

*А. А. Климов***МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ
ОСНОВНОЙ ЧАСТИ ПУТЕЙ СОРТИРОВОЧНОГО ПАРКА ***

Аннотация. Приведен обзор современных работ по исследованию конструкции продольного профиля сортировочных парков. Выполнен анализ действующих нормативных требований к конструкции продольного профиля сортировочных путей и способов регулирования скорости скатывания отцепов при роспуске с горок. Представлено описание имитационной модели процесса заполнения путей накопления составов при роспуске, используемой для исследования конфигурации продольного профиля основной части путей сортировочных парков. Установлены критерии для оценки конфигурации продольного профиля основной части путей сортировочных парков, базирующиеся на расчете вероятностей, характеризующих показатели процесса заполнения путей накопления составов при расформировании. Сформирована методика оценки конструктивных параметров и конфигурации продольного профиля основной части сортировочных путей на основании имитационного моделирования процесса заполнения путей накопления составов при использовании режима интервально-прицельного регулирования скорости скатывания отцепов. Выполнено исследование различных вариантов конфигурации продольного профиля основной части путей сортировочного парка для существующих и новых значений основного удельного сопротивления движению вагонов при скатывании с горки.

Ключевые слова: основное удельное сопротивление движению, сортировочный парк, имитационное моделирование процесса заполнения, скорость соударения вагонов, дальность пробега отцепов, режимы регулирования скорости скатывания, конфигурация продольного профиля.

Для цитирования: Климов, А. А. Метод исследования конфигурации продольного профиля основной части путей сортировочного парка / А. А. Климов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 2. – С. 195–207. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_195.

Введение

К конструктивным параметрам продольного профиля сортировочных парков относятся значения длин и уклонов элементов, а также конфигурация – очертание сортировочного пути в вертикальной плоскости, определяемое совокупностью взаимного расположения элементов продольного профиля. Указанные параметры продольного профиля во многом определяют качество процесса заполнения путей сортировочных парков при расформировании составов и, как следствие, перерабатывающую способность горки и уровень безопасности сортировочного процесса. Потребные конструктивные параметры продольного профиля сортировочных парков в совокупности с техническими средствами регулирования скорости скатывания отцепов должны обеспечивать реализацию необходимой дальности пробега, которая определяется по условию докатывания отцепа до ближайших вагонов в парке и соединения с допустимой скоростью. При соблюдении указанного условия обеспечивается:

- минимизация дополнительных затрат на выполнение маневровой работы по подтягиванию или осаживанию групп вагонов на сортировочном пути с целью ликвидации образующихся при накоплении составов пространственных промежутков между вагонами («оконов»);
- увеличение перерабатывающей способности сортировочной горки и сортировочной системы в целом за счет сокращения перерывов в работе горки для производства маневровой работы;
- соблюдение требований безопасности сортировочного процесса, за счет исключения случаев соударения вагонов с повышенными скоростями и связанных с этим возможных повреждений вагонов и находящихся в них грузов, а также проследований отцепов или смещений групп вагонов за пределы полезной длины сортировочного пути в выходной части парка.

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

В реальных условиях эксплуатации достижение вышеуказанных целевых ориентиров для всего перерабатываемого вагонопотока возможно при:

- квазинепрерывном регулировании скорости скатывания, заключающемся в использовании точечных вагонных замедлителей, ускорителей и ускорителей-замедлителей на всем маршруте следования или в сочетании с вагонными замедлителями;
- принудительном перемещении вагонов при использовании вагоноосаживателей, робототехники и других технических средств для перемещения групп вагонов вглубь парка;
- совокупности квазинепрерывного регулирования и принудительного перемещения вагонов на разных участках маршрута скатывания.

На большинстве сортировочных горок РФ реализуется режим интервально-прицельного торможения, когда в сортировочных парках нет дополнительных технических средств регулирования скорости скатывания отцепов. В результате общий запас энергии движения отцепа при выходе с парковой тормозной позиции (ПТП) определяется:

- профильной высотой участка сортировочного пути от нижнего конца ПТП до расчетной точки остановки отцепа, зависящей от конфигурации продольного профиля пути;
- скоростью выхода отцепа с ПТП, которая устанавливается по условию обеспечения докатывания отцепа до ближайшей группы вагонов на сортировочном пути с учетом действия сил сопротивления движению.

В реальных условиях эксплуатации именно скорость выхода отцепа с ПТП, рассчитываемая для конкретного продольного профиля пути с использованием подсистемы КЗП (контроль заполнения путей) на автоматизированных горках или определяемая оператором постов управления замедлителями на механизированных горках, а на немеханизированных горках – регулировщиком скорости движения отцепов, во многом определяет достижение потребной дальности пробега отцепов и качество заполнения путей накопления составов. С учетом случайного характера действующих на вагоны сил сопротивления, результаты неуправляемого движения отцепа по сортировочному пути (после выхода с ПТП) могут быть следующие:

1 Отцеп докатился до стоящей в парке группы вагонов и соединился с ней с допустимой скоростью (согласно ПТЭ для большинства вагонов – 5 км/ч), что является целевым ориентиром рассматриваемого процесса.

2 Отцеп докатился до стоящей в парке группы вагонов, но скорость соединения превысила установленное в ПТЭ значение, что является нарушением условий безопасности сортировочного процесса и может приводить к возникновению нештатных ситуаций с серьезными последствиями для экологии, жизни и здоровья людей.

3 Отцеп не докатился до стоящей в парке группы вагонов и остановился ранее точки прицеливания, что привело к образованию «окна» и ухудшению качества процесса заполнения пути накопления. На автоматизированных горках преждевременная остановка, как правило, связана с широким диапазоном возможных значений и случайным характером воздействия на вагоны сил сопротивления движению; на механизированных и немеханизированных горках – с человеческим фактором, когда операторы тормозных позиций или регулировщики скорости скатывания отцепов увеличивают силу торможения на ПТП с целью исключения случаев соударения вагонов с повышенной скоростью. В результате на пути накопления образуются «окна», величина которых определяет потребность в выполнении осаживаний/подтягиваний и объем дополнительной маневровой работы. В зависимости от конфигурации продольного профиля величина «окна» может быть увеличена за счет обратного следования отцепа при его остановке на локальном участке сортировочного пути с противоуклоном, что также имеет место на реальных горках вследствие просадок участков путей, образующихся в процессе эксплуатации.

Результат скатывания каждого отцепа определяется с учетом действия удельных сил сопротивления движению, которые, являясь случайными величинами, могут изменяться в течение процесса скатывания. Дальность пробега отцепов во многом зависит от ходовых свойств отцепов – величины основного удельного сопротивления движению (w_0). Используемые в настоящее время параметры для расчета случайной величины w_0 [1] определены на основании исследований, выполненных в 70-х годах прошлого века. В связи с обновлением парка вагонов специалистами СГУПС выполнены исследования динамики скатывания одиночных вагонов с использованием системы «Компьютерное зрение» – разработкой ростовского филиала АО «НИИАС» [2]. В результате выполненных исследований определены новые значения и параметры распределений величины w_0 , которые существенно отличаются от существующих значений [3, 4], что также необходимо учитывать при решении рассматриваемой задачи.

Оборудование сортировочных парков системами квазинепрерывного регулирования скорости скатывания или принудительного перемещения вагонов связано со значительными затратами на установку и содержание дополнительных технических средств, которые отечественными производителями пока не производятся. Поэтому на ближайшую и среднесрочную перспективу следует ожидать, что большинство сортировочных горок по-прежнему будут функционировать с реализацией режима интервально-прицельного торможения.

Целью данного исследования является разработка методики оценки конфигурации продольного профиля основной части сортировочных путей с учетом современных характеристик ходовых свойств вагонного парка. Объектом исследования является участок пути сортировочного парка (основная часть) – от нижнего конца ПТП до начала участка противоуклона в выходной части парка. Предметом исследования является конфигурация продольного профиля основной части сортировочного пути, определяемая на основании качества процесса заполнения рассматриваемого участка пути накопления при расформировании составов.

Действующие нормативные требования по определению длины и уклонов элементов продольного профиля сортировочных путей являются унифицированными для всех станций сети железных дорог. При этом фактически отсутствуют диапазоны допустимых значений длин и уклонов элементов продольного профиля сортировочных путей (за исключением длины противоуклона в выходной части парка, которая может изменяться в диапазоне 100–150 м) и методики для расчета параметров продольного профиля, что для горок, расположенных в различных климатических зонах, может приводить к затруднениям в эксплуатации и увеличению вероятности возникновения нештатных ситуаций при роспуске.

Исследования проводились с учетом существующих числовых характеристик распределений основного удельного сопротивления движению вагонов, так и для новых значений величины w_0 , полученных по результатам натурных наблюдений и обработки статистических данных о скатывании с горки вагонов современного парка. Для расчета показателей процесса заполнения путей сортировочного парка при расформировании составов использовалась разработанная имитационная модель. В качестве объекта исследования рассмотрена реальная сортировочная горка, расположенная в регионе Западной Сибири.

Действующие нормативы к конструкции продольного профиля путей сортировочного парка [5] устанавливают весьма жесткие требования. В частности, основная часть сортировочного пути должна располагаться на уклоне 0,6 ‰ по направлению скатывания отцепов, что способствует продвижению отцепов вглубь парка. Выходная часть пути длиной 100–150 м проектируется на противоуклоне – 2,0 ‰, что должно ограничивать возможность выхода отцепов или смещения групп накапливаемых вагонов вследствие возникающих динамических нагрузок за пределы полезной длины сортировочных путей. Таким образом, продольный профиль сортировочных парков должен быть двухэлементным. При этом указанные требования относятся ко всем сортировочным паркам вне зависимости от технического оснащения горки и используемого режима регулирования скорости скатывания отцепов; особенностей расположения станции и метеорологических условий местности; структуры перерабатываемого вагонопотока и других факторов, что вызывает вопросы об объективности использования указанного подхода при проектировании.

Результаты исследований конструкции продольного профиля сортировочных путей и ее влияния на эксплуатационные показатели и безопасность процесса расформирования отражены в ряде научных трудов. Так, в работах [6, 7] изложен новый подход к оценке конструкции продольного профиля сортировочных парков, а также приведен анализ вероятностных показателей процесса заполнения путей накопления состава для варианта, соответствующего нормативным требованиям. В работах [8, 9] исследуются значения скоростей движения отцепов по сортировочному пути для различных условий, в том числе анализируются причины преждевременной остановки отцепов и случаев обратного следования – навстречу очередным отцепам. Установлено, что отклонение конфигурации продольного профиля сортировочного пути от проектного оказывает значительное влияние на скорость скатывания отцепов и дальность пробега в сортировочном парке. При этом скатывание по таким путям «очень хороших» и «хороших» бегунов при попутном ветре создает наихудшие условия для обеспечения безопасности сортировочного процесса.

Особенности технологии роспуска вагонов с опасными грузами с учетом продольного профиля сортировочных парков анализируются в работе [10]. Установлено, что при аттестации железнодорожных станций с автоматизированными горками на возможность безопасного роспуска вагонов-цистерн

должны учитываться следующие критерии, относящиеся к конфигурации продольного профиля сортировочных парков:

- соответствие установленным требованиям значений как поэлементного, так и усредненного продольного профиля;
- наличие переломов продольного профиля основной части сортировочного пути и противоуклона в выходной горловине;
- коэффициент вогнутости сортировочного пути.

Для поэлементной оценки продольного профиля сортировочного пути предложено использовать балльную систему оценки в градации диапазонов значений уклонов элементов. В данном случае оценивается возможность обеспечения повышенной безопасности для вагонов ЗСГ с учетом соблюдения установленной скорости сцепления вагонов до 3 км/ч. Также установлено, что «ямообразное» очертание продольного профиля сортировочного пути может находиться только в конце основной части пути перед противоуклоном.

В работе [11] определены требования к техническому оснащению и технологии работы железнодорожных станций для обеспечения безопасного роспуска вагонов-цистерн, в числе которых выделены требования к продольному профилю сортировочных парков, *«оказывающему определяющее влияние на скорость следования отцепов»*. А в качестве основных рисков, являющихся причинами запрета роспуска с горок вагонов с опасными грузами, указаны:

- превышение допустимой скорости сцепления вагонов на сортировочных путях;
- существенные отклонения параметров плана и профиля сортировочных парков от норм.

На основании анализа результатов приведенных исследований можно отметить, что именно конфигурация продольного профиля путей сортировочных парков, являющаяся совокупностью длин и значений уклонов участков пути, во многом определяет скорости движения отцепов в парке, дальность их пробега и, как следствие, качество процесса заполнения путей накопления составов при роспуске. Действующие нормативные требования к определению конструктивных параметров продольного профиля сортировочных парков сформировались постепенно, с учетом опыта эксплуатации сортировочных устройств и в настоящее время являются едиными для всех железнодорожных станций сети. При этом установленные нормами параметры продольного профиля не являются расчетными характеристиками, поэтому задача разработки методики оценки конфигурации продольного профиля путей сортировочных парков является актуальной на современном этапе развития железнодорожного транспорта.

Основная часть

В данной работе рассматриваются различные варианты конфигурации продольного профиля основной части сортировочного пути от нижнего стыка ПТП до выходного участка, расположенного на противоуклоне. Сравнение вариантов производится методом имитационного моделирования процесса заполнения путей сортировочных парков при роспуске с использованием «Программы для расчета показателей процесса заполнения путей сортировочного парка» [12]. Для заданных условий производится моделирование движения отцепов по основной части сортировочного пути (принципы которого изложены в работе [13]) и определяются показатели процесса накопления всего состава.

Результаты моделирования могут использоваться для оценки и сравнения вариантов конфигурации продольного профиля сортировочных парков, в том числе для автоматизированных, механизированных и немеханизированных горок, где реализуется режим интервально-прицельного регулирования скорости движения отцепов. В модели скорость выхода отцепа в парк определяется обратным счетом по условию обеспечения потребной (прицельной) дальности пробега, при этом используются средние значения величины w_0 вагонов соответствующей весовой категории:

- легкой (Л): в неблагоприятных условиях;
- тяжелой (Т): в благоприятных условиях.

При этом моделируется накопление состава для отцепов, состоящих из одиночных вагонов.

Фактическая дальность пробега при моделировании определяется как среднее значение для серии из 500–1000 экспериментов по скатыванию одного и того же отцепа, что позволяет получать устойчивые результаты.

Рассмотрены различные варианты конфигурации продольного профиля с понижением значения уклона основной части сортировочного пути, вплоть до размещения всей основной части пути на площадке, а также варианты с постепенным понижением значений уклонов в пределах продольного профиля основной части (рис. 1).

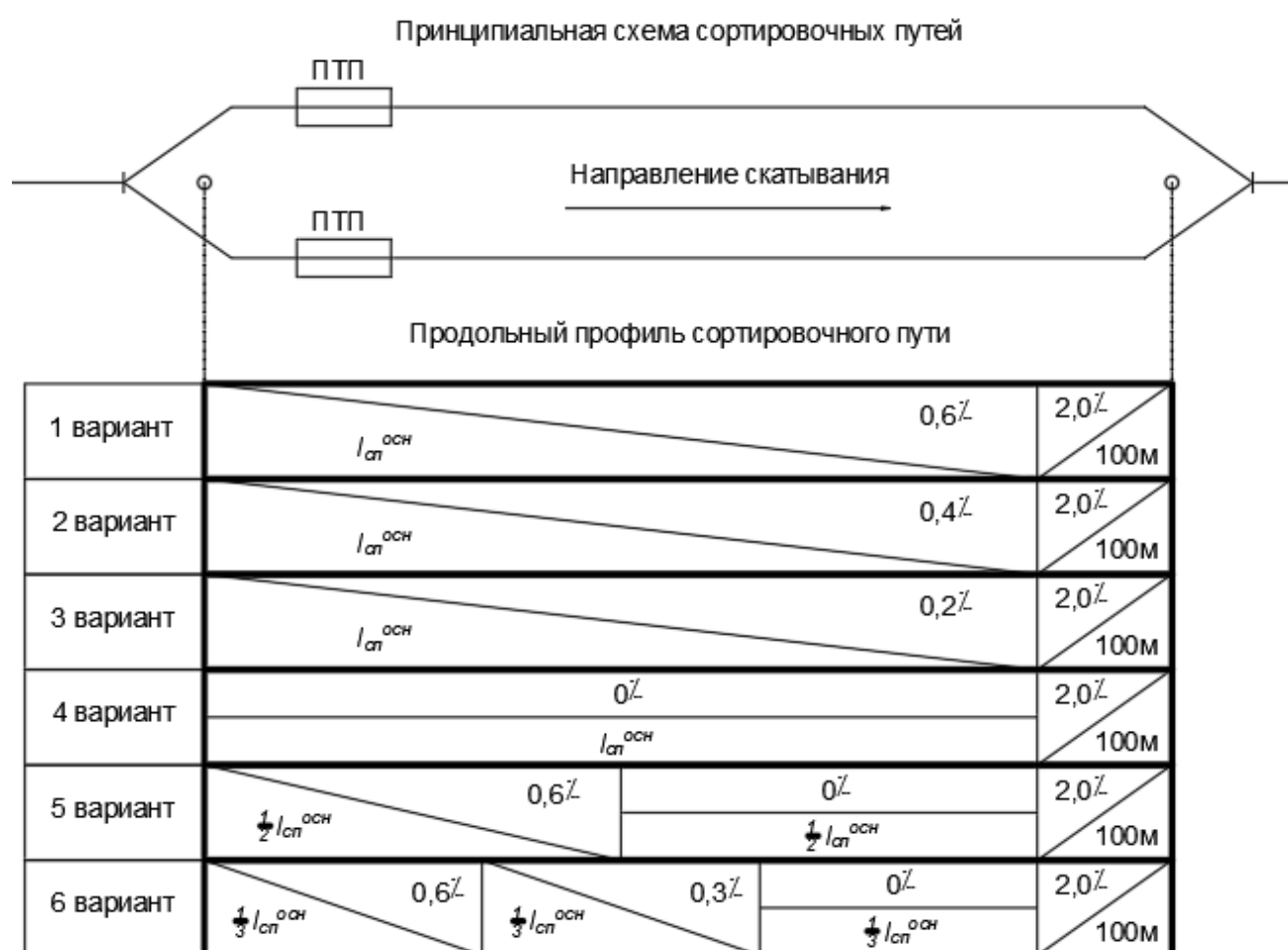


Рис. 1. Варианты конфигурации продольного профиля основной части сортировочного пути

При сравнении вариантов конфигурации продольного профиля основной части сортировочного пути производится скатывание отцепов, как в благоприятных, так и в неблагоприятных метеорологических условиях. При этом расчетные параметры среды и ветра определены по методике правил и норм проектирования сортировочных устройств 1992 года [14] – соответственно для одного расчетного месяца благоприятных и неблагоприятных условий, табл. 1. Принятые условия проведения экспериментов по сравнению вариантов конфигурации продольного профиля основной части сортировочного пути приведены в табл. 2.

Таблица 1

Расчетные метеорологические условия скатывания отцепов

Наименование характеристики	Неблагоприятные условия	Благоприятные условия
Расчетный месяц	Январь	Август
Расчетная температура воздуха, °С	–42,20	30,20
Расчетный румб	СВ	З
Расчетный угол обдувания, °	33,00	12,00
Расчетная скорость ветра, м/с	4,11	4,03

Таблица 2

**Условия проведения сравнения вариантов конфигурации продольного профиля
основной части сортировочного пути**

Наименование	Параметр	Порядок определения	Условия проведения расчетов
Группа общих данных			
Технические характеристики сортировочного пути	План	По существующим или проектным планам и продольным профилям сортировочного пути	Принимается постоянным для всех экспериментов
	Продольный профиль		Задается для каждого эксперимента
Условия неблагоприятные			
Расчетные условия среды и ветра	Температура воздуха, °С	Для расчетного месяца неблагоприятных условий	Принимаются постоянными для всех экспериментов
	Угол обдувания, °		
	Скорость встречного ветра, м/с		
Структура отцепопотока	Число вагонов в отцепе	1	Принимаются постоянным для экспериментов с одним и тем же отцепом
	Весовая категория	Легкая	
	Масса, т	Генерируется в рамках диапазона весовой категории Л	
	Основное удельное сопротивление движению, Н/кН	Генерируется по плотности распределения для категории Л	Определяется для каждого эксперимента
Условия благоприятные			
Расчетные условия среды и ветра	Температура воздуха, °С	Для расчетного месяца благоприятных условий	Принимаются постоянными для всех экспериментов
	Угол обдувания, °		
	Скорость попутного ветра, м/с		
Структура отцепопотока	Число вагонов в отцепе	1	Принимаются постоянным для экспериментов с одним и тем же отцепом
	Весовая категория	Тяжелая	
	Масса, т	Генерируется в рамках весовой категории Т	
	Основное удельное сопротивление движению, Н/кН	Генерируется по плотности распределения для категории Т	Определяется для каждого эксперимента

По результатам моделирования для каждого отцепа определяется результат достижения потребной дальности пробега и показатели скатывания по сортировочному пути. На рис. 2 представлен фрагмент выгрузки программы с результатами скатывания отцепа № 11, состоящего из одного вагона категории Л для разных значений величины w_0 (которые генерируются по заданной плотности распределения), на котором показаны:

- зеленым цветом случаи докатывания отцепа до стоящих в парке вагонов и соединения с ними с допустимой скоростью (значения скоростей соединения вагонов для каждого эксперимента в данном случае составили – 0,53, 0,56, 0, 87 и 1,01 м/с);
- желтым цветом случаи недокатывания отцепа до стоящей в парке группы вагонов с указанием средней длины образующегося окна (в приведенном примере – 5 м);
- красным цветом случаи соединения вагонов со скоростью, превышающей допустимое значение (значение скорости соударения также приводится для каждого результата моделирования – в приведенном примере 1,42 м/с).

Отцеп 11 из 1 вагонов		Результаты моделирования					
Суммарный вес отцепа т	27,00	g'	9,23				
Характеристики вагонов в отцепе (тип вес)	0,00	27,00					
Планируемая точка остановки м	128,00						
Движение 11 отцепа с начальной скоростью	2,77						
Основное удельное сопротивление движению отцепов	1,75	1,85	0,85	1,61	1,59	1,38	1,25
Точка остановки 1 оси отцепа м		123,00	128,00	128,00	128,00	128,00	128,00
Скорость отцепа м в с		0,00	1,42	0,53	0,56	0,87	1,01
Размер окна между отцепами м		5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
В среднем останавливается на 120 метре							
Процент столкновений с повышенной скоростью	5,60						
Процент остановок раньше точки прицеливания	45,40						
Процент соударений с допустимыми скоростями	49,00						

Рис. 2. Фрагмент файла выгрузки программы на примере скатывания отцепа № 11

Всего на путь поступило 67 отцепов из одиночных вагонов. Результаты моделирования скатывания отцепа № 11 (1000 итераций) представлены следующими показателями (см. рис. 2):

– вероятность p_1 (доля столкновений с повышенной скоростью) = 0,056 (здесь необходимо уточнить, что на автоматизированных горках в реальных условиях эксплуатации вероятность соударения вагонов с повышенной скоростью будет несколько ниже за счет более точного определения скорости выхода отцепов с ПТП, в том числе за счет использования результатов скатывания отцепа по спускной части до парковой тормозной позиции);

– вероятность p_2 (доля остановок раньше точки прицеливания) = 0,454;

– вероятность p_3 (доля случаев соединения вагонов с допустимыми скоростями) = 0,490.

Для каждой итерации (одного эксперимента по скатыванию отцепа) выполняется проверка условия распределения вероятностей, для данного примера:

$$0,056 + 0,454 + 0,490 = 1,000.$$

В целом для состава также определяются значения указанных вероятностей – соответственно P_1 , P_2 и P_3 . Пример распределения вероятностей, приходящихся в целом на накапливаемый состав, для варианта 1 (нормативного продольного профиля) соответственно для существующих и новых значений величины w_o вагонов легкой категории приведен на рис. 3.

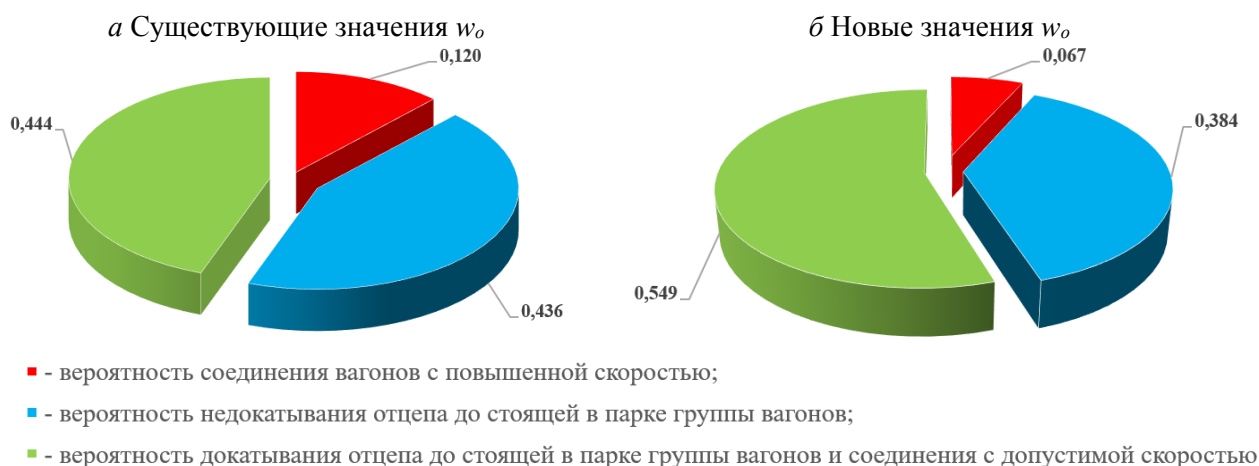


Рис. 3. Распределение показателей процесса накопления всего состава, (вариант 1, весовая категория Л, отцепы из одиночных вагонов)

По окончании имитации – полном заполнении сортировочного пути определяется среднее число осаживаний, приходящееся на один состав (N_{oc}), которое можно рассматривать в качестве комплексного критерия для оценки и сравнения вариантов конфигурации продольного профиля.

Результаты расчета вероятностей, характеризующих качество процесса заполнения путей накопления составов, для рассматриваемых вариантов приведены в табл. 3 (расчет выполнен для су-

существующих [15] и новых [4] значений основного удельного сопротивления движению). Цветом выделены наилучшие значения вероятностей по рассматриваемым вариантам (для соответствующих условий скатывания).

Таблица 3

Показатели процесса заполнения сортировочных путей при накоплении составов по вариантам конфигурации продольного профиля

Номер варианта	P_1		P_2		P_3		N_{oc}	
	w_0 – существ.	w_0 – новые	w_0 – существ.	w_0 – новые	w_0 – существ.	w_0 – новые	w_0 – существ.	w_0 – новые
Неблагоприятные условия, легкая весовая категория								
1	0,099	0,104	0,315	0,157	0,586	0,739	4	3
2	0,103	0,079	0,352	0,224	0,545	0,697	4	3
3	0,108	0,087	0,376	0,288	0,516	0,625	4	3
4	0,110	0,094	0,386	0,346	0,504	0,560	4	3
5	0,105	0,112	0,324	0,160	0,571	0,728	4	3
6	0,099	0,113	0,315	0,165	0,586	0,723	4	3
Благоприятные условия, тяжелая весовая категория								
1	0,120	0,067	0,436	0,384	0,444	0,549	4	4
2	0,126	0,064	0,439	0,380	0,434	0,557	4	4
3	0,111	0,060	0,458	0,376	0,432	0,564	4	4
4	0,105	0,062	0,443	0,367	0,452	0,571	4	4
5	0,117	0,066	0,436	0,353	0,447	0,581	4	3
6	0,110	0,066	0,440	0,361	0,450	0,573	4	3

На основании анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1 По вероятности превышения допустимой скорости соударения (P_1):

– для вариантов 1–4 не наблюдается линейной зависимости от значений уклона (конфигурации путей сортировочного парка);

– разброс значений вероятности в целом незначительный (максимум – 0,015 наблюдается для благоприятных условий);

– использование новых значений w_0 приводит к снижению значений вероятности как в неблагоприятных, так и в благоприятных условиях;

– минимальные значения вероятности для новых и существующих значений w_0 наблюдаются в соседних (по значениям уклонов) вариантах.

2 По вероятности недокатывания вагонов (P_2):

– с уменьшением значения уклона сортировочного пути вероятность недокатывания вагонов до прицельной точки остановки в целом увеличивается;

– диапазон разброса значений достигает при неблагоприятных условиях наибольшего для всех вероятностей значения 0,189;

– минимальные значения вероятности для новых и существующих значений w_0 наблюдаются в одних и тех же (наилучших) вариантах.

3 По вероятности соответствия требованиям к процессу заполнения путей накопления (P_3):

– наилучшие показатели имеют варианты с большими значениями уклонов (варианты 1, 5 и 6);

– диапазон разброса значений достигает при неблагоприятных условиях 0,179.

4 По среднему числу осаживаний, приходящихся на один накапливаемый состав, при использовании новых значений w_0 в целом заполнение путей накопления идет более качественно, что подтверждает улучшение ходовых свойств вагонов современного парка. Изменение параметра N_{oc} , наблюдаемое для различных вариантов в благоприятных условиях, приводит к корректировке значений вероятностей P_1 , P_2 и P_3 из-за изменения длины «окон» и оставшейся свободной части сортировочного пути от ПТП для следующего после выполнения осаживания отцепа.

Графическая интерпретация результатов расчета по вероятности превышения допустимой скорости соударения вагонов на примере варианта 5 приведена на рис. 4, согласно которому использование при моделировании параметров основного удельного сопротивления движению современного вагонного парка приводит к более интенсивному заполнению путей накопления составов (среднее число

осаживаний, приходящихся на один накапливаемый состав, по сравнению с существующими значениями w_o сокращается с 4 до 3). После накопления на сортировочном пути каждой группы вагонов вероятность p_1 резко увеличивается, что характерно для скатывания первых отцепов следующей группы вагонов на свободный после выполнения осаживания участок подгорочного пути.

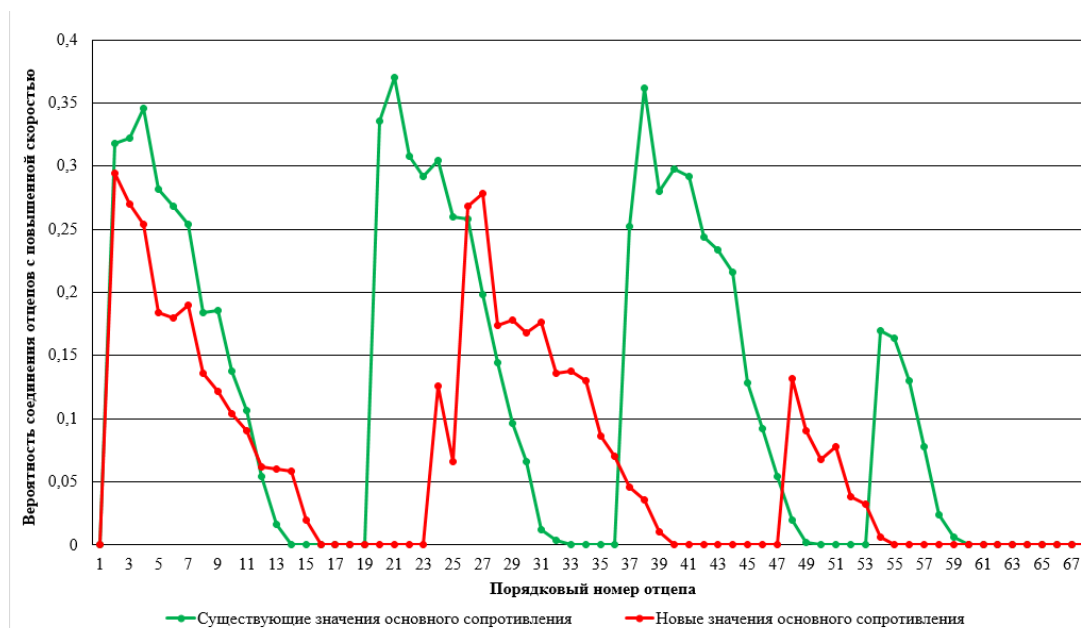


Рис. 4. Вероятность превышения допустимой скорости соударения вагонов (вариант 5 конфигурации продольного профиля, тяжелая весовая категория, условия благоприятные, отцепы из одиночных вагонов)

Согласно приведенным в табл. 3 результатам в целом наилучшие значения вероятностей наблюдаются для:

- варианта 1 при неблагоприятных условиях скатывания (и частично для варианта 6);
- варианта 5 при благоприятных условиях скатывания (в данном случае также учитывается меньшее потребное число осаживаний, необходимых для накопления состава).

Для определения наиболее рационального варианта дополнительно выполнено моделирование процесса заполнения сортировочного пути для вариантов 1, 5 и 6 при использовании расчетной структуры перерабатываемого отцепопотока, определенной на основании статистических данных о переработанных вагонопотоках на рассматриваемой сортировочной горке (при разном числе вагонов в отцепах – при этом для всех вариантов моделируется накопление одного и того же состава). Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Показатели процесса заполнения путей накопления составов для расчетной структуры перерабатываемого отцепопотока, варианты 1, 5 и 6 конфигурации продольного профиля

Номер варианта	P_1		P_2		P_3		N_{oc}	
	w_o – существ.	w_o – новые	w_o – существ.	w_o – новые	w_o – существ.	w_o – новые	w_o – существ.	w_o – новые
Неблагоприятные условия, легкая весовая категория								
1	10,87	8,40	47,74	32,36	41,40	59,25	2	2
5	11,45	8,05	47,21	33,36	41,34	58,60	2	2
6	11,50	8,07	46,87	33,32	41,64	58,62	2	2
Благоприятные условия, тяжелая весовая категория								
1	9,32*	12,00	40,98	16,11*	49,70	71,90	2	2
5	10,18	12,19	36,94	19,07	52,89	68,74	2	1
6	9,91	11,82	36,84	18,98	53,26	69,20	2	1
Примечание: * – вариант не принят в качестве наилучшего из-за меньшего числа осаживаний								

Результаты, приведенные в табл. 4, показывают очень близкие значения показателей по сравниваемым вариантам, при этом при благоприятных условиях для вариантов 5 и 6 среднее число осаживаний сокращается. В целом вариант 6 имеет наилучшие значения по всем показателям и принимается в качестве наиболее рационального варианта конфигурации продольного профиля.

Необходимо отметить, что генерация структуры расчетного отцепопотока и моделирование скатывания отцепов дифференцированной длины приводит к снижению необходимого среднего числа осаживаний, по сравнению с условиями моделирования скатывания отцепов из одиночных вагонов, что в целом соответствует реальным условиям функционирования сортировочных горок. Сравнение графиков изменения вероятности превышения допустимой скорости соударения вагонов для сравниваемых вариантов на примере благоприятных условий скатывания приведено на рис. 5. В данном случае на путь накопления поступило 20 отцепов с разным числом вагонов (общее число вагонов в составе – 67).

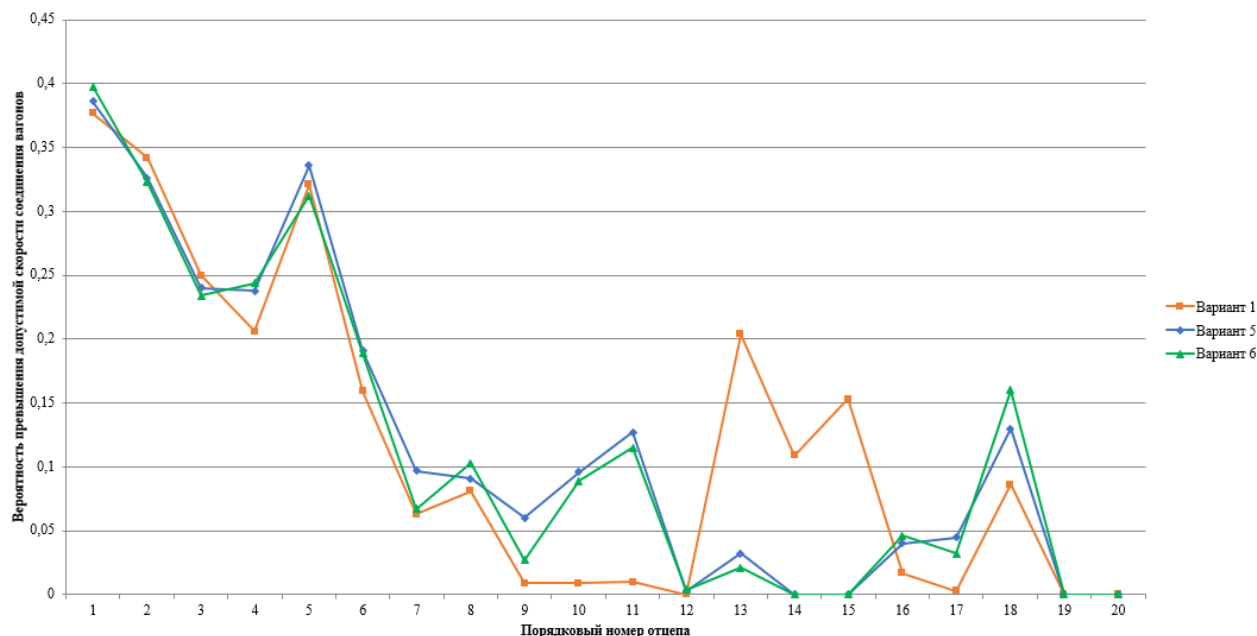


Рис. 5. Сопоставление вероятности превышения допустимой скорости соударения вагонов по вариантам конфигурации продольного профиля (категория Т, условия благоприятные, генерация расчетного отцепопотока по числу вагонов в отцепе, w_o – новые)

На рис. 5 показано, что при заполнении пути накопления вероятность соединения вагонов с повышенной скоростью в целом будет ниже для варианта 6 при одинаковом среднем числе осаживаний, что и подтверждает выбор данного варианта конфигурации продольного профиля в качестве рационального для рассматриваемой сортировочной горки.

Выводы

Разработанный метод оценки конфигурации продольного профиля основной части путей сортировочного парка на основании имитационного моделирования процесса заполнения путей накопления составов позволяет определять следующие показатели, которые могут использоваться для анализа и сравнения конкурирующих вариантов: вероятность соударения отцепов со стоящей на сортировочном пути накапливаемой группой вагонов с повышенной скоростью; вероятность остановки отцепов ранее точки прицеливания; вероятность докатывания отцепов до стоящей в парке группы вагонов и соединения с допустимыми скоростями. В качестве комплексного критерия рекомендуется рассматривать среднее количество осаживаний, приходящееся на один накапливаемый состав. Для определения наиболее рационального варианта рекомендуется производить моделирование процесса заполнения путей накопления как в неблагоприятных, так и в благоприятных условиях скатывания, используя в качестве отцепов одиночные вагоны соответственно легкой и тяжелой весовых категорий. Для принятия окончательного решения при необходимости следует выполнить моделирование процесса заполнения путей накопления составов для расчетной структуры отцепопотока, сформированной на основании анализа статистических данных о переработанном вагонопотоке на рассматриваемой сортировоч-

ной горке. При получении результатов с незначительно отличающимися показателями процесса заполнения сортировочных путей предпочтение целесообразно отдавать варианту с наименьшим значением вероятности превышения допустимой скорости соударения вагонов.

Предложенный метод позволяет определять рациональную конфигурацию продольного профиля сортировочных путей, что подтверждает возможность определения конструктивных параметров сортировочных парков расчетным путем с учетом специфики технического оснащения, особенностей технологии расформирования составов, структуры перерабатываемого отцепопотока и расположения на местности конкретной сортировочной горки.

Список литературы

- 1 Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок / В. П. Волков, И. П. Старшов, Е. А. Сотников, А. И. Арбузин ; под редакцией Е. А. Сотникова. – Москва : Транспорт, 1975. – 102 с.
- 2 Компьютерное зрение как способ интеллектуализации систем горочной автоматизации / И. А. Ольгейзер, А. В. Суханов, А. М. Лященко [и др.] // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2022. – № 1. – С. 46–53. – DOI 10.52261/02346206_2022_1_46.
- 3 **Бессоненко, С. А.** Исследование основного удельного сопротивления движению отцепов при скатывании с сортировочной горки на основе натурных наблюдений / С. А. Бессоненко, А. А. Гунбин, А. А. Климов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4 (63). – С. 62–68. – DOI 10.52170/1815-9265_2022_63_62.
- 4 Исследование параметров основного удельного сопротивления движению вагонов при скатывании с сортировочной горки / С. А. Бессоненко, А. А. Гунбин, А. А. Климов [и др.] // Известия Транссиба. – 2023. – № 1 (53). – С. 53–62. – ISSN 2220-4245.
- 5 СП 119.13330.2024. СНиП 32-01-95. Свод правил. Железные дороги колеи 1520 мм: утверждено Министерством утверждено Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 01.07.2024, № 432/пр // Минстрой России : официальный сайт. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/375821/> (дата обращения: 10.06.2025).
- 6 **Климов, А. А.** Анализ уклона сортировочных путей в современных условиях эксплуатации / А. А. Климов // Пятая международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» : сборник научных трудов : в 2 частях / под редакцией О. С. Валинского, А. А. Краснощека, П. К. Рыбина ; Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. – Санкт-Петербург, 2023. – Ч. 1. – С. 85–94.

References

- 1 Resistance to the movement of freight cars when rolling down humps / V. P. Volkov, I. P. Starshov, E. A. Sotnikov, A. I. Arbuzin ; edited by E. A. Sotnikov. Moscow : Transport, 1975. – 102 p.
- 2 Computer vision as a way to intellectualize hump automation systems / I. A. Olgeizer, A. V. Sukhanov, A. M. Lyashchenko [et al.] // Problems of mechanical engineering and automation, – 2022. – No. 1. – P. 46–53. – DOI 10.52261/02346206_2022_1_46.
- 3 **Bessonenko, S. A.** Study of the main specific resistance to the movement of cuts when rolling down a hump based on field observations / S. A. Bessonenko, A. A. Gunbin, A. A. Klimov // The Siberian Transport University Bulletin. – 2022. – No. 4 (63). – P. 62–68. – DOI 10.52170/1815-9265_2022_63_62.
- 4 Study of the parameters of the main specific resistance to the movement of cars when rolling down a hump yard / S. A. Bessonenko, A. A. Gunbin, A. A. Klimov [et al.] // Journal of Transsib Railway Studies. – 2023. – No. 1 (53). – P. 53–62. – ISSN 2220-4245.
- 5 SP 119.13330.2024. SNiP 32-01-95. Code of rules. 1520 mm gauge railways: approved by Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, 01.07.2024, No. 432/pr // Ministry of Construction of Russia : official website. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/375821/> (date of access: 06/10/2025).
- 6 **Klimov, A. A.** Analysis of the slope of sorting tracks in modern operating conditions / A. A. Klimov // Fifth International scientific and practical conference "Development of infrastructure and logistics technologies in transport systems" : collection of scientific works : in 2 parts / edited by O. S. Valinsky, A. A. Krasnoshchek, P. K. Rybin ; Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. – St. Petersburg, 2023. – Part 1. – P. 85–94.

7 **Климов, А. А.** Оценка качества режима прицельного торможения отцепов при роспуске составов с сортировочных горок / А. А. Климов // Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки : Труды международной научно-практической конференции. – Москва : Университетская книга, 2023. – С. 56–61.

8 **Корниенко, К. И.** Исследование влияния изменения профиля пути сортировочного парка на качество его заполнения при расформировании составов / К. И. Корниенко // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 3 (39). – С. 33–42. – DOI 10.20291/2079-0392-2018-3-33-42.

9 **Корниенко, К. И.** Исследование влияния профиля сортировочного парка на скорость движения отцепа / К. И. Корниенко // Инновационные технологии на транспорте : образование, наука, практика : Материалы XLI Международной научно-практической конференции / под редакцией Б. М. Ибраева. – Том 1. – Алматы : Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2017. – С. 11–15.

10 **Ефимов, Р. А.** Критерии оценки продольного профиля сортировочных путей при аттестации на возможность безопасного роспуска вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов 2 класса / Р. А. Ефимов, А. Ю. Тимкова, Л. С. Шорохова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 2 (82). – С. 129–136. – DOI 10.46973/0201-727X_2021_2_129.

11 **Саврухин, А. В.** Требования к техническому оснащению и технология работы станции для обеспечения безопасного роспуска с горки вагонов-цистерн для перевозки сжиженных углеводородных газов / А. В. Саврухин, Н. А. Коваленко, Р. А. Ефимов // Тенденции развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом : Материалы международной юбилейной научно-технической конференции, посвященной 95-летию кафедр «Железнодорожные станции и транспортные узлы», «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте». – Москва : Российский университет транспорта, 2020. – С. 55–61.

12 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023618062 Российской Федерация. Программа для расчета показателей процесса заполнения путей сортировочного парка / А. А. Климов, А. А. Гунбин. – Заявка № 2023616946 от 08.04.2023.

13 **Климов, А. А.** Принципы моделирования процесса заполнения путей сортировочного парка при расформировании составов /

7 **Klimov, A. A.** Evaluation of the quality of the targeted braking mode of uncouplings when breaking up trains from hump yards / A. A. Klimov // Academician Vladimir Nikolaevich Obratsov – the founder of transport science : Proceedings of the international scientific and practical conference. – Moscow : University Book, 2023. – P. 56–61.

8 **Kornienko, K. I.** Study of the impact of changing the track profile of the marshalling yard on the quality of its filling when breaking up trains / K. I. Kornienko // Herald of the Ural State University of Railway Transport. – 2018. – No. 3 (39). – P. 33–42. – DOI 10.20291/2079-0392-2018-3-33-42.

9 **Kornienko, K. I.** Study of the influence of the marshalling yard profile on the speed of the uncoupling / K. I. Kornienko // Innovative technologies in transport: education, science, practice : Materials of the XLI International scientific and practical conference / edited by B. M. Ibraev. – Volume 1. – Almaty : Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev, 2017. – P. 11–15.

10 **Efimov, R. A.** Criteria for assessing the longitudinal profile of sorting tracks during certification for the possibility of safe dissolution of tank cars for the transportation of dangerous goods of class 2 / R. A. Efimov, A. Yu. Timkova, L. S. Shorokhova // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2021. – № 2 (82). – P. 129–136. – DOI 10.46973/0201-727X_2021_2_129.

11 **Savrukhin, A. V.** Requirements for technical equipment and operating technology of the station to ensure safe hump disbanding of tank cars for transporting liquefied hydrocarbon gases / A. V. Savrukhin, N. A. Kovalenko, R. A. Efimov // Trends in the development of railway transport and transportation process management : Materials of the international jubilee scientific and technical conference dedicated to the 95th anniversary of the departments "Railway stations and transport junction", "Management of operational work and safety in transport." – Moscow : Russian University of Transport, 2020. – P. 55–61.

12 Certificate of state registration of computer program No. 2023618062 Russian Federation. Program for calculating the indicators of the process of filling the tracks of the marshalling yard / A. A. Klimov, A. A. Gunbin. – Application No. 2023616946 dated 08.04.2023.

13 **Klimov, A. A.** Principles of modeling the process of filling the tracks of the sorting park during

А. А. Климов // Политранспортные системы : Материалы XII Международной научно-технической конференции. В 3 ч. Ч. 3. – Новосибирск : Сибирский государственный университет путей сообщения, 2022. – С. 126–131.

14 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР : ВСН 207–89 / МПС СССР. – Москва : Транспорт, 1992. – 104 с.

15 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм : утверждены МПС РФ 10.10.03. – Москва : Техинформ, 2003. – 168 с.

the disbandment of trains / A. A. Klimov // Polytransport systems : Materials of the XII International scientific and technical conference. In 3 parts. – Novosibirsk : Siberian Transport University, 2022. – P. 126–131.

14 Rules and standards for the design of sorting devices on the railways of the USSR : VSN 207-89 / MPS USSR. Moscow : Transport, 1992. – 104 p.

15 Rules and regulations for design of sorting devices on 1520 mm gauge railways : approved by approved by the Ministry of Railways of the Russian Federation on 10.10.03. – Moscow : Tekhinform, 2003. – 168 p.

A. A. Klimov

THE METHOD OF STUDYING THE CONFIGURATION OF THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE MAIN PART OF THE SORTING YARD TRACKS

Abstract. An overview of modern research on the design of the longitudinal profile of marshalling yards is given. The analysis of the current regulatory requirements for the design of the longitudinal profile of the sorting tracks and methods for regulating the speed of rolling off cuts when detaching from the gravity humps is carried out. A description of a simulation model of filling the tracks of train accumulation during detaching is presented, which is used to study the configuration of the longitudinal profile of the main part of the tracks of marshalling yards. Criteria have been established for assessing the configuration of the longitudinal profile of the main part of the marshalling yard tracks, based on the calculation of probabilities characterizing the indicators of the process of filling the tracks of train accumulation during disbandment. A methodology for assessing the design parameters and configuration of the longitudinal profile of the main part of marshalling tracks has been developed based on simulation modeling of the process of filling the tracks for accumulation of trains using the interval-targeted speed control mode for rolling off cuts. A study of various configuration options for the longitudinal profile of the main part of the tracks of the marshalling yard for existing and new values of the main specific resistance to movement of cars when rolling down a hump has been carried out.

Keywords: main specific resistance to movement, marshalling yard, simulation modeling of the filling process, car collision speed, uncoupling range, rolling speed control modes, longitudinal profile configuration.

For citation: Klimov, A. A. The method of studying the configuration of the longitudinal profile of the main part of the sorting yard tracks / A. A. Klimov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2025. – No. 2. – P. 195–207. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_195.

Сведения об авторах

Климов Александр Александрович
Сибирский государственный университет
путей сообщения (СГУПС),
кафедра «Железнодорожные станции
и узлы»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: a-aklimov@yandex.ru

Information about the authors

Klimov Alexander Alexandrovich
Siberian Transport University (STU),
Chair “Railway Stations and Junctions”,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: a-aklimov@yandex.ru