

УДК 656.212.5.001.2

Е. А. ФИЛАТОВ ^{1*}

^{1*} Каф. «Управление эксплуатационной работой и охрана труда», Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», ул. Кирова, 34, 246653, Гомель, Республика Беларусь, тел. (0232) 95-39-48, эл. почта fila-toff.ea@yandex.ru, ORCID 0000-0001-7710-3110

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ГОРЛОВИН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Цель. Целью исследования является обоснование технической совместимости стрелочных горловин железнодорожных станций и подвижного состава. **Методика.** Под технической совместимостью горловин железнодорожных станций и подвижного состава понимается способность к взаимодействию элементов конструкций стрелочных горловин и подвижного состава в соответствии с установленными требованиями безопасности. В качестве критериев оценки технической совместимости элементов конструкций стрелочных горловин и подвижного состава принимается выполнение условий движения вагонов в сцепе и их автоматического сцепления.

Анализ сложившихся методов определения пространственно-координатной привязки путевой инфраструктуры и подвижного состава в горизонтальной плоскости показал, что решающую роль играют отклонения его контрольных точек от оси пути. Указанные явления зависят от двух групп факторов: параметров путевого развития (наличие и параметры кривых, прямых вставок, их взаимное размещение) и конструкции подвижного состава (длины баз тележки и вагона, длины консольной части, особенностей конструкции тележек, величины захвата и угла отклонения автосцепки). Для оценки конструкции стрелочных горловин по условию обеспечения автоматического сцепления предложены графические и аналитические методы определения соответствующих величин радиусов. В исследовании получено также выражение для непосредственного расчета величины радиуса, обеспечивающего безопасное движение в сцепе в зависимости от угла отклонения хвостовика автосцепки. Это позволило оценить способность к взаимодействию друг с другом элементов конструкции путевого развития и подвижного состава при движении в сцепе в зависимости от положения элементов автосцепки (перекошенное и не перекошенное положение тягового хомута с учетом нормального или заглубленного положения автосцепки).

Для определения комплексного критерия проектирования горловин железнодорожных станций, обеспечивающего техническую совместимость с подвижным составом, выполнено сравнение допустимых радиусов при автоматическом сцеплении и движении в сцепе для различных типов подвижного состава. Величины радиусов, обеспечивающие автоматическое сцепление в 1,3-3 раза превышают требуемые для эффективного движения в сцепе (даже при заглубленном положении хвостовика автосцепки). Следовательно, в качестве комплексного критерия технической совместимости при разработке требований к проектированию стрелочных горловин железнодорожных станций, может быть принято условие автоматического сцепления. **Результаты.** Получено, что величины углов отклонения в различных положениях автосцепок могут различаться более чем в два раза, что требует соблюдения дополнительных ограничений при маневрах с группами вагонов. Выполненные расчеты подтверждают возможность силового взаимодействия элементов автосцепки, обусловленную несоответствием норм проектирования путевого развития и подвижного состава. Кроме того, в конструкциях существующих горловин железнодорожных станций более 20% кривых имеют радиусы менее допускаемых современными нормами проектирования железнодорожных станций, до половины – нормам проектирования вагонов массовых типов и до 80% – нормам проектирования вагонов увеличенных размеров. Это дополнительно снижает техническую совместимость стрелочных горловин и подвижного состава, создает избыточные нагрузки при их взаимодействии. Показанный «разрыв» между параметрами путевого развития и подвижного состава может приводить к ряду негативных последствий, связанных с процессами движения в сцепе и сцепления вагонов. **Научная новизна.** Для обеспечения безопасности и эффективности взаимодействия стрелочных горловин железнодорожных станций и подвижного состава предложен метод комплексной оценки путевых структур железнодорожных станций по критерию технической совместимости с подвижным составом; разработана имитационная модель процесса взаимодействия в системе «путевая структура-вагон», позволяющая определять требования к структурным схемам путевого развития высокой степени сложности; установлены основные таксоны условий взаимодействия; дополнены требования технической совместимости стрелочных горловин железнодорожных станций и подвижного состава; уточнены критерии выделения расчетных категорий вагонов, получены параметры путевых структур, обеспечивающие техническую совместимость горловин станций и подвижного состава. **Практическая значимость.** Полученная методика может

быть использована на станциях для локализации наиболее опасных участков путей и идентификации в технологии работы категории вагонов, вызывающие эксплуатационные ограничения. Применение полученных результатов при разработке проектов строительства и реконструкции путевого развития железнодорожных станций, производстве стрелочной продукции, совершенствования конструкций подвижного состава позволит обеспечить их техническую совместимость и значительно повысить эксплуатационные качества.

Ключевые слова: стрелочная горловина станции; параметры путевого развития; вагон увеличенных размеров; техническая совместимость

Вступление

Исторически сложившейся тенденцией развития железнодорожного транспорта является увеличение массы и длины составов поездов. Эти явления во многом определяли облик железных дорог в различные исторические периоды, т. к. вызывали потребность модернизации инфраструктуры железных дорог, локомотивного и вагонного парков.

Существенную роль в обеспечении этой трансформации играет увеличение грузоподъемности и грузоместимости подвижного состава. Данные тенденции четко прослеживаются по результатам исследования динамики изменения допустимой осевой нагрузки вагонов «пространства 1520» за более чем 120 летний период (рис. 1).

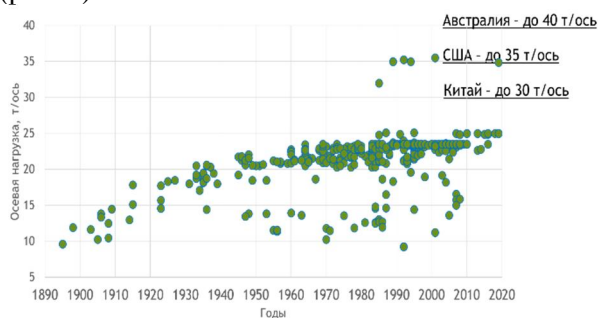


Рис. 1. Изменение осевой нагрузки вагонов по годам

Как видно из диаграммы, наблюдается устойчивая тенденция роста осевой нагрузки со средним темпом 0,5-0,7 т на ось/десятилетие. Данная тенденция прослеживается в перспективных планах развития конструкций подвижного состава [7] и подтверждается величинами осевой нагрузки в странах-лидерах тяжеловесного движения (до 40 т/ось).

Характерной особенностью увеличения размеров подвижного состава является появление в 1950-1960 гг. в рабочем парке новой группы (рис. 2) – вагонов увеличенных размеров (ВУР).

При этом основная доля вагонов имеет достаточно устойчивые размеры. Такие вагоны можно отнести к «массовым» типам (ВМТ). При этом средний темп увеличения размеров вагонов всех типов за рассматриваемый период достигает 1 м/десятилетие, а по отдельным типам до 1,7 м/десятилетие.

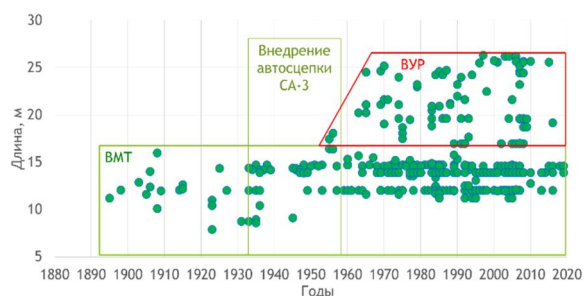


Рис. 2. Изменение длины вагонов по годам

Применение вагонов повышенной грузоподъемности и грузоместимости предъявляет особые требования к техническому оснащению железных дорог и особенно железнодорожных станций [6]. Как известно, основная маневровая работа на станциях часто сосредоточена в горловинах станций, которые проектируются с применением большого количества кривых и стрелочных переводов. Их наличие является следствием требуемых условий эксплуатации объектов железнодорожной путевой инфраструктуры (компактность, технологическая увязка с обслуживаемыми объектами и др.), а также местных особенностей размещения (ландшафт, рельеф, существующая застройка). При этом, как показывает анализ нормативно-справочной литературы, минимальные ограничения параметров кривых более чем за 60 лет не претерпели существенных изменений, а средний темп увеличения минимально допустимых радиусов составил 1 м/год.

Показанные тенденции во многом определили формирование проблемного поля «путевая структура – вагон». Так, на станциях периодически фиксируются случаи несрабатывания автосцепок, поломки автосцепного оборудования, схода подвижного состава, наблюдается повышенный износ пути в зонах s-образных кривых и др. Эти явления часто возникают из-за значительных взаимных отклонений оси пути и контрольных точек вагонов.

Систематизируя факторы определяющие данные явления следует отметить наиболее значимые:

1. Опережающее развитие вагоностроения в части увеличения размеров подвижного состава по сравнению с темпами снижения криволинейности путевого развития, что привело к

диспропорции в системе «путевая структура-вагон». Итоговый *вынос консоли относительно пути растёт* с темпом до 6% /десятилетие;

2. Автономность развития методов решения задач пространственно-координатной привязки объектов инфраструктуры (расчет габаритов, условий движения в сцепе и автоматического сцепления) привела к существенным различиям применяемых расчетных условий. Длины вагонов с эксплуатационными ограничениями изменяются в пределах от 17 до 24 м по осям сцепления, расчетные радиусы круговых кривых изменяются от 150 м до 350 м, а *s*-образных от 250 м до 500 м. Существенно различается учет дополнительных смещений элементов вагона, смещения в колее, хордового смещения тележек, характеристик тележек и др.

Анализ действующей нормативной базы по проектированию путевого развития железнодорожных станций и подвижного состава подтверждает существенные расхождения между ними, особенно в области применения вагонов увеличенных размеров [1, 2, 4, 7]. Как следствие, не гарантирована эффективная эксплуатация такого подвижного состава, снижается безопасность перевозочного процесса на станциях и путях промышленных предприятий.

3. Эволюция конструкций стрелочных горловин привела к широкому применению минимальных радиусов кривых, увеличению их количества на путь в 3 раза, увеличению доли *s*-образных кривых в 4-15 раз;

4. Выполнение маневровой работы в стрелочных горловинах, как «зонах концентрации криволинейности» путевых структур. Интенсивные маневры особенно в стрелочных горловинах сортировочных парков связаны с частыми передвижениями по сложным криволинейным элементам пути, а также сцеплением подвижного состава между собой на таких участках.

Мало исследован широкий круг вопросов, связанных с границами опасных участков в зоне размещения кривых, использованием кривых разных радиусов и величин углов поворота, длин прямых вставок и других условий взаимодействия структурных схем и подвижного состава. Сложившаяся ситуация не позволяет установить четких технологических ограничений по эксплуатации вагонов различных размеров и путевой инфраструктуры железнодорожных станций.

Таким образом, ставится вопрос о *технической совместимости* горловин железнодорожных станций и подвижного состава, под которой понимается способность к взаимодействию друг

с другим элементов стрелочных горловин и подвижного состава в соответствии с установленными требованиями безопасности железнодорожной инфраструктуры. При этом в соответствии с [3] *безопасность инфраструктуры* железнодорожного транспорта это состояние инфраструктуры железнодорожного транспорта, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, а также окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений.

В связи с этим решение задачи обеспечения технической совместимости системы «путевая структура-вагон» является своевременным и актуальным для повышения качества перевозочного процесса. Исследование условий технической совместимости позволит систематизировать элементы путевых структур и определить расчетные группы подвижного состава по соответствующим критериям. Решение этих задач позволит усовершенствовать требования к проектированию путевого развития, локализовать и устранить опасные зоны на станциях с учетом особенностей перерабатываемого вагонотока.

Цель. Целью исследования является разработка рекомендаций по обеспечению технической совместимости стрелочных горловин железнодорожных станций и подвижного состава.

Методика

Исследованы существующие схемы горочных горловин станций БЧ. Установлено, что в конструкциях ряда горочных горловин станций БЧ более 40% кривых создают *s*-образные конструкции, большинство из которых образуются с участием стрелочных переводов. Выявлено, что более 20% круговых кривых в анализируемых горловинах не соответствуют действующим требованиям к проектированию путевого развития.

Анализ второй составляющей системы «путевая структура-вагон» показал, что эксплуатационные ограничения по размерам подвижного состава распространяются более чем на 1000 вагонов инвентарного парка БЧ, причем более 40% этой группы – восьмиосные цистерны, и более 25% – фитинговые платформы. С учетом вагонов собственников на БЧ ежедневно обращается около 1800 вагонов, которые требуют соблюдения особых условий эксплуатации, т.е. несут потенциальные риски в работе станций.

Выполнена классификация условий

технической совместимости в системе «путевая структура-вагон». В результате разработаны 25 основных схем (таксонов), определяющих характерные условия взаимодействия (табл. 1). Все схемы разделены на две основные группы: круговые и s-образные конструкции. Вариации

схем в группах образуются различными сочетаниями круговых кривых и прямых вставок между собой. При этом принято, что переводная кривая эквивалентна круговой кривой, и поэтому не образует отдельных схем взаимного размещения.

Таблица 1

Характеристика схем взаимодействия

№	Характеристика схемы	
1	Круговые (однонаправленные) конструкции	
1.1	Одиночная кривая	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11}, t_{12}, n_{1,2}, t_{21}, t_{22}) \in k\}$
1.2.1	сопряжение кривой и прямой (полное размещение)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{((t_{11}, t_{12}) \in k) \wedge (n_{1,2} \in (k, d)) \wedge ((t_{21}, t_{22}) \in d)\}$
1.2.2	сопряжение кривой и прямой (частичное размещение)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in d) \wedge (t_{12} \in k) \wedge (n_{1,2} \in (k, d)) \wedge ((t_{21}, t_{22}) \in d)\}$
1.3.1	составная кривая (полное размещение)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{((t_{11}, t_{12}) \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, k_2)) \wedge ((t_{21}, t_{22}) \in k_2)\}$
1.3.2	составная кривая (частичное размещение вагона)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{((t_{11}, t_{12}) \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, k_2)) \wedge (t_{21} \in k_2) \wedge (t_{22} \in d)\}$
1.3.3	составная кривая (частичное размещение вагонов)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in d_1) \wedge (t_{12} \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, k_2)) \wedge (t_{21} \in k_2) \wedge (t_{22} \in d_2)\}$
1.4.1	составная кривая с прямой вставкой (полное размещение)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in k_1) \wedge ((t_{12}, n_{1,2}, t_{21}) \in d) \wedge (t_{22} \in k_2)\}$
1.4.2	составная кривая с прямой вставкой (частичное размещение одного вагона на вставке)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{((t_{11}, t_{12}) \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, d)) \wedge (t_{21} \in d) \wedge (t_{22} \in k_2)\}$
1.4.3	составная круговая кривая с прямой вставкой (частичное размещение вагонов на вставке)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in k_1) \wedge ((t_{12}, n_{1,2}, t_{21}) \in d) \wedge (t_{22} \in k_2)\}$
1.4.4	составная круговая кривая с прямой вставкой (частичное размещение в кривой)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11}, t_{12}) \in k_1 \wedge (n_{1,2} \in (k_1, d_1, k_2)) \wedge (t_{21} \in k_2) \wedge (t_{22} \in d_2)\}$
1.4.5	составная круговая кривая с прямой вставкой (частичное размещение одного вагона на вставке)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in d_1) \wedge (t_{12} \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, d_1, k_2)) \wedge (t_{21} \in k_2) \wedge (t_{22} \in d_2)\}$
2	S-образные сочетания элементов	
2.1.1	без прямой вставки (полное размещение)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{((t_{11}, t_{12}) \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, -k_2)) \wedge ((t_{21}, t_{22}) \in -k_2)\}$
2.1.2	без прямой вставки (частичное размещение одного вагона)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{((t_{11}, t_{12}) \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, -k_2)) \wedge (t_{21} \in -k_2) \wedge (t_{22} \in -d)\}$
2.1.3	без прямой вставки (частичное размещение двух вагонов)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in d_1) \wedge (t_{12} \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, -k_2)) \wedge (t_{21} \in -k_2) \wedge (t_{22} \in -d_2)\}$
2.2.1	с прямой вставкой (полное размещение)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{((t_{11}, t_{12}) \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, d, -k_2)) \wedge ((t_{21}, t_{22}) \in -k_2)\}$
2.2.2	с частичным размещением одного вагона на вставке	$\exists(p, v) \Rightarrow \{((t_{11}, t_{12}) \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, d)) \wedge (t_{21} \in d) \wedge (t_{22} \in -k_2)\}$
2.2.3	с частичным размещением двух вагонов на вставке	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in k_1) \wedge ((t_{12}, n_{1,2}, t_{21}) \in d) \wedge (t_{22} \in -k_2)\}$
2.2.4	с вставкой и частичным размещением вагона в кривой	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11}, t_{12}) \in k_1 \wedge (n_{1,2} \in (k_1, d_1, -k_2)) \wedge (t_{21} \in -k_2) \wedge (t_{22} \in -d_2)\}$
2.2.5	с вставкой и частичным размещением обоих вагонов в кривых	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in d_1) \wedge (t_{12} \in k_1) \wedge (n_{1,2} \in (k_1, d_2, -k_2)) \wedge (t_{21} \in -k_2) \wedge (t_{22} \in -d_3)\}$
2.3.1	составная s-образная кривая без вставки	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in k_1) \wedge (t_{12} \in k_2) \wedge (n_{1,2} \in (k_2, -k_3)) \wedge (t_{21} \in -k_3) \wedge (t_{22} \in -k_4)\}$
2.3.2	составная s-образная кривая без вставки (частичное размещение одного вагона на кривых)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in k_1) \wedge (t_{12} \in k_2) \wedge (n_{1,2} \in (k_2, -k_3)) \wedge (t_{21} \in -k_3) \wedge (t_{22} \in -d)\}$
2.3.3	составная s-образная кривая без вставки (частичное размещение обоих вагонов в кривых)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in d_1) \wedge (t_{12} \in k_2) \wedge (n_{1,2} \in (k_2, -k_3)) \wedge (t_{21} \in -k_3) \wedge (t_{22} \in -d_2)\}$
2.4.1	составная s-образная кривая с вставкой (полное размещение)	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in k_1) \wedge (t_{12} \in k_2) \wedge (n_{1,2} \in (k_2, d, -k_3)) \wedge (t_{21} \in -k_3) \wedge (t_{22} \in -k_4)\}$
2.4.2	составная s-образная кривая с частичным размещением одного вагона на вставке	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in k_1) \wedge (t_{12} \in k_2) \wedge (n_{1,2} \in (k_2, d)) \wedge (t_{21} \in d) \wedge (t_{22} \in (-k_3, -k_4))\}$
2.4.3	составная s-образная кривая с частичным размещением вагонов на вставке	$\exists(p, v) \Rightarrow \{(t_{11} \in k_1) \wedge (t_{12} \in d) \wedge (n_{1,2} \in d) \wedge (t_{21} \in d) \wedge (t_{22} \in (-k_3, -k_4))\}$

Примечание. $t_{11}, t_{12}, t_{21}, t_{22}$ – соответствующие тележки (передняя и задняя) первого и второго вагонов; $n_{1,2}$ – точка, характеризующая ось сцепления автосцепок; k – круговая кривая; знак «-» обозначает обратное направление примыкания элемента по отношению к первому, d – прямой участок пути.

В качестве основы для разработки способов расчета параметров путевых структур принято

условие автоматического сцепления вагонов для участка сопряжения прямой и кривой согласно

Правил и норм проектирования вагонов [4]. Автоматическое сцепление вагонов выполняется при превышении эффективной ширины захвата автосцепки B величины смещения автосцепного устройства вагона в наружную сторону кривой b .

Очевидным способом определения допустимой величины радиуса криволинейных элементов путевых структур является графическое решение системы уравнений [4].

Для получения аналитических выводов решена система уравнений относительно R . После математических преобразований получены выражения для непосредственного расчета допустимых величин радиусов [4]. Так, радиус круговой кривой в зоне сопряжения с прямой (случай 1.2.1) должен соответствовать условию

$$R > (l + n) / \operatorname{tg}\beta_0, \quad (1)$$

при этом

$$\operatorname{tg}\beta_0 = \frac{1,665B' \sin 65 - 0,5B' - \lambda}{1,665B' \cos 65 + (n(2l + n) - l_T^2) / 2(l + n)} \quad (2)$$

где $2l$, $2l_T$ – базы вагона и тележки, соответственно, м; n – длина консоли от пятникового сечения вагона до оси автосцепки, м; β_0 – угол пересечения продольных осей автосцепок, град.; B' – полная ширина захвата при параллельно расположенных сцепных приборах, м; λ – дополнительное поперечное смещение центров зацепления автосцепок, мм.

При сцеплении четырехосных крытых вагонов для перевозки автомобилей (модель 11-835) минимальная величина радиуса в этом случае $R_{\min} = 259$ м.

Если оси сцепления вагонов смещены относительно точки сопряжения кривой и прямой на величину p (рис. 3), может быть использована формула

$$R > \frac{0,5p^2 + 0,5l_T^2 - (l + p)(n + 0,7B')}{\lambda - B'} \quad (3)$$

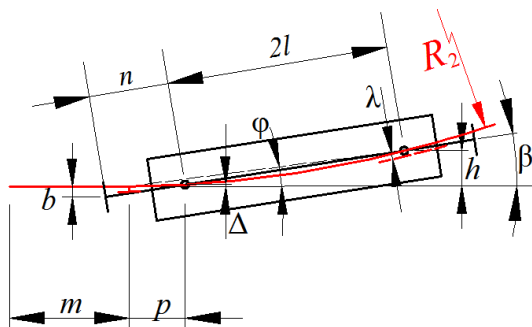


Рис. 3. Расчетная схема определения условий взаимодействия при смещении зоны сцепления относительно точки сопряжения кривой и прямой

Так, при смещении точки сцепления на 1 м в сторону прямой допустимая величина радиуса составит $R = 255$ м, а при смещении на 2 м $R = 244$ м, на 3 м – 226 м.

При частичном расположении вагонов одной тележкой в пределах круговой кривой (случай 1.2.2, рис. 4), величины радиусов, обеспечивающие эффективное взаимодействие в зоне тележки, располагаемой на прямом участке R_d и со стороны кривой R_k , должны соответствовать условиям [8]

$$R_d > \frac{(2l - p)^2 + 0,25l_T^2}{4l / (0,7 + n / B') + 2\lambda}, \quad (4)$$

$$R_k > \frac{4l \cdot l_{кр} - (2l - p)^2 + 0,25l_T^2}{4l / (0,7 + n / B') - 2\lambda}. \quad (5)$$

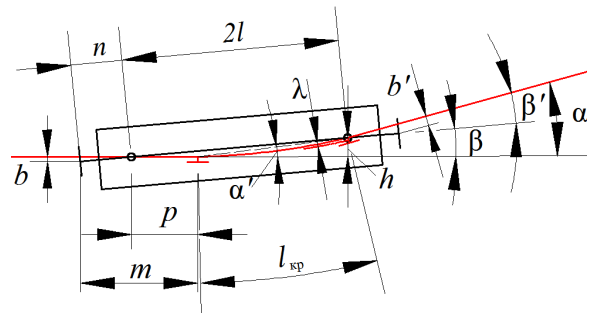


Рис. 4. Расчетная схема взаимодействия при неполном расположении вагона в круговой кривой

Эффективность взаимодействия, например, с кривой $l_{кр} = 14,16$ м (1/6 симметричная) в зоне тележки располагаемой на прямой обеспечить легче ($R_d = 123$ м), чем со стороны кривой ($R_k = 183$ м).

Более сложные условия для маневров создаются на участке s-образной кривой без прямой вставки (случай 2.1.1, рис. 5). Условие технической совместимости с s-образной кривой $B' \geq 2b$ [4, 7].

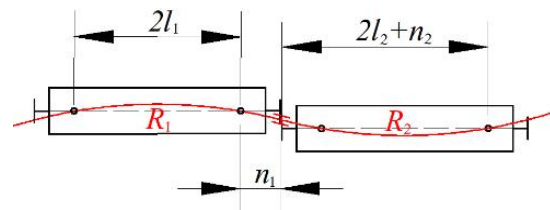


Рис. 5. Схема взаимодействия s-образной кривой и подвижного состава

Для случая симметричного расположения вагонов и структурных элементов относительно точки сцепления ($l_1 = l_2$, $n_1 = n_2$, $R_1 = R_2$) допустимая величина радиусов s-образной кривой (случай 2.1.1)

$$R_s > \frac{n(2l+n) - l_r^2}{B' - 2\lambda}. \quad (6)$$

Техническая совместимость s -образной кривой и четырехосных крытых вагонов для перевозки автомобилей обеспечивается при $R_{\min} = 602$ м.

Когда крайние тележки вагонов располагаются вне s -образной кривой (случай 2.1.3, табл. 1, рис. 4, б) величина радиусов

$$R_{sk} > \frac{4l \cdot l_{кр} - (2l-p)^2 + 0,25l_r^2}{2l \cdot B'/n - 2\lambda}. \quad (7)$$

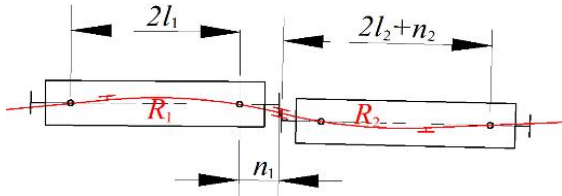


Рис. 6. Схема взаимодействия s -образной кривой и подвижного состава (неполное размещение)

Для вагонов модели 11-835 величина радиусов, обеспечивающая автоматическое сцепление при длинах кривых 14,16 м, образующих s -образную, составит 483 м.

При применении s -образной кривой с прямой вставкой и симметричном размещении тележек вагонов в кривых (случай 2.2.1, табл. 1) может быть использована расчетная схема на рис. 3 и 7, а величина радиуса должна соответствовать выражению

$$R_{sd} > \frac{2n(l+p) - p^2 - l_r^2}{B' - 2\lambda}. \quad (8)$$

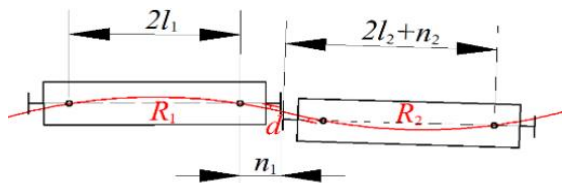


Рис. 7. Схема взаимодействия s -образной кривой с прямой вставкой и подвижного состава

Например, применение стандартной вставки 6,25 м «смягчает» условия взаимодействия в такой s -образной кривой и $R_s^{6,25} = 523$ м.

В случае 2.2.3 при наличии s -образной кривой с вставкой достаточной для размещения ближайших тележек вагонов, можно использовать схему на рис. 4 и 8. Тогда условие определения радиуса

$$R_{sd}^d > n \frac{(2l-p)^2 + 0,25l_r^2}{2l \cdot B' + 2n \cdot \lambda}. \quad (9)$$

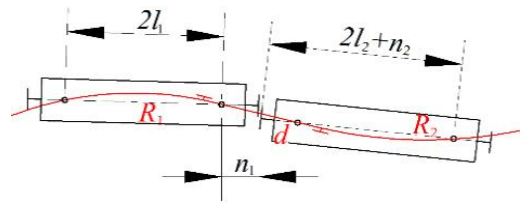


Рис. 8. Схема взаимодействия s -образной кривой с прямой вставкой и подвижного состава (частичное размещение на вставке)

В этом случае, например, при применении вставки $d = 12,5$ м допустимая величина радиуса составит $R_{sd}^{12,5} = 238$ м.

Важным условием безопасности эксплуатации путевых структур является обеспечение движения вагонов в сцепе без силового взаимодействия корпуса автосцепки с окном ударной розетки при совмещении центра зацепления с осью пути (рис. 9, [7]).

Выражение для определения величины радиуса кривой R , обеспечивающей техническую совместимость при движении вагонов в сцепе [9]

$$R \geq \frac{n(2l+n) - l_r^2}{2a \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (10)$$

где a – расстояние от оси поворота до центра зацепления; α – возможный угол отклонения корпуса автосцепки.

Известно, что конструкция автосцепки может занимать четыре принципиальных положения в горизонтальной плоскости: без перекоса хомута и с перекосом его до упора в угольник при нормальном и заглубленном положениях хвостовика [7, 9]. Углы отклонения стандартной автосцепки в зависимости от этого изменяются в пределах от $5^\circ 20'$ до $12^\circ 17'$, что и определяет величину совместимого радиуса R для соответствующих режимов движения. Так, например, величины радиусов при движении сцепа крытых вагонов для перевозки автомобилей, изменяются в пределах от 196 м до 456 м [9].

Сравнение величин радиусов, обеспечивающих автоматическое сцепление и движение в сцепе в круговых и s -образных кривых показало, что операция автоматического срабатывания автосцепки требует применения в 1,3-3 раза больших радиусов кривых. Поэтому в качестве комплексного критерия оценки технической совместимости путевых структур и подвижного состава может быть принято выполнение условия автоматического сцепления.

Общим методом, обеспечивающим близкий к эксперименту результат, является моделирование параметров технической совместимости путей структур и подвижного состава [5]. При ее реализации создается модель исследуемого участка пути, определяется положение взаимодействующих вагонов и их консолей на протяжении всего участка пути, устанавливаются траектории движения осей сцепления автосцепок вагонов. Результатом моделирования является графическая интерпретация взаимодействия путей структур и подвижного состава, оценка выполнения установленного критерия технической совместимости.

На рис. 9 показан пример моделирования условий взаимодействия *s*-образной кривой и вагонов модели 11-835.

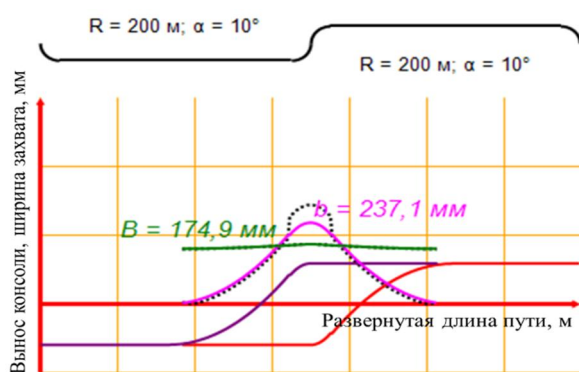


Рис. 9. Графическая интерпретация моделирования условий технической совместимости *s*-образной кривой и вагонов модели 11-835

Метод моделирования обладает достаточной универсальностью для определения параметров технической совместимости путей структур различных конфигураций и подвижного состава. Он позволяет исследовать изменение траекторий движения консольных частей вагонов при сцеплении между собой вагонов различных типов, длинах элементов пути менее базы или консоли вагона, частичном размещении подвижного состава на различных элементах путей структур, асимметричном расположении подвижного состава относительно структурных элементов пути. Особенностью метода является возможность определения координат и размеров неблагоприятной зоны в исследуемых стрелочных горловинах, что необходимо для пространственной локализации небезопасных зон на станциях [5].

Результаты

На основе анализа условий взаимодействия наиболее характерных элементов путей структур и подвижного состава установлены

расчетные параметры вагонов массовых типов (четырёхосный полувагон модельного ряда 12-4004, длина 20960, база 15690, консоль 2635). Наибольшим вагоном (без учета транспортеров), находящимся на балансе Белорусской железной дороги является четырехосная платформа для перевозки лесоматериалов модели 23-4000 (длина 23220, база 17750, консоль 2735), которая принимается в качестве *расчетного вагона* для группы с *увеличенными размерами* рабочего парка БЧ. Расчетами установлено, что при превышении длиной консоли четырех метров независимо от размеров вагона его также следует относить к категории ВУР.

Принятые расчетные категории подвижного состава позволили оценить действующие требования к проектированию на обеспечение безопасных условий взаимодействия по 33 элементам путей структур. Так с ВМТ обеспечивается эффективность эксплуатационной работы по 25 расчетным элементам, а с ВУР – по 16 элементам. Техническая совместимость при существующих требованиях не обеспечивается в *s*-образных кривых, образованных как криволинейными участками путей, так и стрелочными переводами (особенно симметричными). Это связано в основном с недостаточностью величин радиусов и длин прямых вставок. Обеспечение же эффективности взаимодействия с наиболее распространенными расчетными элементами путей структур (одиночных круговых кривых минимального радиуса и одиночных стрелочных переводах наиболее распространенных конструкций) подтверждает рациональность принятых расчетных нормативов.

Исследование всего многообразия путей структур в стрелочных горловинах позволило дополнительно выделить группу схем, образованных сочетанием стрелочных переводов и закрестовинных кривых. Установлено, что могут возникать ограничения на размещение грузового фронта в непосредственной близости от круговой кривой нормативного радиуса.

Разработка требований к структурным элементам путевого развития, обеспечивающих техническую совместимость с ВУР и ВМТ (табл. 2) выполнялась по трем основным группам требований, объединяющим 26 элементов путей структур: криволинейные участки пути, стрелочные переводы, схемы взаимного размещения переводов между собой или в паре с кривой.

**Требования к проектированию путевого развития,
обеспечивающих техническую совместимость с подвижным составом**

№	Элементы стрелочных горловин	Допустимые геометрические параметры пути при эксплуатации вагонов расчетных групп, м		
		массовых	увеличенных размеров	
1		<i>Криволинейные участки пути</i>		
1.1	Круговые	$R_{\min} = 170$	$R_{\min} = 200$	
1.2	s-образные без вставки	$R_{\min} = 390,$ $l_{\text{кр}}^{R200/250/300} = 6,25/7,7/9,5$	$R_{\min} = 450,$ $l_{\text{кр}}^{R200/250/300} = 6/7,4/8,9$	
		$l_{\text{кр}}^{\max} = e^{0,947947 + 0,00435352 R} R, \text{РЄ}[140; 385]$	$l_{\text{кр}}^{\max} = e^{1,00537 + 0,00389576 R} R, \text{РЄ}[140; 448]$	
1.3	s-образные с прямой вставкой	$R_{d6,25/12,5/15} = 253/184/171$	$R_{d6,25/12,5/15} = 303/226/207$	
		$d_{R200/250} = 10,6/6,5$	$d_{R200/250} = 16,3/10,1$	
		$l_{\text{кр}(R200)}^{d6,25/12,5/15} = 7,7/-$ $l_{\text{кр}(R250)}^{d6,25/12,5/15} = 11,5/-$	$l_{\text{кр}(R200)}^{d6,25/12,5/15} = 6,9/11/14,52$ $l_{\text{кр}(R250)}^{d6,25/12,5/15} = 9,4/-$	
2		<i>Расположение одиночных стрелочных переводов</i>		
2.1	1/9 или 1/11	не ограничивается		
2.2	Встречная разносторонняя укладка обыкновенных стрелочных переводов (схема №1)			
2.2.1	1/11-1/11	d не ограничивается	$d_{\min} = 1$	
2.2.2	1/9-1/9	d не ограничивается	$d_{\min} = 2,7$	
2.3	Встречная односторонняя укладка обыкновенных стрелочных переводов (схема №2)			
	1/11, 1/9	d не ограничивается		
2.4	Попутная разносторонняя укладка обыкновенных стрелочных переводов (схема №3)			
	1/11, 1/9	d не ограничивается		
2.5	Схемы укладки №4 и №5 (модификации)			
2.5.1	1/11-1/11	d не ограничивается		
2.5.2	1/9-1/9	d не ограничивается	$d_{\min\text{№4}} = 7,8; d_{\min\text{№5}} = 7,4$	
2.6	Встречное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6			
2.6.1	1/6 – 1/6	$d_{\min} = 9,5$	$d_{\min} = 12,5$	
2.6.2	1/6 – 1/9	$d_{\min}^{P50} = 4; d_{\min}^{P65} = 5,5$	$d_{\min}^{P50} = 9; d_{\min}^{P65} = 10,5$	
2.7	Попутное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6			
2.7.1	1/6поп	$d_{\min} = 5,1$	$d_{\min} = 9,5$	
2.7.2	1/6P50/P65	$d_{\min} = 7,7/7,8$	$d_{\min} = 12,1/12,2$	
2.7.3	1/9 – 1/6	$d_{\min}^{P50} = 5; d_{\min}^{P65} = 6,4$	$d_{\min}^{P50} = 9,5; d_{\min}^{P65} = 10,9$	
3	<i>Взаимное расположение стрелочных переводов и кривых (s-образное расположение)</i>			
3.1	без вставки	1/11	$R_{\min} = 240$	$R_{\min} = 330$
		1/9	$d_{\min} = 1,3$ при $R = 500$	$d_{\min} = 1,5$ при $R = 1430$
		1/6	$d_{\min} = 3$ при $R = 530$	$d_{\min} = 3$ при $R = 1330$
3.2	с прямой вставкой	1/11	d_{P300} не огранич.	$d_{P300} = 12,42$ ($e_{\min} = 4,1$)
			$R_{\min} = 23731 - 20427\sqrt{d}, d \text{Є}[0; 10]$	$R_{\min} = 322508 - 399704\sqrt{d}, d \text{Є}[0; 12,7]$
		1/9 ($e_{\min} = 4,1$)	d_{P200} неогран.	$d_{P200} = 12,5$ ($e_{\min} = 4,4$)
			d_{P300} неогран.	d_{P300} неогранич.
			$R_{\min} = 736,841 - 205,626\sqrt{d}, d \text{Є}[1,3; 7,4]$	$R_{\min} = 2140,63 - 574,356\sqrt{d}, d \text{Є}[1,5; 11,7]$
		1/6	$d_{P200} = 8,75$ ($e_{\min} = 4,8$)	$d_{P200} = 13,85$ ($e_{\min} = 5,6$)
$d_{P300} = 6,55$ ($e_{\min} = 5,1$)	$d_{P300} = 11,55$ ($e_{\min} = 5,9$)			
	$R_{\min} = 878632 - 31035\ln d$ $d \text{Є}[3; 9,5]$	$R_{\min} = 223734 - 780662\ln d,$ $d \text{Є}[3; 13,9]$		

Полученные требования позволяют оценить, например, такие широко распространенные элементы путевых структур, как съезды между параллельными путями. Их конструкция предполагает наличие s-образной кривой, образованной стрелочными переводами, уложенными по схеме №4 с прямой вставкой. Расчет величины прямой вставки определяется из разности длины съезда l и параметров b стрелочных переводов.

Так, при применении стрелочных переводов марок 1/11 P65 (проект 2750) величина вставки составит $d = l - 2b = 53,02 - 2 \cdot 20,78 = 11,46$ м, а 1/11 P50 (проект 2642) $d = 53,02 - 2 \cdot 19,05 = 14,92$ м. При этом согласно пункту 2.5.1 табл. 2 применение стрелочных переводов марки 1/11 по схеме №4 по критерию технической совместимости не требует наличия прямой вставки. При использовании переводов марки 1/9 P65

(проект 2769) $d = 43,47 - 2 \cdot 15,81 = 11,85$ м, а 1/9 Р50 (2643) $d = 43,47 - 2 \cdot 15,60 = 12,27$ м. Величина же вставки исходя из междупутья 4,8 м составляет 7,8 м. То есть, в соответствии с пунктом 2.5.2 табл. 2 дополнительные ограничения также не возникают.

Применение переводов марки 1/6 с учетом безопасности взаимодействия требует применения вставок длиной 9,5 и 12,5 м для ВМТ и ВУР соответственно (пункт 2.6.1 табл. 2). Длина вставки при минимальном междупутье: 1/6 Р65 (2628) $d = 29,2 - 2 \cdot 11,63 = 5,94$ м; 1/6 Р50 $d = 29,2 - 2 \cdot 11,75 = 5,7$ м. То есть применение съездов (в том числе перекрестных) с минимальным междупутьем 4,8 м *требует дополнительного контроля условий эксплуатации*, либо изменения конструкции схемы.

Показанные требования являются реализацией, предложенной методики определения технической совместимости путевых структур и подвижного состава для полигона Белорусской железной дороги.

Важными и сложными путевыми структурами станций являются стрелочные горловины сортировочных парков. Применение предложенного подхода окажет существенное влияние на их эксплуатацию на станциях БЧ, в первую очередь в части повышения безопасности их функционирования.

Особенностью маневров на сортировочных горках является протекание процессов взаимодействия путевых структур и подвижного состава без непосредственного контроля со стороны человека. Как показал анализ действия сопротивлений на вагон в пределах спускной части сортировочных горок БЧ, наибольшее суммарное удельное сопротивление движению в условиях БЧ может достигать 8 Н/кН. Такая величина сопротивления достаточна для удержания вагона (особенно легковесного) на месте в случае остановки на пучковой тормозной позиции и далее в направлении сортировочных путей. Кроме того, участки стрелочной зоны и начала сортировочных путей концентрируют в себе стрелочные переводы и кривые, вызывающие соответствующее увеличение сопротивления троганию и движению вагонов. Опасность неконтролируемого сцепления здесь достаточно высока, поэтому эта зона и определена в качестве *зоны возможной остановки (ЗВО)*.

Анализ схем горочных горловин характерных станций Белорусской железной дороги на обеспечение требований технической совместимости путевых структур и подвижного состава подтвердил, что наибольшая концентрация

кривых участков сосредоточена в стрелочных горловинах построенных с помощью симметричных стрелочных переводов марки 1/6. Применение таких переводов при существующих требованиях к проектированию снижает безопасность взаимодействия в горочных горловинах БЧ с количеством путей 13 и более (Брест-Восточный, Новополоцк, Барбаров, Гомель, Минск, Витебск и др.). Поэтому на таких станциях выше риски возникновения происшествий, связанных с необеспечением технической совместимости. Стоит отметить, что нарушения рекомендованных величин прямых вставок между стрелочными переводами часто незначительны и не превышают 1-1,5 м для ВМТ.

В то же время существует ряд сортировочных горок построенных с применением более пологих марок переводов (1/9 и 1/11) практически полностью соответствующих предлагаемому критерию безопасности (до 90% путей обеспечивают взаимодействие с ВМТ и ВУР).

Полученные ограничения к путевым структурам позволяют снизить неопределенность в вопросах, стоящих перед проектировщиками железнодорожных станций в области применения трудных и особо трудных условий проектирования. Полученные критерии оценки условий технической совместимости путевых структур и подвижного состава позволяют достаточно точно определить наличие потенциально опасных зон на железнодорожных станциях.

Применение, разработанных требований позволит повысить качество эксплуатационной работы за счет: ликвидации избыточных нагрузок на автосцепной механизм вагонов, уменьшения износа элементов конструкции вагонов и криволинейных участков пути, снижения шума, повышения безопасности и качественных условий труда причастных работников.

Научная новизна и практическая значимость

Для обеспечения безопасности и эффективности взаимодействия путевых структур железнодорожных станций и подвижного состава:

– предложен метод комплексной оценки взаимодействия путевых структур железнодорожных станций и подвижного состава по критерию технической совместимости;

– разработана имитационная модель процесса взаимодействия в системе «путевая структура-вагон», позволяющая определять требования к схемам путевого развития высокой степени сложности;

– рассмотрены основные таксоны условий взаимодействия;

– предложены требования технической совместимости стрелочных горловин железнодорожных станций и подвижного состава;

– уточнены критерии выделения расчетных категорий вагонов, получены параметры путей структур, обеспечивающие техническую совместимость с подвижным составом.

Представленная методика может быть использована на станциях для локализации наиболее опасных участков путей и идентификации в технологии работы категории вагонов, вызывающие эксплуатационные ограничения.

Применение полученных результатов при разработке проектов строительства и реконструкции путевого развития, производстве стрелочной продукции и подвижного состава позволит обеспечить их техническую совместимость и повысить эксплуатационные качества.

Выводы

В результате выполненных исследований получены следующие основные выводы:

1. Установлены причины формирования проблемного поля «путевая структура-вагон», которыми являются: автономность развития методов решения задач пространственно-координатной привязки объектов инфраструктуры; диспропорция роста размеров подвижного состава и снижения криволинейности путей структур за более чем 120-летний период с темпом до 6% / десятилетие; увеличение силовых взаимодействий в системе «путевая структура – вагон» на 5% / десятилетие; степень криволинейности путей структур увеличилась в 3 раза, доля s-образных кривых в 4-15 раз.

2. Предложена классификация условий взаимодействия в системе «путевая структура – вагон», включающая 25 минимальных таксонов. Установлено, что на полигоне БЧ может находиться до двух тысяч вагонов увеличенных размеров в сутки. До 80% кривых в стрелочных горловинах ряда станций БЧ не в полной мере соответствуют требованиям проектирования путевого развития и подвижного состава.

3. Разработаны методы оценки технической совместимости путей структур по условиям обеспечения автоматического сцепления и движения вагонов в сцепе. Установлен комплексный критерий технической совместимости горловин станций и подвижного состава, позволяющий более чем на 30% снизить силовое взаимодействие в системе «путевая структура-вагон»

при движении в сцепе по кривым и обеспечить автоматическое срабатывание автосцепок.

4. Разработана имитационная модель процесса взаимодействия путей структур и подвижного состава.

5. Проверено соответствие действующих норм проектирования предложенному критерию эффективности взаимодействия путей структур и подвижного состава. Установлено, что эффективность эксплуатации с ВМТ обеспечивает более 75% случаев, а эксплуатация ВУР только в 50%.

Разработаны специальные требования к структурным элементам путевого развития железнодорожных станций, соответствующие принятому комплексному критерию расчета. Предложено выделить в отдельную группу s-образные сочетания «стрелочный перевод – закрестовинная кривая», присутствующие в зоне вероятной остановки вагонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. Министерство путей сообщения Российской Федерации. М. Техноинформ, 2001 г. – 255 с.

2. ГОСТ 22235 – 2010. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. М. Стандартиформ, 2011 г. 19 с.

3. ТР ТС 003/2011. Технический регламент ТС «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» (с изменениями на 9 декабря 2011 года). [Электронный ресурс] утв. решением Комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 года N 710. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902293439>. Дата доступа : 18.06.2020.

4. Филатов, Е.А. Повышение безопасности функционирования железнодорожных станций / Е.А. Филатов // Сборник научных трудов Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна «Транспортные системы и технологии перевозок». – Д. : ДНУЖТ, 2017. – Вып. 13. – С. 78–83.

5. Филатов, Е.А. Расчет параметров путей структур железнодорожных станций по критерию безопасности / Е.А. Филатов // Сборник научных трудов Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна «Транспортные системы и технологии перевозок». – Д. : ДНУЖТ, 2017. – Вып. 14. – С. 86–94.

6. Филатов, Е.А. Влияние геометрических параметров путей структур на работу железнодорожного транспорта / Е.А. Филатов // Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., «Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов»: / М-во трансп. и

коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 117–119.

7. Филатов, Е.А. Комплексное обоснование параметров путевого развития железнодорожных станций и геометрических размеров подвижного состава Филатов Е.А. // Сборник научных работ Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна «Транспортные системы и технологии перевозок». – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та железн. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2018. – Вып. 16. С. 93-101.

8. Филатов Е.А. Обеспечение безопасности при проектировании круговых кривых на железнодорожных станциях / Е.А. Филатов // Проблемы безопасности на транспорте : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос.

ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 84-86.

9. Филатов Е.А. Повышение эффективности конструкций путевых структур для выполнения маневровой работы / Е.А. Филатов // Тихомировские чтения: Инновационные технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 160-163.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Негреем В. Я. (Беларусь)

Поступила в редколлегию 15.04.2020

Принята к публикации 24.04.2020

Є. А. ФІЛАТОВ

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНОЇ СУМІСНОСТІ ГОРЛОВИН ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ І РУХОМОГО СКЛАДУ

Мета. Метою дослідження є обґрунтування технічної сумісності стрілочних горловин залізничних станцій і рухомого складу. **Методика.** Під технічною сумісністю горловин залізничних станцій і рухомого складу розуміється здатність до взаємодії елементів конструкцій стрілочних горловин і рухомого складу відповідно до встановлених вимог безпеки. В якості критеріїв оцінки технічної сумісності елементів конструкцій стрілочних горловин і рухомого складу приймається виконання умов руху вагонів в зчепленні і їх автоматичного зчеплення. Аналіз сформованих методів визначення просторово-координатної прив'язки шляхової інфраструктури і рухомого складу в горизонтальній площині показав, що вирішальну роль відіграють відхилення його контрольних точок від осі шляху. Зазначені явища залежать від двох груп факторів: параметрів колійного розвитку (наявність і параметри кривих, прямих вставок, їх взаємне розміщення) і конструкції рухомого складу (довжини баз візка і вагона, довжини консольної частини, особливостей конструкції візків, величини захоплення і кута відхилення автозчеплення). Для оцінки конструкції стрілочних горловин за умовою забезпечення автоматичного зчеплення запропоновані графічні та аналітичні методи визначення відповідних величин радіусів. У дослідженні отримано також вираз для безпосереднього розрахунку величини радіуса, що забезпечує безпечний рух в зчепленні в залежності від кута відхилення хвостовика автозчеплення. Це дозволило оцінити здатність до взаємодії один з одним елементів конструкції колійного розвитку і рухомого складу при русі в зчепі в залежності від положення елементів автозчеплення (перекошене і не перекошене положення тягового хомута з урахуванням нормального або заглибленого положення автозчеплення). Для визначення комплексного критерію проектування горловин залізничних станцій, що забезпечує технічну сумісність з рухомих складом, виконано порівняння допустимих радіусів при автоматичному зчепленні і русі в зчепленні для різних типів рухомого складу. Величини радіусів, що забезпечують автоматичне зчеплення в 1,3-3 рази перевищують необхідні для ефективного руху в зчепленні (навіть при заглибленому положенні хвостовика автозчеплення). Отже, в якості комплексного критерію технічної сумісності при розробці вимог до проектування стрілочних горловин залізничних станцій, може бути прийнято умову автоматичного зчеплення. **Результати.** Отримано, що величини кутів відхилення в різних положеннях автозчепок можуть відрізнятись більш ніж в два рази, що вимагає дотримання додаткових обмежень при маневрах з групами вагонів. Виконані розрахунки підтверджують можливість силової взаємодії елементів автозчеплення, обумовлену невідповідністю норм проектування колійного розвитку і рухомого складу. Крім того, в конструкціях існуючих горловин залізничних станцій більше 20% кривих мають радіуси менш допускаються сучасними нормами проектування залізничних станцій, до половини – нормам проектування вагонів масових типів і до 80% – нормам проектування вагонів збільшених розмірів. Це додатково знижує технічну сумісність стрілочних горловин і рухомого складу, створює надлишкові навантаження при їх взаємодії. Показаний "розрив" між параметрами колійного розвитку і рухомого складу може призводити до ряду негативних наслідків, пов'язаних з процесами руху в зчепленні і зчеплення вагонів. **Наукова новизна.** Для забезпечення безпеки та ефективності взаємодії стрілочних горловин залізничних станцій і рухомого складу запропоновано метод комплексної оцінки колійних структур залізничних станцій за критерієм технічної сумісності з рухомих складом; розроблена імітаційна модель процесу взаємодії в системі «колійна структура-вагон», що дозволяє визначати вимоги до структурних схем колійного розвитку високого ступеня складності; встановлені основні таксони умов взаємодії; доповнено

вимоги технічної сумісності стрілочних горловин залізничних станцій і рухомого складу; уточнено критерії виділення розрахункових категорій вагонів, отримано параметри колійних структур, що забезпечують технічну сумісність горловин станцій і рухомого складу. **Практична значимість.** Отримана методика може бути використана на станціях для локалізації найбільш небезпечних ділянок шляхів та ідентифікації в технології роботи категорії вагонів, що викликають експлуатаційні обмеження. Застосування отриманих результатів при розробці проектів будівництва та реконструкції колійного розвитку залізничних станцій, виробництві стрілочної продукції, вдосконалення конструкцій рухомого складу дозволить забезпечити їх технічну сумісність і значно підвищити їх експлуатаційні якості.

Ключові слова: стрілочна горловина станції, параметри колійного розвитку, вагон збільшених розмірів, технічна сумісність.

E. FILATOV

SUBSTANTIATION OF TECHNICAL COMPATIBILITY OF NECKLACE RAILWAY STATIONS AND ROLLING STOCK

Purpose. The purpose of the study is to substantiate the technical compatibility of the switch necks of railway stations and rolling stock. **Technique.** Technical compatibility of the necks of railway stations and rolling stock means the method of interaction of the elements of the structures of the switch necks and rolling stock in accordance with the established safety requirements. As criteria for evaluation of technical compatibility of elements of structures of switch necks and rolling stock, compliance with conditions of car movement in a coupling and their automatic coupling is accepted. Analysis of the established methods of determining the spatial-coordinate relationship of the track infrastructure and rolling stock in the horizontal plane showed that deviations of its control points from the track axis play a decisive role. These phenomena depend on two groups of factors: the parameters of track structure (the presence and parameters of curves, straight inserts, their mutual placement) and the design of the rolling stock (the length of the bases of the trolley and car, the length of cantilever part, the design features of the trolleys, the amount of grip and the angle of deviation of the automatic coupler). Graphical and analytical methods of determining the corresponding radius values are proposed to evaluate the design of the switch necks according to the condition of providing automatic adhesion. The study also obtained an expression for directly calculating the radius value that ensures safe movement in the coupling depending on the angle of deflection of the automatic coupler shank. This made it possible to assess the ability to interact with each other of the structure elements of and rolling stock when moving in a coupler depending on the position of the automatic coupler elements (skewed and not skewed position of the traction clamp, taking into account the normal or buried position of the automatic coupler). To determine the complex criterion in designing the necks of railway stations providing technical compatibility with rolling stock, a comparison of permissible radii during automatic clutch and clutch movement for various types of rolling stock was made. The values of radii that provide automatic adhesion are 1.3-3 times higher than those required for effective movement in the coupling (even when the shank of the automatic coupler is buried). Therefore, as a complex criterion of technical compatibility in the development of requirements for the design of switch necks of railway stations, the condition of automatic adhesion can be adopted. **Results.** It was obtained that the values of deflection angles at different positions of automatic couplers can differ more than twice, which requires additional restrictions when maneuvering with groups of cars. The calculations confirm the possibility of power interaction of the automatic coupler elements due to non-conformity of the design standards of track structure and rolling stock. In addition, in the designs of existing necks of railway stations, more than 20% of curves have radii less than those allowed by modern design standards of railway stations, up to half - by the design standards of wagons of mass types and up to 80% - by the design standards of cars of increased size. This additionally reduces the technical compatibility of fishing mountains and rolling stock, creates excessive loads during interaction. The "gap" shown between the parameters of track structure and rolling stock can lead to a number of negative consequences associated with the processes of movement in the coupling and traction of cars. **Scientific novelty.** In order to ensure the safety and effectiveness of the interaction of the switch necks of railway stations and rolling stock, a method of comprehensive assessment of the track structures of railway stations according to the criterion of technical compatibility with rolling stock has been proposed; a simulation model of the interaction process in the track structure-car system has been developed, which allows determining requirements for structural schemes of track structure of a high degree of complexity; main taxa of interaction conditions are established; requirements of technical compatibility of switch necks of railway stations and rolling stock are supplemented; criteria for identifying calculated categories of cars were clarified, parameters of track structures were obtained that ensure technical compatibility of the necks of stations and rolling stock. **Practical importance.** The obtained technique can be used at stations to localize the most dangerous sections of tracks and identify the category of cars that cause operational restrictions in the operation technology. The application of the results obtained in the development of projects for the construction and reconstruction of railway stations, the production of switch products, and the improvement of rolling stock structures will ensure their technical compatibility and significantly improve operational quality.

Keywords: switch neck of the station, parameters of track structure, car of increased dimensions, technical compatibility.