

УДК 656.212.5

А. А. КЛИМОВ

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
aklimov@ngs.ru*

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ВАГОНПОТОКОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрен процесс переработки вагонопотоков на сортировочных горках с точки зрения обеспечения безопасности маневровой работы. Приведены причины возникновения случаев нарушения скоростного режима скатывания отцепов с горки в современных условиях. Определены возможные нарушения безопасности процесса переработки вагонопотоков на надвижной, перевальной, спускной частях горки и в сортировочном парке в зависимости от конструктивных параметров каждого элемента сортировочного комплекса. Установлены критерии оценки влияния конструктивных параметров горки на безопасность сортировочного процесса. Приведены результаты имитационного моделирования прохода сцепа вагонов через горб горки, скатывания отцепов, в том числе состоящих из инновационных вагонов, по спускной части горки, заполнения путей сортировочного парка. Указаны принципиальные характеристики конструктивных параметров элементов сортировочного комплекса и другие факторы, которые могут привести к возникновению случаев нарушения безопасности сортировочного процесса.

Статистические данные по обеспечению безопасности маневровой работы на общей сети железных дорог в Российской Федерации показывают, что наибольшее число случаев нарушения безопасности движения в хозяйстве перевозок связано с производством сортировочной работы. По-прежнему наибольшее количество столкновений подвижного состава по вине работников хозяйства перевозок, в том числе с повреждением вагонов и находящихся в них грузов, фиксируются при производстве маневровой работы на сортировочных горках.

В ОАО «РЖД» реализована программа механизации и автоматизации сортировочных горок, в результате которой произведена модернизация технического оснащения и автоматизация сортировочных горок основных технических станций сети. Это позволило существенно снизить влияние человеческого фактора на процесс роспуска составов и повысить уровень безопасности сортировочного процесса в целом. Однако случаи нарушения безопасности маневровой работы при расформировании составов на сортировочных горках и вытяжных путях встречаются и в современных условиях эксплуатации.

Возникающие случаи соударения вагонов при роспуске, в том числе с повышенными скоростями, в основном являются следствием нарушения скоростного режима скатывания отцепов на отдельных участках маршрута следования, а для автоматизированных сортировочных горок – следствием отклонения от расчетных фазовых траекторий скатывания отцепов, которые не могут быть откорректированы за счет использования адаптивных элементов системы горочной автоматики.

Причины возникновения случаев нарушения скоростного режима скатывания отцепов можно сгруппировать по следующим направлениям:

1) конструктивные параметры продольного профиля сортировочной горки и путей сортировочного парка, в том числе:

– отклонение фактического продольного профиля от проектного, возникающие, как правило, в процессе эксплуатации между периодами выполнения ремонтных работ и выправки профиля;

– полное или частичное несоответствие проектного продольного профиля правилам и нормам проектирования, что также может встречаться при расположении станции в трудных местных условиях, при которых решение задачи приведения конструктивных параметров продольного профиля горки в соответствие нормативным требованиям связано со значительными затратами;

2) технические средства регулирования скорости скатывания отцепов, включающие различные устройства горочной механизации и системы горочной автоматики. Существенное влияние на эффективность процесса торможения отцепов при скатывании с горки оказывают:

– несвоевременность технического обслуживания средств механизации, что может приводить к появлению случаев значительного отклонения величины тормозного эффекта от расчетного, заложенного в системе горочной автоматики с последующим нарушением скоростного режима скатывания отцепов;

– условия внешней среды местности расположения станции. Так, на многих сортировочных горках регламентирован порядок торможения отцепов в определенные периоды суток, например, с 5 до 7 часов утра в летний период, когда образуется роса, или при дожде, что приводит к снижению тормозного эффекта;

– загрязненность боковых поверхностей колес, что часто встречается на сортировочных станциях, обслуживающих пункты налива-слива нефтепродуктов, когда на горку попадают отцепы с «замазутченными» колесными парами, при торможении которых тормозной эффект значительно снижается;

3) современная структура перерабатываемого вагонопотока, в том числе:

– смена преобладающего направления грузопотоков (практически все эксплуатируемые сортировочные горки были построены в советский период, а в настоящее время преимущественные направления следования груженых и порожних вагонов в основном изменились), в результате отдельные

горки, рассчитанные на переработку, например, порожних вагонопотоков в настоящее время перерабатывают преимущественно груженный вагонопоток, и наоборот;

- обновление вагонного парка и значительное усовершенствование конструкции вагонов, которое привело к снижению основного удельного сопротивления движению вагонов при скатывании с горки, от значения которого существенно зависят конструктивные и технологические параметры сортировочных комплексов;

- появление инновационных вагонов с повышенной осевой нагрузкой 25 и 27 т/ось, что требует пересмотра условий расчета конструктивных параметров продольного профиля горок и их технических средств (в настоящее время продолжают исследования по определению целесообразности дальнейшего повышения осевых нагрузок вагонов);

- разработка конструкций вагонов новых типов: восьмиосных; инновационных; вагонов сочлененного типа; имеющих особенности прохождения отдельных элементов сортировочной горки, учет которых необходимо производить на стадии расчета проектного продольного профиля, а также при разработке плана горочной горловины;

4) человеческий фактор, особенно на неавтоматизированных сортировочных горках, влияние которого также имеет свои особенности для работы:

- оперативного персонала, работающего на горочных постах;

- маневровых бригад (машинистов маневровых локомотивов и составителей поездов);

- регулировщиков скорости движения вагонов;

5) метеорологические условия местности расположения сортировочной горки, в том числе:

- ветровые нагрузки, особенно часто сменяющиеся по направлению воздействия порывы ветра, имеющие вероятностный и малопрогнозируемый характер, которые оказывают значительное влияние на итоговую скорость скатывания конкретного отцепа;

- направления преимущественных ветров, которые в совокупности с наличием высоких скоростей или порывов ветра могут приводить к разгону отцепов или их остановке и последующего движения в обратном направлении, например, в сортировочном парке (такие случаи могут привести к наиболее тяжелым по последствиям нарушениям безопасности сортировочного процесса на станции);

- температура наружного воздуха, полярные экстремумы которой имеют различный характер воздействия на процесс роспуска (например, при аномально высоких температурах возникают сложности при отрыве отцепов от составов и повышается вероятность нерасцепа вагонов; при экстремально низких температурах критичными являются динамические нагрузки, при которых существенно возрастает вероятность повреждения вагонов при соударении).

Указанные причины нарушения скоростного режима скатывания отцепов с горки и поиск вариантов решений по минимизации возможных последствий их негативного влияния требуют более глубоких исследований по каждому обозначенному направлению.

В таблице 1 представлены конструктивные параметры продольного профиля сортировочной горки и путей сортировочного парка, которые целесообразно рассматривать системно, в масштабе всего сортировочного комплекса при исследовании процесса переработки вагонопотоков.

Таблица 1 – Характеристика конструктивных параметров продольного профиля элементов сортировочного комплекса

Элемент сортировочного комплекса	Эксплуатационные требования к продольному профилю элемента	Конструктивные особенности элемента	Возможные нарушения безопасности процесса или затруднения при эксплуатации
Надвижная часть горки	Бесперебойный надвиг составов с минимальными интервалами между ними	Наличие противуклона у вершины горки со стороны парка приема для удобства расцепки вагонов; ограничения по уклонам, проверяемые на возможность трогания с места полновесного состава после остановки у вершины горки	Невозможность трогания полновесного состава после остановки, из-за чего при надвиге могут использоваться электровозы, что приводит к необходимости специализации горочных локомотивов и снижению показателей эффективности их использования
Перевальная часть горки	Гарантированное разъединение отцепов в месте расцепки и образование начального пространственно-временного интервала между смежными отцепами	Жесткое нормирование минимальных и максимальных значений радиусов вертикальных кривых надвижной ($R_{\text{надв}}$) и спускной ($R_{\text{спуск}}$) частей. Выполнение условия $R_{\text{надв}} \geq R_{\text{спуск}}$ с целью создания благоприятных условий отрыва и разгона отцепов	Саморасцепы вагонов внутри многовагонного отцепа; повреждение автосцепных устройств; нерасцепы вагонов в месте расцепки, возникающие вследствие следующих основных причин: – несоответствие конструкции перевальной части нормативным требованиям; – неподход центров осей автосцепок вагонов более чем на 100 мм

Продолжение таблицы 1

Элемент сортировочного комплекса	Эксплуатационные требования к продольному профилю элемента	Конструктивные особенности элемента	Возможные нарушения безопасности процесса или затруднения при эксплуатации
Спускная часть горки	Обеспечение заданных пространственно-временных интервалов между смежными отцепами на отдельных элементах. Динамичное скатывание отцепов и обеспечение максимальной перерабатывающей способности сортировочной горки в целом	Вогнутое очертание продольного профиля, нормирование длин и уклонов элементов профиля для обеспечения плавности скатывания отцепов и минимизации дополнительных потерь энергии их движения	Остановки отцепов, нагоны одного отцепа другим (в том числе с соударением вагонов с повышенной скоростью). Нарушения программы роспуска и появление «чужаков». Выдавливание вагонов на тормозных позициях и их последующий сход. Зацентрирование осей автосцепок при нагоне вагонов в пределах критических малого радиуса
Сортировочный парк до противоклона	Заполнение путей накопления с минимальным количеством осаживаний и исключением случаев соударения вагонов с повышенной скоростью	Ускоряющий уклон сортировочного пути (0,6 %) в направлении скатывания вагонов для обеспечения заполнения путей без образования пространственных промежутков между вагонами или с минимальным количеством и длиной «окон»	Как правило, отсутствие средств регулирования скорости движения отцепов после парковой тормозной позиции. Ограниченная длина зоны качественного прицельного торможения, в результате чего увеличивается вероятность образования «окон» или соударения вагонов с повышенной скоростью. Наличие участков путей с противоклонами способствует движению вагонов в обратном направлении, что увеличивает вероятность повреждения подвижного состава и находящихся в них грузов

Окончание таблицы 1

Элемент сортировочного комплекса	Эксплуатационные требования к продольному профилю элемента	Конструктивные особенности элемента	Возможные нарушения безопасности процесса или затруднения при эксплуатации
Выходная часть сортировочного парка (противоуклон)	Исключение возможности выхода отцепов или накапливаемой группы вагонов (состава) за пределы полезной длины путей сортировочного парка	Наличие противоуклона крутизной 2 ‰ и длиной 100 м в выходной части сортировочного пути	Отсутствие противоуклона или не соответствие его параметров нормативным требованиям повышает вероятность выхода отцепов или накапливаемой группы вагонов за пределы полезной длины. Наличие противоуклона большей протяженности или с большим значением уклона будет способствовать движению вагонов в обратном направлении навстречу очередным отцепам

Анализ причин и характеристика возможных последствий возникновения случаев нарушения безопасности сортировочного процесса при частичном или полном несоответствии конструктивных параметров продольного профиля нормативным требованиям выполнен для каждого элемента сортировочного комплекса, приведенного в таблице 1.

1 Надвижная и перевальная части горки. Условная граница надвижной и спускной частей горок устанавливается на вершине горки – в точке сопряжения радиусов вертикальных кривых $R_{\text{надв}}$ и $R_{\text{спуск}}$. Конструктивные параметры перевальной части горки включают очертание горба горки по вертикальным кривым со стороны надвижной и спускной частей на всём их протяжении. Устанавливаемые значения длин тангенсов вертикальных кривых зависят от крутизны уклонов смежных элементов продольного профиля надвижной и спускной частей $i_{\text{надв}}$, $i_{\text{спуск}}$ и радиусов в допустимом диапазоне. Следовательно, границы и длина перевальной части горки устанавливаются индивидуально для каждой сортировочной горки с учетом значений следующих конструктивных параметров:

$$f_{\text{пер}} = \{i_{\text{надв}}, R_{\text{надв}}, i_{\text{спуск}}, R_{\text{спуск}}\}. \quad (1)$$

Принципиальная схема для определения границ перевальной части горки приведена на рисунке 1.

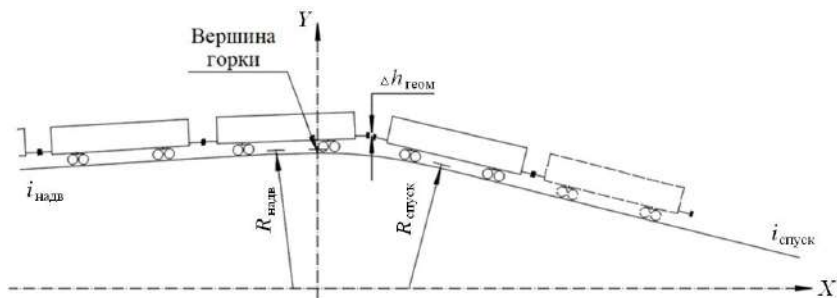


Рисунок 1 – Схема для определения границ перевальной части сортировочной горки

С точки зрения обеспечения безопасности сортировочного процесса параметры накатной и перевальной частей горки следует рассматривать совместно с прилегающими прямолинейными участками накатной и спускной частей. Выполненное имитационное моделирование процесса прохождения отцепов через гребень сортировочной горки показало, что основным критерием, характеризующим проход сцепленных вагонов через гребень горки без появления случаев саморасцепа или нерасцепа вагонов, а также повреждения их автосцепных устройств, является величина дополнительного вертикального смещения центров взаимодействующих автосцепок $\Delta h_{\text{геом}}$ (см. рисунок 1), [1]. Указанный критерий зависит от конфигурации продольного профиля перевальной части горки и прилегающих к ней элементов, а также наличия и величины местных искажений профиля, образующихся в процессе эксплуатации. Оценку влияния конструктивных параметров перевальной части горки на безопасность сортировочного процесса целесообразно выполнять по критериям, приведенным в таблице 2.

Приведенные в таблице 2 формулы можно использовать для расчета вероятностей возникновения как саморасцепов, так и нерасцепов вагонов, так как совмещение указанных явлений на одном гребне горки практически не встречается в силу различной полярности значений радиусов вертикальных кривых (в области допустимых значений), способствующих возникновению указанных событий.

2 Спускная часть горки. В настоящее время это наиболее исследованный конструктивный элемент сортировочного комплекса. С точки зрения обеспечения безопасности сортировочного процесса условия пропуска отцепотока по спускной части являются наиболее сложными, так как именно на этом элементе реализуются максимальные скорости скатывания отцепов. Причины возникающих здесь нарушений безопасности роспуска в основном связаны с ошибками оперативного персонала или отказами технических средств.

Таблица 2 – Критерии оценки влияния конструктивных параметров перевальной части горки на безопасность сортировочного процесса

Условное обозначение	Критерий	Характеристика
$P_1^{пч}$	Вероятность возникновения случаев саморасцепа вагонов	Определяется на основании моделирования процесса прохождения отцепов через горб горки или по формуле* $P_1^{пч} = \frac{O_{факт} - O_{расч}}{O_{расч}}$
$P_2^{пч}$	Вероятность возникновения сверхнормативных нагрузок на автосцепные устройства вагонов	Определяется на основании моделирования процесса прохождения отцепов через горб горки и показывает долю перерабатываемого вагонопотока, у которого при прохождении горба горки возникают сверхнормативные нагрузки на автосцепные устройства из-за имеющихся отклонений конструкции продольного профиля
$P_3^{пч}$	Вероятность возникновения случаев нерасцепа вагонов	Определяется на основании моделирования процесса прохождения отцепов через горб горки или по формуле $P_3^{пч} = \frac{O_{расч} - O_{факт}}{O_{расч}}$
* $O_{расч}$, $O_{факт}$ – соответственно расчетное и фактическое число отцепов, проходящих через горб горки за исследуемый период.		

Влияние конструктивных параметров спускной части горки на безопасность процесса роспуска оценивается на стадии расчета потребных параметров продольного профиля, которые должны обеспечивать решение следующих задач при последующей эксплуатации:

Задача 1. Обеспечение потребной дальности пробега отцепов в сортировочный парк. Данная задача решается путем проверки докатывания расчетного бегуна (*ОП* – очень плохого, имеющего наихудшие ходовые свойства) до расчетной точки при скатывании по трудному пути горочной горловины в неблагоприятных условиях внешней среды. Указанная постановка задачи позволяет обеспечить при эксплуатации прохождения отцепами стрелочной зоны, предпаркового элемента продольного профиля и парковой тормозной позиции с исключением случаев остановки отцепов до выхода в сортировочный парк.

Задача 2. Проверка мощности тормозных средств. Высота горки и конструктивные параметры спускной части рассчитываются с учетом наличной мощности тормозных позиций, при этом проверка мощности тормозных средств производится для отцепа, имеющего наилучшие ходовые свойства (*ОХ-100* – очень хорошего расчетного бегуна массой 100 т). Проверка вы-

полняется при скатывании отцепа по легкому пути горочной горловины в расчетных благоприятных условиях внешней среды.

Задача 3. Обеспечение интервального регулирования скатывания отцепов. При решении данной задачи проверяется возможность образования требуемых пространственно-временных интервалов между последовательно скатывающимися отцепами расчетного сочетания по одному маршруту в пределах горочной горловины на соседние пути сортировочного парка.

Указанные задачи и методы их решения были разработаны для условий обращения на сети парка вагонов с осевой нагрузкой 23,5 т/ось. Для этих условий максимальная масса одиночного четырехосного вагона составляла 94 т и использование расчетного бегуна *ОХ-100* (массой 100 т) предусматривало наличие определенного резерва мощности тормозных средств. В современных условиях увеличивается доля инновационных вагонов с повышенной осевой нагрузкой, обращающихся на общей сети железных дорог, масса которых может превышать 100 т.

Очевидно, что современные вагоны имеют лучшие ходовые свойства, которые выражаются меньшим значением основного удельного сопротивления (w_0) движению вагона при скатывании с горки. Для определения числовых характеристик плотности распределения удельного сопротивления движению современных вагонов требуются дополнительные исследования. Минимальная граница данного вида сопротивления движению в последней редакции правил и норм проектирования сортировочных устройств установлена на уровне $w_0 = 0,5$ Н/кН, [2]. В качестве примера для оценки влияния конструктивных параметров спускной части горки использованы значения параметра w_0 на уровне 0,3 и 0,1 Н/кН.

Увеличение в структуре перерабатываемого вагонопотока доли современных вагонов, в том числе инновационных, будет способствовать увеличению дальности проследования отцепов и снижению вероятности возможной остановки отцепа до выхода с парковой тормозной позиции (задача 1).

При решении задачи 2 (скатывания вагонов с осевой нагрузкой 25 т/ось – массой 100 т) резерв мощности тормозных средств будет отсутствовать, а при наличии в перерабатываемом вагонопотоке инновационных вагонов с осевой нагрузкой 27 т/ось максимальная масса вагона составит 108 т, что превысит закладываемые в расчете параметры при решении задачи проверки мощности тормозных средств. Таким образом, на отдельных горках мощности тормозных средств может оказаться недостаточно, что приведет к увеличению вероятности возникновения нарушений безопасности сортировочного процесса на спускной части горки. Недостаточное торможение отдельных отцепов может приводить к нагонам, соударениям отцепов и повреждению вагонов и находящихся в них грузов.

Аналогичная ситуация может возникнуть при решении задачи интервального регулирования скатывания отцепов. При наличии в перерабатыва-

емом вагонопотоке инновационных вагонов увеличивается вероятность несоблюдения на разделительных элементах необходимых интервалов между отцепами вследствие того, что конструктивные параметры продольного профиля горки были рассчитаны без учета вагонов современного типа.

В качестве примера выполнено моделирование скатывания отцепов с различными характеристиками по спускной части горки средней мощности. Расчет траекторий скатывания отцепов выполнен методом имитационного моделирования в соответствии с вышеуказанными условиями решения соответствующих задач 1–3. Отцеп в данном случае представлен в виде шарнирно-осевой модели, перемещающейся по маршруту скатывания за счет результирующей силы F с шагом 1 см [3].

Кривые скорости скатывания отцепов при проверке мощности тормозных позиций приведены на рисунке 2. В данном случае при переработке на горке новых типов вагонов, в том числе инновационных, проверка мощности тормозных средств выполняется за счет имеющегося резерва наличной мощности замедлителей. Однако проверочные расчеты целесообразно выполнить и для других горок сети железных дорог, для которых может быть получен отрицательный результат. Оценку влияния конструктивных параметров спускной части горки на безопасность сортировочного процесса целесообразно выполнять по критериям, приведенным в таблице 3.

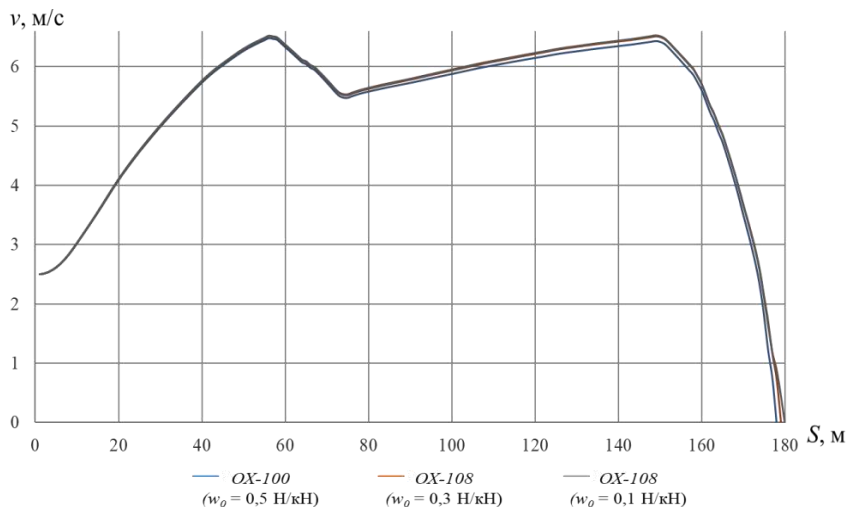


Рисунок 2 – Кривые скорости скатывания отцепов при проверке мощности тормозных позиций

Таблица 3 – Критерии оценки влияния конструктивных параметров спускной части горки на безопасность сортировочного процесса

Условное обозначение	Критерий	Характеристика
$P_1^{сч}$	Вероятность возможной остановки отцепа до парковой тормозной позиции	Определяется на основании моделирования процесса скатывания отцепов по спускной части. При наличии в горочной горловине кривых малого радиуса (особенно закрестовинных) вероятность будет увеличиваться, при наличии элементов ступенчатого продольного профиля в стрелочной зоне и на путях парка вероятность будет снижаться
$P_2^{сч}$	Вероятность недостаточной мощности тормозных средств	Определяется на основании моделирования процесса скатывания отцепов по спускной части или аналитически, после определения предельных характеристик отцепа, обеспечивающих решение данной задачи
$P_3^{сч}$	Вероятность несоблюдения на разделительных элементах необходимых интервалов между отцепами	Определяется на основании моделирования процесса скатывания отцепов по спускной части или графо-аналитическими методами

3 Сортировочный парк (участок до противоуклона в выходной части). На большинстве эксплуатируемых сортировочных горок на сети железных дорог Российской Федерации реализуется принцип интервально-прицельного регулирования скорости скатывания отцепов. В качестве технических средств регулирования скорости скатывания отцепов для большинства горок средней, большой и повышенной мощности используются замедлители, распределенные между двумя горочными тормозными позициями и одной парковой тормозной позицией. Причем парковые тормозные позиции оборудуются замедлителями меньшей мощности, что обусловлено значительным снижением скорости движения отцепов в парке по сравнению со спускной частью горки. После прохождения парковой тормозной позиции отцепы скатываются по свободному сортировочному пути, на котором, как правило, отсутствуют дополнительные средства регулирования скорости скатывания до выходной части пути, располагаемой на противоуклоне.

Важнейшим фактором, обеспечивающим безопасность процесса заполнения путей накопления, является продольный профиль путей сортировочного парка. Согласно действующим нормативам значение уклона сортировочного пути должно быть 0,6 ‰ по направлению скатывания отцепа на всем протяжении до выходного участка, располагаемого на противоуклоне [4]. На реальных сортировочных станциях обеспечить точное соответствие данному

требованию не представляется возможным, в том числе в связи с периодическими просадками участков путевого развития в процессе эксплуатации, приводящими к изменению фактического высотного положения путей. В предметной области эксплуатации железных дорог горизонтальной площадкой считаются участки путей с значениями уклонов продольного профиля в диапазоне 0–0,5 ‰ [5]. Следовательно, указанное в нормах значение уклона сортировочных путей 0,6 ‰ можно трактовать как ускоряющий уклон, то есть уклон, способствующий продвижению вагона вглубь парка.

С точки зрения обеспечения безопасности процесса заполнения сортировочных путей скорость выхода каждого отцепа с парковой тормозной позиции должна определяться по условию его докатывания до ближайших вагонов, находящихся в парке, и соединения со скоростью не более 5 км/ч, что и реализуется в современных условиях за счет использования систем горочной автоматизации. Однако отсутствие дополнительных технических средств регулирования скорости скатывания отцепов в сортировочном парке приводит к невозможности корректировки скорости движения отцепа после выхода с парковой тормозной позиции и возникновению вероятности соударения вагонов с повышенными скоростями, а в отдельных случаях и к повреждению вагонов и находящихся в них грузов. Причина заключается в наличии ряда случайных факторов, приводящих к отклонению фактической скорости скатывания отцепов от расчетной, в том числе:

- случайного характера ходовых свойств каждого вагона и, как следствие, весьма значительного диапазона значений основного удельного сопротивления движению отцепа;
- случайного характера условий внешней среды, приводящего в отдельные периоды к дополнительному разгону отцепов (например, за счет возникновения порывов ветра);
- наличия в пределах основной части сортировочного пути участков с противоуклонами, на которых может произойти остановка отцепа и движение в обратном направлении, навстречу очередному отцепу;
- появления в структуре перерабатываемого вагонопотока новых типов вагонов, в том числе инновационных, имеющих значения основного сопротивления движению, выходящие за минимальные пределы расчетного диапазона.

Для оценки влияния продольного профиля сортировочного парка на безопасность процесса заполнения путей можно использовать основное уравнение движению вагона по участку наклонной плоскости l :

$$\frac{v_k^2}{2g'} - \frac{v_H^2}{2g'} = (i_{\text{сп}} - w_{\text{сум}})l \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где v_k и v_H – скорость движения отцепа соответственно в конце и начале участка, м/с; g' – ускорение свободного падения с учетом инерции враща-

ющихся частей вагона, м/с^2 ; $i_{\text{сп}}$ – уклон сортировочного пути, %; $w_{\text{сум}}$ – суммарное сопротивление движению отцепа, Н/кН .

Весьма интересным является соотношение параметров $i_{\text{сп}}$ и $w_{\text{сум}}$, которые находятся в одной скобке уравнения после преобразования известного выражения, описывающего действие сил на движущийся по наклонной плоскости отцеп. При малых углах наклона пути к горизонтальной плоскости, что характерно для сортировочных парков, значения $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha$. Как известно, $\text{tg } \alpha = i_{\text{сп}}$, поэтому применение указанного подхода в данном случае является допустимым. Ускоренное движение отцепа в сортировочном парке, а значит, и увеличение вероятности соударения вагонов с повышенной скоростью будет при выполнении условия

$$i_{\text{сп}} > w_{\text{сум}}. \quad (3)$$

Для оценки вероятности появления такого события выполнен расчет значений суммарного сопротивления движению вагонов ($w_{\text{сум}}$) для реальной станции, расположенной в Западно-Сибирском регионе. Расчет выполнен для одиночных вагонов, вероятность движения которых с повышенными скоростями выше, чем для отцепов из нескольких вагонов, у которых суммарное сопротивление движению смещается ближе к центральной части диапазона допустимых значений. Начальная скорость движения вагона (на выходе с парковой тормозной позиции) принималась $1,4 \text{ м/с}$, что соответствует допустимому значению скорости соединения вагонов. В результате получена плотность распределения величины ($w_{\text{сум}}$) (рисунок 3).

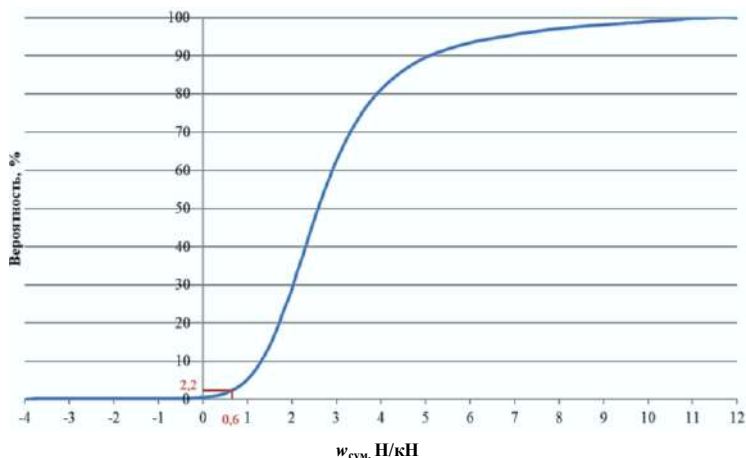


Рисунок 3 – Интегральная функция распределения суммарного сопротивления движению одиночных вагонов во всем диапазоне возможных значений

Согласно рисунку 3 вероятность того, что движение вагонов по участку пути с уклоном 0,6 ‰ будет ускоренным, составляет 2,2 ‰. Данное значение может быть несколько скорректировано с учетом возможного снижения скорости выхода таких отцепов с парковой тормозной позиции. Однако с учетом протяженности маршрута скатывания (800–1000 м) и при появлении в структуре перерабатываемого вагонопотока новых моделей вагонов можно сделать вывод, что полностью исключить возможность разгона отцепов в сортировочном парке без использования дополнительных средств регулирования скорости движения невозможно. Это также подтверждается наличием отрицательных значений параметра $w_{\text{сум}}$, что свидетельствует о возможности движения отцепов в обратном направлении при определенном (маловероятном) сочетании действующих на отцеп факторов.

4 Выходная часть сортировочного парка (участок противоуклона). Данный конструктивный элемент горочного комплекса предназначен для исключения возможности выхода накапливаемой на сортировочном пути группы вагонов за пределы полезной длины. Дополнительно с противоуклоном используются охранные тормозные башмаки, укладываемые в количестве двух единиц через 25 м друг от друга. Так, образуется весьма надежная система защиты, исключающая возможность выхода вагонов за пределы полезной длины сортировочных путей. Однако в практических условиях эксплуатации не всегда обеспечивается гарантированное решение данной задачи за счет наличия следующих основных факторов:

- значение крутизны противоуклона менее нормативного (2,0 ‰), длина участка противоуклона менее нормативного (100 м) или отсутствие этого элемента продольного профиля;

- высокий износ рельсов и несоблюдение требований содержания путей (в том числе, использование старогодных рельсов), приводящие к снижению трения скольжения тормозного башмака о рельс и соответственно к уменьшению тормозного эффекта (а в ряде случаев к его заклиниванию и возможному сходу подвижного состава);

- возникновение динамических нагрузок при соединении скатывающихся отцепов из нескольких вагонов (особенно груженых), способствующих смещению накапливаемой на сортировочном пути группы вагонов в сторону вытяжных путей формирования;

- наличие динамических нагрузок, возникающих при осаживании вагонов в сортировочном парке маневровым локомотивом с целью ликвидации образующихся при заполнении путей пространственных промежутков между вагонами («оконов»).

Возможна ситуация возникновения совокупности указанных факторов, при которой вероятность выхода накапливаемой группы вагонов за пределы

полезной длины сортировочного пути увеличивается. Не случайно на сортировочных станциях сети железных дорог применялась технология предварительной постановки «барьерных» групп при роспуске вагонов на свободный сортировочный путь. На многих сортировочных станциях для исключения выхода вагонов за пределы полезной длины в выходной части сортировочного парка устраиваются задерживатели типа БЗУ-ДУ.

С другой стороны, длина участка противоуклона может превышать нормативное значение. Если противоуклон устраивать протяженностью 200–300 м, то возникает вероятность обратного движения стоящих вагонов, навстречу следующим скатывающимся отцепам, что также создает угрозу безопасности процесса заполнения сортировочных путей.

В целом оценку влияния конструктивных параметров сортировочного парка (включая участок с противоуклоном в выходной части) на безопасность сортировочного процесса целесообразно выполнять по критериям, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Критерии оценки влияния конструктивных параметров сортировочного парка на безопасность сортировочного процесса

Условное обозначение	Критерий	Характеристика
$P_1^{сп}$	Вероятность превышения допустимой скорости соединения вагонов за счет создания условий разгона отцепа после выхода с парковой тормозной позиции	Определяется на основании построения плотности распределения суммарного удельного сопротивления движению вагонов и последующего анализа для конкретных конструктивных параметров сортировочного парка, а также на основании имитационного моделирования процесса заполнения сортировочных путей
$P_2^{сп}$	Вероятность превышения допустимой скорости соединения вагонов за счет обратного движения отцепов при наличии участков пути с противоуклонами	Определяется на основании имитационного моделирования процесса заполнения сортировочных путей при наличии на них участков с противоуклонами или превышения длины участка противоуклона в выходной части парка, а также на основании построения и анализа плотности распределения суммарного удельного сопротивления движению вагонов для конкретной горки
$P_3^{сп}$	Вероятность выхода накапливаемой группы вагонов за пределы полезной длины путей	Определяется на основании моделирования процесса заполнения сортировочных путей с учетом динамических нагрузок, возникающих при соединении групп вагонов в процессе роспуска состава и при осаживании маневровым локомотивом

Таким образом, влияние конструктивных параметров элементов сортировочного комплекса на безопасность переработки вагонопотоков в современных условиях может быть оценено с использованием комплексного критерия

$$K_{\text{без}}^{\text{СК}} = f(P_1^{\text{пч}}, P_2^{\text{пч}}, P_3^{\text{пч}}, P_1^{\text{сч}}, P_2^{\text{сч}}, P_3^{\text{сч}}, P_1^{\text{сп}}, P_2^{\text{сп}}, P_3^{\text{сп}}) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Публикация осуществлена в рамках реализации гранта ОАО «РЖД» на развитие научно-педагогических школ в области железнодорожного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм : утв. МПС РФ 10.10.03. – М. : Техинформ, 2003. – 168 с.

2 *Климов, А. А.* Моделирование процесса скатывания отцепов из нескольких вагонов с сортировочной горки при роспуске / А. А. Климов, А. А. Гунбин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2 (38). – С. 88–91.

3 *Климов, А. А.* Моделирование проходимости вагонов без саморасцепа по перевальной части сортировочной горки / А. А. Климов, Д. В. Осипов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 3 (47). – С. 154–160.

4 СП 225.1326000.2014 Станционные здания, сооружения и устройства : утв. Минтранс РФ от 02.12.2014 г. – М., 2015. – 135 с.

5 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. приказом Минтранса России 21.12.10. № 286. – М. : ТРАНСИНФО ЛТД, 2016. – 287 с.

А. А. KLIMOV

PROBLEMS OF A SAFETY PROCESSING CAR FLOWS ON GRAVITY HUMP IN REAL CONDITIONS

The process of processing car traffic on gravity hump is considered from the point of view of ensuring the safety of shunting work. The reasons for the occurrence of cases of violation of the high-speed mode of rolling off the hill in modern conditions are given. Possible violations of the safety of the car traffic processing process on the sliding, transshipment, descent parts of the slide and in the sorting park, depending on the design parameters of each element of the sorting complex, are determined. The criteria for assessing the impact of the structural parameters of the slide on the safety of the sorting process are established. The results of simulation modeling of the passage of the coupling of wagons through the hump of the slide, rolling of the uncouples, including those consisting of innovative wagons, along the descent part of the slide, filling the paths of the sorting fleet are presented. The principal characteristics of the design parameters of the elements of the sorting complex and other factors that can lead to the occurrence of cases of violation of the safety of the sorting process are indicated.

Получено 05.11.2021