

МПС СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Кафедра железнодорожных станций и узлов

В. М. АКУЛИНИЧЕВ, Л. П. КОЛОДИЙ

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК
БОЛЬШОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

Учебное пособие

Москва — 1981

656.2
A44
99-18929



МПС СССР
МОСКОВСКИЕ ОГРНЧИЧЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ
Акулиничев В.М.
Расчет и проектирование
сортировочных гро '81
ПО ТРАНСПОРТА
и узлов

В. М. АКУЛИНИЧЕВ, Л. П. КОЛОДИЙ

Утверждено
ГУУЗом МПС в качестве
учебного пособия

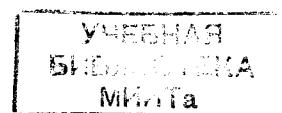
РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК
БОЛЬШОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Учебное пособие

по дисциплине

«ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ СТАНЦИИ И УЗЛЫ»

для студентов специальности
«ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ»



Москва -- 1981

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГОРКАХ

В условиях массовой сортировки вагонов наиболее совершенным сооружением, обеспечивающим наименьшие затраты времени на расформирование и, соответственно, наибольшую перерабатывающую способность станций, и позволяющим автоматизировать все процессы, связанные с роспуском составов, являются в настоящее время сортировочные горки. Их подразделяют на:

- горки большой мощности при переработке более 5000 ваг/сутки или числе сортировочных путей 30 и более;
- горки средней мощности при переработке от 2000 до 5000 ваг/сутки и числе сортировочных путей от 17 до 30;
- горки малой мощности при переработке от 250 до 2000 ваг/сутки и числе сортировочных путей до 16.

Для обеспечения процесса сортировки и требуемой производительности сортировочные горки оборудуют устройствами для торможения вагонов — вагонными замедлителями или механизированными башмачными замедлителями с дистанционным управлением, горочной автоматической централизацией стрелок (ГАЦ), системой автоматического задания скорости роспуска (АЗСР), устройствами автоматического регулирования скорости скатывания отцепов (АРС) и телевидения горочными локомотивами (ТГЛ).

Сортировочная горка состоит из надвижной и спускной части (рис. 1). Надвижная часть считается от предельного столбика последнего стрелочного перевода предгорочной горловины парка приема до вершины горки и должна быть, как правило, длиной 150 м. Разрешается при реконструкции горок в трудных условиях уменьшать это расстояние до 80 м. Для облегчения расцепки вагонов и остановки их при прекращении роспуска перед горбом горки делается подъем не менее 8% на расстоянии не менее 50 м. В целях повышения эффективности роспуска составов с переменной скоростью и при наличии благоприятных местных условий этот подъем можно проектировать 12—16% на протяжении 100—150 м, причем предшествующий участок тогда располагается на площадке длиной около 350 м. Необходимым требованием, предъявляемым к профилю надвижной части, является обес-

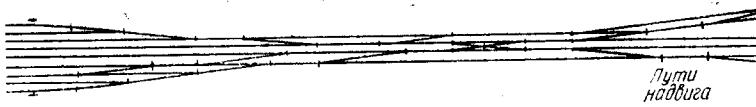


Рис. 1

нечение трогания с места полновесного состава из большегрузных вагонов, горочным локомотивом при нахождении первого вагона перед вершиной горки, т. е.

$$\frac{F_{\text{ктр}}}{P + Q} \geq i_{\text{ср}} + w_{\text{кп}} + w_{\text{тр}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{ктр}}$ — сила тяги локомотива при трогании состава с места, кгс;

Q — расчетный вес состава на участке, тс;

P — вес маневрового локомотива, тс;

$i_{\text{ср}} = \frac{\sum i_i l_i}{L_c}$ — средний уклон на длине состава, остановившегося перед вершиной горки, %;

$\sum i_i l_i$ — разность уровней вершины горки и места расположения маневрового локомотива, на расстоянии длины состава (L_c) от вершины горки, м;

$w_{\text{кп}} = 0,009 \sum \alpha^\circ$ — дополнительное среднее удельное сопротивление от кривых, кгс/тс;

$\sum \alpha^\circ$ — сумма углов поворота в градусах, включая переводные кривые, в пределах длины состава L_c ;

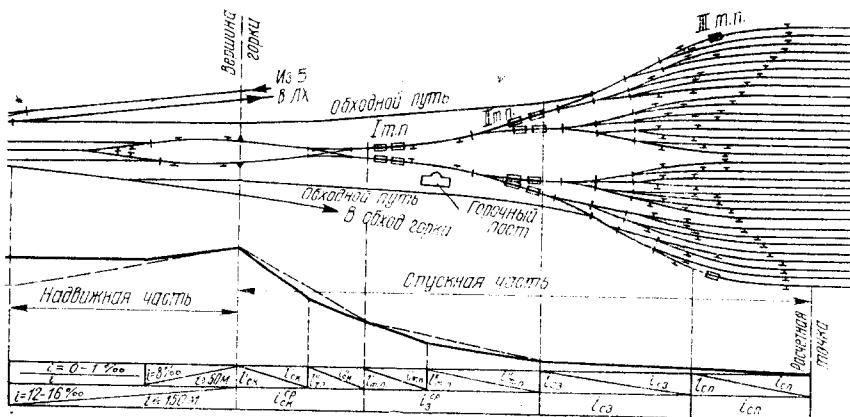


Рис. 1 (продолжение)

w_{tp} — удельное сопротивление при трогании с места, кгс/тс. При наличии в составе вагонов с разными подшипниками определяется как

$$w_{tp} = w_{tp}^{ck} \cdot p_{ck} + w_{tp}^{pol} \cdot p_{pol},$$

где, соответственно, $w_{tp}^{ck} = \frac{142}{q_0 + 7}$ — сопротивление вагонов на подшипниках скольжения, кгс/тс;

p_{ck} — доля таких вагонов в составе;

$w_{tp}^{pol} = \frac{28}{q_0 + 7}$ — сопротивление вагонов на подшипниках качения, кгс/тс;

p_{pol} — доля вагонов с роликовыми подшипниками в составе;

q_0 — средняя нагрузка от оси на рельсы, тс.

Если в результате расчетов неравенство (1) не соблюдается, необходимо перепроектировать профиль надвижной части, уменьшая длину (но не менее 50 м) или крутизну (но не менее 8%) предгорочного элемента надвижной части, что соот-

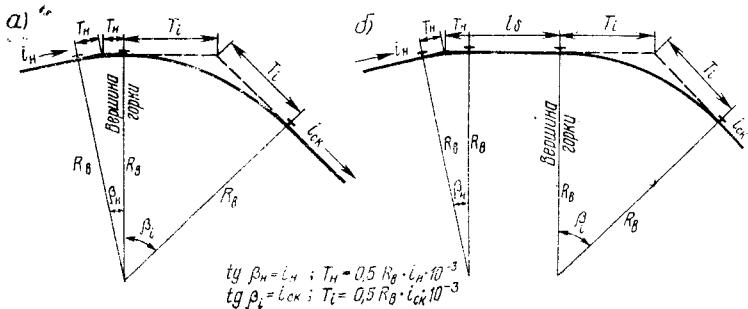


Рис. 2

ветственно меняет уровень расположения парка приема или сортировочного. Если это невозможно по местным условиям, то надо применить маневровый локомотив большей мощности.

Надвижная и спускная часть горки сопрягаются вертикальными кривыми, с радиусами $R_v \geq 350$ м. Участок от начала сопрягающей кривой надвижной части до конца сопрягающей кривой спускной части носит название горба горки (рис. 2, а).

Во избежании саморасцепа вагонов алгебраическая разность сопрягаемых уклонов на горбе горки не должна превышать 55%, т. е.

$$i_H - i_{ck} \leqslant 55.$$

В случаях, когда для создания наилучших условий скатывания вагонов с горки первый скоростной участок спускной части проектируется крутизной 50—55%, на горбе горки между смежными сопрягающими кривыми устраивается площадка (рис. 2, б) длиной, равной наибольшей базе вагона (≈ 14 м).

Вершиной горки считается точка, где начинается вертикальная кривая, сопрягающая спускную часть горки.

Вагоны, в зависимости от их конструктивных особенностей и загрузки, имеют различные сопротивления движению и, поэтому, при свободном скатывании отличаются скоростями и проходят до остановки разные расстояния. Следовательно,

во время свободного скатывания по спускной части горки вагоны с меньшим сопротивлением, («хорошие бегуны») будут нагонять вагоны, имеющие большее сопротивление («плохие бегуны»). Такие нагоны опасны не только тем, что могут происходить взаимные удары и даже повреждения вагонов, но и тем, что интервалы между скатающимися вагонами будут недостаточны для перевода стрелок, что влечет появление «чужаков» (вагонов, попавших на путь не своего назначения) и необходимость повторной сортировки.

Для регулирования скорости скатывания вагонов и интервалов между ними на горке устраиваются тормозные позиции, где производится торможение вагонов, угрожающих нагоном впереди следующим плохим бегунам. Эту задачу можно решать и путем ускорения движения плохих бегунов, однако, пока еще нет удовлетворяющей всем требованиям конструкции таких «ускорителей».

Важное значение для работы горки имеет конструкция горочной горловины сортировочного парка, влияющая на расчетную длину горки. Чем меньше расчетная длина горки, тем лучше условия скатывания вагонов (так как меньше расстояние, на котором имеется возможность взаимного нагона вагонов), тем меньше расчетная высота горки, тем меньше расходы по ее сооружению и эксплуатации.

Расчетной длиной горки называется расстояние от вершины горки до расчетной точки остановки плохих бегунов, которая принимается за предельным столбиком последней разделительной стрелки на расстоянии: 100 м — для горок большой мощности; 80 м — для горок средней мощности; 50 м — для горок малой мощности, а также для всех горок на существующих станциях в трудных условиях.

При внедрении механизированной расцепки вагонов и повышении процента вагонов с подшипниками качения более 75%, это расстояние можно принимать 150 м (при скорости надвига 2,2 м/с) и 220 м (при скорости надвига 2,5 м/с).

Расчетной высотой горки является разность отметок между вершиной горки и расчетной точкой. Движущая сила, под действием которой происходит движение вагонов по горке, возникает от уклона горки и пропорциональна его крутизне. Поэтому важным элементом сортировочной горки является ее продольный профиль, который предопределяет производительность, безопасность и бесперебойность работы горки.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ГОРКИ

Скатывание вагонов с сортировочной горки представляет собой движение по наклонной плоскости, подчиняющееся тем же физическим законам, что и падение тел.

Как известно, в любой точке наклонной плоскости энергия скатывающегося тела массой m равна сумме потенциальной и кинетической энергий, зависящих от высоты этой точки и скорости тела в ней, т. е. $mgH + \frac{mv^2}{2}$. Эта энергия расходуется на преодоление сил сопротивления движению, работа которых определяется их величиной ($W = Q \cdot w = mgw$) и длиной пробега (L), т. е.

$$mgH + \frac{mv^2}{2} = mgwL.$$

Отсюда, применительно к сортировочной горке, имеем

$$H_r + \frac{v_0^2}{2g_1} wL, \quad \text{или} \quad H_r = wL_r - \frac{v_0^2}{2g_1},$$

где H_r — высота горки, м;

w — среднее удельное сопротивление, кгс/тс;

L_r — расчетная длина горки, м;

v_0 — скорость надвига состава на горку, м/с;

g_1 — ускорение силы тяжести с учетом влияния вращающихся масс, м/с².

Формула показывает, что на вершине горки вагон имеет запас потенциальной энергии, определяемой высотой горки, и кинетической энергии за счет локомотива, надвигающего состав на горку со скоростью v_0 . (Значит, чтобы понизить высоту горки, надо увеличить скорость надвига, для чего необходимо внедрение автоматической расцепки вагонов.) Вся эта энергия затрачивается на преодоление сил сопротивления w на расстоянии L_r , пройдя которое, вагон остановится, иначе говоря, высота горки зависит от требуемой дальности пробега.

Высота горки рассчитывается из условия, чтобы плохой бегун при неблагоприятных условиях (минусовая температура и встречный ветер) прошел от вершины горки по наиболее трудному пути до расчетной точки. Следовательно, все другие бегуны, обладающие меньшим сопротивлением, проследуют еще дальше вглубь парка.

Скорость надвига состава при определении высоты горки принимают для горок большой и средней мощности 1,4 м/с (5 км/ч), а малой — 1 м/с (3,5 км/ч).

Величина g_1 находится из выражения

$$g_1 = \frac{g}{1 + \gamma},$$

где $\gamma = \frac{0,42n_0}{q_{бр}}$ — коэффициент увеличения массы вагона при учете вращающихся масс.

В зависимости от числа осей n_0 и веса вагона брутто значения g_1 можно принимать:

$q_{бр}$	до 30	50	70	80 и более
g_1	9,3	9,4	9,5	9,6

Удельное сопротивление движению вагона по спускной части горки складывается из основного (w_0) и дополнительных ($w_{доп}$) сопротивлений:

$$w = w_0 + w_{доп}.$$

Основное удельное сопротивление зависит от веса вагона, температуры наружного воздуха, типа подшипников, пройденного расстояния от вершины горки, состояния пути и определяется экспериментально.

Дополнительное сопротивление при движении вагона по горке включает сопротивление от воздушной среды ($w_{ср}$), от кривых участков пути (w_{kp}) и ударов на стрелочных переводах ($w_{стр}$).

Таким образом,

$$w = w_0 + w_{ср} + w_{kp} + w_{стр}.$$

Если первые два вида сопротивления действуют на всей длине L_r горки, то сопротивления от стрелок и кривых имеют место только в пределах L_{kp} и $L_{стр}$.

Следовательно, формулу для определения высоты горки можно записать в виде

$$H_r = L_r (w_0 + w_{ср}) \cdot 10^{-3} + L_{kp} \cdot w_{kp} \cdot 10^{-3} + L_{стр} \cdot w_{стр} \cdot 10^{-3} = \frac{v_0}{2g_1}.$$

(Так как сопротивление измеряется в кгс/тс, то для получения высоты горки в метрах необходимо умножить величину сопротивления на 10^{-3}).

Среднее удельное сопротивление от кривых на горке равно $w_{kp} = \frac{500}{R}$, а длина кривых $L_{kp} = \frac{\pi R \Sigma r^0}{180}$. Отсюда часть

высоты горки, необходимая для преодоления сопротивления от кривых, будет

$$L_{kp} \cdot w_{kp} \cdot 10^{-3} = \frac{\pi R \Sigma \alpha^\circ}{180} \cdot \frac{500}{R} \cdot 10^{-3} = 9 \Sigma \alpha^\circ \cdot 10^{-3},$$

где $\Sigma \alpha^\circ$ — сумма углов поворота в кривых участках пути, включая стрелочные переводные кривые;

9 — удельная работа сил сопротивления на 1° угла поворота.

Удельное сопротивление движению от ударов на стрелочных переводах определяется из эмпирического выражения

$$w_{ctr} = \frac{20}{L_{ctr}} \cdot n.$$

Следовательно, часть высоты горки, необходимая для преодоления сопротивления от стрелок,

$$L_{ctr} \cdot w_{ctr} \cdot 10^{-3} = \frac{L_{ctr} \cdot 20 \cdot n}{L_{ctr}} \cdot 10^{-3} = 20 \cdot n \cdot 10^{-3},$$

где n — число стрелочных переводов на расчетном пути;

20 — удельная работа сил сопротивления от ударов при проходе по стрелочному переводу.

Подставив все эти выражения, получим окончательную формулу для определения минимальной высоты горки

$$H_r = L_r (w_0 + w_{cp}) 10^{-3} + 0,009 \Sigma \alpha^\circ + 0,02 n - \frac{v_0^2}{2g_1}. \quad (3)$$

Для определения высоты горки в качестве расчетного принимается путь с наиболее удаленными предельными столбиками. Если же один из путей имеет несколько большую длину, а другой меньшую длину, но большую сумму углов поворота, то расчет высоты горки выполняется для обоих путей и выбирается большее значение.

Для расчетов сортировочной горки и ее элементов принято все вагоны делить в зависимости от ходовых качеств на плохие (П), хорошие (Х) и очень хорошие (ОХ) бегуны.

За расчетный плохой бегун принимается крытый четырехосный вагон на подшипниках скольжения весом:

25 тс	при среднем весе вагона до 60 тс
30 тс	» » » » от 60 до 70 тс
50 тс	» » » » более 70 тс.

За расчетный хороший бегун принимается четырехосный полуwagon на роликовых подшипниках весом 70 тс и за очень

хороший бегун — четырехосный полувагон на роликовых подшипниках весом 80 тс брутто, а их среднее основное удельное сопротивление определяется по табл. 1.

Величина w_0 для промежуточных значений температуры определяется интерполяцией.

Минимальное основное удельное сопротивление ОХ-бегуна на роликовых подшипниках в летних условиях равно 0,5 кгс/тс.

Таблица 1

Вес расчетных бегунов, тс	Основное удельное сопротивление движению вагонов, кгс/тс при расчетной температуре воздуха									
	выше 0		-5		-15		-25		-35	
	ск	рол	ск	рол	ск	рол	ск	рол	ск	рол
25	4,7	3,8	5,0	3,8	5,4	3,9	6,0	4,0	6,8	4,1
30	4,6	3,7	4,9	3,7	5,3	3,8	5,8	3,9	6,6	4,0
50	4,0	3,2	4,3	3,2	4,7	3,3	5,1	3,4	5,8	3,5
70	3,6	2,9	3,9	2,9	4,3	3,0	4,7	3,1	5,3	3,2
80	3,5	2,8	3,9	2,8	4,1	2,9	4,5	3,0	5,1	3,1

Расчетная температура воздуха, которая в сочетании с неблагоприятным направлением ветра определяет условия проектирования горки, вычисляется как

$$t^0 = t_{cp}^0 - 11,$$

где t_{cp}^0 — средняя месячная температура воздуха, полученная из многолетних наблюдений по данным метеостанций, расположенных в районе проектируемой горки или по табл. 1 Справочника по климату СССР.

Сопротивление от воздушной среды w_{cp} следует определять по формулам:

а) для одиночных вагонов

$$\pm w_{cp} = \frac{17,8 \cdot C_x \cdot S}{(273 + t^0) q} \cdot v_p^2;$$

б) для отцепов

$$\pm w_{cp} = 17,8 \frac{C_x S + \sum_{i=2}^n C_{xi} \cdot S_i}{(273 + t^0) \sum_{i=1}^n q} \cdot v_p^2,$$

где C_x — коэффициент воздушного сопротивления одиночных вагонов или первого вагона в отцепе; C_{xi} — коэффициент воздушного сопротивления вагонов в отцепе (кроме первого вагона); S, S_i — площадь поперечного сечения (модель) соответственно одиночного или первого вагона в отцепе и последующих вагонов в отцепе, m^2 ; q — вес вагона, тс; $\sum_{i=1}^n q$ — вес отцепа из n вагонов, тс; t^0 — расчетная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; v_p — относительная скорость отцепа с учетом направления ветра, м/с.

Коэффициенты воздушного сопротивления C_x и C_{xi} выбирают в зависимости от рода вагона и угла α (угол между результирующим вектором относительной скорости и направлением движения отцепа) из табл. 2.

Таблица 2

Тип вагона	Число осей	S, m^2	Коэффициенты воздушного сопротивления при различных α						
			0	10°	20°	30°	50°	70°	90°
Полувагон	4	8,5	1,36 0,5	1,68 0,69	1,83 0,82	1,76 0,88	1,11 0,8	0,43 0,43	0,1 0,1
Крытый	4	9,7	1,12 0,22	1,46 0,38	1,64 0,56	1,58 0,673	0,92 0,85	0,29 0,29	0,1 0,1
Полувагон	6	10,2	1,46 0,5	1,71 0,7	1,80 0,88	1,72 0,98	1,16 0,89	0,51 0,51	0,15 0,15

Скорость v_p и угол α можно вычислить по формулам

$$v_p^2 = v_{cp}^2 + v_b^2 \pm 2v_{cp} \cdot v_b \cdot \cos \beta,$$

$$\alpha = \arcsin \frac{v_b \cdot \sin \beta}{v_p},$$

где v_{cp} — средняя скорость скатываемого отцепа на участке, м/с;

v_b — скорость ветра, принимаемая постоянной на всем протяжении горки, м/с;

β — угол между направлением ветра и осью участка пути, по которому движется отцеп.

Расчеты с допустимой погрешностью при углах $\beta < 30^\circ$ можно производить по формулам:

$$v_p = v_{cp} \pm v_b,$$

$$\alpha = \frac{3}{2}.$$

В приведенных формулах знак «+» следует принимать при встречном ветре, знак «—» при попутном. При скорости попутного ветра более средней скорости скатываемого отцепа сопротивление от воздушной среды принимается со знаком «—».

При расчете высоты горки в ИПСУ рекомендуется среднюю скорость v_{cp} движения расчетного плохого бегуна для горок большой и средней мощности определять в зависимости от заданной скорости роспуска по табл. 3 (для горок малой мощности и полугорок $v_{cp} = 3$ м/с).

Таблица 3

Заданная скорость роспуска v_0 (рас), м/с	Средняя скорость v_{cp} движения расчетного плохого бегуна, м/с	
	по спускной части горки (до предельного столбика)	на подгорочных путях (от предельного столбика до расчетной точки)
До 1,9	4,8	2,0
» 2,22	5,3	2,0
» 2,5	5,7	2,7
Более 2,5	6,2	2,7

В этом случае нужно отдельно определить сопротивление от среды на спускной части горки (w_{cp}') и на подгорочных путях (w_{cp}''), а затем найти среднюю величину

$$w_{cp} = \frac{w'_{cp}(L_r - 100) + w''_{cp} \cdot 100}{L_r}.$$

Однако, при проектировании скоростных участков крутизной, обеспечивающей скорость подхода к первой тормозной позиции около 7 м/с, средняя скорость движения плохого бегуна будет значительно больше, чем получаемая по табл. 3, и, в целях сокращения расчетов, целесообразно v_{cp} принимать по столбцу для спускной части горки и по ней находить w_{cp} для всей расчетной длины горки.

§ 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

План сортировочной горки характеризуется числом надвижных и спускных путей, количеством путей и пучков в сортировочном парке, наличием обходных путей, схемой расположения и числом тормозных позиций, а также размещением измерительных участков (при автоматизации работы горки).

Количество надвижных и спускных путей определяется потребной перерабатывающей способностью, технологией работы горки и характеристикой вагонопотоков. В первом приближении принимается следующее сочетание путей надвижной и спускной части горок:

малой мощности	1 путь надвига и 1 — спускной;
средней мощности	2 пути надвига и 1—2 спускных и 1 обходной;
большой мощности	2—5 путей надвига и 2—4 спускных и 2 обходных.

На рис. 3 приведены некоторые схемы для горок большой и средней мощности.

Надо заметить, что с точки зрения взаимозаменяемости путей, применения скользящей специализации, удобства и безопасности различных ремонтных работ наиболее удачными являются схемы, позволяющие с любого пути надвига попасть на любой сортировочный путь, причем лучшие из них — схемы с перекрестным съездом за горбом горки (схемы 1, 2, 3 на рис. 3). Эти схемы позволяют сократить расчетную длину горки на 15—20%, наилучшим образом отвечают требованиям,

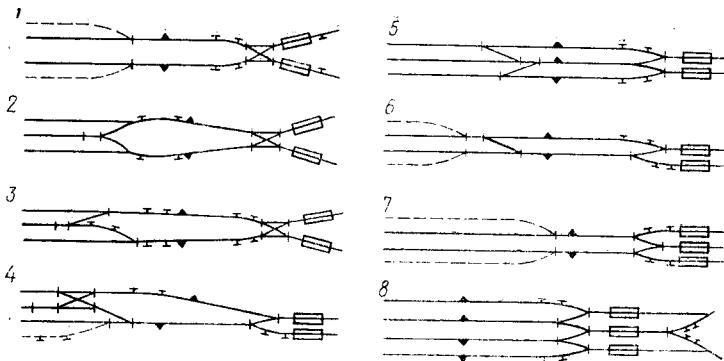


Рис. 3

предъявляемым к горочной горловине, обеспечивают наибольшую перерабатывающую способность горки.

Для пропуска поездных локомотивов от прибывающих поездов в депо на горках большой мощности проектируют шлюзовые пути, с целью попеременного пересечения путей надвига, или путепровод под горкой.

Для ускорения операций по уборке из расформировываемых составов вагонов, запрещенных к спуску с горки без локомотива, предусматриваются либо дополнительные соединения путей в горловинах горок большой и средней мощности, либо устройство тупиков на надвижной части.

Определение положения вершины горки. Определить положение вершины горки — это значит найти расстояние от вершины горки до первой разделительной стрелки. Это расстояние (рис. 4) должно обеспечить проход плохому бегуну

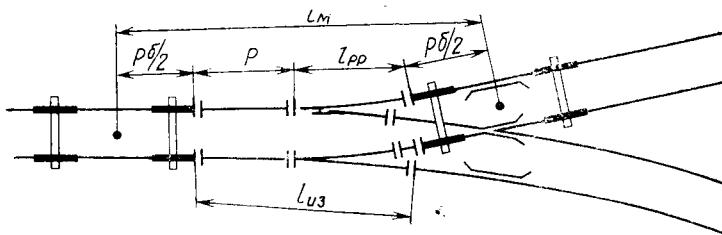


Рис. 4

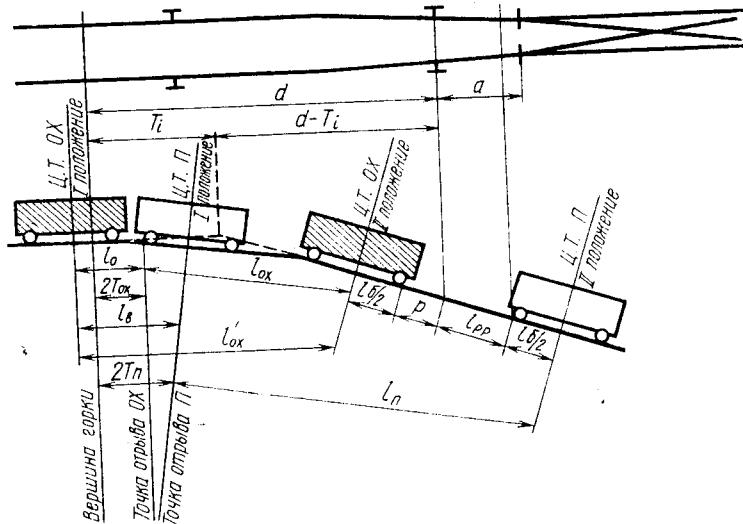


Рис. 5

за изолированный участок первой разделительной стрелки до подхода к этому изолированному участку следующего за ним очень хорошего бегуна, ибо только при этом условии их можно разделить на первой стрелке. На рис. 5 это условие представлено двумя положениями. Положение I соответствует начальному моменту, когда происходит отрыв плохого бегуна, т. е. центр его тяжести находится в точке отрыва на расстоянии $2T_{\text{II}}$ от вершины горки, а центр тяжести следующего за

ним очень хорошего бегуна на расстоянии $\frac{l_{\text{II}} + l_{\text{ox}}}{2} = l_{\text{b}}$ (длины вагона).

Положение II соответствует моменту, когда плохой бегун своим последним колесом прошел рамный рельс и, следовательно, освободил изолированный участок первой разделительной стрелки, а очень хороший бегун передним колесом подошел к началу этого участка.

Минимальное расстояние от вершины горки до первой разделительной стрелки (d) определится при одинаковом времени перехода плохого и очень хорошего бегуна из I-го во II-е положение

$$\frac{l_n}{v_{n}^{cp}} = \frac{l_0}{v_0} + \frac{l_{ox}}{v_{ox}^{cp}}, \quad (4)$$

где

l_n — расстояние между положениями центра тяжести плохого бегуна в момент начала свободного скатывания и в момент выхода его с изолированного участка стрелки, м;

l_0 — расстояние между положениями центра тяжести очень хорошего бегуна в момент отрыва плохого бегуна (I-е положение) и в момент начала свободного скатывания очень хорошего бегуна, м;

l_{ox} — расстояние между положениями центра тяжести очень хорошего бегуна в момент начала свободного скатывания и в момент его подхода к стрелочному изолированному участку, м;

$v_n^{cp} = \frac{v_0 + v_n}{2}$ — средняя скорость движения плохого бегуна на расстоянии l_n , м/с;

$v_{ox}^{cp} = \frac{v_0 + v_{ox}}{2}$ — средняя скорость движения очень хорошего бегуна на расстоянии l_{ox} , м/с;

v_0 — скорость надвига состава на горку, м/с;

v_n — скорость плохого бегуна в положении II, м/с;

v_{ox} — скорость очень хорошего бегуна в положении II, м/с.

Из рис. 5 следует, что

$$l_n = d - 2T_n + l_{pp} + 0,5 l_0,$$

$$l_0 = l_b - 2T_n + 2T_{ox},$$

$$l_{ox} = d - 2T_{ox} - p - 0,5 l_0,$$

где l_{pp} — расстояние от начала перевода до изолирующего стыка. При расположении изолирующего стыка по рамному рельсу $l_{pp} = 6,17$ м, а по острякам — $l_{pp} = 9,42$ м;

l_0 — расстояние между крайними осями вагона, $l_0 = 11,2$ м;

l_b — длина четырехосного вагона, $l_b = 14,5$ м;

p — предстрелочная изолированная вставка, $p = 5,26$ м.

Подставляя эти выражения в формулу (4), получим

$$\frac{2(d - 2T_n + l_{pp} + 0,5l_0)}{v_0 + v_n} = \frac{l_b - 2T_n + 2T_{ox}}{v_0} + \frac{2(d - 2T_{ox} - p - 0,5l_0)}{v_0 + v_{ox}}. \quad (5)$$

Поскольку сразу за вершиной горки располагается вертикальная сопрягающая кривая ($R = 350$ м), вагоны, переходя за вершину, попадают на уклон. Точки, где начинается свободное скатывание вагонов, из-за разницы в сопротивлении движению, находятся от вершины горки на разных расстояниях. Практически можно принять, что вагон отрывается в точке, где уклон вертикальной кривой (угол касательной в точке отрыва) станет численно равным величине основного сопротивления вагона. Это возникает, когда расстояние от вершины горки до точки отрыва (рис. 6) равно:

для плохого бегуна

$$2T_n \approx R \operatorname{tg} \beta = R \cdot i_n \cdot 10^{-3} = R \cdot w_n \cdot 10^{-3} = 0,35 \text{ (} w_0^n \pm w_{cp} \text{)}, \text{ м};$$

для очень хорошего бегуна

$$2T_{ox} = R w_{ox} \cdot 10^{-3} = 0,35 \text{ (} w_0^{ox} \pm w_{cp} \text{)}, \text{ м.}$$

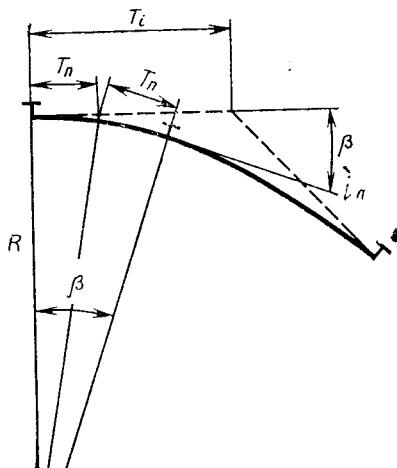


Рис. 6

Для обычных расчетных условий ($i_u \geq 8\%$) точка отрыва, устанавливаемая по центру тяжести вагона, будет справа от вершины горки.

Если на горбе горки имеется площадка (см. рис. 2,б), то расстояние p точки отрыва от вершины горки для одиночных вагонов определяется из выражения $p = -0,5l_b + + \sqrt{2Rl_bw} \cdot 10^{-3}$ и может быть отрицательным, т. е. точка отрыва может находиться слева от вершины горки.

Расчет величины d ведется для скорости роспуска $v_0 = 2,5 - 3,0$ м/с, установленных характеристик бегунов для данной горки и принятого уклона первого скоростного участка, определяющего скорости бегунов в положении II.

Если перед первой разделительной стрелкой расположен измерительный участок на прямом в плане и профиле элементе для определения ходовых свойств вагонов, то расстояние d определяется с учетом длины этого участка и возможного перелома профиля перед первой разделительной стрелкой, т. е.

$$d = 2T_i + l_{изм} + 2T_k, \quad (6)$$

где $2T_k$ — два тангенса горизонтальной кривой, со прягающей путь надвига и первую стрелку. При отсутствии такой кривой (см. рис. 3 (2, 4, 7)) вместо $2T_k$ необходимо прибавить p . В пределах этого расстояния может располагаться и вертикальная кривая, со прягающая 1 и 2-й скоростной участки;

$l_{изм}$ — длина измерительного участка, располагаемого на прямом в плане пути и однообразном элементе профиля.

При оборудовании горки по системе АРС ГТСС перед первой разделительной стрелкой размещается весомер и длина изолированного участка равна $l_{изм} = 11,5$ м.

В системе АРС ЦНИИ за горбом горки размещается измерительный участок, на котором определяется не только длина и весовая категория отцепов, но и их ходовые качества. Длина измерительного участка из расчета на два четырехосных полувагона равна $l_{изм} = 39$ м, а при применении магнитных педалей $l_{изм} = 26$ м.

При оборудовании горок одной из этих систем АРС величина d , устанавливаемая по формуле (6), будет заведомо превышать наименьшую величину d , определяемую формулой (5).

Проектирование спускной части горки. Высота горки зависит от рационального построения спускной части горки, по которой устанавливается расчетная длина горки, количество углов поворота и стрелок. Исходя из этого, конструкция горочной горловины должна обеспечивать:

наименьшую длину пробега вагонов от вершины горки до предельного столбика наиболее удаленной от нее разделительной стрелки, что дает наименьшую высоту горки и потребную мощность тормозных средств;

наименьшую разность длин пробегов вагонов от вершины горки до разделительных стрелок при следовании их на различные пути парка, чем облегчается регулирование интервалов между скатывающимися отцепами;

наименьшую длину совместного маршрута следования для большинства отцепов, что повышает пропускную способность разделительных стрелок и снижает опасность нагонов;

возможность размещения тормозных устройств в соответствии с потребностями торможения и конструктивными особенностями, а также устройств для автоматизации работы горки;

наибольшую безопасность маневровой работы.

Этим требованиям наилучшим образом отвечает пучкообразная конструкция горочной горловины с применением симметричных стрелочных переводов марки 1/6, глухих пересечений марки 2/6 и радиусов кривых 200 м, а на крайних путях — 180 м. Допускается в отдельных случаях применение кривых радиусом до 140 м с соответствующим усилением пути.

Оптимальное число путей в одном пучке от 6 до 8. Соединение в одном пучке более восьми путей значительно удлиняет стрелочную зону и увеличивает расстояние, на котором возможен взаимный нагон вагонов, что неизбежно приводит к снижению производительности горки. Кроме того, увеличивается нагрузка тормозных позиций, размещенных перед пучками, и, соответственно, ускоряется износ тормозных шин замедлителей, что вызывает более частую их замену. Соединение в одном пучке менее шести путей делает значительно дороже механизацию сортировочной горки ввиду того, что при этом возрастает число пучков и соответственно вагонных замедлителей на тормозных позициях перед пучками, а расчетная длина горки не сокращается.

Общее количество пучков в сортировочном парке следует принимать четным, если горка имеет два или четыре спуск-

ных пути; при одном или трех спускных путях число пучков может быть и нечетным.

Расстояние между осями путей в пучке принимается 5,3 м, а между пучками — 6,5 м. При реконструкции станций могут быть оставлены имеющиеся междупутья, но не менее 4,8 м.

Для получения наименьшей расчетной длины горки необходимо устройство кривых:

в пучке, после первой стрелки пучка для поворота оси половины пучка, (угол поворота в пучке — γ), чтобы можно было уложить средние пути пучка на заданном междупутье;

перед каждым пучком (до первой разделительной стрелки пучка) для поворота оси пучка (угол поворота оси пучка β), чтобы обеспечить необходимое расстояние (Σe) для укладки пучка;

перед стрелками, разделяющими пучки (угол поворота оси половины парка δ).

Принцип определения этих углов одинаков и основан на решении уравнения, полученного путем проектирования на попеченную ось всех элементов крайнего пути. Такое же уравнение может быть составлено для любого другого пути парка.

Так, для определения угла поворота в пучке γ (рис. 7) из восьми или шести путей имеем уравнение (для половины пучка на рис. 7,а).

$$b \sin \frac{\alpha}{2} + R \cos \frac{\alpha}{2} = R \cos \gamma + a \sin \gamma + l \sin \left(\gamma + \frac{\alpha}{2} \right) + \\ + b \sin (\gamma + \alpha) - R \cos (\gamma + \alpha) + R = 3,5e = 0,$$

где a , b , α — параметры стрелочного перевода. Для перевода марки 1/6 соответственно равны $a = 6,93$ м, $b = 10,59$ м, $\alpha = 9^{\circ}27'45''$;

R — радиус сопрягающих кривых, принимаемый как указано выше, м;

e — расстояние между осями путей, м;

l — расстояние между центрами смежных стрелочных переводов, которое определяется шириной междупутья (e) в створе стрелок №№ 3 и 4:

$$l = \frac{e'}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

При $e' = 5,3$ м $l = 32,13$ м; при $e' = 4,8$ м $l = 29,1$ м.
Допускается принимать это расстояние $l = 23,97$ м.

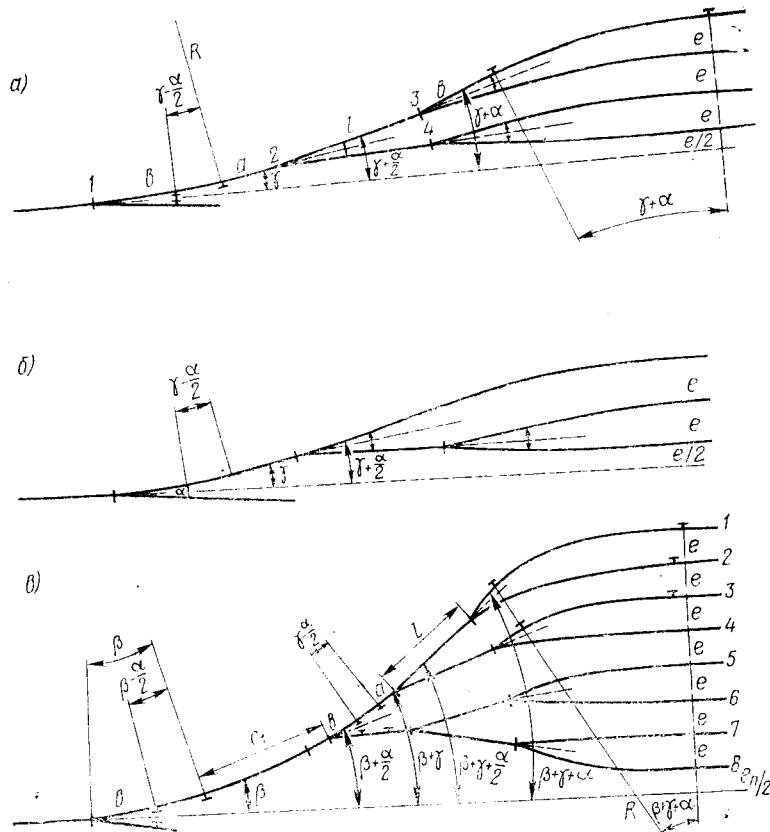


Рис. 7

При проектировании плана горки разрешается начинать кривые непосредственно за хвостом крестовины, а уширение колеи производить в пределах самой кривой, обеспечивая полное уширение на расстоянии 4 м от ее начала.

Проделав преобразования уравнения для угла поворота в пучке, получим

$$\cos \gamma \left(R - l \sin \frac{\alpha}{2} - b \sin \alpha + R \cos \alpha \right) = \sin \gamma \left(a + l \cos \frac{\alpha}{2} + b \cos \alpha \right)$$

$$+ b \cos \alpha + R \sin \alpha \Big) = b \sin \frac{\gamma}{2} + R \cos \frac{\gamma}{2} + R = 3,5 e.$$

Обозначив коэффициенты при $\cos \gamma$ через A , $\sin \gamma$ через B и свободный член через B , имеем

$$A \cos \gamma - B \sin \gamma = B,$$

или

$$\cos \gamma - \frac{B}{A} \sin \gamma = \frac{B}{A}.$$

Вводя в расчет вспомогательный угол φ , так что $\operatorname{tg} \varphi = \frac{B}{A} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}$, получим

$$\cos \gamma \cdot \cos \varphi - \sin \gamma \cdot \sin \varphi = \frac{B}{A} \cos \varphi,$$

$$\cos(\gamma + \varphi) = \frac{B}{A} \cos \varphi,$$

откуда

$$\gamma = \arccos \left(\frac{B}{A} \cos \varphi \right) - \varphi.$$

Найдя величину угла γ , можно определить координаты всех характерных точек пучка.

Для определения угла поворота оси пучка β имеем аналогичное уравнение

$$A \cos \beta - B \sin \beta = B,$$

решаемое как указано выше. Здесь

$$A = R - b \sin \frac{\alpha}{2} - R \cos \frac{\alpha}{2} + R \cos \gamma - a \sin \gamma -$$

$$- l \sin \left(\gamma + \frac{\alpha}{2} \right) - b \sin(\gamma + \alpha) + R \sin(\gamma + \alpha);$$

$$B = c_1 + b \cos \frac{\alpha}{2} - R \sin \frac{\alpha}{2} + R \sin \gamma + a \cos \gamma +$$

$$+ l \cos \left(\gamma + \frac{\alpha}{2} \right) + b \cos(\gamma + \alpha) + R \cos(\gamma + \alpha);$$

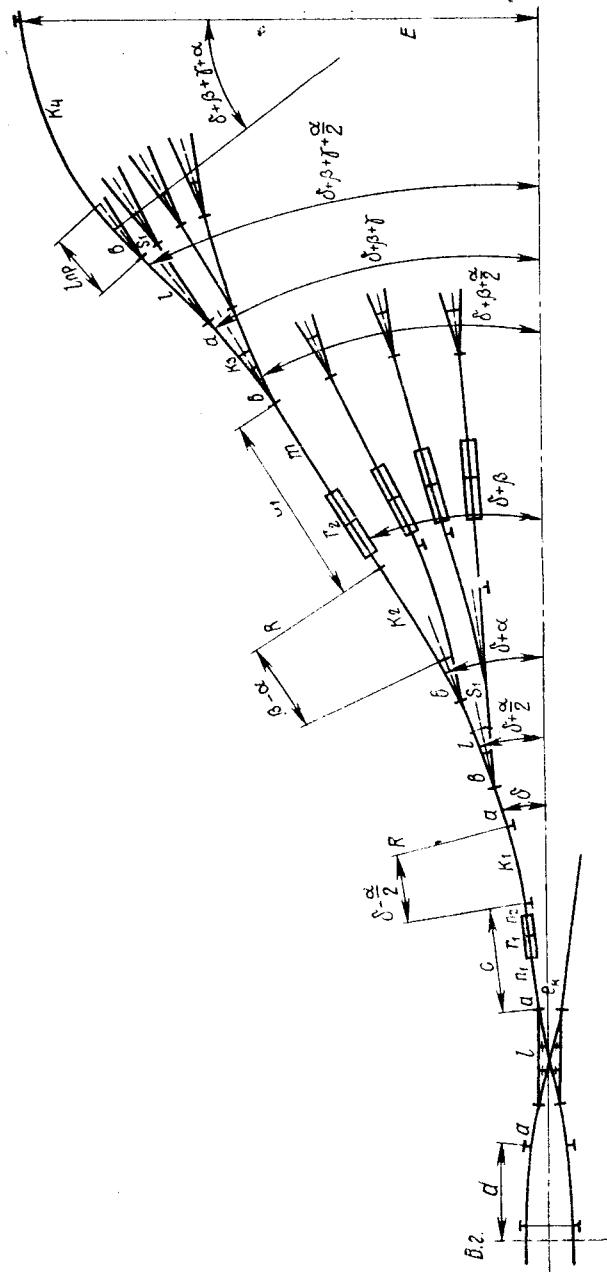


FIG. 8

$$B = b \sin \frac{\alpha}{2} + R \cos \frac{\alpha}{2} - 7e - \frac{e_k}{2} + R.$$

Зная углы γ и β определяют угол поворота оси половины парка δ (рис. 8). Проектируя все элементы крайнего пути на вертикальную ось, получаем уравнение, решаемое также как и выше

$$\begin{aligned} & \frac{e_k}{2} + c \sin \frac{\alpha}{2} + R \cos \frac{\alpha}{2} - R \cos \delta + a \sin \delta + l \sin \left(\delta + \frac{\gamma}{2} \right) + \\ & + b \sin (\delta + \alpha) + R \cos (\delta + \alpha) - R \cos (\delta + \beta) + c_1 \sin (\delta + \beta) + \\ & + b \sin \left(\delta + \beta + \frac{\gamma}{2} \right) + R \cos \left(\delta + \beta + \frac{\gamma}{2} \right) - R \cos (\delta + \beta + \gamma) + \\ & + a \sin (\delta + \beta + \gamma) + l \sin \left(\delta + \beta + \gamma + \frac{\gamma}{2} \right) + b \sin (\delta + \beta + \\ & + \gamma + \alpha) - R \cos (\delta + \beta + \gamma + \alpha) + R - E = 0. \end{aligned}$$

(Здесь E — расстояние между осью парка и осью крайнего пути).

Аналогичные уравнения составляются для каждого пучка путей сортировочного парка, только теперь зная угол δ , определяются углы наклона каждого пучка к оси парка, затем координаты всех точек, по которым составляется масштабная схема.

Запроектировав, таким образом, план головы сортировочного парка, находим расчетную длину горки, сумму углов поворота от вершины горки до расчетной точки и количество стрелок. Так, для рис. 8

$$L_r = d + 3a + 3l + c + c_1 + K_1 + K_2 + K_3 + 2b + l_{np} + 100;$$

$$\Sigma \alpha^\circ = 2(\delta + \beta + \gamma + \alpha) + 1,5\alpha; n = 7.$$

Если же кривая, сопрягающая крайний путь, заходит за расчетную точку остановки плохих бегунов, то из полученной $\Sigma \alpha^\circ$ нужно вычесть угол, соответствующий отрезку кривой K от расчетной точки до конца кривой, и тогда

$$\Sigma \alpha^\circ = 2(\delta + \beta + \gamma + \alpha) + 1,5\alpha - \frac{180 \cdot K}{\pi R}.$$

Размещение тормозных средств на горке. Для обеспечения нормальной работы горки, между последовательно скатываю-

щимися с горки отцепами, должен быть интервал, достаточный для перевода стрелок. Чтобы не допустить перевода стрелок под отцепом, стрелки включаются в стрелочные изолированные секции, передний изолирующий стык которых должен быть (см. рис. 4) от начала остряков на расстоянии p , определяемом исходя из максимальной скорости движения и времени перевода ($t_{\text{пер. стр}}$), $p = v_{\max} t_{\text{пер. стр}}$.

Для электропневматических приводов, применяемых на горках и имеющих время перевода 0,5—0,6 с, это расстояние равно 6 м (или от начала стрелочного перевода $p = m_0 = 6 - 0,74 = 5,26$ м, где m_0 — передний вылет рамного рельса).

Чтобы обеспечить минимальное время занятия вагоном стрелочной изолированной секции, она должна быть как можно короче, для чего задние изолирующие стыки делаются по концам рамных рельсов.

Интервал между вагонами создается за счет применения крутого уклона профиля сразу за горбом горки, что позволяет первому вагону иметь наибольшее ускоряющее усилие, равное $(i - w) g_1$, и уйти от следующего за ним вагона, пока тот движется со скоростью надвига до своей точки отрыва. Если первым скатывается плохой бегун, а за ним следует очень хороший бегун, то через некоторое время после отрыва очень хороший бегун начинает догонять плохой. Это вызывает необходимость торможения хороших бегунов.

Кроме того, регулирование скорости движения необходимо для лучшего заполнения сортировочных путей (сокращение осаживания вагонов), и для обеспечения подхода скатающихся вагонов к стоящим на путях со скоростью, не превышающей дopusкаемую по условиям соударения вагонов.

Для торможения вагонов на горках применяют вагонные замедлители различных типов, характеристика которых приведена в табл. 4, а также тормозные башмаки (ручные или механизированные).

Допускаемая скорость входа вагонов на замедлители 7,0 м/с.

Энергетическая высота, погашаемая одним тормозным башмаком, зависит от коэффициента тормозного действия башмака, равного 0,17 м (в реальных условиях меняется на $\pm 0,03$), и длины юза при допускаемой скорости входа на него 4,5 м/с.

Горки большой и средней мощности проектируются с тремя (I, II, III) тормозными позициями, две из которых разме-

Таблица 4

Тип замедлителей	Длина замедлителей по концам балок, мм	Время срабатывания замедлителя, с		Расчетная энергетическая высота, погашаемая замедлителем при торможении полногрузовых вагонов, м	
		при оттормаживании	при затормаживании	четырехосных	шестикосящих
Клещевидно-подъемные, тип КНП-5-73, верхнее положение	12475	1,0	0,6	1,25	0,90
Клещевидно-весовые, тип КВ-3-72	7600	0,7	0,6	1,00	1,0
Весовые гидравлические, тип ЦИИИ-ЗВ:					
однозвездный	3200	0,3	0,7	0,25	0,25
четырехзвездный	15650	0,3	1,6	0,90	0,90

щают на спускной части и третью на подгорочных путях, а горки малой мощности — с двумя позициями, одна из которых на спускной части.

I-я тормозная позиция (интервальная) располагается после скоростных элементов, либо перед первой разделительной стрелкой, либо за ней (за перекрестным съездом) и предназначена для поддержания необходимого интервала между отцепами.

II-я тормозная позиция (пучковая) располагается перед каждым пучком и служит как для обеспечения необходимого интервала при движении отцепов по стрелочной зоне, так и для лучшего заполнения путей сортировочного парка, т. е. на ней осуществляется интервально-прицельное торможение.

III-я тормозная позиция (парковая) располагается за последним предельным столбиком на расстоянии не менее базы вагона и предназначена для прицельного торможения в зависимости от расстояния до стоящих на пути вагонов.

Следовательно, на спускной части горки должны быть предусмотрены прямые участки для размещения I-ой и II-ой тормозных позиций. Однако, поскольку горловина парка проектируется до определения высоты горки, суммарной мощности тормозных средств и распределения ее по тормозным позициям, длину необходимых участков (C и C_1 на рис. 8) принимают ориентировочно, исходя из имеющегося опыта, с по-

следующей проверкой достаточности длин этих участков и необходимой корректировкой их после расчета мощности тормозных позиций. III-я тормозная позиция может размещаться на кривом участке пути с использованием замедлителей типа ІЧНИИ-ЗВ.

В любых случаях на I-ой тормозной позиции горок большой и средней мощности устанавливается не менее двух замедлителей во избежание нарушения режима роспуска составов во время ремонта одного из них.

Замедлители на тормозных позициях укладываются по утвержденным эпюрам с учетом конструктивных элементов, которые обеспечивают возможность размещения фундаментов и изолирующих стыков до и после замедлителей, предохраняют тормозные балки от косых ударов при входе вагона на замедлитель и перекоса при торможении рамы и кузова вагона.

Длины C и C_1 (рис. 9) учитывают возможность размещения вне замедлителей вертикальных кривых, сопрягающих элементы продольного профиля горки, расстояния от центра

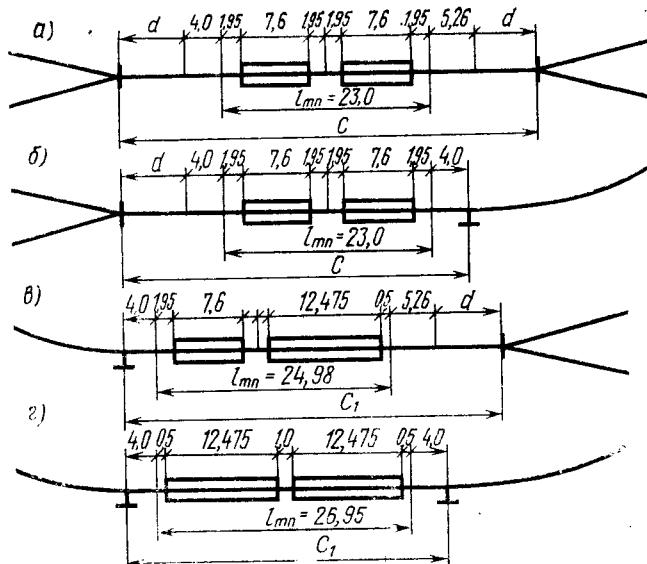


Рис. 9

перевода до замедлителя и наоборот, а также до начала и конца кривых в плане. При необходимости перелома профиля в пределах участков C или C_1 его делают на четырехметровой переходной вставке.

Приняв, с учетом рекомендаций по рис. 9, длины участков C и C_1 , можно рассчитать все элементы плана горочкой горловины.

§ 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ГОРКИ

Если дальность пробега отцепов зависит от высоты горки, то скорость движения их определяется продольным профилем горки. Это наглядно видно из рис. 10. На вершине горки вагон имеет запас энергии, определяемый высотой горки (H_r) и скоростью надвига ($h_0 = \frac{v_0^2}{2g_1}$). Скатываясь с горки, вагон расходует этот запас на преодоление различных сопротивлений на пути от вершины горки. Плохой бегун, дойдя до расчетной точки, полностью расходует этот запас, так что $H_r + h_0 = h_w''$.

Если от горизонтальной линии, проведенной на высоте $H_r + h_0$, откладывать вниз величины потерь энергии (h_w' , h_w'' , h_w''' , ...) от вершины горки до любых промежуточных точек ($1'$, $2'$, $3'$, ...) последовательно вплоть до расчетной, то мы получим так называемую кривую энергетических высот. При этом в любом сечении (например $a-a$) мы имеем равенство

$$H_r + h_0 = h_w' + h_{cb} + h_i,$$

где h_w — потери энергии на преодоление сопротивлений от вершины горки до данной точки (до данного сечения), м;

h_{cb} — свободная энергетическая высота или запас кинетической энергии, определяющий скорость вагона в этой точке (расстояние от кривой энергетических высот до профиля горки), м;

h_i — превышение данной точки над расчетной, или запас потенциальной энергии, м;

На рис. 11 показаны три различных профиля горки — I, II и III. Обозначив в каком-либо сечении расстояния от кривой энергетических высот до каждого профиля горки h_{cb}' , h_{cb}'' , h_{cb}''' , будем иметь неравенство

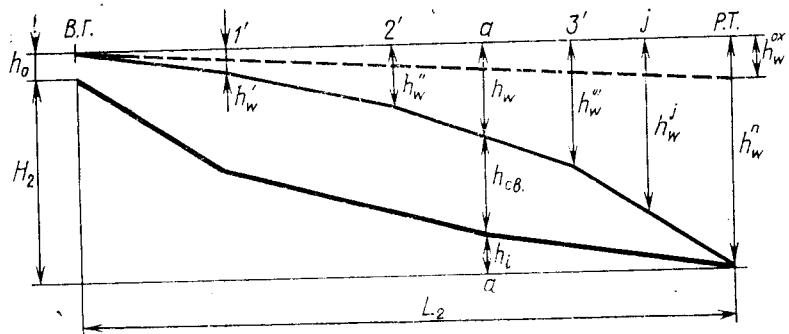


Рис. 10

$$h_{cb}'' > h_{cb}'' > h_{cb}' .$$

Но, так как $v = \sqrt{2g, h_{cb}}$, то и $v_3 > v_2 > v_1$.

Следовательно, чем круче проектируются первые от вершины горки элементы профиля, тем выше скорость и тем меньше время на проследование этих элементов. Из вариационного исчисления известно, что линией наибыстрейшего спуска является циклоида с остирем в вершине горки и аркой, проходящей через конечную точку, причем конечной точкой лучше считать последнюю стрелку, поскольку работу горки определяет время движения по спускной части горки.

Большая крутизна первого элемента профиля сортировочной горки обесценивает не только высокие скорости движения по горке, но и достаточные интервалы между отцепами, необходимые для нормального торможения на замедлителях и разделения их на стрелочных переводах при следовании на разные пути сортировочного парка. Кроме того, чем больше крутизна элемента, тем меньше относительная разность уско-

ряющих усилий $\frac{\omega_u - \omega_x}{i - \omega_x} \cdot 100$, а соответственно и разность

скоростей хорошего и плохого бегунов и, следовательно, тем меньше так называемый «тиф» ($\Delta t = t_u - t_x$) — разность времени проследования участка, плохим и хорошим бегуном.

Практически продольный профиль сортировочной горки (см. рис. 1) целесообразно проектировать из следующих участков:

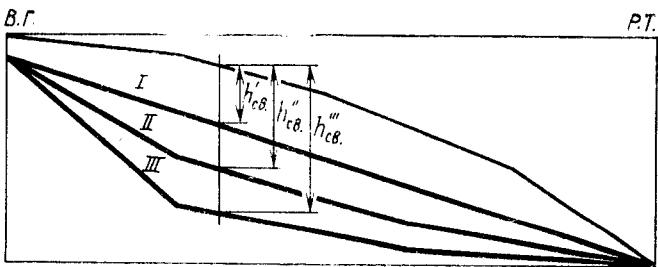


Рис. 11

- скоростной -- наиболее крутой элемент от вершины горки до первой тормозной позиции;

промежуточный -- от начала первой до конца второй тормозной позиции;

стрелочной зоны -- от конца второй тормозной позиции до предельного столбика последней разделительной стрелки,

сортировочного парка -- от предельного столбика до расчетной точки.

Скоростной участок должен обеспечивать:

получение наиболее высокой скорости движения вагона по горке, что достигается применением наиболее крутых уклонов вплоть до допускаемого по условиям саморасцепки; этим достигается также скорейшее разделение вагонов;

возможность перевода первой разделительной стрелки при следовании вагонов на разные половины парка, что зависит от и правильного расположения вершины горки;

скорость входа очень хорошего бегуна летом при попутном ветре на I-ую тормозную позицию не более допускаемой.

Выполнение этих требований приводит к тому, что скоростной участок профиля разбивается на два: первый скоростной участок, который для обеспечения первых двух требований делается наиболее крутым; и второй скоростной участок, уклон которого определяется исходя из третьего требования. Перелом профиля между этими участками может располагаться либо в пределах переводной кривой первой разделительной стрелки, либо перед ней на расстоянии T_b тангенса вертикальной кривой от ее начала, если вершина горки удалена от первой разделительной стрелки более чем на 35 м.

Тогда длина первого скоростного участка в первом случае

$$l'_{\text{ск}} = d - T_i + l_{\text{пп}} + l_{\text{ин}} \cdot 0,5,$$

а во втором случае

$$l'_{\text{ск}} = d - T_i - T_v, \quad (7)$$

где $l_{\text{ин}} = 8,8$ м — расстояние между концом рамного рельса и передним выступом крестовины;

T_v — тангенс вертикальной кривой, сопрягающей элементы профиля, при $R = 250$ м.

$$T_v = 0,125 (l'_{\text{ск}} - l''_{\text{ск}}) = 0,125 \Delta l_{\text{ск}}.$$

Уклон первого скоростного участка $i'_{\text{ск}}$ принимается как $i'_{\text{ск}} = 55 - i_u$ и должен быть в пределах $55\%_0 \geq i'_{\text{ск}} \geq 40\%_0$ для горок большой мощности, и $i'_{\text{ск}} \geq 35\%_0$ для горок средней мощности (на горках малой мощности $i'_{\text{ск}} \geq 25\%_0$).

Установив длину $l'_{\text{ск}}$ и крутизну $i'_{\text{ск}}$ первого скоростного участка, определяем крутизну второго скоростного участка из условия подхода при наибольшей скорости надвига очень хорошего бегуна в летних условиях при понутном ветре к первому замедлителю с максимально допускаемой скоростью входа $v_{\text{доп.}}$.

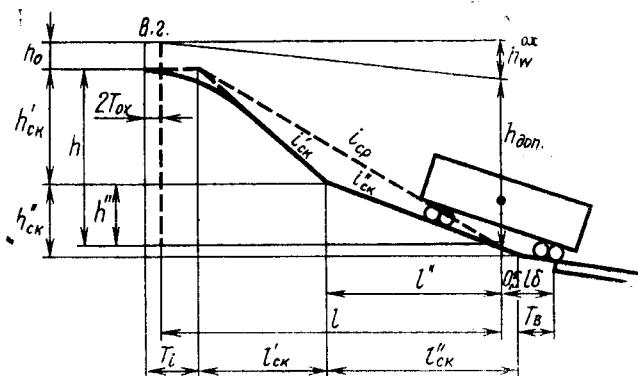


Рис. 12

Из рис. 12 следует, что

$$h_0 + h = h_{\text{доп}} + h_{\text{в}}^{\text{ox}},$$

$$h = h_{\text{доп}} - h_0 + h_{\text{в}}^{\text{ox}},$$

где

h — разность отметок между точкой отрыва вагона на вершине горки и проекцией на профиле горки центра тяжести вагона в момент входа его передней осью на тормозную позицию;

$h_{\text{доп}} = \frac{v_{\text{доп}}^2}{2g_1}$ — энергетическая высота, соответствующая допускаемой скорости входа на замедлитель;

$h_0 = \frac{v_0^2}{2g_1}$ — энергетическая высота, соответствующая максимальной скорости роспуска;

$h_{\text{в}}^{\text{ox}} = l(w_0^{\text{ox}} \pm w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3} + 0,009 \Sigma \alpha^\circ + 0,02 n$ — энергетическая высота, соответствующая потере энергии не преодоление сопротивлений на расстоянии l от точки отрыва до проекции на профиле горки центра тяжести вагона в момент входа первой осью на замедлитель.

Следовательно,

$$h = \frac{v_{\text{доп}}^2 - v_0^2}{2g_1} + l(w_0^{\text{ox}} \pm w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3} + 0,009 \Sigma \alpha^\circ + 0,02 n. \quad (8)$$

Здесь $v_0 = 2,5 \dots 3,0$ м/м, $w_0^{\text{ox}} = 0,5$ кгс/тс, $g_1 = 9,6$ м/с²;

$w_{\text{ср}}$ — сопротивление среды при попутном ветре (ввиду малости можно им пренебречь);

$\Sigma \alpha^\circ$ — сумма углов поворота на расстоянии l ;

n — число стрелок на этом же расстоянии, которое, как видно из рис. 12, равно

$$l = T_i + l'_{\text{ек}} + l''_{\text{ек}} + T_b - 2T_{\text{ox}} - 0,5l_6.$$

Найдя величину h , определяем крутизну второго скоростного участка

$$i''_{\text{ек}} = \frac{h'' \cdot 10^3}{l''} = \frac{h - i'_{\text{ек}} \cdot l'_{\text{ек}} \cdot 10^{-3}}{l''_{\text{ек}} + T_b - 0,5l_6} \cdot 10^3. \quad (9)$$

При этом высота второго скоростного участка будет соответствовать

$$h_{\text{ск}}'' = i_{\text{ск}}'' l_{\text{ск}}'' \cdot 10^{-3}.$$

(Разделив h на l , мы можем получить $i_{\text{ск}}^{\text{ср}}$ — средний уклон скоростных элементов.)

Дальнейшее проектирование профиля ведется по элементам со стороны сортировочного парка.

Продольный профиль сортировочных путей проектируется из нескольких элементов. Первый элемент (на длине половины состава) делается уклоном в сторону скатывания вагонов, крутизной, как правило, при длине состава 800 м — 1%, 1000 м — 0,9% и 1200 м — 0,8%. Следующий за ним элемент сортировочного пути располагают также на попутном уклоне крутизной не более 0,5%. Последняя часть сортировочного парка на протяжении 150—200 м полезной длины путей располагается на обратном уклоне 0,5%, а хвостовая горловина — до 2%.

На автоматизированных горках, где обеспечивается прогнозирование ходовых свойств вагонов при движении по сортировочным путям, в целях увеличения дальности пробега отцепов и сокращения времени на осаживание вагонов допускается устройство вначале сортировочных путей комбинированного профиля. Первый участок делают уклоном 1,5% на длину 200 м или 2% на длину 125 м, а далее путь располагают на уклоне не более 0,5% до противоуклона.

Исходя из этих рекомендаций и принимается уклон $i_{\text{сп}}$ на длине $l_{\text{сп}}$ от предельного столбика до расчетной точки, при этом соответствующая энергетическая высота равна $h_{\text{сп}} = i_{\text{сп}} l_{\text{сп}} \cdot 10^{-3}$.

Стрелочная зона длиной $l_{\text{сз}}$ определяемой по запроектированному плану горочной горловины от конца второй тормозной позиции (с учетом тангенса вертикальной кривой) до последнего предельного столбика, делается согласно ИПСУ уклоном 1,5%, а на крайних пучках — до 2%, при этом $h_{\text{сз}} = i_{\text{сз}} l_{\text{сз}} \cdot 10^{-3}$.

Однако, чтобы иметь более высокие скорости движения отцепов по стрелочной зоне и уменьшить возможность взаимного нагона, целесообразно располагать стрелочную зону на площадке. При этом свободная энергетическая высота плохого $h_{\text{н}}$ и очень хорошего бегуна $h_{\text{х}}$ (рис. 13) для II профиля, в связи с понижением отметок точек стрелочной зоны, увеличится на одинаковую величину Δh , причем разность в энергети-

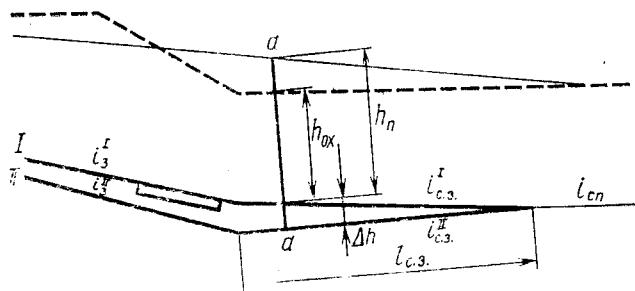


Рис. 13

ческих высотах очень хорошего и плохого бегунов не изменится, т. е.

$$(h_n + \Delta h) - (h_{ox} + \Delta h) = h_n - h_{ox}.$$

Но так как $v = \sqrt{2g_1 h}$, разность скоростей станет меньше

$$v_u^{\text{II}} - v_{ox}^{\text{II}} < v_u^{\text{I}} - v_{ox}^{\text{I}},$$

что и сокращает «диф» (т. е. разность времени хода по элементу). Кроме того, расположение стрелочной зоны на площадке тем самым увеличивает крутизну зоны замедлителей.

Установив крутизну всех указанных элементов продольного профиля, можем найти остающуюся энергетическую высоту, представляющую собой разность отметок между началом первой тормозной позиции и концом второй (или, что тоже самое, между концом второго скоростного участка и началом стрелочной зоны)

$$h_3 = H_r - (h_{ck}^{\prime} + h_{ck}^{\prime\prime} + h_{cz} + h_{cu}). \quad (10)$$

Разделив эту величину на длину L_3 , определяемую из плаана головы парка, или вычитанием из расчетной длины L_r уже известных длин элементов, получим крутизну $i_3 = \frac{h_3 \cdot 10^3}{L_3}$.

Полученная расчетом крутизна промежуточного уклона должна обеспечить движение плохих бегунов в неблагоприятных условиях погоды без снижения скорости, иначе говоря, крутизна промежуточного уклона должна быть незамедляющая, что выражается неравенством

$$i_3 > w_u + w_{cp} \geq 7\%.$$

Если полученная величина близка к требуемой, промежуточная зона располагается на однообразном уклоне расчетной крутизны.

В случае, если по расчетам получается $i_3 < w_n + w_{cp}$, принимаем $i_3 = w_n + w_{cp}$ (но не менее 7%), находим $h_3 = i_3 \cdot l_3 \cdot 10^{-3}$ и либо, как указано выше, располагаем стрелочную зону на площадке (если ранее $i_{cz} > 0$), либо уменьшаем крутизну второго скоростного уклона, для чего

$$\text{находим } h''_{ek} = H_r - (h'_{ek} + h_3 + h_{cz} + h_{cn}) \quad \text{и} \quad i''_{ek} = \frac{h''_{ek} \cdot 10^3}{l_{ek}}.$$

Если же полученный уклон i_3 значительно (на 2—3% и более) превышает требуемую величину, то целесообразно разбить промежуточную зону на два (а иногда и на три) элемента (см. рис. 1), придав профилю большую вогнутость, что обеспечит повышение скорости движения вагонов по этому участку и, соответственно, снижение «дифов», аналогично тому, как это показано на рис. 13 для стрелочной зоны.

В этих случаях вторую тормозную позицию размещают на уклоне $i''_{tp} = w_n + w_{cp} \geqslant 7\%$, а уклон первой тормозной позиции определится из формулы

$$i'_{tp} = \frac{h_3 - i''_{tp} \cdot l''_{tp} \cdot 10^{-3}}{l'_{tp}} \cdot 10^3,$$

где l'_{tp} и l''_{tp} — соответственно длины участков I и II тормозной позиции, на которые разбивается i_3 .

На автоматизированных горках уклон II-й тормозной позиции допускается проектировать крутизной около 5% для уменьшения погрешности в скорости выхода отцепов.

Продольный профиль горки проектируется отдельно для каждого пучка сортировочного парка с учетом конструктивных их особенностей, причем обеспечение разных уровней пучков достигается за счет либо применения разных уклонов от 0 до 2% в пределах стрелочной зоны, либо за счет разных уклонов элементов профиля между первой и второй тормозными позициями каждого пучка.

§ 5. РАСЧЕТ ТОРМОЗНЫХ СРЕДСТВ НА ГОРКЕ

Суммарная мощность тормозных средств на горках большой и средней мощности должна обеспечивать при благоприятных условиях роспуска остановку четырехосного ваго-

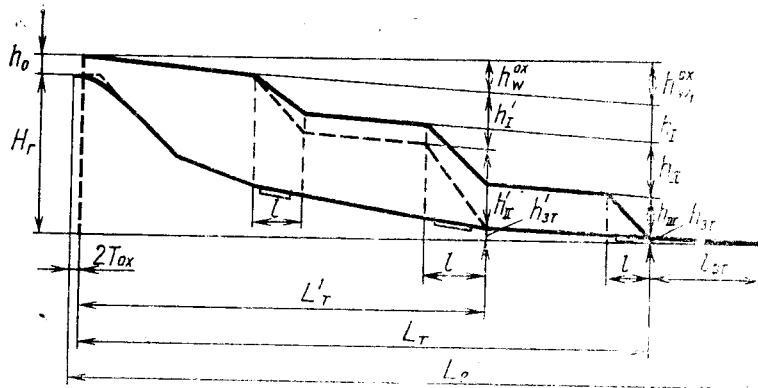


Рис. 14

на весом 80 тс брутто с сопротивлением 0,5 кгс/тс на последней тормозной позиции, расположенной на спускной части, с учетом торможения отцепа на первой позиции до установленной расчетом скорости, с проверкой этого расчета на остановку шестисекционного вагона весом 127 тс брутто при тех же условиях, но с остановкой его на парковой позиции.

На горках малой мощности механизированные тормозные средства должны обеспечивать при благоприятных условиях скатывания остановку очень хороших бегунов на парковой тормозной позиции.

На рис. 14 это условие показано графически, причем линия энергетических высот для ОХ-бегуна весом 80 тс показана пунктиром, а для ОХ-бегуна весом 127 тс сплошной. Тогда потребная суммарная мощность тормозных средств (H_r) для остановки ОХ-бегуна весом 80 тс равна

$$H'_r = h'_1 + h'_{ii} = H_r + h_0 - h'_{3r} - h_{w1}^{ox}, \text{ м};$$

ОХ-бегуна весом 127 тс равна

$$H_r = h_1 + h_{ii} + h_{iii} = H_r + h_0 - h_{3r} - h_w^{ox}, \text{ м}, \quad (11)$$

где h'_{3r} и h_{3r} — превышение отметки пути, где находится центр тяжести вагона в момент выхода его соответственно со второй и третьей тормозной позицией над расчетной точкой, м;

$$h_{w1}^{ox} = L'_r (w_{ox} \pm w_{cp}) \cdot 10^{-3} + 0,0065 \Sigma a_{tr1} + 0,02 n_{tr1},$$

$$h_w^{ox} = L_t (w_{ox} - w_{cp}) \cdot 10^{-3} + 0,0065 \Sigma \alpha_t + 0,02 n_t,$$

L' и L_t — расстояния от начала свободного скатывания до выхода, соответственно, со второй и третьей тормозных позиций, м;

$\Sigma \alpha_t$ и $\Sigma \alpha$ — сумма углов поворота на расстояниях L' и L_t ;

n_t и n — число стрелок на расстояниях L' и L_t ;

w_{cp} — сопротивление воздушной среды при попутном ветре, принимаемое со знаком минус, если средняя скорость отцепа меньше скорости попутного ветра, кгс/тс.

Поскольку высота горки H_t определяется из условия скатывания плохого бегуна на самый трудный по сопротивлению путь, для наиболее легкого пути величина h_w^{ox} будет меньше, и следовательно, H_t — больше. Поэтому в реальных проектах необходимо суммарную мощность тормозных средств проверять по условиям скатывания ОХ-бегуна на самый легкий по сопротивлению путь.

После определения суммарной мощности тормозных средств необходимо распределить ее по тормозным позициям. Как видно из рис. 15 величина h_t погашения энергетической высоты на любой тормозной позиции.

$$h_t = h_u - h_k + h_l - h_w,$$

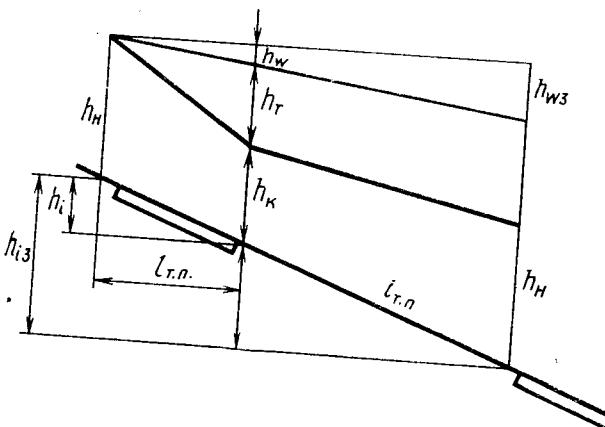


Рис. 15

$$h_{\text{I}} = \frac{v_{\text{u}}^2 - v_{\text{k}}^2}{2g_1} + i_{\text{tn}} \cdot l_{\text{tn}} \cdot 10^{-3} - l_{\text{tn}} (w_{\text{ox}} \pm w_{\text{cp}}) \cdot 10^{-3} - 0,009 \Sigma \alpha^\circ, \text{ м}, \quad (12)$$

где v_{u} и v_{k} — скорости входа вагона на тормозную позицию и выхода с нее, которым соответствуют и h_{u} и h_{k} , м/с;
 i_{tn} — уклон тормозной позиции, %;
 l_{tn} — длина тормозной позиции, м;
 $0,009 \Sigma \alpha^\circ$ — потери от сопротивления в кривых, что может иметь место только для парковой тормозной позиции.

Следовательно, для того, чтобы определить мощность тормозной позиции, нужно знать скорость выхода с нее вагона v_{k} .

Минимальная мощность первой тормозной позиции h_{I}^{\min} должна обеспечить снижение скорости вагона до такой величины v_{k} , чтобы скорость входа его на вторую тормозную позицию не превысила максимально допустимой. Так как скоростные уклоны обеспечивают скорость входа на I-ую тормозную позицию, также равную допустимой, то

$$h_{\text{I}}^{\min} \geq h_{\text{Iz}} - h_{\text{wz}}, \quad (13)$$

где h_{Iz} — превышение верха I-ой тормозной позиции над верхом II-ой, м;
 h_{wz} — потери от сопротивления при движении от начала I-ой до начала II-ой тормозной позиций, м.

Максимальная мощность II-ой тормозной позиции должна обеспечить остановку ОХ весом 80 тс (т. е. $v_{\text{k}} = 0$) при подходе его со скоростью $v_{\text{u}} = v_{\text{don}}$, т. е. $h_{\text{II}}^{\max} \geq h_{\text{don}} + h_i^{\text{II}} - h_w^{\text{II}}$, или

$$h_{\text{II}}^{\max} \geq \frac{v_{\text{don}}^2}{2g_1} + l_{\text{tn}}^{\text{II}} (i_{\text{tn}}^{\text{II}} - w_{\text{ox}} \pm w_{\text{cp}}) \cdot 10^{-3}. \quad (14)$$

Чтобы остановить ОХ-бегуна весом 127 тс на III-ей тормозной позиции, суммарная мощность II-ой и III-ей тормозных позиций должна быть

$$\max(h_{\text{II}} + h_{\text{III}}) \geq h_{\text{don}} + h_i^{\text{II-III}} - h_w^{\text{II-III}},$$

где $h_i^{\text{II-III}}$ — превышения верха II-ой тормозной позиции над низом III-ей, м;

h_w^{II-III} — потери от сопротивления на участке от начала II-ой до конца III-ей тормозной позиции, м.

Тогда мощность третьей тормозной позиции определится, как

$$h_{III} = \max(h_{II} + h_{III}) - h_{II}^{\max}. \quad (15)$$

Однако такое распределение мощности по тормозным позициям для горок большой и средней мощности в большинстве случаев надо считать первым приближением, потому что I-ая тормозная позиция получается маломощной, а основная мощность падает на вторую тормозную позицию. Это приводит с одной стороны к увеличению затрат, так как пучковых позиций больше, а с другой стороны увеличивается опасность шагона плохих бегунов, так как очень хорошие бегуны проходят от вершины горки до II-ой тормозной позиции со скоростью значительно превышающей скорость плохих бегунов.

Поэтому целесообразно перераспределить мощности между первой и второй тормозной позицией, для чего применяются различные способы.

В первом способе (см. рис. 16) скорость выхода v_k всех бегунов с I-ой тормозной позиции принимается одинаковой и равной скорости v_{kp} плохого бегуна. Также принимается одинаковой и скорость подхода всех бегунов $v_{II}=v_{III}$ к III-ей тормозной позиции. Это обеспечивает движение отцепов по стрелочной зоне с минимальными дифами, а также наименьшую мощность парковой тормозной позиции. При этом способе мощность I-ой тормозной позиции определяется

$$h_I = \frac{v_{I\text{оп}}^2 - v_{kp}^2}{2g_1} + I_{II}^1 \cdot (I_{III}^1 - w_{ox}) \cdot 10^{-3}. \quad (16)$$

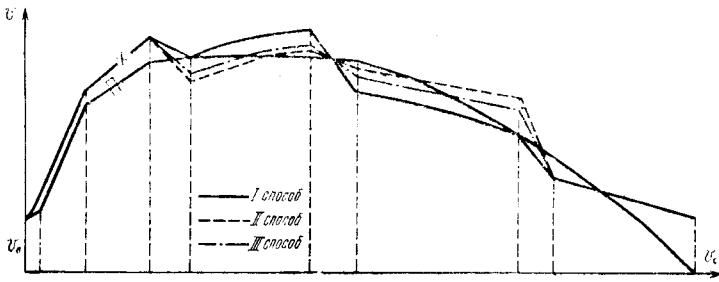


Рис. 16

Для определения величины погашения на II-ой тормозной позиции сперва находим энергетическую высоту h_k вагона на выходе с нее

$$h_k = \frac{v_{\text{ни}}^2}{2g_1} + h_w^{\text{с3}} - h_{\text{с3}}, \quad (17)$$

где $v_{\text{ни}}$ — скорость входа II-бегуна на III-ю тормозную позицию.

Аналогично определяется и величина погашения на III-ей тормозной позиции, но из условия подхода к расчетной точке с допускаемой скоростью соударения.

Во втором способе (см. рис. 16) скорости подхода разных вагонов к I-ой тормозной позиции и скорости выхода с нее об-

ратно пропорциональны, т. е. $\frac{v_n^{\text{ox}}}{v_n^{\text{н}}} = \frac{v_k^{\text{n}}}{v_k^{\text{ox}}}$, откуда

$$v_n^{\text{ox}} = \frac{v_k^{\text{n}}}{v_k^{\text{ox}}} \cdot v_n^{\text{н}}, \quad (18)$$

где v_n^{ox} и $v_n^{\text{н}}$ — скорости подхода, соответственно, ОХ-бегуна и II-бегуна к I-ой тормозной позиции;

v_k^{ox} и v_k^{n} — скорости выхода с нее.

Подставив величину v_k^{ox} , находим h_i и уменьшаем мощность II-ой тормозной позиции.

В III-ем способе предполагается средняя скорость движения между тормозными позициями всех вагонов одинаковой, что обеспечивает более высокие скорости движения по горке в целом и по стрелочной зоне в частности. Зная среднюю скорость движения плохого бегуна $v_{\text{ср}}^{\text{n}}$ на участке между I-ой и II-ой тормозными позициями, находим скорость выхода очень хорошего бегуна с I тормозной позиции по формуле

$$v_k^{\text{ox}} = v_{\text{ср}}^{\text{n}} + \frac{g_1(h_w - h_i)}{2v_{\text{ср}}^{\text{n}}} \quad (\text{м/с}), \quad (19)$$

где h_w — работа сил сопротивления на участке между тормозными позициями, м;

h_i — разность отметок начала и конца этого участка, м.

Аналогично производится расчет на участке между II-й и III-ей тормозными позициями. При II-ом и III-ем способе по-

лучается более мощная III-я тормозная позиция, но и большая перерабатывающая способность горки.

Рассчитав таким образом потребную мощность каждой тормозной позиции и установив по ней тип замедлителей, проверяют достаточность предварительно запроектированных в плане горочной горловины участков C и C_1 .

§ 6. ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ СКОРОСТЕЙ И ВРЕМЕНИ

Для проверки качества запроектированного плана горки, ее продольного профиля и правильности размещения и установления мощности тормозных средств производится построение кривых скорости и времени движения вагонов, скатывающихся в последовательности плохой — хороший — плохой (П — Х — П), а также очень хорошего бегуна (ОХ). Проверка производится для неблагоприятных и благоприятных условий скатывания при среднезимних и летних температурах.

Расчет и построение кривых скорости и времени движения вагонов по горке может производиться одним из следующих способов: аналитическим, табличным, графоаналитическим, графическим и приближенным. Во всех способах вершины до расчетной точки разбиваются на элементы длиной не более 20 м. Элементы должны располагаться на однобразном уклоне, каждая стрелка и замедлитель входит в один отдельный элемент. Если на элементы делится кривой участок пути, то число градусов поворота принимается по длине кривой в пределах элемента. В пределах элемента все виды сопротивлений принимаются равномерно распределенными.

Аналитический способ. Для горки, где движущей силой является составляющая сила тяжести за вычетом силы сопротивления движению, $f = mg_1(i - w) \cdot 10^{-3}$, уравнение движения имеет вид

$$mg_1(i - w) \cdot 10^{-3} = m \frac{dv}{dt},$$

откуда

$$dt = \frac{10^3 dv}{g_1(i - w)}.$$

Имея в виду, что $v = \frac{dl}{dt}$, а $dl = v dt$, получаем

$$dl = \frac{10^3 v dv}{g_1(i-w)} . \quad (21)$$

Проинтегрировав это уравнение, имеем

$$\int_{l_1}^{l_2} dl = \frac{10^3}{g_1(i-w)} \int_{v_1}^{v_2} v dv ,$$

$$l = l_2 - l_1 = \frac{10^3 (v_k^2 - v_n^2)}{2g_1(i-w)} .$$

Решая полученное уравнение при известной начальной скорости, находят последовательно скорость в конце каждого элемента, которая одновременно является начальной на следующем элементе (начальной скоростью на первом элементе является v_0 — скорость роспуска состава):

$$v_k = \sqrt{v_n^2 + 2g_1 l (i-w) \cdot 10^{-3}} .$$

Здесь w — суммарное сопротивление на элементе. При более точных расчетах, после определения v_k , находят среднюю скорость на элементе $0.5(v_n + v_k)$, по ней корректируют сопротивление от среды, после чего определяют уточненную (v_k) скорость в конце элемента.

Торможение вагонов на элементах, включающих тормозные позиции, учитывается как дополнительное сопротивление, т. е. на этих элементах величина w увеличивается на $w_t = \frac{h_{\text{ног}}}{l_t}$.

Зная скорости в начале и конце элемента, находят время t_3 движения вагона по элементу длиной l_3 :

$$t_3 = \frac{2l_3}{v_n + v_k} ,$$

а также время движения от вершины горки и строят кривые скорости и времени для разных бегунов.

Табличный способ. Этот способ является также аналитическим, но здесь сперва определяется свободная энергетическая высота в конце каждого элемента h_k

$$h_k = h_n + h_t - h_w - h_{\text{ног}} ,$$

где h_n — свободная энергетическая высота в начале элемента, м;

h_t — разность отметок начала и конца элемента, м;

h_w — потери энергетической высоты на преодоление сил сопротивления на элементе, м;

$h_{\text{нор}}$ — энергетическая высота, погашаемая замедлителями (имеет место только на тормозных позициях), м.

По величинам h_w в конце каждого элемента определяется скорость и время движения по элементу.

Все расчеты сводятся в табл. 5, графы которой заполняются следующим образом:

1 — номера точек по концам элементов, на которые разбита горка;

2 — длины элементов, взятые из плана. Два первых элемента берутся длиной T_i каждый. Сумма по графе 2 равна длине горки;

3 — уклон элементов i_s , взятый по профилю горки. Крутизна первого элемента равна $0,25 i_{\text{ск}}$, второго — $0,75 i_{\text{ск}}$;

4 — фиктивная энергетическая высота, равная $\Sigma i_s \cdot l_s \cdot 10^{-3}$. Заполняется нарастающим порядком, на последнем элементе должна быть высота горки H_r ;

5 — заполняется для элементов, где имеются стрелочные переводы;

6 — заполняется для элементов, имеющих кривые (в том числе переводные) умножения 0,009 на угол поворота кривой в пределах элемента;

7, 8, 9 — основное сопротивление, определяемое по табл. 6, причем для плохого и хорошего бегунов будет по три значения ϕ_0 в зависимости от расстояния от вершины горки, а для очень хорошего бегуна $\omega_0 = 0,5 \text{ кгс/тс}$;

10 — произведение величин граф 7 и 2, умноженное на 10^{-3} ;

11 — произведение величин граф 8 и 2 и на 10^{-3} ;

12 — произведение величин граф 9 и 2 и на 10^{-3} ;

13, 14, 15 — рассчитываются по указанной в таблице формуле, причем для плохого и хорошего бегунов ветер принимается встречный, а для очень хорошего — попутный. Для точных расчетов после определения скорости в конце элемента находится средняя скорость, пересчитывается $h_{\text{ср}}$ и уточняется скорость на выходе;

16 и 17 — заполняются для элементов, на которых находятся замедлители, а величина погашения рассчитывается одним из способов, указанных в § 5;

18 — сумма величин граф 5, 6, 10 и 13;

19 — сумма величин граф 5, 6, 11, 14 и 16;

20 — сумма величин граф 5, 6, 12, 15 и 17;

Таблица 6

		Расчетное основное удельное сопротивление кг/тс, при температуре °C															
		о (пас), °C															
% вагонов с буксами на роликовых подшипниках	Расчетные бегучны	Вес вагона, тс	Выше 0												— 35		
			0	— 5	— 10	— 15	— 20	— 25	— 30	— 35	— 40	— 45	— 50	— 55	— 60		
0	П	25	4,7	4,3	5,4	5,0	4,6	5,9	5,5	4,9	6,4	6,0	5,5	7,1	6,8	6,3	
		30	4,9	4,6	5,3	5,0	4,9	5,8	5,4	4,8	6,2	5,8	5,3	6,9	6,7	6,2	
		35	4,4	4,1	3,6	4,7	4,3	3,8	5,2	4,7	4,1	5,5	5,1	4,7	6,2	5,4	
		40	5,0	4,2	4,1	4,7	4,1	3,9	1,3	1,2	1,0	1,5	1,4	1,1	1,8	1,7	
	X	25	4,7	4,2	3,8	4,9	4,4	4,0	5,2	4,7	4,2	5,5	5,0	4,6	5,9	5,1	
		30	4,6	4,1	3,7	4,8	4,3	3,9	5,0	4,6	4,1	5,3	4,9	4,5	5,7	5,4	
		35	4,0	3,7	3,3	4,2	3,8	3,4	4,4	4,1	3,6	4,7	4,3	3,9	5,0	4,8	
		40	5,0	4,0	3,9	4,7	4,2	3,9	0,9	0,7	1,0	0,8	1,2	1,1	1,4	4,4	
	ОХ	25	4,7	4,2	3,8	4,9	4,4	4,0	5,2	4,7	4,2	5,5	5,0	4,6	5,9	5,1	
		30	4,6	4,1	3,7	4,8	4,3	3,9	5,0	4,6	4,1	5,3	4,9	4,5	5,7	5,4	
		35	4,0	3,7	3,3	4,2	3,8	3,4	4,4	4,1	3,6	4,7	4,3	3,9	5,0	4,8	
		40	5,0	4,0	3,9	4,7	4,2	3,9	0,9	0,7	1,0	0,8	1,2	1,1	1,4	4,4	
50	П	25	4,7	4,2	3,8	4,9	4,4	4,0	5,2	4,7	4,2	5,5	5,0	4,6	5,9	5,1	
		30	4,6	4,1	3,7	4,8	4,3	3,9	5,0	4,6	4,1	5,3	4,9	4,5	5,7	5,4	
		35	4,0	3,7	3,3	4,2	3,8	3,4	4,4	4,1	3,6	4,7	4,3	3,9	5,0	4,8	
		40	5,0	4,0	3,9	4,7	4,2	3,9	0,9	0,7	1,0	0,8	1,2	1,1	1,4	4,4	
	X	25	4,7	4,2	3,8	4,9	4,4	4,0	5,2	4,7	4,2	5,5	5,0	4,6	5,9	5,1	
		30	4,6	4,1	3,7	4,8	4,3	3,9	5,0	4,6	4,1	5,3	4,9	4,5	5,7	5,4	
		35	4,0	3,7	3,3	4,2	3,8	3,4	4,4	4,1	3,6	4,7	4,3	3,9	5,0	4,8	
		40	5,0	4,0	3,9	4,7	4,2	3,9	0,9	0,7	1,0	0,8	1,2	1,1	1,4	4,4	
	ОХ	25	4,7	4,2	3,8	4,9	4,4	4,0	5,2	4,7	4,2	5,5	5,0	4,6	5,9	5,1	
		30	4,6	4,1	3,7	4,8	4,3	3,9	5,0	4,6	4,1	5,3	4,9	4,5	5,7	5,4	
		35	4,0	3,7	3,3	4,2	3,8	3,4	4,4	4,1	3,6	4,7	4,3	3,9	5,0	4,8	
		40	5,0	4,0	3,9	4,7	4,2	3,9	0,9	0,7	1,0	0,8	1,2	1,1	1,4	4,4	
75	П	25	4,5	4,0	3,6	4,6	4,1	3,7	4,8	4,3	3,8	5,0	4,5	4,1	5,2	4,8	4,4
		30	4,4	3,9	3,5	4,5	4,0	3,6	4,7	4,2	3,7	4,9	4,5	4,1	5,1	4,7	4,3
		35	3,8	3,5	3,1	3,9	3,5	3,1	4,0	3,7	3,3	4,2	3,8	3,4	4,1	4,2	3,8
		40	5,0	4,0	3,8	4,6	4,1	3,8	0,8	0,6	1,1	0,9	0,5	1,0	1,3	1,0	1,4
	X	25	4,5	4,0	3,6	4,6	4,1	3,7	4,8	4,3	3,8	5,0	4,5	4,1	5,2	4,8	4,4
		30	4,4	3,9	3,5	4,5	4,0	3,6	4,7	4,2	3,7	4,9	4,5	4,1	5,1	4,7	4,3
		35	3,8	3,5	3,1	3,9	3,5	3,1	4,0	3,7	3,3	4,2	3,8	3,4	4,1	4,2	3,8
		40	5,0	4,0	3,8	4,6	4,1	3,8	0,8	0,6	1,1	0,9	0,5	1,0	1,3	1,0	1,4
	ОХ	25	4,5	4,0	3,6	4,6	4,1	3,7	4,8	4,3	3,8	5,0	4,5	4,1	5,2	4,8	4,4
		30	4,4	3,9	3,5	4,5	4,0	3,6	4,7	4,2	3,7	4,9	4,5	4,1	5,1	4,7	4,3
		35	3,8	3,5	3,1	3,9	3,5	3,1	4,0	3,7	3,3	4,2	3,8	3,4	4,1	4,2	3,8
		40	5,0	4,0	3,8	4,6	4,1	3,8	0,8	0,6	1,1	0,9	0,5	1,0	1,3	1,0	1,4
100	П	25	4,3	3,8	3,3	4,3	3,8	3,3	4,4	3,9	3,5	4,5	4,0	3,6	4,6	4,1	3,7
		30	4,2	3,7	3,2	4,2	3,7	3,2	4,3	3,8	3,4	4,4	3,9	3,5	4,4	4,0	3,6
		35	3,6	3,3	2,8	3,6	3,3	2,8	3,6	3,1	3,0	3,7	3,5	3,1	3,8	3,6	3,2
		40	5,0	4,0	3,7	4,5	4,0	3,7	0,7	0,5	1,0	0,8	0,6	1,1	0,9	0,7	1,0
	X	25	4,3	3,8	3,3	4,3	3,8	3,3	4,4	3,9	3,5	4,5	4,0	3,6	4,6	4,1	3,7
		30	4,2	3,7	3,2	4,2	3,7	3,2	4,3	3,8	3,4	4,4	3,9	3,5	4,4	4,0	3,6
		35	3,6	3,3	2,8	3,6	3,3	2,8	3,6	3,1	3,0	3,7	3,5	3,1	3,8	3,6	3,2
		40	5,0	4,0	3,7	4,5	4,0	3,7	0,7	0,5	1,0	0,8	0,6	1,1	0,9	0,7	1,0
	ОХ	25	4,3	3,8	3,3	4,3	3,8	3,3	4,4	3,9	3,5	4,5	4,0	3,6	4,6	4,1	3,7
		30	4,2	3,7	3,2	4,2	3,7	3,2	4,3	3,8	3,4	4,4	3,9	3,5	4,4	4,0	3,6
		35	3,6	3,3	2,8	3,6	3,3	2,8	3,6	3,1	3,0	3,7	3,5	3,1	3,8	3,6	3,2
		40	5,0	4,0	3,7	4,5	4,0	3,7	0,7	0,5	1,0	0,8	0,6	1,1	0,9	0,7	1,0

21, 22, 23 — построчные суммы величин граф 18, 19 и 20 соответственно;

24, 25, 26 — заполняются, соответственно, как разность величин графы 4 с добавлением h_0 и граф 21, 22 и 23. Например Гр. 25 = Гр. 4 + h_0 — Гр. 22. При этом необходимо учесть, что для плохого и хорошего бегунов скорость надвига 1,4 м/с, а для очень хорошего — 2,5 — 2,8 м/с;

27, 28, 29 — значения вычисляются по формуле $v = \sqrt{2g_1 h_k}$, а величина h_k берется из граф 24, 25 и 26;

30, 31 — величины рассчитываются по формуле $t_s = \frac{2l_s}{v_u + v_k}$;

32, 33 — построчные суммы величин граф 30 и 31.

При расчетах в таблице должна быть следующая точность:
 $w = 0,01$ кгс/тс, $t = 0,1$ с,
 $h = 0,001$ м, $l = 0,1$ м,
 $v = 0,1$ м/сек, $\alpha^\circ = 0,01^\circ$.

По данным граф 24, 25 и 26 под планом горки вычерчиваются кривые энергетических высот в масштабе, соответствующем профилю горки.

Под профилем горки вычерчиваются кривые скоростей по графикам 27, 28 и 29 и времени. Кривые времени вычерчиваются при чередовании вагонов П—Х—П, причем первая кривая для П-бегуна строится по данным графы 32, вторая для

Х-бегуна по данным графы 33 плюс $t_0 = \frac{l_u + l_x}{2v_0}$, т. е. с добавлением интервала следования бегунов через вершину горки, и третья для П-бегуна по данным графы $32 + 2t_0$ (рис. 17).

Графоаналитический способ. Этот способ отличается от табличного тем, что ряд расчетных параметров определяется графически, для чего строятся вспомогательные графики функции $v = \sqrt{2g_1 h}$ и $w_{cp} = \frac{17,8 C_x S}{(273 + t) q} \cdot v_p^2$ (рис. 18). Масштаб

значений h_k на этом графике такой же, как и для профиля горки в высоту.

Расчеты можно проводить в такой же таблице, но без граф 18—26 с одновременным построением кривых энергетических высот, которые первоначально проводятся по данным граф (5 + 6 + 10) для П-бегуна, (5 + 6 + 11) для Х-бе-

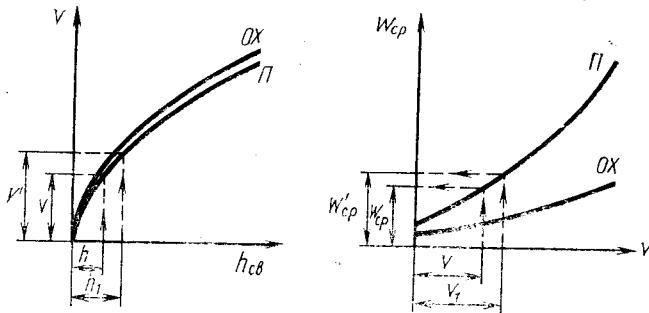
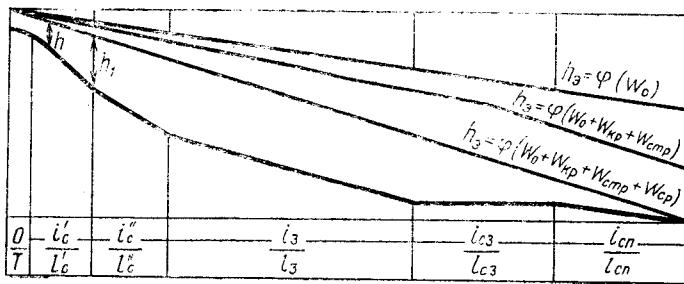


Рис. 18

гуга и $(5 + 6 + 12)$ для ОХ-бегуна. Для этого от линии, проведенной на высоте $H_1 + h_0$, в конце каждого элемента откладываются указанные суммы нарастающим порядком и полученные точки соединяются, т. е. мы получаем линии энергетических высот при преодолении всех сопротивлений кроме сопротивления среды.

Затем циркулем в середине элемента измеряется отрезок h между линией профиля и построенным кривыми энергетических высот. Не меняя раствора циркуля переносим эту величину на вспомогательный график $v=f(h)$ и находим величину v . Замерив ее, переносим циркулем на второй вспомогательный график $w_{cp}=f(v)$ и определяем w_{cp} . Найденную величину умножаем на $l_3 \cdot 10^{-3}$ и записываем h_{cp} в соответствующую графу (13 или 14, или 15). От первоначаль-

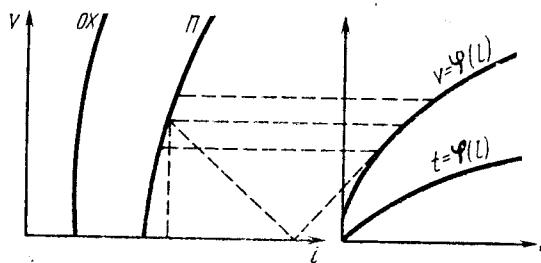


Рис. 19

ной линии энергетических высот откладываем $h_{\text{ср}}$. Продолжая аналогичным образом графический расчет, получаем линию энергетических высот ($h_{\text{ср}}$ откладываем нарастающим порядком) с учетом всех сопротивлений.

Теперь, измеряя отрезки h между полученной линией энергетических высот и продольным профилем, по вспомогательному графику находим скорость и рассчитываем время движения.

Графический способ. Графический способ заключается в построении кривых $v = \varphi(l)$ и $t = \varphi(l)$ для различных бегунов по известному из тяговых расчетов методу графического интегрирования уравнения (21) движения поезда, для чего предварительно вычерчивают диаграмму ускоряющих усилий (рис. 19) по формуле

$$w_0 + w_{\text{ср}} = w_0 + \frac{17,8 C_x S}{(273 + t) q} v_p^2.$$

В связи с тем, что удельное сопротивление движению от уклона прямо пропорционально крутизне уклона, при этом каждая тысячная спуска дает один килограмм движущего усилия на тонну, диаграммой усилий, построенной для прямого и горизонтального пути, можно пользоваться для любого профиля и плана, перенося ось скоростей вправо на величину, соответствующую крутизне приведенного уклона.

Для графического интегрирования уравнения движения вагонов по сортировочной горке необходимо подобрать соответствующие масштабы.

Приближенный способ. Этот способ по точности расчетов уступает всем остальным. Его можно рекомендовать для

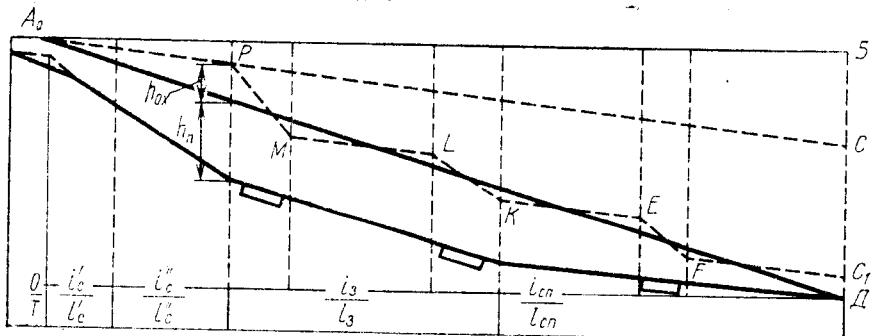


Рис. 20

ориентировочных подсчетов, не претендующих на большую точность. Приближенный способ основан на предположении, что дополнительные сопротивления движению от кривых, стрелок и среды являются в среднем постоянными на всей расчетной длине горки.

Проверочный расчет приближенным способом осуществляется при помощи линий, энергетических высот, построенных следующим образом.

Как указано на рис. 20, точку A_0 , которая находится на высоте h_0 над вершиной горки, соединяют с расчетной точкой D . Это и будет линия энергетических высот плохого бегуна.

Хороший бегун, скатываясь с горки, потеряет на преодоление всех сопротивлений энергетическую высоту, определяемую формулой:

$$h_w^{\text{ox}} = L_r (w_0 + w_{\text{ср}}) 10^{-3} + 0,009 \sum \alpha^\circ + 0,02 n.$$

Отложив найденную величину h_w^{ox} от точки B , получим точку C , соединив которую с точкой A , будем иметь линию энергетических высот хорошего бегуна при скатывании без торможения на тормозных позициях.

Над точкой D на высоте $h_g = \frac{v_{\text{согд}}^2}{2g_1}$ наносится точка C_1 .

Здесь $v_{\text{согд}}$ — скорость, допускаемая при соударении вагонов.

Из точки C_1 проводится параллельно линии AC линия до точки F . В точке F находится центр тяжести расчетного бе-

гуна в момент его выхода из замедлителя парковой тормозной позиции. На участках между тормозными позициями проводим линии $M\bar{L}$ и $K\bar{E}$ параллельно линии AC , так чтобы средняя энергетическая высота для плохого и хорошего бегунов была примерно одинаковой. Соединив точки P и M , L и K , E и F , получим полностью линию энергетической высоты хорошего бегуна. Скорости движения определяют по вспомогательному графику $v=f(h)$.

§ 7. ПРОВЕРКА ПРОФИЛЯ ГОРКИ

Проверка профиля горки производится по кривым скорости и времени хода различных бегунов, построенных одним из указанных выше способов.

Высота горки проверяется по кривой скорости плохого бегуна, которая должна заканчиваться в расчетной точке. Если эта кривая заканчивается от расчетной точки на расстоянии ± 15 м, то производится корректировка высоты горки. При больших отклонениях весь расчет надо произвести заново, уточнив среднюю скорость движения вагона, которая принимается при расчете высоты горки, следующим образом

$$v_{cp} = \frac{\Sigma v_{i_3} \cdot l_3}{L_r}, \quad \text{где} \quad v_{i_3} \text{ — средняя скорость на элементе длиной } l_3.$$

Запроектированная мощность тормозных средств проверяется по кривым скорости для ОХ-бегуна весом 80 тс и ОХ-бегуна весом 127 тс. Если ОХ-бегун весом 80 тс останавливается на II-й тормозной позиции, а ОХ-бегун весом 127 тс на III-й тормозной позиции, то мощность тормозных позиций выбрана правильно.

По этим же кривым проверяется расчет скоростных элементов. Если скорость входа на I-ую тормозную позицию превышает допускаемую, то необходимо уменьшить крутизну 2-го скоростного участка, а иногда увеличить его длину за счет сокращения первого скоростного участка.

Далее по кривым времени производится проверка достаточности интервалов между скатывающимися при неблагоприятном сочетании П—Х—П вагонами на тормозных позициях, разделительных стрелках и у предельного столбика последней стрелки. Чтобы сделать эти проверки, необходимо знать минимальное расстояние между последовательно скатывающимися вагонами, исключающее возможность брака в работе.

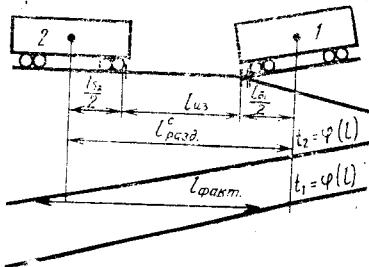


Рис. 21

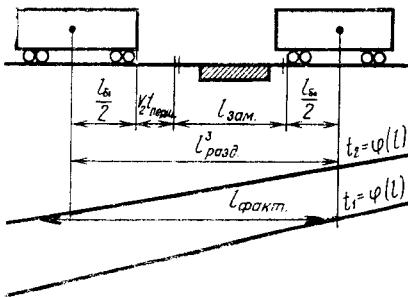


Рис. 22

Так, для того чтобы можно было перевести стрелку между вагонами, следующими на разные пути, расстояние между шинами должно быть (рис. 21)

$$l_{разд}^c \geq 0,5 l_{61} + l_{63} + 0,5 l_{62}, \text{ м};$$

для возможности перевода шин замедлителей (рис. 22)

$$l_{разд}^3 \geq 0,5 l_{61} + l_{зам} + v_2 t_{перш} + 0,5 l_{62}, \text{ м};$$

и у предельного столбика (рис. 23)

$$l_{разд}^n \geq 0,5 (l_1 + l_2), \text{ м}.$$

Здесь l_{61} и l_{62} — база первого и второго вагонов (для четырехосного крытого = 11,63 м, четырехосного полувагона = 10,50 м и шестивагонного = 13,44 м);

l_{63} — длина изолированной секции на стрелке, равная 11,38 м, если изолированный стык расположен по рамному рельсу, и 14,70 м, если за корнем остряка;

$l_{зам}$ — длина участка между изолированными стыками, на котором располагается замедлитель, м;

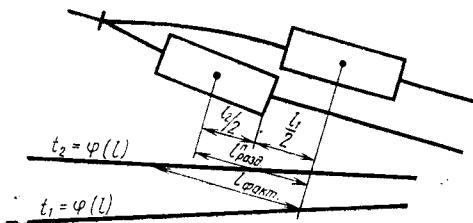
$t_{перш}$ — время перевода шин замедлителя, с;

v_2 — скорость подхода второго вагона, м/с;

l_1 и l_2 — длина первого и второго вагона, м/с.

Графически эти три вида проверок проводятся следующим образом: от конца проверяемого объекта — конца стрелочной

Рис. 23



изолированной секции или замедлителя откладывается $0,5 l_{61}$, а от предельного столбика $0,5 l_1$. Определив, таким образом, положение центра тяжести первого вагона, проектируем его на кривую времени $t_1 = \varphi(l)$. Затем, отложив $l_{разд}$, находим положение центра тяжести второго вагона при минимально необходимом интервале и проектируем на кривую времени $t_2 = \varphi(l)$. Из проекции центра тяжести первого бегуна на кривой $t_1 = \varphi(l)$ проводим горизонтальную линию. Если проекция центра тяжести второго вагона лежит выше (пересекает) кривой $t_2 = \varphi(l)$ этой горизонтальной линии, то интервал между вагонами больше минимально необходимого. Продолжив горизонтальную линию до пересечения с кривой $t_2 = \varphi(l)$, получим действительное положение центра тяжести второго вагона.

Аналитически эти проверки можно выразить следующим образом:

$$\text{минимально необходимый интервал } t_{\min} = \frac{l_{разд}}{v_{\min}};$$

$$\text{фактический интервал } t_{\phi} = t_o - \Delta t;$$

где $t_o = \frac{l_1 + l_2}{2v_o}$ — интервал на вершине горки;

$\Delta t = \Sigma t_u - \Sigma t_x$ — диф-разница времени пробега плохого и хорошего бегуна до проверяемого элемента (берется со своим знаком).

Следовательно, $t_{\phi} \geq t_{\min}$, или

$$t_o - \Delta t \geq \frac{l_{разд}}{v_{\min}}.$$

Отсюда можно определить минимальный интервал на вершине горки:

$$t_0 = \frac{l_{\text{разд}}}{v_{\min}} + \Delta t,$$

которому будет соответствовать наибольшая скорость роспуска

$$v_0 = \frac{l_1 + l_2}{2t_0} = \frac{l_1 + l_2}{2 \left(\frac{l_{\text{разд}}}{v_{\min}} + \Delta t \right)}.$$

Отсюда видно, что для повышения скорости роспуска, а следовательно, и перерабатывающей способности горок, нужно путем разработки рационального профиля и регулировки скорости на тормозных позициях обеспечивать увеличение скорости движения по разделительным стрелкам и сокращение дифа. Кроме того, формула показывает возможность оперативного регулирования скорости роспуска в зависимости от длины отцепов в составе или различных его частях, т. е. применение переменной скорости роспуска, а также необходимость рациональной специализации путей сортировочного парка.

§ 8. ПРИМЕР РАСЧЕТА СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Исходные данные для расчета горки следующие:

- план горки на 48 путей (см. рис. 17);
- средний вес вагона $q_{\text{ср}} = 65$ тс в вагонопотоке, подлежащем переработке;
- средняя температура воздуха $t_{\text{ср}} = -10^\circ$;
- заданная скорость роспуска $v_0 = 1,4$ м/с;
- скорость встречного ветра $v_{\text{вс}} = 4,9$ м/с;
- скорость попутного ветра $v_{\text{поп}} = 3,1$ м/с;
- угол между направлением ветра и осью участка пути, по которому движется отцеп $\beta = 20^\circ$;
- горка оборудуется системой АРС ГТСС.

Определяем положение вершины горки. Принимаем, что сопряжение надвижной и спускной части горки производится без разделительной площадки; уклон надвижной части $i_n = 8\%$, а уклон первого скоростного участка $i_{\text{ск}} = 55 \dots i_n = 47\%$.

Для сокращения расчетной длины перелом профиля между 1-ым и 2-ым скоростными участками на данной горке целесообразно сделать в пределах переводной кривой первой стрелки по II-му пути надвига, т. е. на расстоянии $32,13 - 4,4 + (6,93 - 6,17) = 28,49$ м от центра перевода № 2.

Измерительный участок по II-му пути надвига предусматриваем перед I-ой стрелкой, тогда по формуле (6)

$$d = 0,35 \cdot 47 + 11,5 + 5,26 = 33,21 \text{ м.}$$

По I-му пути надвига измерительный участок можно расположить либо между концом горизонтальной кривой ($T_k = 0,5 \cdot 200 \operatorname{tg} 4,73^\circ = 8,28 \text{ м}$) и началом вертикальной кривой, сопрягающей скоростные участки ($T_v = 0,125 \Delta i_{\text{ск}} \approx 4 \text{ м}$) на I-ом скоростном участке, либо между концом этой кривой и второй стрелкой на 2-ом скоростном участке, для чего $28,49 - T_v - b \geq l_{\text{изм}}$ (у нас $28,49 - 2 - 11,78 > 11,5$).

В первом случае расстояние между осями надвижных путей, определяемое из условия $\frac{e_n - 2,65}{\sin 4,73^\circ} \geq T_k + l_{\text{изм}} + T_v + 28,49$,

должно быть $e_n \geq 6,8 \text{ м}$, а во втором случае, из

$$\frac{e_n - 2,65}{\sin 4,73^\circ} \geq T_k + T_v + 28,49$$

оно должно быть $e_n \geq 5,8 \text{ м}$.

Выбираем расположение измерительного участка на втором скоростном участке и в соответствии с рекомендациями ИПСУ $e_n = 6,5 \text{ м}$. Итак, вершина горки по обоим путям надвига находится от центра перевода 2 на расстоянии ($d + a + 32,13 = 72,27 \text{ м}$).

Из плана горочной горловины видно, что за расчетный путь можно однозначно принять I-ый путь сортировочного парка и определить расчетную длину горки

$$\begin{aligned} L_r = & 72,27 + 6,93 + 4,0 + 23,0 + 5,26 + 6,93 + 11,78 + \\ & + \frac{6,28 \cdot 200 \cdot 12}{360} + 6,93 + 11,78 + \frac{6,28 \cdot 200 \cdot 10}{360} + 23,0 + 5,26 + \\ & + 6,93 + 11,78 + \frac{6,28 \cdot 200 \cdot 3,15}{360} + 11,78 + 19,12 + 27 + \\ & + 100 = 441,5 \text{ м.} \end{aligned}$$

Для этого пути

$$\Sigma \alpha^\circ = 7 \cdot 4,73^\circ + 12^\circ + 10^\circ + 3,15^\circ + 39,34^\circ = 97,6^\circ; n = 6.$$

За расчетный плохой бегун при $q_{\text{вр}} = 65 \text{ т}$ принимаем вагон

весом 30 тс, и по табл. 1 при $t^{\circ} = -10 - 11 = -21^{\circ}$ находим $w_0 = 5,6$ кгс/тс.

При $\beta = 20^{\circ}$ имеем $v_p = v_{cp} + v_b$, $\alpha = 0,5 \beta = 10^{\circ}$, из табл. 2 $S = 9,7$ м², $C_x = 1,46$, а из табл. 3 принимаем $v_{cp} = 4,8$ м/с. Тогда

$$w_{cp} = \frac{17,8 \cdot 1,46 \cdot 9,7}{(273 - 21) \cdot 30} (4,8 + 4,9)^2 = 3,14 \text{ кгс/тс.}$$

Высота горки по формуле (3) равна

$$H_r = 441,5(5,6 + 3,14) \cdot 10^{-3} + 0,009 \cdot 97,6 + 0,02 \cdot 6 - \frac{1,4^2}{2 \cdot 9,3} = 4,74 \text{ м.}$$

Проектирование продольного профиля. Как указано выше, крутизна 1-го скоростного элемента $i_{ek}' = 47\%$, а его длина по формуле (7)

$$l_{ek}' = 33,21 - 8,23 + 6,17 + 4,4 = 35,55 \text{ м.}$$

Перелом профиля между 2-ым скоростным и промежуточным участком размещаем перед первой тормозной позицией в пределах четырех метровой переходной вставки. Тогда, из плана, имеем

$$l_{ek}'' = 72,27 + a + \frac{4,0}{2} - l_{ek}' - T_i = 28,49 + 6,93 + 2,0 = 37,42 \text{ м.}$$

Для определения i_{ek}'' находим по формуле (8)

$$h = \frac{7,0^2 - 2,5^2}{2 \cdot 9,6} + l(0,5 - w_{cp}) \cdot 10^{-3} + 0,009 \sum \alpha^{\circ} + 0,02 n.$$

Здесь $l = 8,23 + 35,55 + 37,42 + 2,0 - 5,6 - 0,18 = 77,42$ м,

$$\sum \alpha^{\circ} = 9^{\circ},46; n = 1.$$

Сопротивлением воздушной среды при попутном ветре для ОХ-бегуна можно пренебречь, так как его величина находится за пределами точности расчетов, тогда

$$h = 2,226 + 77,42 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} + 0,009 \cdot 9,46^{\circ} + 0,02 = 2,37 \text{ м.}$$

Теперь по формуле (9) находим i_{ek}'' :

$$i_{\text{сн}}'' = \frac{2,37 - 47 \cdot 35,55 \cdot 10^{-3}}{37,42 + 2,0 - 5,6} \cdot 10^3 = 20,7\%$$

В соответствии с рекомендациями, приведенными в § 4, принимаем уклон стрелочной зоны $i_{\text{сз}} = 2\%$ и сортировочных путей $i_{\text{сп}} = 1,5\%$. Длина стрелочной зоны из плана горки от точки перелома профиля на расстоянии 2 м за второй тормозной позицией до предельного столбика последней стрелки равна $l_{\text{сз}} = 90,9$; длина участка сортировочных путей — $l_{\text{сп}} = 100$ м, а длина промежуточной зоны $l_3 = 169,4$ м.

Средний уклон промежуточной зоны

$$i_3 = \frac{4,74 - (47 \cdot 35,55 + 20,7 \cdot 37,42 + 2 \cdot 90,9 + 1,5 \cdot 100) \cdot 10^{-3}}{169,4} \times 10^3 = 11,6\%$$

Для повышения скорости движения по промежуточной зоне разбиваем ее на два элемента: элемент второй тормозной позиции длиной $l_{\text{тп}}'' = 50$ м и уклоном $i_{\text{тп}}'' > w_0 + w_{\text{ср}} = 5,6 + 3,14 = 9\%$ и элемент первой тормозной позиции длиной $l_{\text{тп}}' = 119,4$ м и крутизной $i_{\text{тп}}' = \frac{i_3 \cdot l_3 - i_{\text{тп}}'' \cdot l_{\text{тп}}''}{l_{\text{тп}}'} = \frac{(1,97 - 0,45) \cdot 10^3}{119,4} = 12,7\%$. Можно было бы еще увеличить

длину второй тормозной позиции, сокращая тем самым длину первой и увеличивая ее крутизну. Таким образом, продольный профиль горки состоит из следующих участков:

- 1) $i_{\text{сн}}' = 47\%$; $l_{\text{сн}}' = 35,55$ м; $h_{\text{сн}}' = 1,67$ м;
- 2) $i_{\text{сн}}'' = 20,7\%$; $l_{\text{сн}}'' = 37,42$ м; $h_{\text{сн}}'' = 0,77$ м;
- 3) $i_{\text{тп}}' = 12,7\%$; $l_{\text{тп}}' = 119,4$ м; $h_{\text{тп}}' = 1,52$ м;
- 4) $i_{\text{тп}}'' = 9\%$; $l_{\text{тп}}'' = 50,0$ м; $h_{\text{тп}}'' = 0,45$ м;
- 5) $i_{\text{сз}} = 2\%$; $l_{\text{сз}} = 90,9$ м; $h_{\text{сз}} = 0,18$ м;
- 6) $i_{\text{сп}} = 1,5\%$; $l_{\text{сп}} = 100$ м; $h_{\text{сп}} = 0,15$ м;

Итого $L_t - T_i = 433/2$ м; $H_r = 4,74$ м.

В дипломных проектах или как элемент УИРС в курсовых проектах надо произвести расчет высоты горки и запроектировать продольный профиль по самому легкому пути.

Расчет тормозных средств. Для остановки ОХ-бегуна весом 80 тс на второй тормозной позиции по формуле (11) нужно иметь суммарную мощность I-й и II-й тормозной позиции

$$H_t' = 4,74 + 0,11 - 0,33 - [251,4(0,5 + 0,1) \cdot 10^{-3} + 0,369 + \\ + 0,06] = 3,94 \text{ м.}$$

Для остановки ОХ-бегуна весом 127 тс

$$H_t = 4,74 + 0,11 - 0,09 - [380(0,5 + 0,1) 10^{-3} + 0,71 + \\ + 0,012] = 3,81 \text{ м.}$$

Следовательно, выбираем предварительно суммарную мощность первых двух позиций не менее 3,94 м и кроме того на III-й тормозной позиции предусматривается возможность укладки замедлителей типа ЦНИИ-ЗВ. В плане горки предусмотрены укладка двух замедлителей типа КВ-3-72 на I-й тормозной позиции, что удовлетворяет условию (13)

$$2 > h_t^{\min} \geq h_{I_3} - h_{W_3} = 4,18 - 2,44 - 144,4(0,5 + 0,1) \cdot 10^{-3} - \\ - 0,274 - 0,04 = 1,34.$$

На 2-й тормозной позиции в плане горки также предусмотрена укладка двух замедлителей типа КВ-3-72, а по условию (14)

$$h_{II}^{\max} = \frac{7,0^2}{2 \cdot 9,6} + 25(9 - 0,5) 10^{-3} = 2,76 \text{ м.}$$

Окончательно выбор типа замедлителей и мощности каждой тормозной позиции производится после проверки продольного профиля.

Проверка продольного профиля. В курсовых и дипломных проектах ее целесообразно производить табличным способом. Вначале заполняются первые шесть граф табл. 5, общие для всех типов бегунов. При этом, сумма величин графы 2 должна дать расчетную длину горки; последняя цифра в графе 4 — высоту горки; суммы цифр по графикам 5 и 6 — соответственно величины 0,02 и 0,009 $\Sigma \alpha^\circ$, которые были при определении высоты горки. По табл. 6 интерполяцией находим значения основного сопротивления для разных бегунов и заносим в гра-

фы 7, 8 и 9 в зависимости от расстояния от вершины горки. Затем производится построчный расчет всех граф для плохого бегуна. Поскольку в расчетной точке П-бегуна имеет скорость 0,82 м/с, определяем сколько метров пробежит он за расчетную точку до полной остановки. В нашем примере это расстояние составляет около 9 м, что является допустимым.

После этого производим расчет граф для Х- и ОХ-бегунов. Заметим только, что скорость ОХ-бегуна при подходе к I тормозной позиции на 1—1,5% должна быть больше 7 м/с, а 7,0 м/с она будет равна на расстоянии $0,5 l_0$ от тормозной позиции. Расчет необходимой величины погашения энергетической высоты на тормозных позициях производим по третьему способу, указанному в § 5.

Так, для определения $h_{\text{ног}}'$, находим среднюю скорость П-бегуна на участке между I-й и II-й тормозными позициями:

$$v_{\text{ср}}^{\text{x}} = (5,81(18,71 + 11,87) + 5,82 \cdot 15 + 5,83(15 + 18,71) + \\ + 5,85 \cdot 9,89 + 5,83 \cdot 12,5 + 5,76 \cdot 12,5) / (18,71 + 11,87 + 15 + \\ + 15 + 18,71 + 9,89 + 12,5 + 12,5) = 5,82 \text{ м/с}$$

работу сил сопротивления на этом участке для Х- и ОХ-бегунов:

$$h_x = l(w_0 \pm w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3} + 0,009 \Sigma \alpha^\circ + 0,02 n =$$

$$= 114,18(1,32 + 1,66) \cdot 10^{-3} + 0,284 + 0,04 = 0,664 \text{ м},$$

где

$$w_{\text{ср}}^{\text{x}} = \frac{17,8 \cdot 1,68 \cdot 8,5}{(273 - 21) \cdot 70} (5,82 + 4,9)^2 = 1,66 \text{ кгс/тс};$$

$$h_{\text{ног}}^{\text{ox}} = 114,18 (0,5 + 0,096) \cdot 10^{-3} + 0,284 + 0,04 = 0,392 \text{ м};$$

где

$$w_{\text{ср}}^{\text{ox}} = \frac{17,8 \cdot 1,68 \cdot 8,5}{(273 - 21) 80} (5,82 - 3,1)^2 = 0,096 \text{ кгс/тс},$$

и разность уровней начала и конца этого участка

$$h_i = 4,18 - 2,82 = 1,36 \text{ м}.$$

По формуле (19) находим

$$v_x^{\text{x}} = 5,82 + \frac{9,5(0,664 - 1,36)}{2 \cdot 5,82} = 5,82 - 0,57 = 5,25 \text{ м/с};$$

$$v_k^{\text{ox}} = 5,82 + \frac{9,6(0,392 - 1,36)}{2 \cdot 5,82} = 5,82 - 0,80 = 5,02 \text{ м/с.}$$

Зная v_k , по формуле (12) определяем $h'_{\text{гор}}$:

$$h'_{\text{гор}} = \frac{6,50^2 - 5,25^2}{2 \cdot 9,5} + 30,26(12,7 - 1,42 - 1,66) \cdot 10^{-3} = 1,06 \text{ м;}$$

$$h'_{\text{гор ox}} = \frac{7,08^2 - 5,02^2}{2 \cdot 9,6} + 30,26(12,7 - 0,5 - 0,096) \cdot 10^{-3} = 1,66 \text{ м.}$$

Окончательно принимаем на I-й тормозной позиции два замедлителя КВ-3-72.

Определим $h''_{\text{гор}}$ на II-й тормозной позиции, для чего находим

$$v_{\text{ср}}^{\text{II}} = (5,54 \cdot 21,97 + 5,27 \cdot 10,99 + 5,01 \cdot 18,71 + 4,81 \cdot 5,26 + 4,59 \cdot 18,71 + 4,21 \cdot 15,22 + 3,9 \cdot 17,72) / 108,58 = 4,77 \text{ м/с.}$$

$$h_i = 4,62 - 4,41 = 0,21 \text{ м,}$$

$$w_{\text{ср}}^{\text{X}} = 0,014(4,77 + 4,9)^2 = 1,31 \text{ кгс/тс,}$$

$$h_w^{\text{X}} = 108,58 (1,06 + 1,31) 10^{-3} + 0,269 + 0,02 \cdot 3 = 0,586 \text{ м,}$$

$$v_k^{\text{X}} = 4,77 + \frac{9,5 (0,586 - 0,21)}{2 \cdot 4,77} = 4,77 + 0,37 = 5,14 \text{ м/с,}$$

$$h''_{\text{гор}} = \frac{6,39^2 - 5,14^2}{2 \cdot 9,5} + 25(9 - 1,32 - 1,31) 10^{-3} = 0,92 \text{ м.}$$

Поскольку ОХ-бегун должен быть остановлен на II-й тормозной позиции, его $v_k = 0$ и

$$h''_{\text{гор ox}} = \frac{6,62^2}{2 \cdot 9,6} + 25(9 - 0,5 - 0,002) 10^{-3} = 2,49 \text{ м.}$$

Следовательно, на II-й тормозной позиции необходимо уложить два замедлителя типа КНП-5-73.

Таким образом, для данной горки нужно увеличить расстояние C_1 для возможности укладки двух замедлителей типа КНП-5-73, что увеличит расчетную длину горки на

7,1 м и, оставив без изменений высоту горки, уменьшить крутизну II-й тормозной позиции до $\frac{0,45 \cdot 10^3}{57,1} = 7,9\%$, что позволит снизить скорость П-бегуна и ликвидировать перепробег.

При третьем способе расчета величины погашения энергетической высоты из условия движения между тормозными позициями всех вагонов с одинаковой средней скоростью проверки нагонов на разделительных стрелках, замедлителях и у предельного столбика можно не производить.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Материалы XXV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1976.
2. Образцов В. Н., Никитин В. Д., Шаульский Ф. И., Бузанов С. П. Станции и узлы. М.: Гострансжелиздат, 1949.
3. Савченко И. Е., Земблинов С. В., Страковский И. И. Железнодорожные станции и узлы. М.: Транспорт, 1973.
4. Никитин В. Д., Савченко И. Е., Ветухов Е. А., Иващенко В. К. Железнодорожные станции и узлы. Расчеты и проектирование сортировочных горок. М.: ВЗИИТ, 1970.
5. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР. М.: Транспорт, 1978.
6. Ботолов М. Я. Рациональное размещение замедлителей и измерительных участков при автоматизации горок. — Железнодорожный транспорт, № 9, 1966.
7. Ботолов М. Я. Особенности автоматизации переработки составов с вагонами на роликовых подшипниках. — Железнодорожный транспорт, № 5, 1961.
8. Парфенов В. П., Филиппов М. М., Уздин М. М., Павлов В. Е. Сортировочные горки большой мощности. Л.: ЛИИЖТ, 1972.
9. Земблинов С. В., Страковский И. И. Станции и узлы. М.: Трансжелдориздат, 1963.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

1. Общие сведения о горках	3
2. Определение высоты горки	8
3. Проектирование плана сортировочных горок	14
4. Проектирование продольного профиля горки	29
5. Расчет тормозных средств на горке	36
6. Построение кривых скоростей и времени	42
7. Проверка профиля горки	50
8. Пример расчета сортировочной горки	53
Литература	60

Всеволод Михайлович Акулиничев, Леонид Петрович Колодий

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК
БОЛЬШОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

Учебное пособие

Редактор Г. Е. Перковская

Техн. редактор И. Н. Васильева

Корректор Г. М. Пастушкова

Сдано в набор 21/І 1981 г. Л 98403 Подписано к печати 15/V 1981 г.
Формат 60×90¹/₁₆. Объем 4,125 п. л. (1 вкл.) Зак. 108. Тир. 500.
Уч.-изд. 3,5 л. Цена 13 коп.

Редакционно-издательский отдел МИИта

Типография МИИта. Москва, ул. Образцова, 15

✓

13 коп:

Л. С. С. 2

Л. С. С. 2

Л. С. С. 2

Л. С. С. 2

Л. С. С. 2