



Совершенствование методики расчёта параметров сортировочных горок



Иван СТАРШОВ



Валерий КОБЗЕВ



Евгений СЫЧЁВ

Старшов Иван Петрович – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
Кобзев Валерий Анатольевич – Проектно-конструкторское бюро по инфраструктуре – филиал ОАО «РЖД», Москва, Россия.
Сычёв Евгений Иванович – Российский университет транспорта, Москва, Россия*.

В работе представлен новый подход к выбору расчётных нормативов при проектировании сортировочных горок, которые являются одним из важнейших элементов железнодорожных станций. Высота сортировочных горок является определяющим параметром в обеспечении успешной и безопасной работы по расформированию составов на станциях. Наибольшее влияние на расчётную высоту сортировочных горок оказывают длина пробега и величина основного удельного сопротивления движению расчётных бегунов.

В связи с изменением в настоящее время структуры перерабатываемого вагонопотока на станциях требуется пересмотр существующих методик. Целью исследования является пересмотр существующей методики выбора расчётного бегуна и расчётной точки при определении расчётной высоты сортировочных горок.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, станция, сортировочная горка, вагон, расчётный бегун, параметры сортировочных горок, методика расчёта.

По результатам проведённого с использованием методов статистического и математического анализа исследования вес расчётного бегуна предлагается определять по средней величине всего вагонопотока, перерабатываемого на сортировочной горке, а расчётную длину пробега и расчётную точку принимать с учётом полезной длины и уклонов сортировочных путей. Применение предложенных изменений в методике определения потребной высоты сортировочных горок будет способствовать повышению эффективности и безопасности их работы. Методология исследования, при том, что непосредственно цифровые выводы предназначены для использования на российских железных дорогах, тем не менее может быть применена при проведении аналогичного анализа в условиях любых других железных дорог.

*Информация об авторах:

Старшов Иван Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры железнодорожных станций и транспортных узлов Российского университета транспорта, Москва, Россия, ivstarshov@gmail.com.

Кобзев Валерий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, ведущий технолог Проектно-конструкторского бюро по инфраструктуре – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия, vkobzev46@yandex.ru.

Сычёв Евгений Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры железнодорожных станций и транспортных узлов Российского университета транспорта, Москва, Россия, sychevei@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 15.11.2018, актуализирована 18.02.2019, принята к публикации 25.05.2019.

For the English text of the article please see p. 94.

Сортировочные горки являются одним из важнейших элементов железнодорожных станций по расформированию и формированию вагонопотоков на сети железных дорог. Определяющим параметром в обеспечении успешной и безопасной работы по расформированию составов на станциях является потребная высота сортировочных горок, которая зависит от многих факторов: особенностей перерабатываемого вагонопотока, ходовых свойств вагонов, характеристик пути, метеорологических условий. Наибольшее влияние на высоту сортировочных горок, как показывают опыт и соответствующие результаты статистического и математического анализа, оказывают расчётная длина пробега вагонов и величина основного удельного сопротивления движению расчётных бегунов.

В литературных источниках и российских действующих нормативных документах по проектированию сортировочных устройств [1–5] расчётная высота сортировочных горок (H_p) определяется по условию докатывания расчётного бегуна (типа вагона и его массы) до расчётной точки (РТ) с учётом его ходовых свойств, характеристик пути, кривых и стрелок, метеорологических данных, соответствующих расчётному месяцу:

$$H_p = 1,75 \left[L_p w_0 + \sum_{i=1}^K (l_i w_{cn,i} + 0,56 v_i^2 n_{ci} + 0,23 v_i^2 \alpha_{ki}^o) \right] \cdot 10^{-3} + L_{cn} w_{cn} \cdot 10^{-3} - \frac{v_0^2}{2g'}, \text{ м}, \quad (1)$$

где 1,75 – коэффициент отклонения расчётных значений удельных сопротивлений движению от их средних значений;

L_p – расчётная длина пробега вагона от вершины горки до РТ, м;

w_0 – основное удельное сопротивление движению вагонов, кгс/тс;

w_{cb} – удельное сопротивление движению вагона от воздушной среды и ветра, кгс/тс;

$0,56 v_i^2 \cdot 10^{-3}$ – средняя удельная работа сил

сопротивления движению вагона от ударов об остряки, крестовину и контррельсы одного стрелочного перевода, м эн. в.;

v_i – средняя скорость движения вагона на расчётном i -ом участке, м/с;

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

$0,23 v_i^2 \cdot 10^{-3}$ – средняя удельная работа

(в метрах энергетической высоты) сил сопротивления движению вагона на роликовых

подшипниках в кривых участках пути на каждый градус угла поворота;

α_{ki}^o – сумма углов поворота в (градусах)

в кривых, включая переводные кривые стрелочных переводов, на расчётном i -ом участке;

L_{cn} – расстояние от начала головного стрелочного перевода пучка сортировочных путей до расчётной точки, м;

w_{cn} – среднее удельное сопротивление движению вагона от снега и инея;

$\frac{v_0^2}{2g'} = h_o$ – энергетическая высота (удельная

кинетическая энергия), соответствующая расчётной скорости роспуска состава м эн.в.;

v_0 – расчётная скорость роспуска состава, м/с;

$g' = g/(1 + g)$ – величина ускорения силы тяжести вагона с учётом влияния инерции его вращающихся масс, м/с²;

$g = 0,42 n_0/q$ – коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся масс вагона;

n_0, q – соответственно число осей и вес расчётного бегуна брутто, тс.

Расчётная точка (РТ) принимается на расчётном трудном (по условиям движения вагонов по уклонам, кривым и стрелочным участкам) сортировочном пути на расстоянии 50 метров от выходного конца парковой тормозной позиции, при этом полезная длина парковых путей не учитывается.

Вес расчётного бегуна устанавливается [5, с. 25] на основании анализа структуры вагонопотока, перерабатываемого на горке в наиболее напряжённый и неблагоприятный период года. Если перерабатываемый вагонопоток относится к смешанному типу (число легковесных вагонов составляет более 10 %), то вес расчётного бегуна принимается как средневзвешенное значение веса вагона в выделенной группе легковесных вагонов. Если перерабатываемый вагонопоток относится к гружёному типу (число легковесных вагонов менее 10 %), то вес расчётного бегуна принимается как средневзвешенное значение веса вагона в выделенной группе (около 10 % вагонопотока), состоящей из вагонов лёгкой и средней весовых категорий.

Основное удельное сопротивление движению вагонов при скатывании их с горки рассматривается как случайная величина, распределение которой можно аппроксимировать гамма-распределением [5, с. 20; 6, с. 127]. Численные значения w_0 принимаются вне за-



**Числовые характеристики распределения w_0 , (кгс/тс)
для различных весовых категорий вагонов**

Диапазон веса вагонов, q , тс	Весовая категория вагонов		Числовые характеристики распределения w_0 , кгс/тс	
	Наименование	Обозначение	Среднее значение w_0	Среднее квадратичное отклонение
До 28	Лёгкая	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-тяжёлая	СТ	1,25	0,38
Свыше 72	Тяжёлая	Т	1,23	0,35

висимости от температуры наружного воздуха применительно к весовым категориям одиночных вагонов в соответствии с таблицей 1.

При выполнении горочных конструкторских и технологических поверочных расчётов значения основного удельного сопротивления w_0 движению расчётных бегунов обычно принимаются следующими:

- очень плохой бегун (ОП) – 4,5 кгс/тс; плохой бегун (П) – 4,0 кгс/тс;
- хороший бегун (Х) – 0,8 кгс/тс; очень хороший бегун (ОХ) – 0,5 кгс/тс, то есть общий разброс сопротивлений движению достаточно большой.

Для более точного учёта влияния веса вагонов основное удельное сопротивление движению вагонов и среднее квадратичное отклонение могут рассчитываться по формулам:

$$w_0 = 188/q + 80, \quad (2)$$

$$\sigma_w = 67/q + 80. \quad (3)$$

Практика показывает, что наибольшее влияние (60–65 %) на высоту сортировочных горок оказывают расчётная длина пробега и величина основного удельного сопротивления движению, поэтому выбор и обоснование этих величин является важным фактором в определении оптимальных параметров горки.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНИВШИХСЯ УСЛОВИЙ

В настоящее время существенно изменились эксплуатационные условия работы железных дорог России [7, с. 12; 8, с. 34], поэтому выбор только 10 % вагонопотока при определении расчётной величины w_0 не отражает современные реальные условия работы горок. Так, при переходе в период 2004–2012 гг. российских железных дорог к работе с приватным вагонным парком множественность операторов подвижного состава привела к росту до 41 % порожнего пробега вагонов. При этом существенно из-

менилась и структура перерабатываемого вагонопотока на станциях (таблица 2).

Сегодня нередки случаи, когда легковесные вагоны составляют более половины общего объёма поступающих на сортировочные горки, тогда как ранее этот показатель был в 2–3 раза меньше. В сложившихся условиях существующая расчётная высота большинства сортировочных горок оказывается недостаточной. В результате значительная часть порожних вагонов не добегают далее середины сортировочных путей. Для их осаживания приходится производить дополнительную маневровую работу в сортировочном парке. На основании изложенного можно заключить, что существующая методика выбора расчётного бегуна и расчётной точки при определении расчётной высоты сортировочных горок требует пересмотра.

Таким образом, целью исследования является пересмотр существующей методики выбора расчётного бегуна и расчётной точки при определении расчётной высоты сортировочных горок.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА

Вес расчётного бегуна предлагается определять по средней величине всего вагонопотока (n), перерабатываемого на горке в наиболее напряжённый и неблагоприятный период года, а не по выделенной группе вагонов, то есть:

$$q_p^c = \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{n}, \quad (4)$$

и далее по таблице 1 или формуле (2) определять среднюю расчётную величину w_0^c .

Расчётную длину пробега ($l_{пр}$) и расчётную точку предлагается принимать с учётом всей полезной длины ($l_{сн}$) сортировочных путей от парковой тормозной позиции до противоуклона. В этом случае полная расчётная длина пробега с учётом расстояния от вершины гор-

Изменение структуры перерабатываемых вагонопотоков (в %) на сортировочных горках в разные годы их эксплуатации

Весовая категория, тс	1970 год	1990 год	2016 год
Лёгкая (до 28)	17 %	7,3 %	61 %
Легко-средняя (28–44)	15 %	2,7 %	4 %
Средняя (44–60)	18 %	25 %	8 %
Тяжёлая (свыше 72)	50 %	65 %	27 %

ки до парковой тормозной позиции $l_{вр}$ будет равна:

$$l_{рп} = l_{вр} + l_{сп} \quad (5)$$

Расчётную высоту сортировочных горок следует определять по формуле:

$$H_p = [L_p \cdot w_o + \sum_{i=1}^k (l_i w_{св,i} + 0,56v_i^2 n_{св,i} + 0,23v_i^2 \alpha_{св,i}^0)] 10^{-3} + L_{сн} w_{сн} 10^{-3} - \frac{v_o^2}{2g}, \quad (6)$$

где $L_p = l_{рп} = l_{вр} + l_{сп}$ – полная расчётная длина пробега вагона от вершины горки до расчётной точки в конце сортировочных путей;

$w_o = w_o^c$ – средняя величина основного удельного сопротивления движению вагонов, соответствующая средней величине (q_p^c) всего вагонопотока расчётного месяца.

Предварительные оценки показывают, что изменение высоты сортировочных горок при расчёте по формуле (6) может составлять ± 10 – 20 % по сравнению с величинами, рассчитанными по формуле (1). При этом расчёты по формуле (6), по нашему мнению, являются более точными, т.к. в ней учитываются полные реальные вагонопотоки и полезная длина сортировочных путей.

ВЫВОДЫ

1. Опыт работы и проектирования сортировочных горок показал, что наибольшее влияние на их основные определяющие параметры (высоту и продольный профиль) оказывают расчётная длина пробега и величина основного удельного сопротивления движению расчётных бегунов.

2. В настоящее время, в связи с переходом ОАО «РЖД» к работе с частным вагонным парком наблюдается рост порожнего пробега вагонов (до 41 %) и, соответственно, существенное изменение структуры вагонопотоков на станциях, что требует пересмотра методики расчёта и нормативного документа [5] по проектированию сортировочных горок.

3. В связи с изменением структуры вагонопотоков на станциях ОАО «РЖД» вес

расчётного бегуна на сортировочной горке предлагается определять по средней величине всего вагонопотока, перерабатываемого на горке в наиболее напряжённый и неблагоприятный период года, а расчётную длину пробега и расчётную точку принимать с учётом полезной длины сортировочных путей.

Применение предложенных изменений методики расчёта будет способствовать оптимизации работы сортировочных горок, сокращению эксплуатационных расходов и повышению безопасности отпуска.

Методология исследования, при том, что непосредственно цифровые выводы предназначены для использования на российских железных дорогах, тем не менее может быть применена при проведении аналогичного анализа в условиях любых других железных дорог.

ЛИТЕРАТУРА

- Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР. ВСН 56–78. – М.: Транспорт, 1978. – 175 с.
- Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы): Учебник под ред. Н. В. Правдина и С. П. Вакуленко. – М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. – 1086 с.
- Шейкин В. П. Эксплуатация механизированных сортировочных горок. – М.: Транспорт, 1992. – 240 с.
- Родимов Б. А., Павлов В. Е., Прокинова В. Д. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных горок. – М.: Транспорт, 1980. – 96 с.
- Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. – М.: Техинформ, 2003. – 168 с.
- Чистяков В. П. Курс теории вероятностей / 8 изд., испр. – М.: URSS, 2015. – 304 с.
- Шапкин И. Н., Юсипов Р. А., Кожанов Е. Н. Нормирование и прогнозирование на железных дорогах: методы, алгоритмы, технология расчёта. – М.: ИСПИ РАН, 2006. – 265 с.
- Шенфельд К. П., Сотников Е. А. Развитие методов управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте в современных условиях. – М.: Научный мир, 2015. – 200 с.
- Рудановский В. М., Старшов И. П., Кобзев В. А. О попытке критики теоретических положений динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки // Бюллетень транспортной информации. – 2016. – № 6. – С. 19–28.

