

Лекция 2

Общие положения по проектированию сортировочных горок

Полезный факт



Самая большая сортировочная станция в мире находится в США, называется она Бейли Ярд (Bailey Yard) и имеет 114 путей (64+50).

План лекции

1

**КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ
СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК**

2

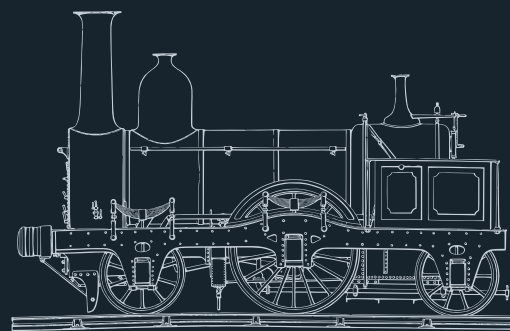
**ЭЛЕМЕНТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ И ИХ
НАЗНАЧЕНИЕ**

3

**ОСНОВЫ ДИНАМИКИ СКАТЫВАНИЯ ВАГОНОВ
С ГОРКИ**

4

**СОПРОТИВЛЕНИЯ, ПРЕОДОЛЕВАЕМЫЕ
ВАГОНАМИ ПРИ СКАТЫВАНИИ С ГОРКИ, И
ПОРЯДОК ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ**



Для сортировки вагонов на станциях применяются сортировочные горки повышенной, большой, средней и малой мощности, вытяжные пути и стрелочные горловины на уклоне, вытяжные пути и стрелочные горловины на площадке.

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

Сортировочные горки позволяют:

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

Современная сортировочная горка представляет собой комплекс устройств пути, энергоснабжения, автоматики, телемеханики и связи, обеспечивающий механизацию и автоматизацию процессов расформирования и формирования поездов.

В зависимости от объема переработки вагонов и числа подгорочных путей различают сортировочные горки повышенной, большой, средней и малой мощности. Мощность горки обосновывается технико-экономическими расчетами по объему и структуре перерабатывае-

мого вагонопотока для сортировочных станций на 10-й, а для остальных станций - на 5-й год эксплуатации.

Классификация сортировочных горок:

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

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

**** – при обосновании;**

***** – при обосновании 2 парковые тормозные позиции с расстоянием между ними около 150 м.**

Сортировочные горки в настоящее время оборудуются вагонными замедлителями, вагоносаживателями, ускорителями-замедлителями, устройствами горочной автоматической централизации (ГАЦ), автоматического регули-

рования скорости скатывания отцепов (АРС) в комплексе с системой автоматического задания скорости роспуска (АЗСР) и телеуправления горочными локомотивами (ТГЛ).

На горках малой мощности на первый период эксплуатации вместо ГАЦ может предусматриваться электрическая централизация стрелок (ЭЦ), а вместо вагонных замедлителей – башмакосбрасыватели с тормозными башмаками.

Мощность сортировочной горки определяет ее техническое оснащение и путевое развитие (см. табл. 1).

Тип сортировочного устройства выбирается в зависимости от количества перерабатываемых вагонов – N и числа путей в сортировочном парке – $m_{сп}$. Например, при $m_{сп} = 30$ путей и $N = 4955$ вагонов – проектируемое сортировочное устройство является горкой большой мощности (ГБМ). Рассмотрим следующий пример: $m_{сп} = 29$ путей и $N = 3700$ вагонов. Если исходить из количества сортировочных путей, то следует проектировать горку средней мощности (ГСМ), а согласно перерабатываемому вагонопотоку – ГБМ. Таким образом, окончательно выбираем в качестве сортировочного устройства ГБМ. При $m_{сп} = 32$ пути и $N = 3000$ вагонов также следует проектировать ГБМ.

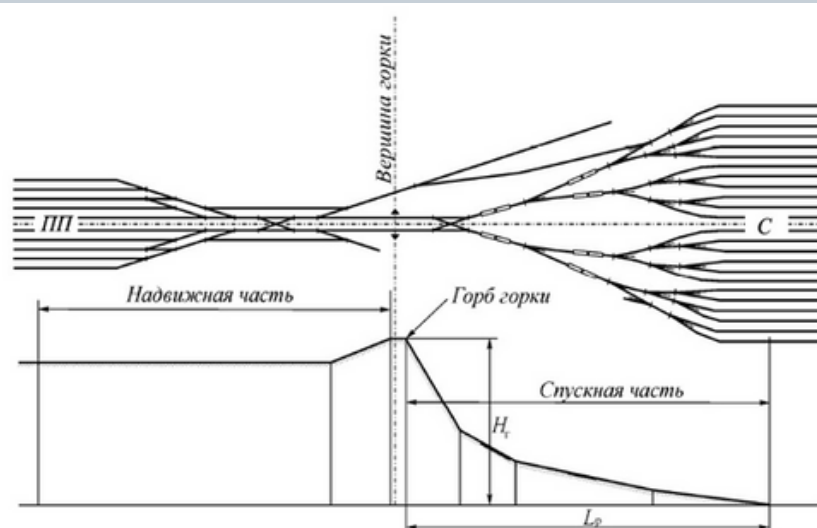
Основными элементами горки являются **надвижная часть**, **перевальная часть** и **спускная часть**.

Надвижная часть предназначена для подачи вагонов к вершине горки и подготовки их к роспуску. На надвижной части размещаются пути надвига, соединяющие горб горки с парком приема, а при параллельном расположении парков приема и сортировки – с маневровой вытяжкой.

Перевальной частью (горбом горки) называется элемент горки, на котором происходит сопряжение надвижной части и скоростного уклона спускной части.

Условная вершина горки (УВГ) – вершина угла вертикальной кривой, сопрягающей скоростной уклон с горизонтальной прямой, проходящей через горб горки.

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



Горб горки проектируется, как правило, в одном уровне, соответствующем зимним условиям работы.

Элемент горки, обеспечивающий отрыв отцепов от состава и их быстрое продвижение с безопасными интервалами на пути назначения, называется спускной частью. Она располагается между вершиной горки и расчетной точкой, которая находится на расстоянии 50 метров от конца парковой тормозной позиции.

На спускной части устанавливаются тормозные позиции для регулирования скорости отцепов.

Каждая горка характеризуется следующими основными параметрами: расчетной длиной, высотой, общей мощностью тормозных средств и перерабатывающей способностью.

Расчетной длиной горки называется расстояние от вершины горки до расчетной точки.

Высотой горки называется разность отметок вершины горки и расчетной точки.

Мощность тормозных средств характеризуется погашаемой ими суммарной энергетической высотой, а перерабатывающая способность горки – максимальным числом вагонов, которое можно рассортировать на ней за сутки.

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

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

Вагоны, спускаемые с горки, в зависимости от рода, веса и ходовых свойств делятся на четыре типа бегунов: очень плохие (ОП), плохие (П), хорошие (Х) и очень хорошие (ОХ).

Основные параметры горки рассчитываются на условия, указанные в таблице 1.2.

Параметры	Условия скатывания бегунов			
	Расчетный бегун	Маршрут скатывания	Ветер	Температура
Высота горки	крытый вагон, весом 25 тс, $w_0 = 1,75$ кгс/тс	«Трудный путь»	Встречный*	Отрицательная
Профиль спускной части горки	ОХ – 4-х осный полувагон, весом 85 тс	«Легкий путь»	Попутный	Выше 0°С
Мощность тормозных средств	ОХ – 4-х осный полувагон, весом 100 тс	---	---	---
Интервал между отцепами на разделительных элементах	ОП– ОХ–ОП (ОП– Х–ОП для ГММ и ГСМ)	«Трудный» и смежный с ним	Встречный**	Отрицательная

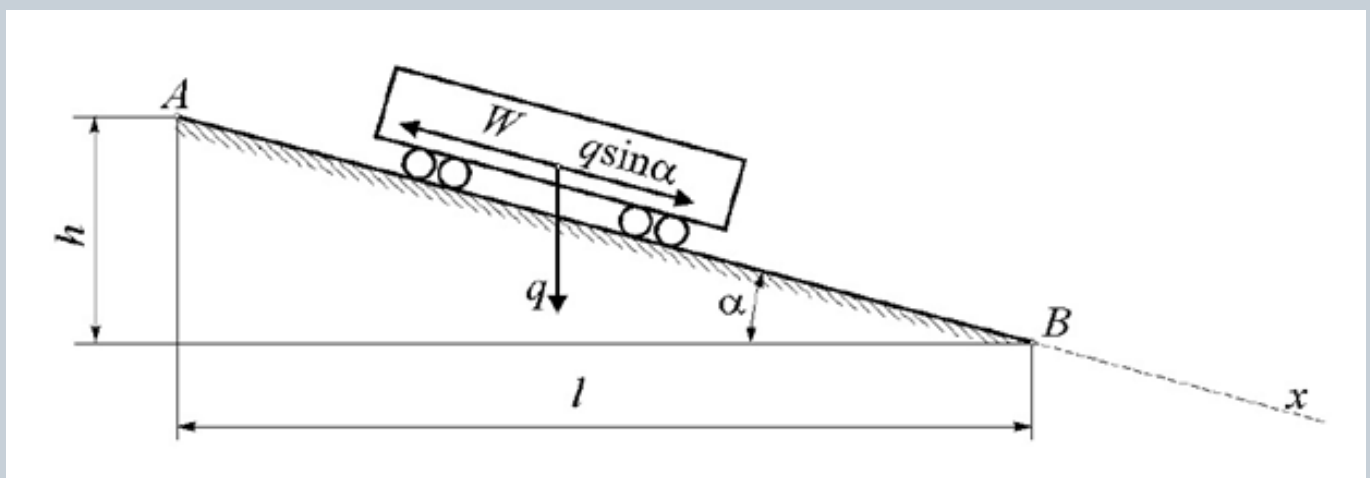
*** – при определении высоты горки к расчету принимают все встречные направления ветра;**

**** – при проверке наличия достаточных интервалов между скатывающимися отцепами и выполнения других технологических расчетов в качестве расчетной скорости ветра принимается для неблагоприятных условий ее средневзвешенное значение в румбе наибольшего значения удельной работы сил сопротивления воздушной среды и ветра в расчетном месяце.**

При проектировании горки учитываются условия скатывания: неблагоприятные (встречный ветер, отрицательная температура, трудный путь скатывания) и благоприятные (попутный ветер, температура выше 0°С, легкий путь). Трудным считается путь, для которого потеря энергетической высоты на преодоление всех сил сопротивления h_w наибольшая, легким – путь, имеющий минимальное значение h_w .

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

Рассмотрим вагон, движущийся по наклонной плоскости:



На него действует сила тяжести q и сила сопротивления W (вагон принимаем за материальную точку). Дифференциальное уравнение движения вагона вдоль оси Ax примет вид:

$$m\ddot{x} = q \sin \alpha - W$$

где \ddot{x} – ускорение вагона;

m – масса вагона.

Учитывая, что величина α не превышает 3° (при максимальных значениях уклонов на горке), принимаем $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = h/l = i \times 0,001$,

где i – уклон, ‰. Кроме того, приближенно можно считать, что сила сопротивления пропорциональна весу вагона.

Поэтому $W = q \cdot w \cdot 0,001$,

где w – общее удельное ходовое сопротивление вагона, кгс/тс или ‰.

Теперь дифференциальное уравнение движения вагона примет вид:

$$m\ddot{x} = q(i - w) \cdot 10^{-3}$$

Из этого уравнения видно, что если на некотором участке горки $i > w$, вагон движется ускоренно, при $i < w$ - замедленно, при $i = w$ - равномерно.

Для длинных отцепов, находящихся на нескольких элементах горочного профиля, профильную силу (удельную силу тяжести) определяют по средневзвешенному уклону \bar{i} движения центра тяжести в рассматриваемый момент.

$$\bar{i} = \frac{\sum_{j=1}^k i_j \cdot q_j}{\sum_{j=1}^k q_j}$$

где i_j - уклон, на котором находится j -й вагон отцепа;

q_j - вес j -го вагона в отцепе;

k - количество вагонов в отцепе.

Сопротивление движению вагона подразделяют на **основное** и **дополнительное**. Основное сопротивление действует при движении вагона постоянно. Оно обусловлено трением осей колес в буксовых узлах, трением качения и трением скольжения колес по рельсам на прямом участке пути.

Дополнительное сопротивление обусловлено наличием кривых участков пути, в том числе стрелочных переводных кривых, ударами на стыках, остряках и крестовинах стрелочных переводов, сопротивлением воздушной среды и ветра.

Из приведенного дифференциального уравнения можно получить величину общего уде-

льного ходового сопротивления вагона:

$$w = i - \frac{a}{g'} 10^{-3},$$

где $a = \ddot{x}$;

g' – приведенное ускорение силы тяжести с учетом влияния вращающихся частей вагона.

Отсюда следует, что задача определения величины w , характеризующей ходовые свойства вагона, связана с измерением ускорения вагона на участке. Эта зависимость используется в системах АРС на горках.

Рассмотрим вопрос об энергетической высоте, по величине которой удобно вести учет сил, действующих на скатываемый вагон.

Согласно теореме об изменении кинетической энергии, здесь правая часть представляет собой работу силы тяжести и средней силы сопротивления на участке l , уклон которого i ; v_0 и v_1 – соответственно начальная и конечная скорости движения вагона на участке l .

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = q(i - w)l \cdot 10^{-3}$$

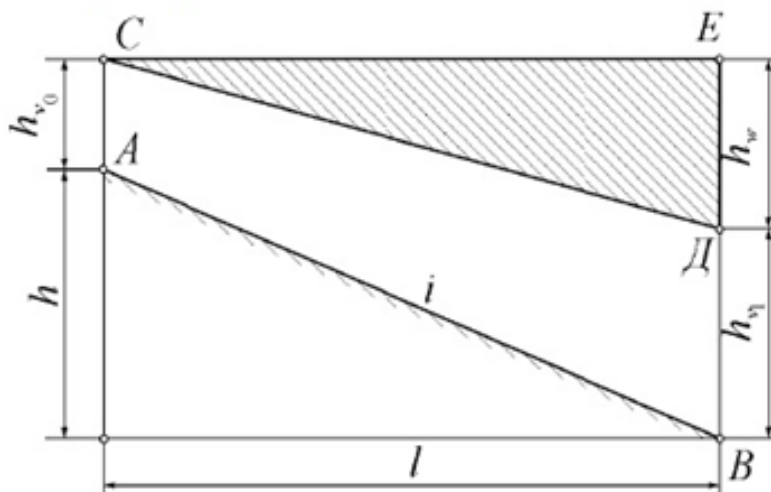
Выразив величину m через $\frac{q}{g'}$, и сократив на q обе части равенства, полу-

чим уравнение кинетической энергии, отнесенное к единицы веса вагона:

$$\frac{v_1^2}{2g'} - \frac{v_0^2}{2g'} = (i - w) \cdot l \cdot 10^{-3}, \quad (1.6)$$

или, переходя к энергетическим высотам,

$$h_{v_1} - h_{v_0} = (i - w) \cdot l \cdot 10^{-3}. \quad (1.7)$$



Применительно к сортировочной горке будем иметь:

$$h + h_{v_0} = h_{v_1} + h_w,$$

или

$$h_{v_1} - h_{v_0} = h - h_w,$$

где h_{v_1} – энергетическая высота вагона в конце участка l ;

h_{v_0} – энергетическая высота, соответствующая начальной скорости (скорости роспуска);

h – высота наклонной плоскости (высота горки);

h_w – работа сил сопротивления (потеря энергетической высоты), затраченная на преодоление всех видов сопротивления на участке l .

Геометрическое место энергетических высот сопротивлений, отложенных вниз по горизонтальной прямой (линия CE), называется линией энергетических высот $h_w = f(l)$ (линия CD). Высота h_v , измеренная в любой точке профиля по вертикали между линией профиля АВ и линией энергетических высот CD, характеризует свободную или остаточную энергетическую высоту вагона в данной точке. По величине свободной энергетической высоты вагона легко определить его скорость, м/с:

$$v = \sqrt{2g'h_v}$$

Величина приведенного ускорения силы тяжести g' зависит от отношения веса вращающихся частей вагона к его полному весу, т.е. от числа осей и нагрузки, и может быть подсчитана по формуле

$$g' = \frac{9,81}{1 + \gamma},$$

где g – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с²;

γ – коэффициент увеличения массы вагона при учете его вращающихся частей, равный $\frac{0,42n}{q}$. Здесь n – число осей; q – вес вагона брутто, тс.

$$g' = \frac{9,81}{1 + \frac{0,42n}{q}}$$

Можно решить и обратную задачу: по данной скорости найти энергетическую высоту, м.э.в., т.е.

$$h_v = \frac{v^2}{2g'}$$

Например, на горбе горки энергетическая высота, м.э.в.,

$$h_{v_0} = \frac{v_0^2}{2g'}$$

где v_0 – начальная скорость вагона (скорость роспуска), принимается согласно табл. в зависимости от типа сортировочного устройства.

Место остановки вагона определяется как точка пересечения линии энергетических высот с линией профиля ($h_v = 0$). Исходя из этого, условие докатывания расчетного бегуна до расчетной точки (точки прицеливания) можно записать следующим образом:

$$H_{\Gamma} = h_{v_0} \geq h_w$$

При скатывании с горки вагоны преодолевают сопротивления, вызванные различными факторами.

А. Основное сопротивление - сопротивление движению вагона на прямом горизонтальном пути. Оно возникает вследствие трения между собой деталей буксового узла (и осей колес вагонов при подшипниках скольжения), трения качения (с проскальзыванием из-за влияния осей вагона) между колесами и рельсами, ударов на стыках, местных искривлений пути в плане и профиле. Зависит от веса вагона и осевой нагрузки, состояния ходовых частей вагона, температуры окружающей среды и буксового узла, а также состояния верхнего строения пути и поверхности рельсов. Основное сопротивление, отнесенное к весу вагона, представляет собой основное удельное сопротивление w_0 .

Основное удельное сопротивление движению w_0 вагонов на роликовых подшипниках при скатывании их с горки рассматривается как случайная величина, распределение которой можно аппроксимировать гамма-распределением. Числовые характеристики распределений w_0 для вагонов на роликовых подшипниках следует принимать вне зависимости от температуры наружного воздуха применительно к весовым категориям одиночных вагонов по табл.

Диапазон веса вагонов, тс	Весовая категория вагонов		Числовые характеристики распределения w_0 , кгс/тс	
	Наименование	Обозначение	Среднее значение $\overline{w_0}$	Среднее квадратическое отклонение σ_w
До 28	Легкая	Л	1,75	0,67
28 – 44	Легко-средняя	ЛС	1,54	0,59
44 – 60	Средняя	С	1,40	0,50
60 – 72	Средне-тяжелая	СТ	1,25	0,38
Свыше 72	Тяжелая	Т	1,23	0,35

При выполнении горочных конструктивных и технологических расчетов (кроме расчета высоты горки) значения основного удельного сопротивления движению расчетных бегунов (очень плохого - ОП, плохого - П, хорошего - Х, очень хорошего - ОХ) принимаются по табл.

Характеристики бегунов	Расчетные бегуны			
	ОП	П	Х	ОХ
Расчетный вес q , тс	22	25	70	85
Основное удельное сопротивление w_0 , кгс/тс	4,5	4,0	0,8	0,5

Потери энергетической высоты от основного сопротивления движению, м.Эн.в, пропорциональны длине пути скатывания вагона (l) и определяются из выражения

$$h_{w_0} = l w_0 \cdot 10^{-3}$$

Б. Сопротивление от воздушной среды и ветра определяется по формуле

$$\pm w_{св} = c v_{от}^2,$$

где c – приведенный коэффициент воздушного сопротивления;

$v_{от}$ – относительная (результатирующая скорость) вагона (отцепа) с учетом направления ветра, м/с.

Знак $w_{св}$ в формуле принимается согласно знаку выражения $(v \pm v_B \cos \beta)$.

Значения коэффициента c :

– для одиночных вагонов

$$c = \frac{17,8 c_x S}{(273 + t) q};$$

– для отцепов из нескольких вагонов

$$c = 17,8 \frac{c_x S + \sum_{j=1}^k c_{xyj} S_j}{(273 + t) \sum_{j=1}^k q_j},$$

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

c_{xj} – коэффициент воздушного сопротивления j -го вагона в отцепе (кроме первого);

S, S_j – площадь поперечного сечения соответственно одиночного (или первого) вагона в отцепе и последующих вагонов в отцепе, m^2 ;

q – вес вагона, тс;

$\sum_1^k q_j$ – вес отцепа из k вагонов, тс;

Коэффициенты c_x и c_{xj} принимаются по табл. 1.5 в зависимости от рода вагона и угла α (угол между результирующей относительной скорости $v_{от}$ и направлением скатывания отцепа).

Скорость $v_{от}$ и угол α :

$$v_{от}^2 = v^2 + v_B^2 \pm 2vv_B \cos \beta;$$

$$\alpha = \arcsin \frac{v_B \sin \beta}{v_{от}},$$

где v – средняя скорость скатывания отцепа на участке, м/с;

v_B – скорость ветра, м/с;

β – угол между направлением ветра и осью участка пути, по которому движется вагон (отцеп).

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

$$v_{от} = v \pm v_B;$$

$$\alpha = \beta/2.$$

В приведенных формулах знак «+» следует принимать при встречном ветре, знак «-» при попутном.

Для определения встречных и попутных направлений ветра может быть использован график, называемый розой ветров, характеризующий величину и направление скорости, а также повторяемость ветра в данной местности обычно на высоте около 15 м над уровнем земли.

Роза ветров составляется по данным наблюдений за последние пять лет, которые ведут метеорологические станции, расположенные вблизи проектируемого объекта. Для уровня

спускной части горки указанные параметры рекомендуется принимать в размере 0,7 величины, взятой по розе ветров, ориентированной относительно направления сортировки.

Так как сопротивление от среды и ветра действует на всем пути скатывания вагона l , то потери энергетической высоты на преодоление этого сопротивления составят, м.

$$h_{w_{CB}} = h_{w_{CB}} \cdot 10^{-3}$$

В. Сопротивление от стрелок и кривых

Сопротивление от кривых в пути (включая кривые стрелочных переводов) возникают от трения в шкворневых узлах вагонов при входе и выходе из кривой и от трения о наружный рельс кривой колес, прижимаемых к нему действием инерционной центробежной силы. Зависит оно в основном от скорости вагона, так же, как и сопротивление от ударов об остряки и крестовины на стрелках.

Удельная работа сил сопротивления движению вагона от кривой определяется по формуле:

$$h_{w_k} = 0,23v^2\alpha_k \cdot 10^{-3},$$

где v – средняя скорость движения вагона в кривой, м/с;

α_k – угол поворота кривой, град.

Удельная работа сил сопротивления движению вагона от стрелочных переводов рассчитывают по формуле:

$$h_{w_c} = 0,56v^2 \cdot 10^{-3},$$

где v – средняя скорость движения вагона по стрелке, м/с.

Г. Сопротивление от снега и инея

Удельное сопротивление движению вагона от снега и инея следует учитывать для зимних условий в пределах стрелочной зоны и на сортировочных путях и устанавливать в зави-

симости от весовой категории вагонов и температуры наружного воздуха согласно табл.

Удельная работа сил сопротивления движению вагона от снега и инея определяется по формуле:

$$h_{w_{\text{сн}}} = lw_{\text{сн}} \cdot 10^{-3}$$

ТЕСТИРОВАНИЕ ПО ЛЕКЦИИ

<https://onlinetestpad.com/czbp3bfr5ievw>



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Железнодорожные станции и узлы: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / В.Г. Шубко, Н.В. Правдин, Е.В. Архангельский, В.Я. Болотный, В.А. Бураков, С. П. Вакуленко, В.А. Персианов.; под. ред. В.Г. Шубко и Н.В. Правдина. – М.: УМК МПС России, 2002. – 368 с.

2 Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы): учебник / Н.В. Правдин, С.П. Вакуленко, А.К. Головнич и др.; под ред. Н.В. Правдина и С.П. Вакуленко. М.: ФГБОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2012. - 1086 с.

3 Железнодорожные станции и узлы: Савченко И.Е., Земблинов С.В., Страковский С.В. Транспорт. Москва. 1980. - 479 с.

4 https://vk.com/club193374412?w=wall-193374412_459