммарная работа сил сопротивления от ВГ до конца участка, м эн. в	Свободная энергетическая высота в конце участка $h_{ce}$ (гр. б+ $h_o$ – гр.17) м эн. в	Скорость в конце участка $V_k = \sqrt{2g h_{ce}}, м/с$	Средняя скорость на участке $V_{cp} = 0,5(V_n + V_k), м/с$	Время скатывания на участке $t = l/V_{cp}, с$	Суммарное время скатывания от ВГ до конца участка $\sum t, с$
									основного сопротивления $w \cdot l \cdot 10^{-3}$	воздушной среды и ветра $w_{ce} = Z(V_{\pm} V_0)^2 \cdot l \cdot 10^{-3}$	стрелок $0,56 \cdot V_i^2 \cdot n_c \cdot 10^{-3}$	кривых $0,23 \cdot V_i^2 \cdot \alpha^{\circ}_k \cdot 10^{-3}$	снега и инея $w_{en} \cdot l \cdot 10^{-3}$	торможения на замедлителях $h_m$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
...																					
...																					
...																					
n-1																					
n																					



Кривые скорости для ОПБ и ОХБ при неблагоприятных условиях  $V_{on}(L)$  и  $V_{ox}(L)$  строят от  $V_o=1,7$  м/с, а для ОХТБ ( $q=100$  тс) при благоприятных условиях  $V_{oxm}(L)$  – от скорости  $V_{o(max)}$ , равной 2,5 м/с.

Первую кривую времени для ОПБ  $t_{on1}(L)$  вычерчивают от нуля; кривую времени для ОХБ  $t_{ox}(L)$  сдвигают вверх на величину интервала следования бегунов через вершину горки, с:

$$t_0 = \frac{l_{ox(on)}}{V_o}, \quad (34)$$

где  $l_{ox(on)}$  – длина четырехосного полувагона по осям автосцепок.

Выше кривой  $t_{ox}(L)$  также на величину интервала  $t_0$  строят вторую кривую времени для ОПБ –  $t_{on2}(L)$ .

Здесь и в дальнейшем могут потребоваться некоторые параметры вагонов, скатывающихся с сортировочной горки (см. табл. 5.2.).

Таблица 5.2

Расстояния	Значения $d, b, l$ , м		
	4-осные крытые	Полувагоны при числе осей	
		4	8
1. Между осями внутренних колесных пар ( $d$ )	8,15	6,80	7,02
2. Между центрами (шкворнями) тележек	10,00	8,65	12,07
3. Между крайними осями (колесная база $b$ )	11,85	10,50	17,12
4. Длина вагонов по осям автосцепок ( $l$ )	14,73	13,92	20,24

## 5.2 Анализ кривых скорости и времени скатывания расчетных бегунов с горки

Анализ кривой энергетических высот для ОХТБ ( $q = 100$  тс) при благоприятных условиях  $h_w^{oxm}(L)$  позволяет установить правильность расчета скоростной части продольного профиля горки и мощности тормозных позиций.

По кривым скоростей определяют скорости входа расчетных бегунов на первую разделительную стрелку, замедлители тормозных позиций и подхода к расчетным точкам. Здесь следует иметь в виду, что скоростной участок сортировочной горки должен обеспечивать быстрый разгон отцепов для создания достаточных интервалов между ними с целью обеспечения перевода разделительных стрелок и вагонных замедлителей на всей спускной части горки. Однако скорость входа при благоприятных условиях скатывания (т. е. при попутном ветре и плюсовой температуре) очень хороших бегунов (ОХТБ) весом 100 тс на первую тормозную позицию не должна быть выше допустимой в зависимости от

**конструкции замедлителя** (см. табл. 1.2). Таким образом, если скорость входа ОХТБ не превысила допустимой, профиль скоростного участка выполнен верно. Далее, **суммарная потребная мощность тормозных средств на спускной части горки по маршруту скатывания бегунов на легкий путь при благоприятных условиях и максимально допустимой скорости роспуска должна обеспечивать остановку ОХТБ (четырёхосный полувагон весом 100 тс) на последней тормозной позиции спускной части горки.** Таким образом, если при полном использовании тормозных средств на спускной части горки скорость ОХТБ в конце последней тормозной позиции равна нулю, следовательно, суммарная мощность тормозных позиций и распределение замедлителей по тормозным позициям определены и выполнены правильно.

По кривым времени определяется достаточность интервалов между отцепами для перевода стрелок и замедлителей и, следовательно, – возможность реализации расчетной скорости роспуска  $V_0$  при чередовании бегунов ОП – ОХ – ОП на ГПМ и ГБМ и ОП – Х – ОП на ГСМ и ГММ.

Поэтому детальную проверку качества запроектированного профиля спускной части горки и сортировочных путей проводят путем анализа кривых времени скатывания  $t_{on1}(L)$ ,  $t_{ox}(L)$  и  $t_{on2}(L)$  при указанном чередовании последовательно скатывающихся бегунов. Для этой цели необходимо предварительно определить минимально необходимые расстояния между центрами тяжести последовательно скатывающихся бегунов при проходе:

- централизованного стрелочного перевода (рис. 37), м:

$$l_{разд}^{cmp} = b_{on(ox)} + V_{cmp} \cdot t_{рез} + l_{уз}; \quad (35)$$

- вагонного замедлителя (рис. 38), м:

$$l_{разд}^{зам} = b_{on(ox)} + V_{зам} \cdot (t_{нз} + t_{рез}) + l_{зам}; \quad (36)$$

- предельного столбика (рис. 39), м:

$$l_{разд}^{nc} = l_{on(ox)} + V_{nc} \cdot t_{рез}, \quad (37)$$

где  $b_{on(ox)}$  – колесная база четырехосного полувагона;

$V_{cmp}$ ,  $V_{зам}$ ,  $V_{nc}$  – средняя скорость прохода ОХБ соответственно стрелки, замедлителя и предельного столбика;

$t_{рез}$  – минимальный резерв интервала, равный согласно Правилам и нормам проектирования сортировочных устройств 1 с;

$t_{нз}$  – время на перевод замедлителя в тормозное положение (табл. 1.2);

$l_{уз}$  – длина стрелочного изолированного участка, м;

$l_{зам}$  – длина изолированной, самостоятельно управляемой секции замедлителя, м;

$l_{on(ox)}$  – длина четырехосного полувагона по осям автосцепок.

Полученные величины  $l_{разд}^{cmp}$ ,  $l_{разд}^{зам}$ ,  $l_{разд}^{nc}$  изображают на четреже следующим образом.

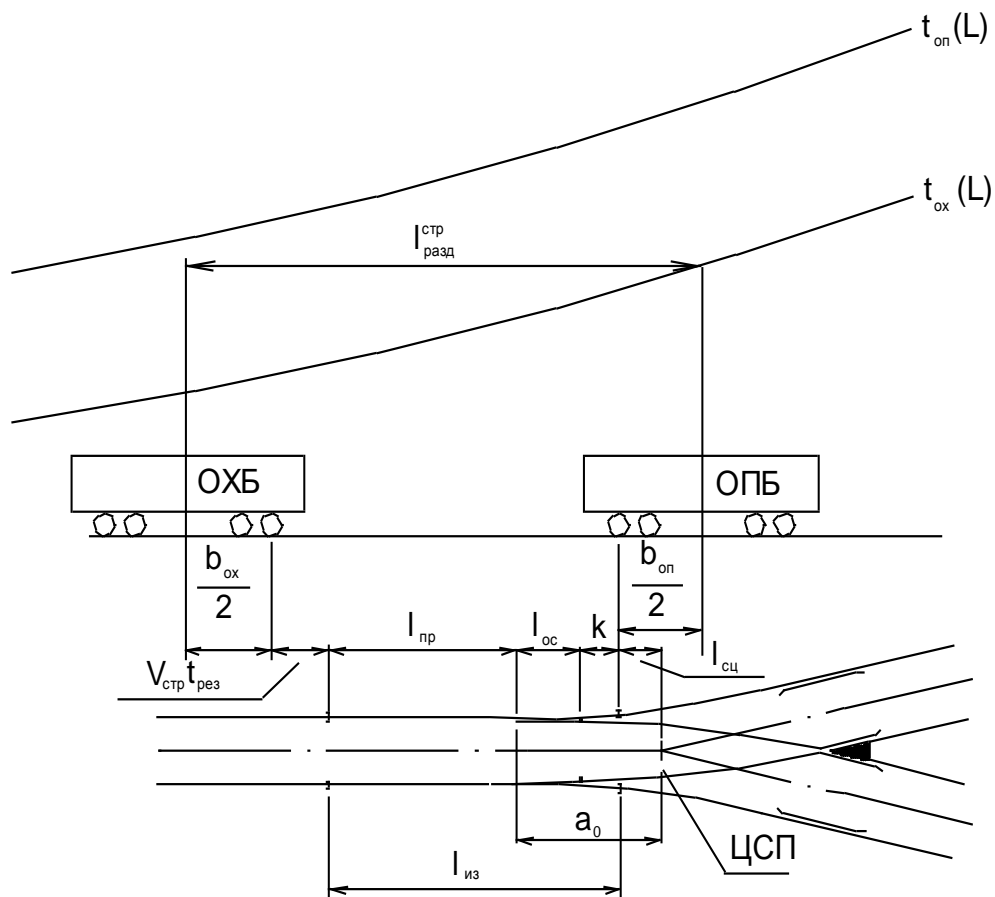


Рис. 37. Минимально необходимое расстояние между центрами тяжести скатывающихся бегунов при проходе стрелочного изолированного участка:

- $a_0$  – расстояние от ЦСП до начала остряков (равно 6,21 м);
- $l_{пр}$  – длина предстрелочного участка от изолирующего стыка до начала остряков (в соответствии с нормами принимается равной 6 м);
- $l_{ос}$  – длина остряков (равна 4,34 м);
- $k$  – расстояние от корня остряков до ближайшего изолирующего стыка рамного рельса (равно 1,04 м);
- $l_c$  – длина стрелочного участка от начала остряков до изолирующего стыка рамного рельса ( $l_c = l_{ос} + k$ ), равная 5,38 м;
- $l_{сц}$  – расстояние от изолирующего стыка в конце рамного рельса до ЦСП

Для изображения отрезков  $l_{разд}^{стр}$  на плане горки от центра стрелочного перевода (ЦСП) откладывают влево расстояние, равное параметру  $a_0$ , тем самым определяя место расположения начала остряков. От этой точки вправо откладывают последовательно расстояния, равные длине остряков  $l_{ос}$  и вставке  $k$ , определяя тем самым место расположения изолирующего стыка в конце рамного рельса. Далее от начала остряков откладывают расстояние, равное  $l_{пр}$ , получая место расположения входного изолирующего стыка. От изолирующего стыка в конце рамного рельса вправо откладывают расстояние, равное половине базы плохого бегуна  $b_{оп}/2$ . Из этой точки опускают перпендикуляр на кривую времени  $t_{онl}(L)$  (см. рис. 36 и 37). От

полученной точки откладывают влево отрезок, равный  $l_{разд}^{cmp}$ . Затем от левого конца этого отрезка поднимаются вверх до кривой  $t_{он2}(L)$ . От полученной точки откладывают вправо отрезок  $l_{разд}^{cmp}$  (см. рис. 36). Таким образом построены «ворота времени», проход через которые кривой  $t_{ox}(L)$  без пересечения обоих отрезков  $l_{разд}^{cmp}$  указывает на возможность перевода острых стрелки между соседними бегунами.

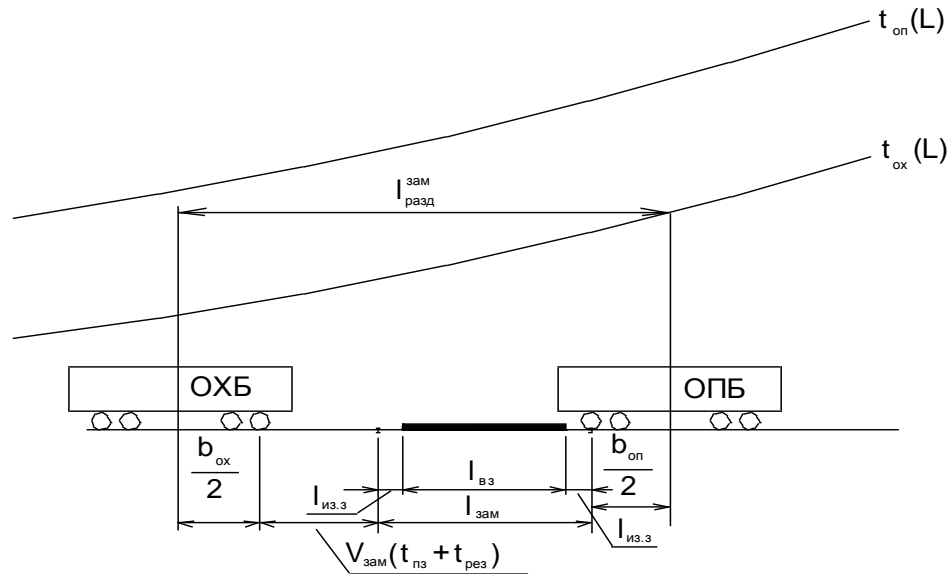


Рис. 38. Минимально необходимое расстояние между центрами тяжести скатывающихся бегунов при проходе одной изолированной секции замедлителя:

$l_{вз}$  – длина одного замедлителя по балкам;

$l_{из.з}$  – расстояние от конца балки замедлителя до изолирующего стыка

Для изображения отрезков  $l_{разд}^{nc}$  на кривой  $t_{он1}(L)$  (см. рис. 36 и 39) от точки, соответствующей положению предельного столбика по самому трудному пути, откладывают вправо отрезок, равный половине длины вагона по осям автосцепок ( $l_{он(ox)}/2$ ). От полученной точки влево откладывается отрезок  $l_{разд}^{nc}$ . Затем от левого конца этого отрезка поднимаются вверх до кривой  $t_{он2}(L)$ . От полученной точки откладывают вправо отрезок  $l_{разд}^{nc}$  и получают «ворота времени» и для этого случая.

Прохождение кривой времени  $t_{ox}(L)$  через все «ворота времени» без пересечения отрезков  $l_{разд}^{cm}$ ,  $l_{разд}^{зам}$ ,  $l_{разд}^{nc}$  характеризует достаточное качество запроектированного профиля и обеспечение расчетной скорости роспуска  $V_o$ .

Если кривая  $t_{ox}(L)$  где-то пересекает какой-либо из указанных отрезков, то надо изменить силу торможения на тормозных позициях, чтобы ликвидировать отмеченное пересечение.

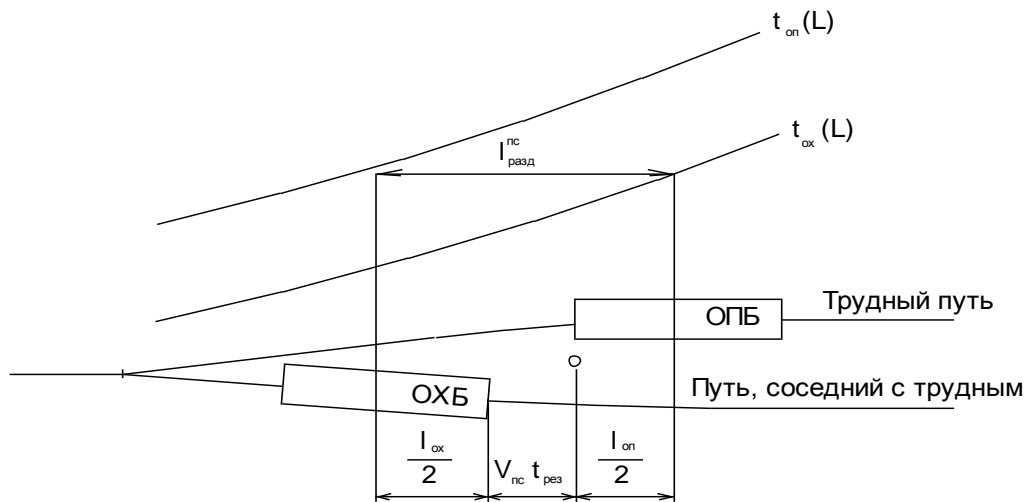


Рис. 39. Минимально необходимое расстояние между центрами тяжести скатывающихся бегунов при проходе предельного столбика

Если же и после ряда корректировок расчетная скорость роспуска  $V_0$  не обеспечивается, то она может быть достигнута, например, в результате увеличения профильных высот участков  $l_{m1}$  и  $l_{np}$  (и следовательно, увеличения высоты горки) или за счет повышения мощности парковых тормозных позиций. В противном случае необходимо определить максимально допустимые скорости роспуска по условиям обеспечения перевода стрелок, работы замедлителей или по условиям прохода предельного столбика.

Тогда максимально допустимая скорость роспуска по условию перевода:

– стрелки 
$$V_0^{\max} = \frac{l_{on} + l_{ox}}{2 \left( \frac{l_{разд}^{стр}}{V_{он,стр}} + \Delta t \right)} ; \quad (38)$$

– замедлителя 
$$V_0^{\max} = \frac{l_{on} + l_{ox}}{2 \left( \frac{l_{разд}^{зам}}{V_{он,зам}} + \Delta t \right)} ; \quad (39)$$

– прохода предельного столбика

$$V_0^{\max} = \frac{l_{on} + l_{ox}}{2 \left( \frac{l_{разд}^{nc}}{V_{он,nc}} + \Delta t \right)} , \quad (40)$$

где  $l_{on}$ ,  $l_{ox}$  – длина соответственно плохого и хорошего бегунов;  
 $l_{разд}^{стр}$ ,  $l_{разд}^{зам}$ ,  $l_{разд}^{nc}$  – разделительные участки соответственно для стрелок, замедлителей и предельного столбика;  
 $V_{он,стр}$ ,  $V_{он,зам}$ ,  $V_{он,nc}$  – средние скорости прохода ОПБ по соответствующим проверяемым разделительным участкам;  
 $\Delta t$  – дифференция (ДИФ) между ОПБ и ОХБ на подходе к проверяемому участку.



## 6 РАСЧЕТ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Перерабатывающая способность сортировочной горки за сутки по расформированию прибывающих на станцию поездов определяется по формуле

$$N = \frac{(\alpha_{гор} \cdot 1440 - t_{тех}^{zop})}{t_{гор}(1 + \rho_{гор}) \cdot \mu_{повт}^{zop}} \cdot m_c, \quad (41)$$

где  $\alpha_{гор}$  – коэффициент, учитывающий перерывы в использовании горки из-за враждебных передвижений, равный 0,97 (при расположении транзитного парка параллельно приемному и отсутствии изолированного от горки соединения с локомотивным депо, а также для объединенного приемного парка без петли для приема поездов с негрузового направления  $\alpha_{гор} = 0,95$ );

$t_{тех}^{zop}$  – время занятия горки *техническим обслуживанием* устройств механизации и автоматизации сортировочной работы в течение суток, мин:

$$t_{тех}^{zop} = K_3 \cdot П_ч, \quad (42)$$

здесь  $K_3$  – коэффициент, зависящий от числа спускных путей на горке, равный 10 и 6 для КВ-3; 8 и 5 для КНП-5; 6 и 4 для Т-50 и ВЗПГ соответственно при одном и двух (и более) спускных путях;

$П_ч$  – число пучков в сортировочном парке.

$t_{гор}$  – горочный технологический интервал с учетом возможного наличия в расформируемых составах поездов вагонов, запрещенных к роспуску с горки без локомотива (вагоны ЗСГ), мин;

$\rho_{гор}$  – коэффициент, учитывающий влияние отказов технических средств и нерасцепы вагонов на перерабатывающую способность горки (табл. 6.1);

$\mu_{повт}^{zop}$  – коэффициент, учитывающий возможную повторную сортировку части вагонов в процессе окончания формирования (табл. 6.2);

$m_c$  – среднее количество вагонов в составе.

Если в процессе роспуска составов с горки имеются достаточные по продолжительности интервалы между роспусками смежных составов, они используются для выполнения операций по техническому обслуживанию горочного оборудования, тем самым уменьшая общее время  $t_{тех}^{zop}$ .

Горочный технологический интервал или затрата времени на расформирование одного состава зависит от количества работающих на горке локомотивов, взаимного расположения парков приема и сортировки и времени на выполнение операций заезда локомотива за составом  $t_3$ , подачи (надвига) состава  $t_{над}$  до вершины горки, роспуска состава с горки  $t_{рос}$  и осаживания вагонов на подгорочных путях  $t_{ос}$ .

Таблица 6.1

Горочный технологический интервал $t_{гор}$ , мин	Значение $\rho_{гор}$ в зависимости от $t_{гор}$ , типа замедлителя и сортировочного устройства <sup>*)</sup>			
	КВ-3	КНП-5	Т-50	ВЗПГ
До 11,0	$\frac{0,12}{0,11}$	$\frac{0,10}{0,09}$	$\frac{0,09}{0,08}$	$\frac{0,09}{0,08}$
11,1 – 14,0	$\frac{0,09 - 0,12}{0,08 - 0,11}$	$\frac{0,08 - 0,10}{0,07 - 0,09}$	$\frac{0,07 - 0,09}{0,06 - 0,08}$	$\frac{0,07 - 0,09}{0,06 - 0,08}$
14,1 – 19,0	$\frac{0,09}{0,08}$	$\frac{0,08}{0,07}$	$\frac{0,07}{0,06}$	$\frac{0,07}{0,06}$
19,1 – 24,0	$\frac{0,09}{0,06 - 0,08}$	$\frac{0,08}{0,05 - 0,07}$	$\frac{0,07}{0,04 - 0,06}$	$\frac{0,07}{0,04 - 0,06}$
24.1 и более	$\frac{0,09}{0,06}$	$\frac{0,08}{0,05}$	$\frac{0,07}{0,04}$	$\frac{0,07}{0,04}$

<sup>\*)</sup> Значения  $\rho_{гор}$  в числителе относятся к автоматизированной горке, в знаменателе – для механизированной. Меньшее значение  $\rho_{гор}$  относится к составу поезда из 50 вагонов, большее – 63 вагона, Для немеханизированных горок и вытяжных путей  $\rho_{гор} = 0,03$ .

Таблица 6.2

Вместимость сортировочного парка, вагоны <sup>*)</sup>	Значение коэффициента $\mu_{новт}^{гор}$ при соотношении вместимости сортировочного парка к произведению числа назначений плана формирования на средний состав отправляемых поездов					
	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
Менее 500	1,18	1,14	1,09	1,06	1,04	1,01
1000	1,16	1,12	1,08	1,06	1,04	1,01
1500 и более	1,14	1,09	1,06	1,04	1,03	1,01

<sup>\*)</sup> Учитываются пути, выделенные для накопления вагонов по назначениям плана формирования.

На станциях с последовательным расположением парков приема и сортировки (рис. 40, а):

- заезд локомотива за составом составляет, мин:

$$t_3 = \frac{60(l_{над} + l_n + 2l_2)}{v_l} + t_m, \quad (43)$$

- время надвига состава до вершины горки равно, мин:

$$t_{над} = \frac{60 \cdot l_{над}}{v_m}, \quad (44)$$

где  $t_m$  – время приготовления маршрутов, мин;

$v_l$  – скорость движения локомотива, км/ч;

$v_m$  – скорость подачи состава до вершины горки, км/ч;

$l_n$  – расчетная полезная длина путей парка приема, м;

$l_{над}$ ,  $l_2$  – соответствующие расстояния и длины маршрутов передвижения (см. рис 40).

При параллельном расположении парков приема и сортировки (рис. 40, б):

– заезд локомотива за составом составляет, мин:

$$t_3 = \frac{60(l_{над} + l_c)}{v_l} + t_m, \quad (45)$$

– время надвига состава до вершины горки равно, мин:

$$t_{над} = \frac{60(l_c + l_n + l_{над})}{v_m} + t_m. \quad (46)$$

Здесь значение расчетных величин такое же, как и в предыдущих формулах, величина  $l_c$  определяется по схеме соединения парков и путей (см. рис. 40).

Время на роспуск состава с горки равно, мин:

$$t_{рос} = \frac{l_c}{60 \cdot v_o}, \quad (47)$$

где  $l_c$  – средняя длина состава, м;

$v_o$  – скорость роспуска составов, м/с.

Осаживание вагонов на подгорочных путях осуществляется для устранения «окон» между отцепами, которые получаются из-за погрешностей в работе устройств регулирования скоростей скатывания, а также, чтобы передвинуть вагоны, накопившиеся в первой половине подгорочного пути, в глубину подгорочного парка. Эта операция выполняется маневровыми локомотивами со стороны хвостовой горловины подгорочного парка подтягиванием к ней вагонов и осаживанием вагонов горочными локомотивами со стороны горки. Как правило, это совмещают с операцией по окончанию формирования поезда, и  $t_{ос} = 0,06 \cdot m_c$  можно в расчетах принимать равным 3–4 мин в среднем на состав.

На горках, использующих только один горочный локомотив, горочный технологический интервал равен затрате времени на выполнение всех перечисленных операций  $t_{гор} = t_3 + t_{над} + t_{рос} + t_{ос}$ .

При работе нескольких горочных локомотивов ряд операций осуществляется параллельно.

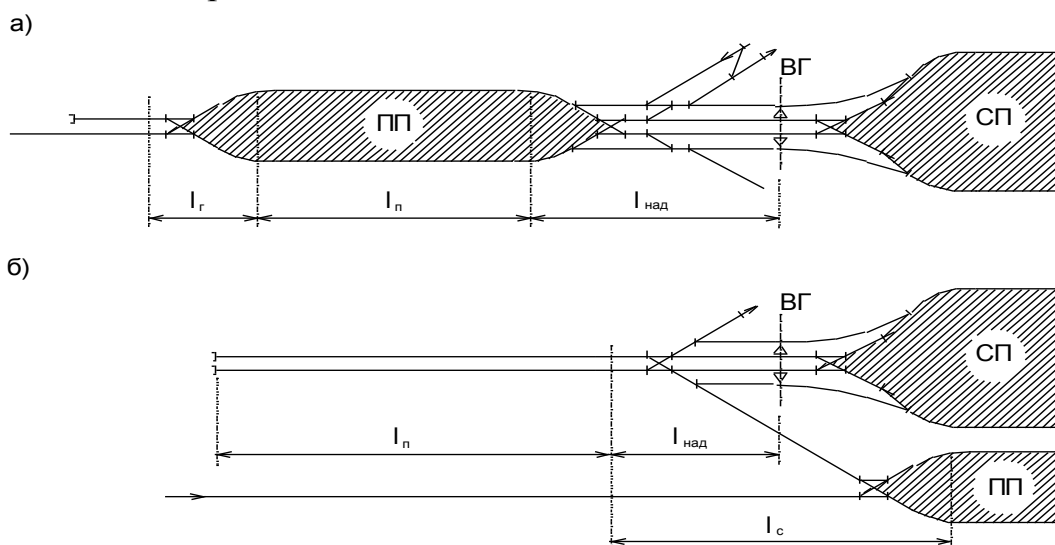


Рис. 40. Расстояния пробега при подаче состава на горку на станциях:  
а – с последовательным расположением парков приема и сортировки;  
б – с параллельным расположением парков приема и сортировки

Для определения горочного технологического интервала составляется технологический график на полный цикл работы горки, позволяющий выразить все основные связи между операциями (напр. см. рис. 41). По графику рассчитывается продолжительность цикла  $T_{\text{ц}}$  и определяется величина  $t_{\text{гор}}$ , равная  $T_{\text{ц}}/n_{\text{ц}}$ , где  $n_{\text{ц}}$  – число составов, распускаемых с горки за один цикл.

Таблица 6.3

Операции	Норма времени	Последовательность выполнения операций горочными локомотивами
Заезд	5	
Надвиг	6	
Роспуск	10	
Осаживание	4	
Продолжительность цикла		

- работа первого горочного локомотива;
- работа второго горочного локомотива;
- простой в ожидании первого горочного локомотива;
- простой в ожидании второго горочного локомотива.

Рис. 41. Технологический график работы сортировочной горки с двумя горочными локомотивами

Между роспусками двух очередных составов рекомендуется предусматривать технологические интервалы  $t_u$ , равный одной минуте. Как видно из приведенного графика, продолжительность цикла равна:

$$T_{\text{ц}} = 3t_{\text{рос}} + 2t_u + 3t_{\text{ос}} = 44 \text{ мин.}$$

Следовательно горочный технологический интервал в этом случае будет равен  $T_{\text{ц}}/n_{\text{ц}} = 44/3 = 14,7 \approx 15 \text{ мин.}$

Для увеличения перерабатывающей способности сортировочной горки осуществляют следующее:

- уменьшают  $t_{\text{мех}}^{\text{сop}}$  за счет сокращения перерывов в работе горки (выдачей подменного локомотива, уменьшением времени на смену бригад, сокращением числа подач вагонов путем их укрупнения и др.);
- сокращают перерывы из-за враждебных пересечений, для чего устраивают параллельные ходы в горловинах парка приема, соединительные пути между парками приема и сортировки в обход горки и др.;
- распускают составы с горки с переменной скоростью в зависимости от длины отцепов и маршрутов их следования;
- увеличивают число горочных локомотивов;

– сокращают интервалы между роспусками составов за счет уменьшения затраты времени на осаживание вагонов (совмещением этой операции с формированием поезда, подтягиванием вагонов со стороны хвостовой горловины сортировочного парка), сооружения дополнительных путей надвига, секционирования путей подвижной части для попутного надвига составов из парка приема к вершине горки вслед друг за другом;

– применяют режим параллельного роспуска составов с горки;

– укрупняют в парке приема составы, подлежащие роспуску с горки (сдваиванием составов или добавлением отдельных групп вагонов);

– ускоряют темп сортировки за счет увеличения мощности третьей (парковой) тормозной позиции и пересмотра специализации подгорочных путей, чтобы уменьшить вероятность разделения маршрутов на последней разделительной стрелке последовательно скатывающихся с горки отцепов.

Как известно, значительное увеличение перерабатывающей способности сортировочных горок может быть достигнуто параллельным роспуском с горки двух и более составов. Такой технологический режим можно организовать, применяя специальные схемы горочных горловин, рассмотренных в п. 1.3 (см. рис. 16 – 22). Если на горке в течение суток часть составов расформируется в режиме последовательного роспуска, а остальные – в режиме параллельного роспуска (режим ПРС) с направлением перекрестного (углового) потока на отсевные пути и последующей их повторной сортировкой, то при четырехпарковой схеме станции или при предварительной подготовке составов на тыловых сортировочных станциях для левой и правой частей сортировочного парка горочный технологический интервал равен:

$$t_{\text{гор}}^{\text{npc}} = 0,5 \cdot t_{\text{гор}} \left[ 1 + \gamma_n \cdot \gamma_{nc} + \sqrt{(1 + \gamma_n \cdot \gamma_{nc})^2 - 4 \cdot \psi_n \cdot (\gamma_l \cdot \gamma_n + \gamma_{nc})} \right], \quad (48)$$

где  $\psi_n$  – коэффициент полезного использования горки, равный:

$$\psi_n = \frac{\alpha_{\text{гор}} \cdot 1440 - t_{\text{мех}}^{\text{гор}}}{1440 \cdot \mu_{\text{повт}}^{\text{гор}}}; \quad (49)$$

$\gamma_{nc}$ ,  $\gamma_l$ ,  $\gamma_n$  – доля составов соответственно для последовательного и параллельного роспуска на левую и правую части сортировочного парка.

Определив горочный технологический интервал с применением режима ПРС, необходимо откорректировать для этого случая перерабатывающую способность сортировочной горки (см. формулу 41).

## 7 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

Проектирование плана и профиля сортировочных горок повышенной, большой, средней и малой мощности требует выполнения значительного объема громоздких вычислений, в результате чего в вычислениях могут появляться ошибки, приводящие к неверному результату. Использование ПЭВМ в таких расчетах позволяет исключить ошибки, ускорить производство расчетов и высвободить время для творческой и исследовательской работы студентов при выполнении курсовых и дипломных проектов, посвященных вопросам проектирования и реконструкции сортировочных станций и горок.

К числу наиболее трудоемких задач расчета элементов сортировочных горок следует отнести:

- 1) расчет углов поворота в пучках горочных горловин и основных углов поворота пучков;
- 2) расчет координат основных точек горочной горловины;
- 3) расчет высоты и профиля сортировочной горки и мощности тормозных позиций;
- 4) поверочный расчет скатывания расчетных бегунов с сортировочной горки.

Каждая из этих задач может решаться независимо от предыдущих или последующих с вводом исходной информации, подготовленной вручную или полученной в результате предшествующих этапов расчетов на ПЭВМ.

На кафедре «Станции и грузовая работа» разработан автоматизированный учебно-методический комплекс расчета и оптимизации высот горок в среде «*Excel*» - УМКГ. Для выбора проектного варианта высоты горки применяется метод Парето. В табличных формах наглядно рассчитывается высота горки по параметрам вариантов отцепов и производится корректировка полученной  $H_z$  на основе временных кривых.

Исходная вводимая информация о профиле горки, ее расчетных элементах кодируется следующим образом [9]:

$J$  – количество расчетных точек;

$I$  – уклон расчетного участка, %;

$L$  – длина расчетного участка, м;

$N$  – количество стрелочных переводов на участке;

$A$  – сумма углов поворота на участке, включая и углы от стрелочных переводов;

$P$  – наличие вагонных замедлителей на участке.

В качестве примера в табл. 7.1 приведена исходная информация о замене переменных при вводе в ЭВМ. На рис. 42 приведена блок-схема программы расчета.



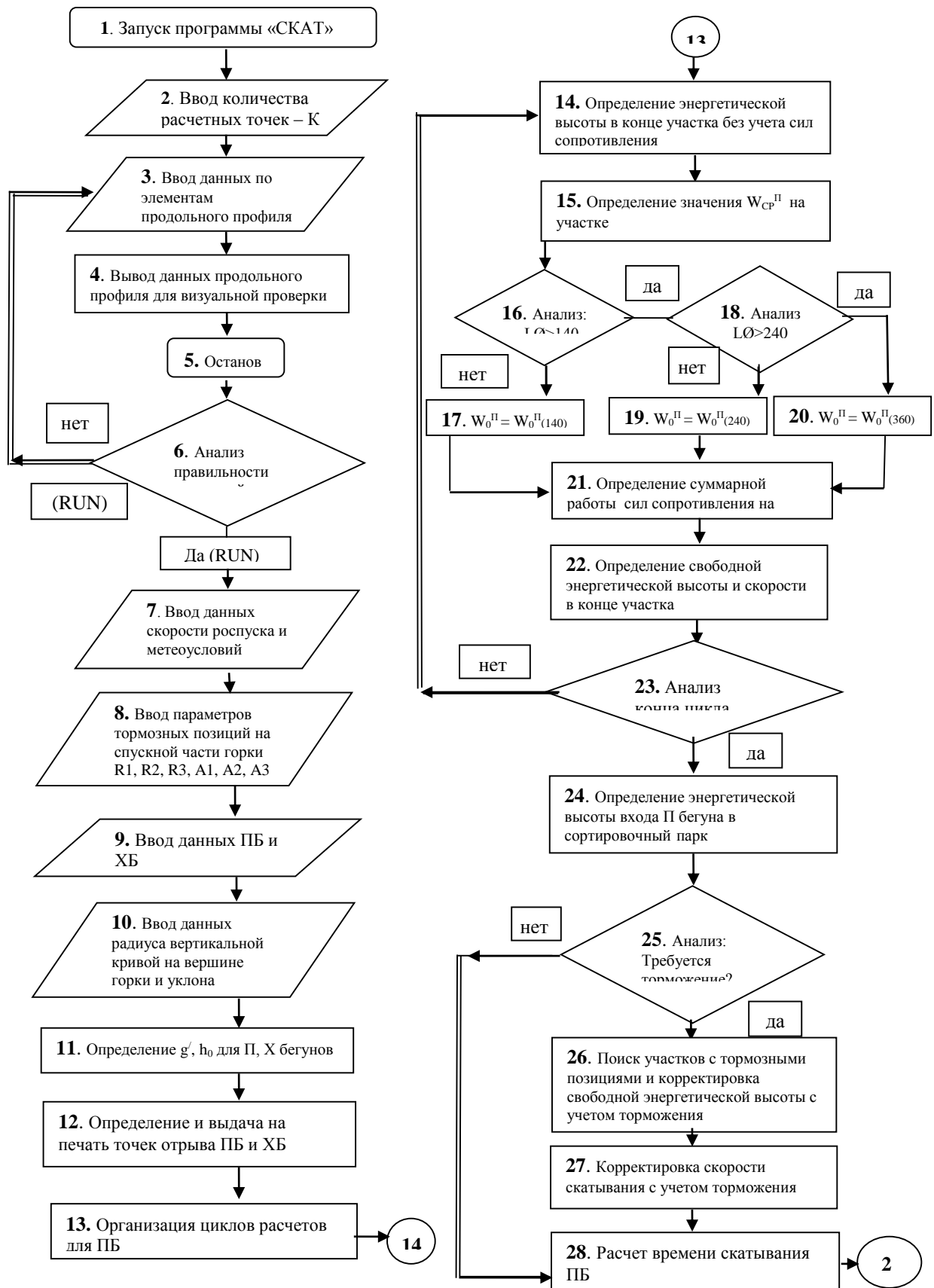


Рис. 42. Блок-схема алгоритма расчета технических параметров скатывания вагонов с горки (начало)



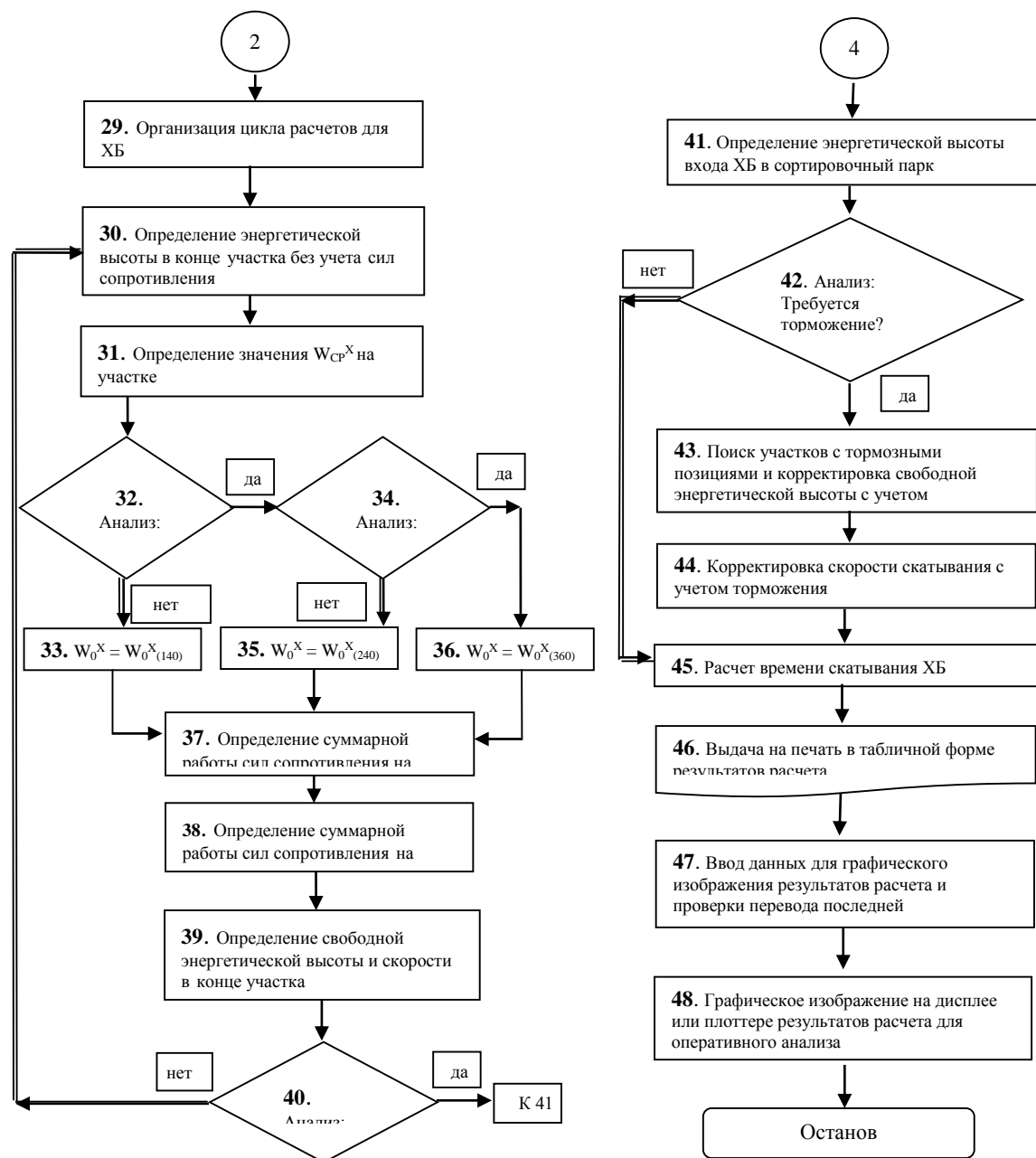


Рис. 42 (окончание)

На рис. 43–50 приведены табличные формы и графики кривых времени, скорости и энергетических высот для проверки высоты и продольного профиля горки для условий:

*высота горки  $H_2^{ПБ}$  для расчетного плохого бегуна массой брутто 25 тонн – обеспечение скатывания отцепов от ВГ до РТ при неблагоприятных условиях (отрицательная температура и встречный ветер);*

*высота горки  $H_2^{ХБ}$  для расчетного хорошего бегуна массой брутто 70 тонн – обеспечение скатывания отцепов от ВГ до РТ без торможения при неблагоприятных условиях (отрицательная температура и встречный ветер).*

исходные данные		плохой бегун		хороший бегун			
L =	400,4	w < 140 =	4,4	w < 140 =	1		
Lp =	412,65	w 140 < 240 =	3,9	w 140 < 240 =	0,8		
φ =	36,05	w > 240 =	3,5	w > 240 =	0,6		
n =	6	Cx =	1,80	Cx =	1,80		
Vcp =	3	Sp =	8,5	Sp =	8,5		
w0 =	3,9	q =	25	q =	70		
V0 =	1,4	n =	4	n =	4	всего точек	
Vmax =	7	d =	6,8	d =	6,8	K =	28
Vвв =	5	b =	10,5	b =	10,5	V0 =	1,4
βвв =	28	l =	13,92	l =	13,92	Vв =	5
tmin =	-15	g` =	9,19	g` =	9,58	βв =	28
Spб =	8,5	h0 =	0,107	h0 =	0,102	t =	-15
Sxб =	8,5					R =	350
qpб =	25					in =	15
qxб =	70						
npб =	4						
nxб =	4						

Рис. 43. Пример ввода исходных данных УМКГ

расчет высоты горки		тормозные позиции		
Vp =	7,537	кол-во	доля торм	t зат
α =	18,15	2	0,6	0,8
Cx =	1,80	1	0,4	0,6
g`пб =	9,19	0	0	0
g`хб =	9,58	кор-ка высоты горки		
wbc =	2,4017	Δ =	0,35	
Hг =	2,938	Hг кор =	3,288	

Рис. 44. Результаты расчета и корректировки высоты горки

расчет профиля				
		in =	35	
фск =	0	ic1 =	5,845	l = 6,125
пск =	0	ic2 =	29,155	
l ск =	75	иск1 =	35	lск1 = 32,75
hск =	2,27	иск2 =	30,26891	lск2 = 30
		itп1 =	7	lтп1 = 31
		ипр =	4,887192	lпр = 124,39
		itп2 =	4	lтп2 = 26,5
		icз =	1,5	lсз = 105,76
		исп =	0,6	lсп = 50

Рис. 45. Результаты расчета и корректировки профиля спускной части сортировочной горки

исходные данные плана и профиля горки							плохой бегун				хороший бегун							
							CW	H	V	T	h торм	CW	H	H.T.	V	V.T.	T	T.T
i	L	N	A	P	проверка	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0								1,4	0					1,4	1,4			
1	5,845	6,125	0	0	0	0	0,037	0,105	1,39	4,39	0,000	0,010	0,128	0,128	1,57	1,57	4,13	4,13
2	29,155	6,125	0	0	0	0	0,074	0,247	2,13	7,87	0,000	0,020	0,297	0,297	2,39	2,39	7,23	7,23
3	35	17,75	0	0	0	0	0,189	0,754	3,72	13,93	0,000	0,051	0,887	0,887	4,12	4,12	12,68	12,68
4	35	15	0	0	0	0	0,300	1,167	4,63	17,52	0,000	0,084	1,379	1,379	5,14	5,14	15,92	15,92
5	30,269	15	0	0	0	0	0,421	1,500	5,25	20,56	0,000	0,121	1,796	1,796	5,87	5,87	18,65	18,65
6	30,269	15	0	0	0	0	0,550	1,825	5,79	23,28	0,000	0,161	2,210	2,210	6,51	6,51	21,07	21,07
7	7	15,5	0	0	1	1	0,690	1,794	5,74	25,96	0,534	0,206	2,274	1,740	6,60	5,77	23,44	23,60
8	7	15,5	0	0	1	0	0,830	1,763	5,69	28,68	0,534	0,251	2,337	1,269	6,69	4,93	25,77	26,49
9	4,2963	17,08	0	0	0	0	0,983	1,683	5,56	31,71	0,000	0,301	2,360	1,292	6,72	4,98	28,31	29,94
10	4,2963	10,41	0	2,96	0	0	1,101	1,609	5,44	33,60	0,000	0,359	2,347	1,279	6,71	4,95	29,86	32,04
11	4,2963	19,1	0,5	0	0	4	1,269	1,524	5,29	37,16	0,000	0,421	2,367	1,299	6,73	4,99	32,71	35,88
12	4,2963	15,13	0,5	0	0	0	1,401	1,456	5,17	40,05	0,000	0,473	2,380	1,312	6,75	5,01	34,95	38,91
13	4,2963	10,82	0	3,1	0	0	1,516	1,388	5,05	42,17	0,000	0,531	2,369	1,301	6,74	4,99	36,55	41,07
14	4,2963	20,56	1	4,7313	0	0	1,742	1,251	4,80	46,35	0,000	0,650	2,338	1,270	6,69	4,93	39,62	45,21
15	4,2963	16,29	0,5	2	0	0	1,895	1,167	4,63	49,80	0,000	0,723	2,335	1,267	6,69	4,93	42,05	48,52
16	4,2963	15	0,5	2,7313	0	0	2,044	1,083	4,46	53,10	0,000	0,799	2,324	1,255	6,67	4,90	44,30	51,57
17	3	13	0	0	0	0	2,136	1,030	4,35	56,05	0,000	0,832	2,330	1,261	6,68	4,92	46,24	54,22
18	3	13,5	0	0	2	2	2,230	0,976	4,24	59,19	0,712	0,866	2,336	0,556	6,69	3,26	48,26	57,52
19	1,5	14,85	0,5	0	0	0	2,342	0,886	4,04	62,78	0,000	0,914	2,310	0,530	6,65	3,19	50,49	62,12
20	1,5	15,6	0,5	0	0	0	2,458	0,794	3,82	66,75	0,000	0,963	2,284	0,504	6,62	3,11	52,84	67,08
21	1,5	15,46	0,5	3	0	0	2,597	0,678	3,53	70,96	0,000	1,039	2,231	0,451	6,54	2,94	55,19	72,19
22	1,5	15,6	0,5	3,34	0	0	2,737	0,562	3,21	75,58	0,000	1,118	2,176	0,396	6,46	2,75	57,59	77,67
23	1,5	16,25	0,5	2	0	4	2,865	0,458	2,90	80,90	0,000	1,186	2,132	0,352	6,39	2,60	60,12	83,75
24	1,5	15,69	0,5	2,7313	0	0	2,994	0,353	2,55	86,66	0,000	1,259	2,083	0,302	6,32	2,41	62,59	90,02
25	1,5	12,31	0	3,53	0	5	3,097	0,268	2,22	91,83	0,000	1,321	2,040	0,259	6,25	2,23	64,55	95,33
26	0,6	15	0	4,3	0	0	3,219	0,154	1,69	99,51	0,000	1,396	1,974	0,194	6,15	1,93	66,97	102,55
27	0,6	15	0	1,63	0	0	3,314	0,069	1,13	110,17	0,000	1,446	1,933	0,152	6,09	1,71	69,42	110,81
28	0,6	20	0	0	0	0	3,414	-0,019	0,00	145,64	0,000	1,493	1,898	0,117	6,03	1,50	72,72	123,27

Рис. 46. Результат проверочного расчета высоты и профиля сортировочной горки

Вспомогательные расчеты										
ДИФ	Т ХБ + тп-х	ТТ ХБ + тп-х	Т ПБ + тп-х+т х-п	Иразд	Проверка	Н ПБ	Н ХБ	НТ ХБ	h0	профиль
14	15	16	17		18	19	20	21	22	23
	9,1389895	9,1389895	19,88571429			3,395	3,395	3,395	3,395	3,288
0,26	13,27	13,27	24,27	0,00	OK	3,358	3,381	3,381	3,395	3,252
0,64	16,36	16,36	27,75	0,00	OK	3,321	3,371	3,371	3,395	3,074
1,25	21,82	21,82	33,82	0,00	OK	3,206	3,339	3,339	3,395	2,453
1,60	25,06	25,06	37,41	0,00	OK	3,095	3,306	3,306	3,395	1,928
1,91	27,79	27,79	40,45	0,00	OK	2,973	3,270	3,270	3,395	1,474
2,21	30,21	30,21	43,16	0,00	OK	2,845	3,229	3,229	3,395	1,020
2,37	32,58	32,73	45,85	37,05	OK	2,705	3,185	2,651	3,395	0,911
2,18	34,91	35,63	48,56	0,00	OK	2,565	3,139	2,071	3,395	0,803
1,77	37,45	39,08	51,60	0,00	OK	2,412	3,089	2,021	3,395	0,729
1,56	39,00	41,18	53,49	0,00	OK	2,294	3,032	1,964	3,395	0,684
1,28	41,85	45,02	57,05	26,85	OK	2,126	2,969	1,901	3,395	0,602
1,15	44,09	48,05	59,94	0,00	OK	1,993	2,917	1,849	3,395	0,537
1,10	45,69	50,21	62,06	0,00	OK	1,879	2,860	1,791	3,395	0,491
1,13	48,76	54,35	66,23	0,00	OK	1,653	2,740	1,672	3,395	0,403
1,28	51,19	57,66	69,69	0,00	OK	1,500	2,668	1,599	3,395	0,333
1,53	53,44	60,71	72,99	0,00	OK	1,351	2,592	1,524	3,395	0,268
1,83	55,38	63,36	75,94	0,00	OK	1,259	2,559	1,491	3,395	0,229
1,68	57,40	66,66	79,08	30,54	OK	1,165	2,524	0,744	3,395	0,189
0,66	59,63	71,26	82,67	0,00	OK	1,053	2,477	0,696	3,395	0,166
-0,33	61,98	76,22	86,64	0,00	OK	0,937	2,427	0,647	3,395	0,143
-1,23	64,33	81,33	90,85	0,00	OK	0,798	2,351	0,571	3,395	0,120
-2,09	66,73	86,81	95,47	0,00	OK	0,658	2,272	0,492	3,395	0,096
-2,85	69,26	92,89	100,79	24,55	OK	0,530	2,204	0,424	3,395	0,072
-3,36	71,73	99,16	106,55	0,00	OK	0,401	2,131	0,351	3,395	0,048
-3,50	73,69	104,47	111,71	16,24	OK	0,298	2,070	0,289	3,395	0,030
-3,04	76,11	111,69	119,40	0,00	OK	0,175	1,995	0,215	3,395	0,021
-0,63	78,56	119,94	130,06	0,00	OK	0,081	1,945	0,164	3,395	0,012
22,37	81,86	132,41	165,52	0,00	OK	-0,019	1,898	0,117	3,395	0,000

Рис. 47. Ведомость вспомогательных расчетов по корректировке высоты горки



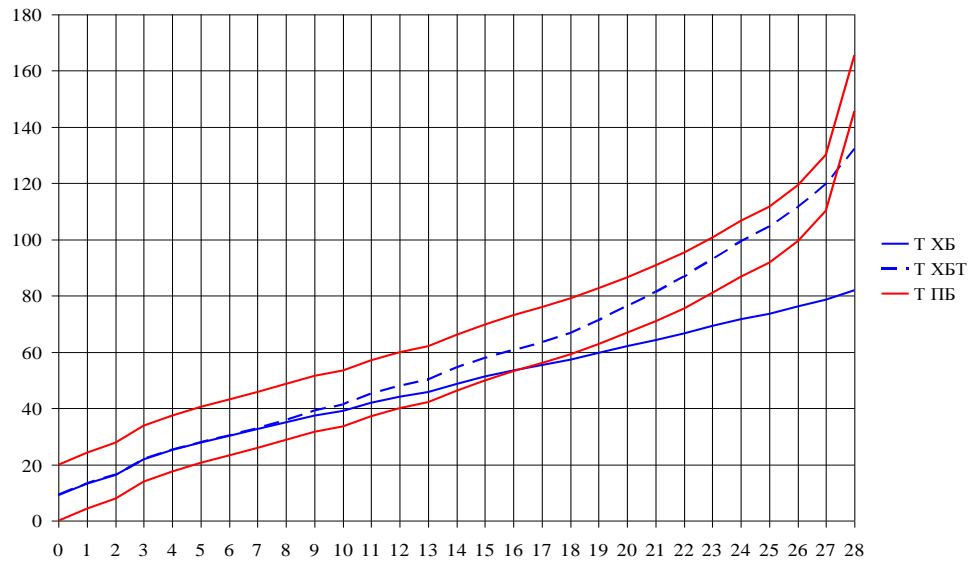


Рис. 48. Кривые времени скатывания отцепов

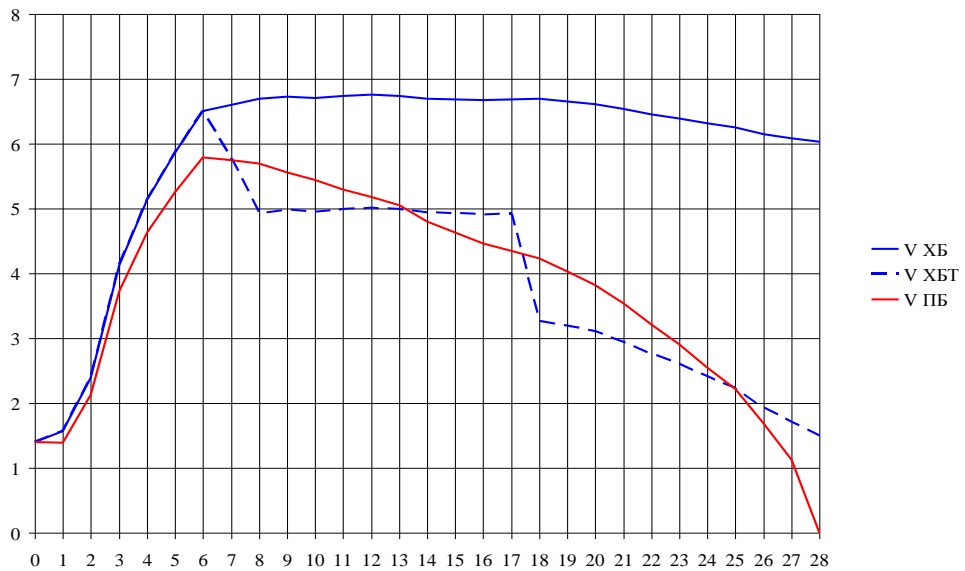


Рис. 49. Кривые скорости скатывания отцепов

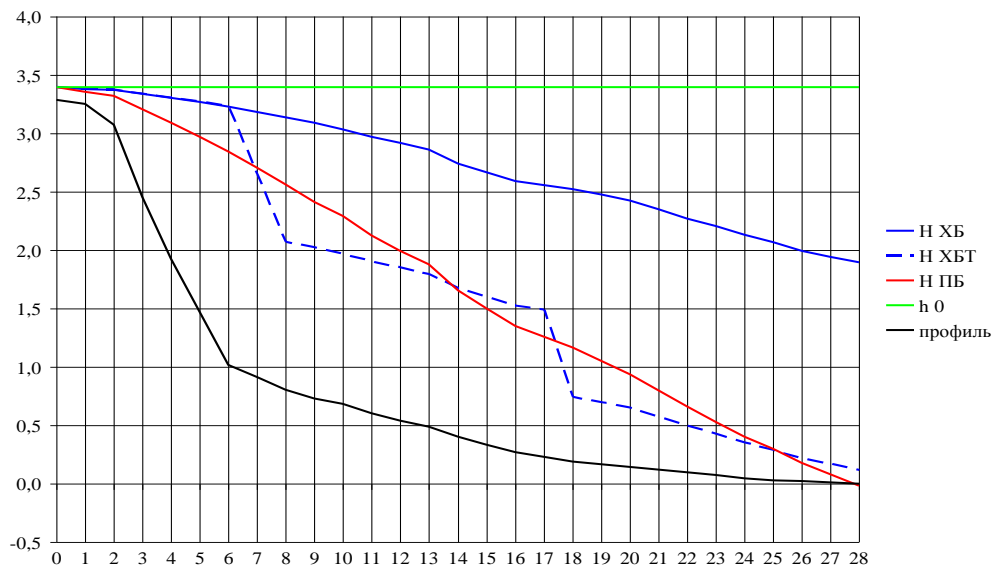


Рис. 50. Профиль сортировочной горки и кривые энергетических высот плохого и хорошего бегуна

Для выбора оптимальной высоты горки применяется метод Парето, суть которого заключается в построении двумерной области выходных параметров (рассчитанная высота горки), в пределах которой выполняются условия эффективности (работоспособности) системы. Для построения области необходим параметр, прямо влияющий на высоту горки и зависящий от угла и скорости встречного ветра. В качестве такого параметра принимаю сопротивление от окружающей среды ( $w_{cp}$ ), значения которого приведены в таблице.

Таблица 7.2

**Значения сопротивления от окружающей среды ( $w_{cp}$ ), при различных значениях  $V_{BB}$  и  $\beta_{BB}$**

$\beta_{BB} \backslash V_{BB}$	№ точки	5 м/с	№ точки	7 м/с	№ точки	9 м/с	№ точки	11 м/с
28°	1	2.407	2	3.7649	3	5.3549	4	7.2261
45°	5	2.5411	6	4.0757	7	5.847	8	7.9443
60°	9	0.8643	10	0.7561	11	0.4601	12	0.1959

Таблица 7.3

**Значения высоты горки при различных значения  $V_{BB}$  и  $\beta_{BB}$**

$\beta_{BB} \backslash V_{BB}$	№ точки	5 м/с	№ точки	7 м/с	№ точки	9 м/с	№ точки	11 м/с
28°	1	2.938	2	3.501	3	4.157	4	4.878
45°	5	2.996	6	3.629	7	4.360	8	5.225
60°	9	2.287	10	2.243	11	2.122	12	1.963

На основании вышеприведенных данных строится график зависимости высоты горки от сопротивления окружающей среды – скорости и угла встречного ветра (рис. 51).

Область, ограниченная сверху максимальной высотой горки, снизу – минимальной высотой горки, справа – максимальным сопротивлением, слева – минимальным, является областью компромиссов (область Парето).

Оптимальная высота горки ( $H_r^{opt}$ ) в данном случае должна отвечать следующим критериям:

- 1) находиться в области Парето;
- 2) обеспечить минимальный избыток энергетической высоты хорошего бегуна при наилучших условиях (минимальное сопротивление от окружающей среды);
- 3) обеспечить минимальный дефицит энергетической высоты плохого бегуна при наихудших условиях (максимальное сопротивление от окружающей среды).

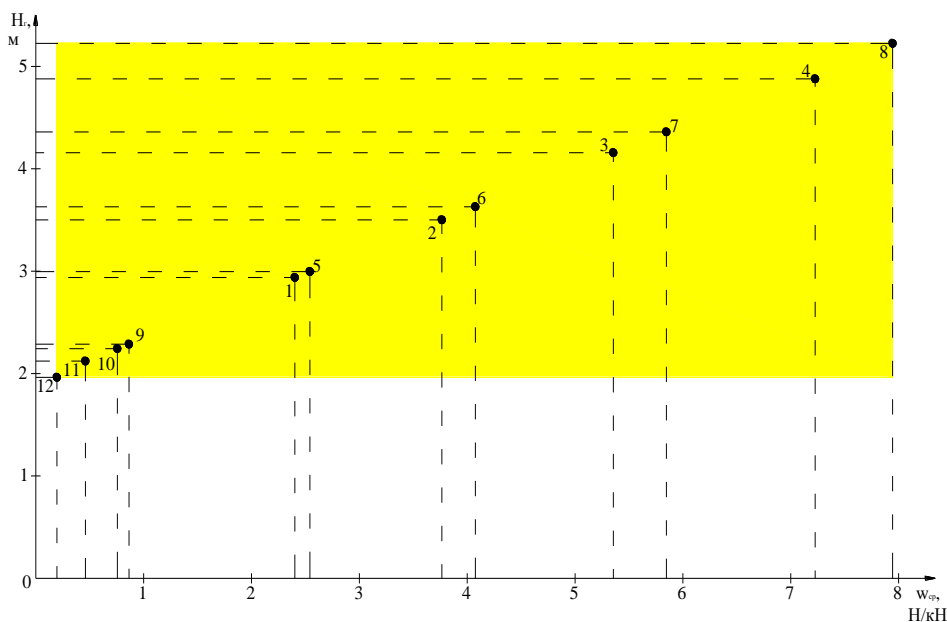


Рис. 51. График зависимости высоты горки от сопротивления окружающей среды

Для определения оптимальной высоты сортировочной горки необходимо аппроксимировать полученные данные с целью нахождения уравнения зависимости  $H_r$  от сопротивления окружающей среды. Аппроксимацию произведена при помощи программы *Maple*.

```
> with(CurveFitting) :
> y:=LeastSquares ([ [2.407, 2.938] , [3.7649, 3.501] , [5.3549, 4.157] ,
[7.2261, 4.878] , [2.5411, 2.996] , [4.0757, 3.629] , [5.847, 4.36] , [7.9443, 5.225] , [0.8
643, 2.287] , [0.7561, 2.243] , [0.4601, 2.122] , [0.1959, 1.963] ] , x) ;
y := 1.926716475 + 0.414562745120067910 x
```

Построим полученное уравнение в пределах наихудших и наилучших условий, т.е.  $w_{cp} = 0.1959 \div 7.9443$  кгс/тс (рис. 52).

```
> plot(y, x=0.1959..7.9443, color=black) ;
```

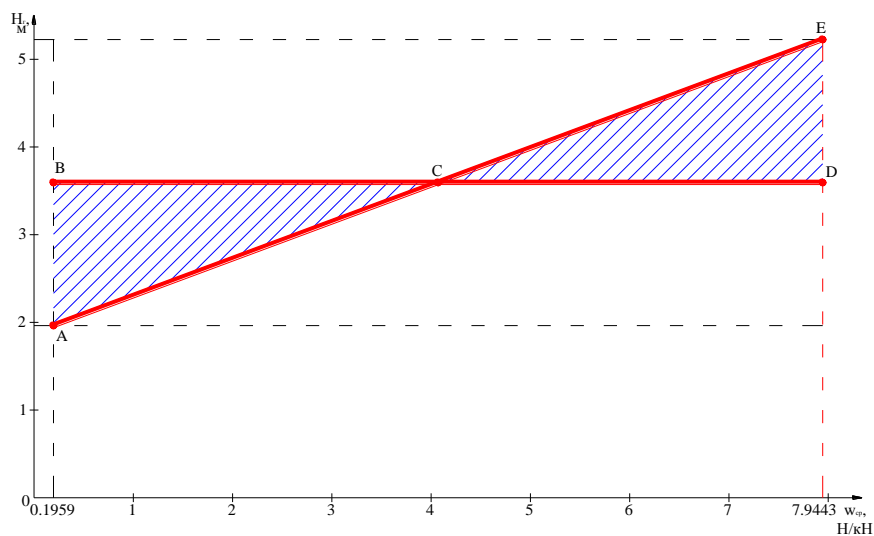


Рис. 52. График уравнения зависимости высоты горки от сопротивления окружающей среды



Согласно поставленным условиям оптимальная высота горки должна быть такой, чтобы работы сил сопротивления окружающей среды при наилучших и наихудших условиях были равны. Если заданные условия выразить графически, то площадь треугольника  $ABC$  равна площади треугольника  $CDE$  (рис. 52). Примем оптимальную высоту горки за  $h$ , тогда математически это условие выражается следующей зависимостью

$$\int_{0.1959}^{\frac{h-1.927}{0.415}} \int_{1.927+0.415 \cdot x}^h 1 \, dx \, dy = \int_{\frac{h-1.927}{0.415}}^{7.9443} \int_h^{\frac{h-1.927}{0.415}} 1 \, dx \, dy. \quad (7.1)$$

Выражение 7.1 преобразуем в уравнение 7.2 с одной неизвестной « $h$ »

$$\int_{0.1959}^{\frac{h-1.927}{0.415}} \int_{1.927+0.415 \cdot x}^h 1 \, dx \, dy - \int_{\frac{h-1.927}{0.415}}^{7.9443} \int_h^{\frac{h-1.927}{0.415}} 1 \, dx \, dy = 0. \quad (7.2)$$

В результате решения данного уравнения мы получаем оптимальную высоту горки.

```
> solve({int(int(1, y=1.927+0.415*x..h), x=0.1959..(h-1.927)/0.415)=
int(int(1, y=h..1.927+0.415*x), x=(h-1.927)/0.415..7.9443)}, {h});
{ h = 3.616091502 }
```

Выбираем ближайшую к полученному значению высоту горки. Ближайшей является  $H_r^{\text{опт}} = 3.629$  м (см. табл. 7.3), следовательно ее мы и принимаем к проектированию.

## 8 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОЧНЫХ СОРТИРОВОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

В современных условиях проектирования горочных устройств с соблюдением требований экономии энергозатрат и развития систем автоматизации управления роспуском вагонов целесообразно рассмотреть вопрос сооружения двух совмещенных горок на одном или двух путях надвига (рис. 53) для хороших и плохих бегунов – совмещенный горочный комплекс (СГК).

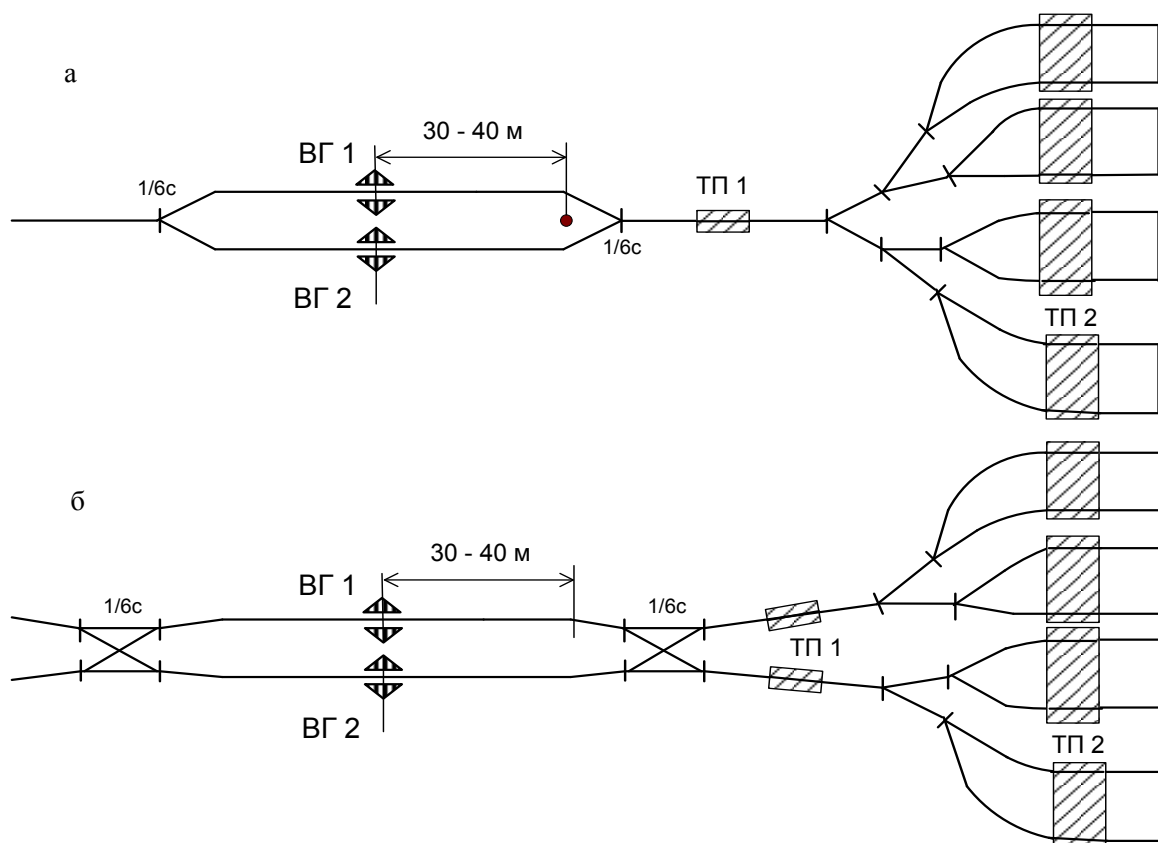


Рис. 53. Схема совмещенных горок:  
а – на одном пути надвига; б – на двух путях надвига

Существовавшая в прошлом веке методика проектирования «зимних» и «летних» совмещенных горок из-за различных характеристик отцепов, подлежит коренной модернизации за счет развития технологии автоматизированного непрерывного распуска.

Совмещенные горки на современном этапе развития систем автоматики позволят не только сократить капиталовложения и металлоемкость системы распуска, но и отказаться от горочных локомотивов и перейти к автоматическим толкателям с кардинальной переработкой технологии расформирования.

Поперечный разрез горба совмещенного горочного комплекса состоящего из параллельно расположенных горок большой и малой мощности представлен на рис. 54.

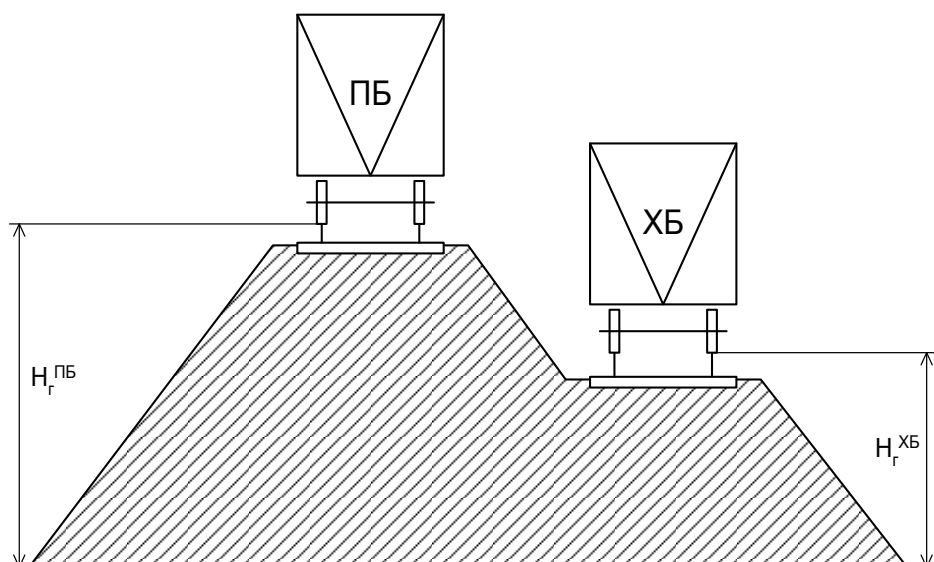


Рис. 54. Поперечный разрез горба совмещенного горочного комплекса

На железных дорогах эксплуатируются свыше 100 механизированных горок, 50 % которых оборудованы тремя тормозными позициями. В целом для торможения вагонов на сортировочных горках используются около 3400 вагонных замедлителей, работу которых обеспечивают 442 компрессорные установки. Суммарные годовые расходы по их содержанию и ремонту составляют более 1 млрд. руб.

Предлагаемая система совмещённых горочных комплексов имеет универсальное решение и применима для различных сортировочных систем с различным количеством надвижных и спускных путей. На рис. 55 приведены существующие и проектные варианты планов и профилей совмещённых горок с незначительным переустройством путевого развития и отсыпкой земляного полотна для горки малой мощности. Во всех вариантах вагонные замедлители отсутствуют (или подлежат демонтажу) на вторых тормозных позициях и рекомендуются на первой тормозной позиции перед пучками сортировочных парков.

При летних условиях сортировочной работы роспуск составов может осуществляться через горку малой мощности, при зимних – через обе системы. Летом, при попутном ветре и средней температуре окружающей среды, порожние вагоны проходят расчетные участки по трудным путям со скоростью 3,5 – 4 м/с, а груженные вагоны – с максимальной скоростью 6,22 м/с и расчетным торможением на позициях. Моделирование на ЭВМ процесса надвига и роспуска составов с горок в зимних и летних условиях позволило определить динамику скатываемых плохих и хороших бегунов, их скорости на спускной и подгорочной частях сортировочного парка, интервалы между бегунами, торможение груженных вагонов на горочной и парковой позициях, прицельное или точечное торможение вагонов в парке. Для зимних условий южного региона России при средней отрицательной температуре около  $-15^{\circ}\text{C}$  и встречном (или боковом) ветре 7 м/с и более, высота основных сортировочных горок составляет 4,1–4,2 м, что

обеспечивает свободное скатывание порожних вагонов вглубь сортировочного парка. Высота горки малой мощности при этих условиях составляет 2,5–3 м. Грузенные вагоны при свободном скатывании входят на третью тормозную позицию со скоростью 4,5–5 м/с, с учётом торможения – со скоростью допустимой по соударению вагонов 1,4 м/с.

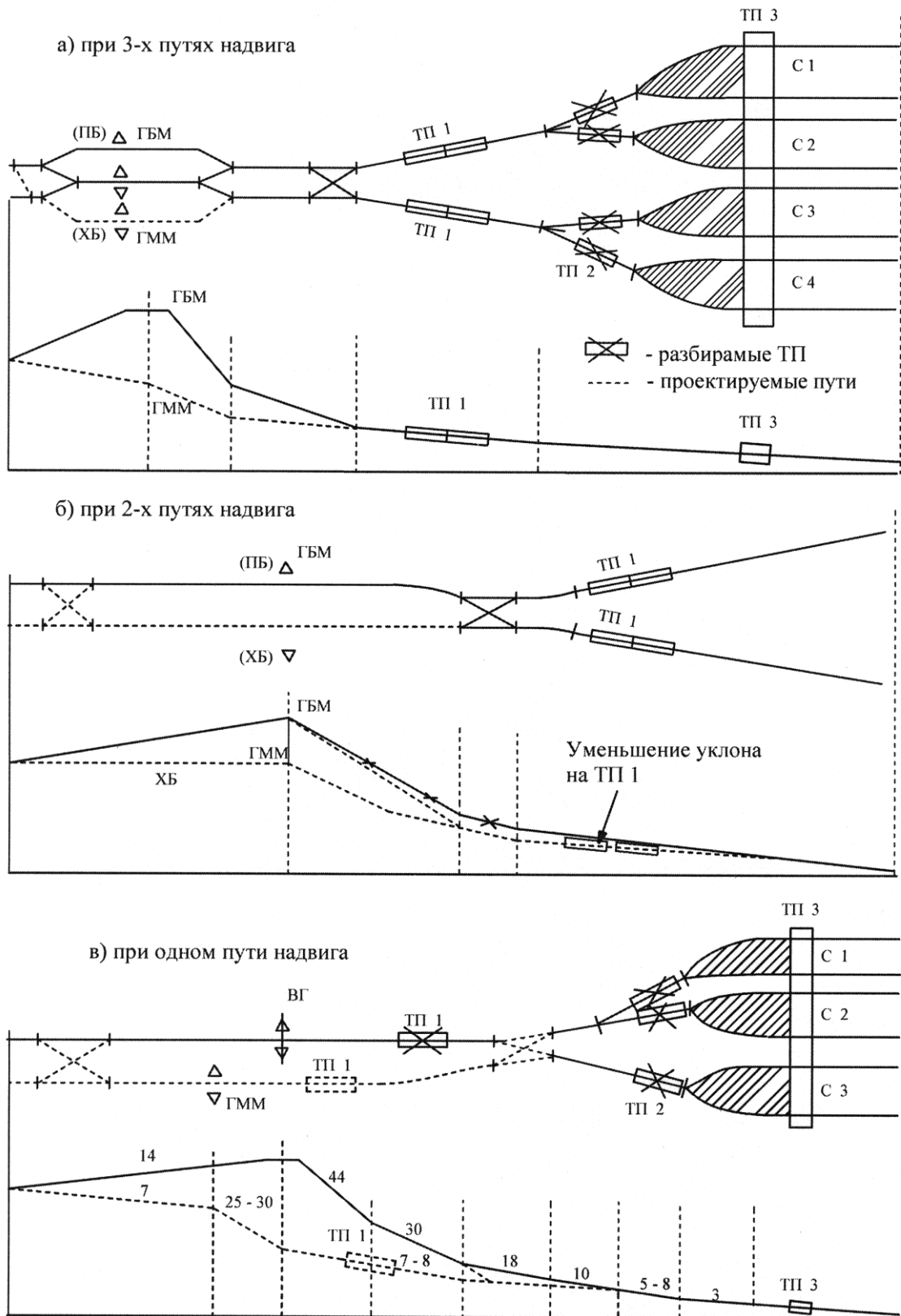


Рис. 55. Варианты совмещенных горок при различных путях надвига вагонов

Для летних условий (горка малой мощности, температура воздуха +30°C, скорость попутного ветра 5–6 м/с) плохие бегуны проходят расчетные точки сортировочного парка на 40–50 м, хорошие бегуны имеют скорость входа на третью тормозную позицию до 6 м/с. Торможение и остановка хороших и очень хороших бегунов обеспечивается двумя тормозными позициями.

Следует заметить, что при внедрении комплекса совмещенных горок и двух параллельных путей надвига и роспуска вагонов могут возникать некоторые задержки с надвигом составов на разделительный участок и на основную горку. Перерабатывающая способность системы при этом может снижаться на 1–2 %. Для устранения указанных недостатков предлагается применение электротолкателя при надвиге порожних вагонов от разделительной стрелки до горба горки. Это дополнительное самоходное маневровое устройство с дистанционным управлением, конструируется на раме двухосной тележки с размещением силового оборудования и электро-механических устройств для передвижения вагонов.

Для примера, рассмотрим одну из основных сортировочных станций юга России – двухстороннюю сортировочную станцию «Б» с последовательным расположением парков. Сортировочные системы (южная и северная) имеют горки большой мощности с тремя тормозными позициями. Анализ работы сортировочных систем станции показывает, что перерабатываемый грузовой вагонопоток в южном направлении составляет 90–95 % объема и 25–30 % в северном направлении. Среднесуточная переработка одной горкой колеблется от 1700 до 2000 вагонов. Годовые расходы на обслуживание и ремонт компрессорных установок, вагонных замедлителей, стрелочных приводов для одной северной системы с тремя пучками сортировочных путей и тремя тормозными позициями составляют 9–10 млн руб., из которых на электроэнергию относится 31 % затрат. Высота горки северной сортировочной системы станции «Б» равна 3,54 м, 70 % перерабатываемых вагонов порожние, для которых замедлители не нужны на первых двух позициях; 30 % вагонов груженые, для них специализируется один пучок сортировочного парка.

На рис. 3 представлен план и профиль северного совмещенного горочного комплекса. Предлагается параллельно существующей горке запроектировать вторую горку (малой мощности высотой 2,5 м) на сплошном уклоне с путем, примыкающим к третьему пучку сортировочного парка перед второй тормозной позицией. При надвиге состава на горку груженые вагоны после перевода стрелки будут свободно скатываться по специальному профилю пути в сортировочный парк СЗ с возможностью торможения и остановок на горочной и парковой позициях. Для надвига порожних вагонов на основную горку, которые были впереди груженых или за ними, могут использоваться электротолкатели с дистанционным управлением или горочные локомотивы.

Вторым вариантом распределения вагонопотоков на «порожний–груженный» может быть предгорочный разделительный пункт с подвижной и

спускной частью на уклонах 10–15 ‰. На спускной части длиной 50 м укладывается перекрестный съезд из симметричных стрелочных переводов марки 1/6, что позволяет при скорости надвига составов 1,4 м/с соблюдать горочные интервалы между отцепами в пределах 9–10 с. При расположении вагонов в составе по схеме «плохой–хороший–плохой» (П-Х-П) порожние вагоны будут «отсеиваться» на основную горку, а груженные – на вспомогательную. Для дальнейшего надвига порожних вагонов на горку предусматривается использование горочных локомотивов.



Рис. 56. План и профиль северного совмещенного горочного комплекса станции «Б»: а – план головы сортировочного парка; б - продольные профили совмещенных горок

Роспуск порожних вагонов с основной горки на третий пучок сортировочного парка С3 может осуществляться последовательно за груженными (или наоборот), так как маршруты враждебны у второй тормозной позиции; на пучки С1 и С2 – параллельно груженным.

Из рис. 56 видно, что из восьми горочных вагонных замедлителей, работающих при существующей технологии, в проектном варианте требуются только два – для третьего пучка путей. Парковые замедлители сохраняются на всех путях. При увеличении доли груженных вагонов в потоках и при их росте в два раза и более сортировочный парк модернизируется в единую систему за счет укладки перекрестного съезда на месте первой разделительной стрелки.

На содержание и ремонт одного горочного замедлителя в среднем тратится около 1,0 млн. руб. в год с учетом расходов на работу и обслуживание компрессорных установок. Учитывая стоимость замедлителя 1,5 млн. руб. и его монтаж (0,5 млн. руб.) при десятилетнем сроке

эксплуатации, приведенные затраты для северной горки станции «Б» при консервации или разборке шести замедлителей составят 7,2 млн. руб. –  $\Pi = (\text{Э} + E_n \cdot K) \cdot n$ , млн. руб., где Э – годовые расходы на содержание и ремонт одного замедлителя, млн. руб.; K – стоимость замедлителя с учетом монтажа, млн. руб.;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат,  $E_n=0,1$ ;  $n$  – количество замедлителей.

На реконструкцию существующей горки и новое строительство параллельных профилированных горочных устройств потребуется около 20 млн. руб. При этом необходимо выполнить следующие работы: сооружение насыпи для земляного полотна и верхнего строения пути с укладкой рельсов, шпал и перекрестных съездов; размещение и монтаж напольного оборудования горочной автоматической централизации; переоборудование пульта управления роспуском составов на горочном посту; дополнительное оборудование подвижной части горки сортировочными устройствами.

Экономический эффект  $\text{Э}_\phi$  от внедрения совмещенных горок в северной сортировочной системе станции и новой технологии надвига и роспуска вагонов составит  $\text{Э}_\phi = \Pi - (\text{Э}_n + E_n \cdot K_n) = 7,2 - (1,48 + 0,1 \cdot 20) = 3,72$  млн. руб.

Примером следующего варианта проектирования СГК является сортировочная станция «Л». На станции имеется две системы парков. Парки нечетной системы расположены последовательно и оснащены механизированной сортировочной горкой. Парки четной системы включают приемочный парк и сортировочно-отправочный, которые расположены последовательно. Для расформирования в четной системе имеется немеханизированная горка с башмачными тормозными позициями.

За последние два года на станции Лихая сохраняется стабильный рост переработки вагонов (до 3600 вагонов в сутки). В это же время не выполняется норматив времени простоя вагонов. Существующая высота немеханизированной горки (2,28 м) не отвечает современным требованиям повышения темпа роспуска, а существующие башмачные тормозные позиции на скоростном участке не только не безопасны по организации работы, но являются причиной появления «ползунов» у вагонов и браков в расформировании составов.

Проектируемая высота горки средней мощности составляет 3,6 м, оборудуется двумя тормозными позициями (ТП) на спускной части и третьей ТП на парковых путях (рис. 57, а), что позволит значительно улучшить работу станции и повысить в 3 раза перерабатывающую способность четной системы станции.

Во втором варианте (рис. 57, б) предлагается параллельно проектной горке средней мощности запроектировать вторую горку (малой мощности высотой 2,5 м) на сплошном уклоне. На спускной части длиной 50 м укладывается перекрестный съезд из симметричных стрелочных переводов марки 1/6, что позволяет при скорости надвига составов 1,4 м/с обеспечивать горочные интервалы между отцепами.

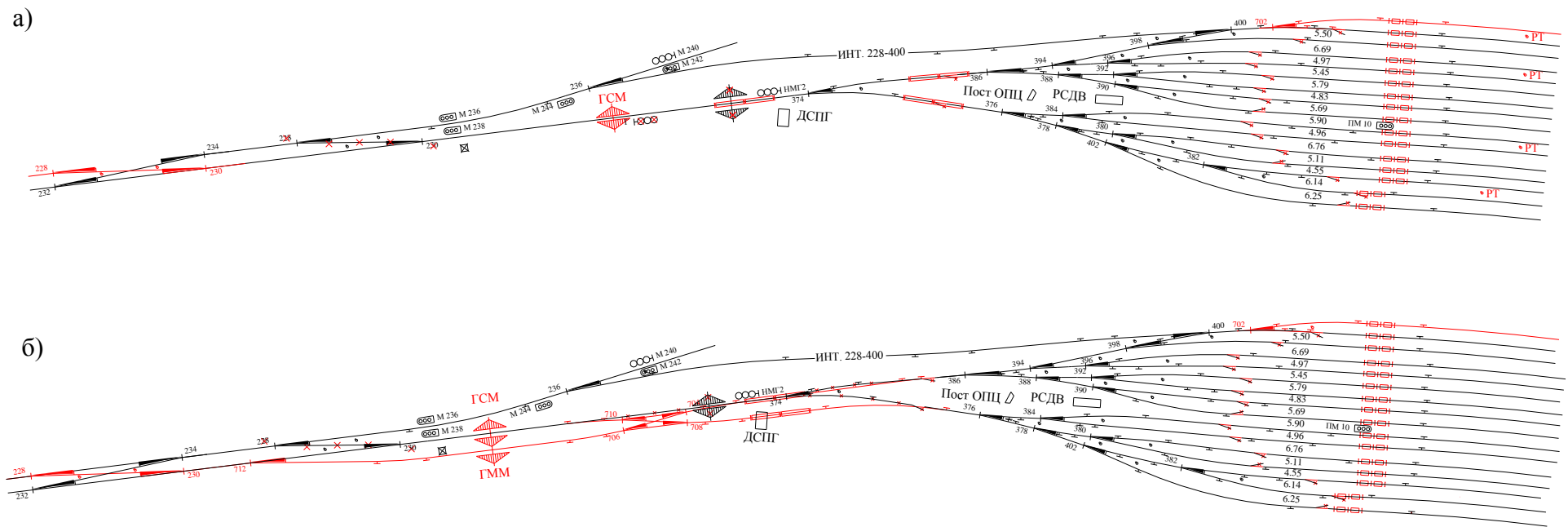


Рис. 57. Варианты совершенствования четной сортировочной системы станции «Л»:  
а – проект горки средней мощности с одним путем надвига; б – проект совмещенного горочного комплекса





При новом строительстве сортировочных станций с комплексом совмещенных горок эксплуатационные расходы снижаются на 35 – 40 % за счет отсутствия вагонных замедлителей на вторых тормозных позициях, уменьшения расходов на содержание и ремонт компрессорного оборудования, применения новой технологии при расформировании вагонов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) : учебник для вузов ж.-д. трансп. / Н.В. Правдин, С.П. Вакуленко, А.К. Головнич [и др.]; под ред. Н.В. Правдина и С.П. Вакуленко / ФГБОУ УМЦ ЖДТ. – М., 2012. – 1086 с.

2 Железнодорожные станции и узлы промышленных районов : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Н.Н. Числов, В.Н. Дегтяренко, Е.Г. Лазарев и др. ; ред. Н.Н. Числов ; МПС РФ. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д : СКНЦ ВШ, 2004. – 568 с.

3 Железнодорожные станции и узлы : учебник для вузов ж.-д. трансп. / В.Г. Шубко, Н.В. Правдин, Е.В. Архангельский [и др.] ; под ред. В.Г. Шубко и Н.В. Правдина. – М. : УМК МПС России, 2002. – 368 с.

4 Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Н.В. Правдин, В.Г. Шубко, Е.В. Архангельский [и др.]. – М. : Маршрут, 2005. – 502 с.

5 Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. – М. : Техинформ, 2001. – 256 с.

6 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. – М., 2003. – 168 с.

7 **Чернов, В.Н.** Проектирование и расчет сортировочных горок : учебное пособие / В.Н. Чернов. – Ростов н/Д, РГУПС, 2004. – 96 с.

8 **Чернов, В.Н.** Автоматизация расчетов и масштабного проектирования горочных горловин сортировочных парков : учебное пособие / В.Н. Чернов.– Ростов н/Д, РГУПС, 2003. – 64 с.

9 **Числов, О.Н.** Комплексные методы рационального размещения элементов транспортно-технологических систем в железнодорожных узлах: монография // Рост. гос. ун-т путей сообщения. Ростов н/Д, 2009. – 294 с.

*Учебное издание*

**Числов** Олег Николаевич  
**Лебедева** Вера Анатольевна  
**Хан** Владимир Васильевич

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК**

Ответственный за выпуск О.Н. Числов  
Технический редактор Н.С. Федорова

Подписано в печать 28.12. 2017. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 4,88.  
Тираж экз. Изд. № 70. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

---

Адрес университета: 344038, Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового  
Полка Народного Ополчения, д. 2.