

УДК 656.212.5.001.2

Е. А. ФИЛАТОВ^{1*}

^{1*} Каф. «Транспортные узлы», Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь, тел. (0232) 95-39-48, эл. почта filatoff.ea@yandex.ru, ORCID 0000-0001-7710-3110

КОМПЛЕКСНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Цель. Целью исследования является определение единого критерия эффективности взаимодействия автосцепок, для комплексного обоснования параметров путевого развития железнодорожных станций и геометрических размеров подвижного состава. **Методика.** В качестве критериев эффективности и безопасности конструкций путевого развития рассматриваются основные эксплуатационные характеристики автосцепных механизмов в горизонтальной плоскости: эффективность движения вагонов в сцепе и возможность их автоматического сцепления. Анализ методов оценки условий выполнения указанных критериев, позволяет выделить две группы влияющих факторов: геометрические параметры путевого развития (радиус кривой, длина кривой, прямая вставка) и геометрические размеры подвижного состава (длина базы вагона, длина консольной части, база тележки, дополнительное смещение тележек, ширина захвата и угол отклонения автосцепки). Сравнительная оценка выбранных критериев выполняется с помощью аналитических зависимостей для непосредственного расчета длин радиусов, обеспечивающих автоматическое сцепление и движение вагонов в сцепе. С этой целью в исследовании получено выражение для непосредственного расчета длины радиуса в зависимости от угла отклонения хвостовика автосцепки при движении в сцепе. Это позволило оценить эффективные конструкции путевого развития в зависимости от положения элементов автосцепки при движении в сцепе: перекошенное и не перекошенное положение тягового хомута с учетом нормального или заглубленного положения автосцепки. Для определения единого критерия при проектировании путевого развития, обеспечивающего эффективность взаимодействия автосцепок, выполнено сравнение допустимых радиусов при автоматическом сцеплении (в зоне круговой и s-образной кривых) и радиусов, обеспечивающих движение в сцепе (при различном положении автосцепки) для различных типов подвижного состава. Величины радиусов, обеспечивающие автоматическое сцепление значительно превышают требуемые величины радиусов для обеспечения эффективного движения в сцепе (даже при заглубленном положении хвостовика автосцепки). Следовательно, в качестве критерия при разработке требований к проектированию путевых структур 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, и требует применения соответствующих радиусов кривых. Кроме того, маневры с подвижным составом осуществляемые вагонами вперед, требуют соблюдения более строгих условий эксплуатации и применения более пологих кривых (более чем на 20 %). Сравнение условий функционирования автосцепных механизмов в горизонтальной плоскости, обусловленных параметрами путевого развития, позволило установить критерий эффективности взаимодействия автосцепок и оценить качество конструкций элементов путевых структур. 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 встречаются кривые радиусами менее допускаемых современными нормами проектирования (более 20 % кривых имеют радиусы менее 200 м), что дополнительно усложняет возможность обеспечения взаимодействия автосцепок без возникновения избыточных нагрузок в их конструкциях. 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.** Разработан достаточно простой способ непосредственного расчета допустимой величины радиуса кривой, обеспечивающий эффективность движения вагонов в сцепе. Предлагаемый метод позволяет оценить степень влияния кривизны пути на конструкцию ударно-тяговых механизмов вагонов в зависимости от положения хвостовика (четыре варианта). Обоснован единый критерий проектирования путевого развития, обеспечивающий эффективность взаимодействия подвижного состава. **Практическая значимость.** Обоснование критерия эффективности взаимодействия вагонов, позволяет: обеспечить сцепление вагонов за счет уменьшения горизонтальных отклонений; снизить степень силового взаимодействия в узлах автосцепки при движении в сцепе более чем на 30%, повысив соответственно надежность их функционирования; разработать специальные требования к проектированию путевого развития железнодорожных станций; обнаружить и локализовать опасные участки путе-

вой инфраструктуры; выделить безопасные технологические маршруты пропуска вагонов увеличенных геометрических размеров; повысить эффективность и безопасность перевозочного процесса в целом.

Ключевые слова: геометрические параметры путевого развития, вагоны увеличенных размеров, эффективность и безопасность взаимодействия подвижного состава.

Вступление

Одним из направлений повышения эффективности функционирования железнодорожного транспорта является применение подвижного состава увеличенных габаритов и грузоподъемности. Эта тенденция сопровождает развитие железнодорожного транспорта на протяжении всей его истории, так как позволяет заметно повысить эффективность перевозок. При этом устойчивый тренд на развитие тяжеловесного движения сохраняется и в ближайшем будущем [1, 2]. С другой стороны, применение таких вагонов вызывает дополнительные эксплуатационные ограничения, связанные с взаимным влиянием параметров подвижного состава и путевых структур.

Анализ методов проектирования путевого развития и подвижного состава позволяет разделить вопросы, связанные с эксплуатацией такого подвижного состава, на сферы горизонтальной и вертикальной планировки. При этом проектирование профиля пути имеет более жесткие ограничения. Так наибольший угол перелома элементов профиля на сортировочной горке составляет 55 %, что приблизительно соответствует 3,15°; а допустимый радиус сопряжения смежных участков профиля 250 м. Увеличение размеров вагонов в эксплуатационном отношении может приводить к затруднениям при преодолении указанных зон перелома профиля в первую очередь из-за саморасцепа или превышения допустимого перепада центров ударно-тяговых механизмов. В ответ на эти явления в последнее время активно внедряются модернизированные автосцепные устройства с ограничителями вертикальных перемещений и увеличенным допустимым перепадом уровней автосцепок и областью сцепления.

В горизонтальной плоскости эксплуатационные ограничения проявляются в важнейших сферах, определяющих эффективность и безопасность перевозочного процесса: расчета различных габаритов приближения и при проектировании подвижного состава. При этом нормами проектирования путей в плане допускаются радиусы 140 м для промышленных предприятий и 200 м для железных дорог общей сети, угол поворота при этом не ограничен. Областью, в которой можно существенно по-

влиять на эксплуатационные ограничения, связанные с размерами вагонов является проектирование ударно-тяговых механизмов подвижного состава.

Автосцепные устройства вагонов в горизонтальной плоскости обеспечивают множество задач, однако непосредственно от конструкции плана пути зависят две из них: обеспечение движения в сцепе и автоматическое сцепление.

Следует отметить, что полный переход к автосцепке СА-3 продолжался с 30-х по 50-е годы прошлого века. С этого момента по сегодняшний день размеры многих типов подвижного состава увеличились в 2-3 раза. Любопытно, что требования к параметрам путевого развития за указанный период ужесточились только на 40 %. Такое разногласие проявилась и в несоответствии требований к проектированию путевого развития и подвижного состава (табл. 1, [3-5]).

Таблица 1

Анализ соответствия норм проектирования путевого развития и подвижного состава

№	Участок пути	Операция	Сравнение радиусов, требуемых при строительстве путей и нормируемых при проектировании вагонов			
			промышленных предприятий		станций общей сети	
			ВМТ	ВУР	ВМТ	ВУР
1	Круговая	ДС	80-80= =0	150-110= =+40	200-80= =+120	200-110= =+90
2		АС	140-135= =+5	150-190= =-40	200-135= =+65	200-190= =+10
3	s-образная	ДС	80-120= =-40	160-160= =0	200-120= =+80	200-160= =+40
4		АС	140-250= =-110	160-480= =-320	200-250= =-50	200-480= =-280

Примечание:

ВМТ – вагоны массовых типов,

ВУР – вагоны увеличенных размеров;

АС – автоматическое сцепление,

ДС – движение в сцепе;

0 – отсутствие резерва,

«+» – наличие резерва,

«-» – несоответствие норм проектирования

Как видно из данных табл. 1 требования к взаимозвязанным элементам инфраструктуры (путевому развитию и подвижному составу) не гармонизированы между собой. Наибольшее несоответствие наблюдается по отношению к нормам проектирования путей промышленных

предприятий. Это объясняется применением на некоторых предприятиях специализированного подвижного состава с малыми углами вписывания (сталелитейные производства), для которых и сохранены столь «мягкие» требования к радиусам кривых. В то же время для железнодорожных станций общей сети также наблюдается существенные несоответствия при обеспечении автоматического сцепления вагонов (до 60 %).

Выявленная диспропорция геометрических параметров путевого развития и размеров подвижного состава влияет в первую очередь на эффективность и безопасность взаимодействия ударно-тяговых механизмов вагонов и, следовательно, на перевозочный процесс в целом. Как видно из таблицы это проявляется в двух основных функциональных задачах ударно-тяговых механизмов: *обеспечение движения в сцепе и автоматическое сцепление вагонов*.

Ненормативное взаимодействие элементов автосцепок *при движении вагонов в сцепе* по кривым малых радиусов способствует возникновению избыточных поперечных сил в узлах автосцепных механизмов (особенно при заглубленном положении автосцепок). Это приводит к повышенному износу взаимодействующих элементов конструкции автосцепки: в контуре зацепления, в зоне контакта корпуса автосцепки и окна ударной розетки, в месте шарнирного соединения хвостовика с клином тягового хомута (более 70 % повреждений) и др. В конечном итоге это приводит к появлению неисправностей соответствующих деталей.

Следует понимать, что при предельных отклонениях автосцепки, боковые силы оказывают обратное воздействие на кузов вагона, стремясь изменить его положение. Это вызывает дополнительные боковые нагрузки в зоне контакта «колесо-рельс», и может приводить к их повышенному износу, особенно при движении по s-образным сочетаниям и заглубленном положении хвостовика (например, при движении вагонами вперед).

Вторым эксплуатационным ограничением при выполнении маневров на станциях является *автоматическое сцепление*, которое требует соблюдения значительно более строгих условий проектирования (табл. 1).

Несоответствие условий взаимодействия при автоматическом сцеплении (например, при роспуске с горки) может приводить к:

- заклиниванию хвостовиков автосцепок или ударному взаимодействию их зубьев, приводящее к износу, деформациям и повреждениям узлов автосцепного механизма (при взаимодей-

ствии вагонов с небольшими весом и скоростью);

- поломке автосцепного устройства, или к выдавливанию колесных пар вагонов и их сходу (при достаточно высокой скорости соударения и значительной массе вагонов).

В качестве основных направлений по ликвидации рассмотренных проблем эксплуатации и проектирования можно назвать:

- гармонизация нормативной базы в сфере проектирования путевых структур и подвижного состава;

- совершенствование конструкции подвижного состава;

- введение дополнительных технологических ограничений в эксплуатационной работе с привлечением работников к маневрам, связанным со сцеплением подвижного состава (невозможность реализации при роспуске с горки);

- модернизация путевой инфраструктуры железных дорог (разработка методики проектирования путевых структур эффективных конструкций; дополнение требований к элементам путевого развития; локализация неблагоприятных зон на станциях и путях необщего пользования).

На первый взгляд кажется, что дальнейшая модернизация должна выполняться только в направлении совершенствования конструкции вагонов, как в основном и происходило. Однако, учитывая комплексный эффект от ужесточения требований к криволинейным элементам путевых структур: улучшение обеспечения габаритов приближения подвижного состава и строений, габарита погрузки, условий проектирования подвижного состава, уменьшение нагрузки на элементы конструкции автосцепного механизма, повышение степени сцепляемости, снижение износа в зоне контакта «колесо-рельс», снижения вероятности набегания колеса на рельс и другое, – эффективность реализации этого направления имеет несоизмеримо больший потенциал, чем остальные. А с учетом размеров вагонного парка «пространства 1520 мм» (более 1,5 млн вагонов) глобальная модернизация подвижного состава является весьма дорогостоящим мероприятием и может оказаться несоизмеримым с локальным переустройством ограничивающих элементов путевой инфраструктуры.

В связи с этим обоснование параметров путевого развития на основе геометрических размеров подвижного состава является важным шагом для повышения эффективности и безопасности перевозочного процесса в целом.

Цель

Целью исследования является определение единого критерия эффективности взаимодействия автосцепок, для комплексного обоснования параметров путевого развития железнодорожных станций и геометрических размеров подвижного состава. Это позволит на основе имеющихся методов [6-8] сформировать методику определения ограничений на геометрические параметры путевых структур и разработать дополнительные требования к проектированию путевого развития железнодорожных станций.

Методика

Анализ методов, учитывающих комплексное влияние геометрических параметров пути и подвижного состава, позволяет выделить две основные группы определяющих факторов: геометрические параметры путевого развития (радиус кривой, длина кривой, прямая вставка) и геометрические размеры подвижного состава (база вагона, длина консольной части, база тележек, особенности конструкции и движения тележки, ширина захвата и угол отклонения автосцепки). При этом основные критерии эффективности взаимодействия: движение вагонов в сцепе и возможность автоматического сцепления, – зависят от одних и тех же параметров путевого развития. Следовательно, для разработки единых требований к геометрии путевых структур, необходимо установить комплексный критерий, учитывающий эффективное и безопасное взаимодействие автосцепных устройств между собой.

Рассмотрим вопрос обеспечения эффективного движения вагонов в сцепе. Данный эксплуатационный процесс является базовым с точки зрения как безопасности выполнения маневровой работы, так и проектирования путевого развития железнодорожных станций [5]. При эксплуатации подвижного состава на станциях положение автосцепкок может занимать четыре характерных положения: перекошенное и не перекошенное положение тягового хомута с учетом нормального или заглубленного положения автосцепки [9]. При этом существующие методы расчетов [5] допускают силовое взаимодействие элементов конструкции ударно-тягового механизма. Однако, согласно исследований [10] для оценки безопасного прохода кривых целесообразно использовать условие возможности поворота корпуса автосцепки до совмещения центра его зацепления с осью пути. Для определения

отклонения автосцепки согласно [10] предлагается расчетная схема, показанная на рис. 1.

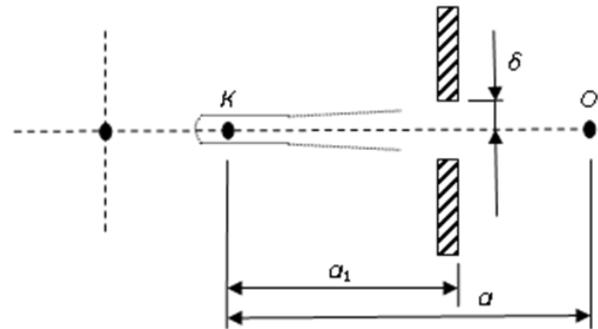


Рис. 1. Расчетная схема для определения отклонений оси автосцепки в горизонтальной плоскости

Как показано на рис. 1, точка K – центр поворота корпуса автосцепки (ось клина тягового хомута), δ – зазор между окном и корпусом, точка O – центр сцепления. Согласно схеме при повороте оси автосцепки центр сцепления может сместиться от центрального положения до соприкосновения корпуса с кромкой окна на величину

$$\delta_0 = \frac{\delta}{a_1} a - d, \quad (1)$$

где a_1 – расстояние при закрытом поглощающем аппарате от оси поворота корпуса до наружной кромки окна ударной розетки;

a – расстояние от оси поворота до центра зацепления;

d – половина ширины хвостовика автосцепки.

В качестве условия безопасного проследования кривой в сцепе авторами [10] предлагается принять отсутствие силового взаимодействия корпуса автосцепки с окном ударной розетки, что определяется возможностью совмещения оси сцепления автосцепки с осью пути. То есть, вынос центра зацепления в расчетной кривой Δ_k не должен превышать допустимую величину смещения корпуса автосцепки с учетом ее упора в окно ударной розетки δ_0

$$\delta_0 \geq \Delta_k. \quad (2)$$

При этом

$$\Delta_k = \left(\sqrt{R^2 - l^2} - \sqrt{R^2 - L_{\text{сц}}^2} \right) - \left(R - \sqrt{R^2 - l^2} \right).$$

Предлагаемый способ не позволяет выразить непосредственно величину радиуса, поэтому для определения величины смещения в расчетной кривой можно использовать метод используемый для нахождения выноса консоли в соответствии с ГОСТ 2235 [5].

$$\Delta_k = b = \frac{n(2l+n) - l_t^2}{2R} \quad (3)$$

где n – длина консоли от пятникового сечения вагона до оси автосцепки, м;

l – длина базы вагона, м;

l_t – длина базы тележки, м.

Тогда условие (1) примет вид

$$\delta_0 \geq \frac{n(2l+n) - l_t^2}{2R}. \quad (4)$$

Отсюда можно выразить условие проектирования радиуса кривой, обеспечивающее безопасное проследование вагона в сцепе

$$R \geq \frac{n(2l+n) - l_t^2}{2\delta_0}. \quad (5)$$

Величина δ_0 может определяться из выражения (1). Однако, учитывая, что при проектировании ударно-тяговых устройств нормируется в первую очередь возможный угол отклонения корпуса автосцепки α , то предельное смещение оси сцепления можно выразить следующим образом

$$\delta_0 = a \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (6)$$

Тогда условие (5) для определения величин радиусов, обеспечивающих движение вагонов в сцепе, можно представить в виде

$$R_{\text{дс}} \geq \frac{n(2l+n) - l_t^2}{2a \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (7)$$

Так, например, при расположении крытого вагона для перевозки автомобилей (длина 24,26 м) на кривой при номинальном положении без перекоса автосцепки ($\alpha_n = 8^\circ$ [9]) радиус кривой, обеспечивающий отсутствие силового взаимодействия узлов автосцепки должен быть

$$\begin{aligned} R_{\text{дс}} &\geq \frac{3630 \cdot (17000 + 3630) - 925^2}{2 \cdot 870 \cdot \operatorname{tg} 8} = \\ &= 302735 \text{ мм} = 303 \text{ м}. \end{aligned}$$

При заглубленном положении автосцепки (угол $5^\circ 20'$ [9]), радиус кривых должен быть не менее

$$\begin{aligned} R_{\text{дс}} &\geq \frac{3630 \cdot (17000 + 3630) - 925^2}{2 \cdot 870 \cdot \operatorname{tg} 5,33} = \\ &= 455757 \text{ мм} = 456 \text{ м}. \end{aligned}$$

Как видно из результатов расчета заглуб-

ленное положение автосцепки снижает гибкость автосцепного механизма и повышает нагрузку на него (до 50 %). Такая ситуация наиболее характерна для выполнения маневров вагонами вперед.

С учетом максимального перекоса (смещения) тягового хомута в сторону, противоположную отклонению автосцепки ($\alpha_n = 12,17^\circ$ [9]) радиус согласно выражения (7) равен $R_{\text{дс}} = 196$ м, а при заглубленном положении (угол $9,5^\circ$ [9]) – 255 м. При движении в кривой меньшего радиуса необходимо применять ударно-тяговые устройства, допускающие больший угол отклонения. Иначе в автосцепках могут возникать избыточные силы, приводящие к повышенному износу узлов автосцепного оборудования, которые при значительном несоответствии радиусов могут передаваться в зону контакта «колесо-рельс» (табл. 2).

Таблица 2

Эффективные величины радиусов при движении в сцепе крытого вагона для автомобилей и различных режимах работы автосцепки

Положение хомута автосцепки в плане	Положение автосцепки	Наибольший угол отклонения автосцепки СА-3 γ [9]	Минимальная величина радиуса, м
С перекосом до упора в угольник	Нормальное (ПН)	$12^\circ 17'$	196
	Заглубленное (ПЗ)	$9^\circ 30'$	255
Без перекоса	Нормальное (БН)	8°	303
	Заглубленное (БЗ)	$5^\circ 20'$	456

Как видно из данных таблицы при движении сцепленных вагонов в различных технологических условиях диапазон эффективных величин радиусов может изменяться в широких пределах (более 200 %). Также видно, что движение в сцепе достаточно больших вагонов, на участке s -образной кривой с радиусами 200 м может быть обеспечено. Однако, при движении вагонами вперед автосцепка находится в заглубленном положении, что ограничивает возможности отклонения автосцепок, и нормативные режимы взаимодействия могут не обеспечиваться. Полученные результаты показывают, что для вагонов больших геометрических размеров требуется применение конструкций ударно-тяговых механизмов с большими допустимыми углами отклонения (до $16\text{--}20^\circ$). Но даже такой подход допускает возможность силового взаимодействия элементов автосцепки, обусловленную несоответствием норм проектирования путевого развития и подвижного состава (табл. 1). Кроме того, как

показал анализ некоторых схем существующих горловин железнодорожных станций, в их конструкциях встречаются кривые с радиусами меньше допустимых (рис. 2), что дополнительно усложняет возможность обеспечения эффективного взаимодействия автосцепок.

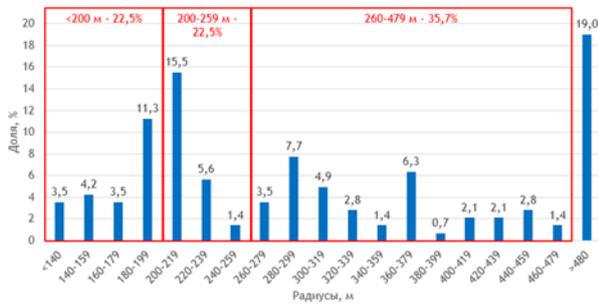


Рис. 2. Доля кривых различной кривизны, применяемых в горловинах станций

Для определения единого критерия эффективности взаимодействия автосцепок воспользуемся формулами определения допустимых радиусов R и R_s при автоматическом сцеплении в круговой и s -образной кривых [6]

$$R > \frac{l + n}{tg\beta_0} \quad (8)$$

и

$$R_s > \frac{(n(2l + n) - l^2)}{B' - 2\lambda} \quad (9)$$

Расчеты по определению допустимых величин радиусов при автоматическом сцеплении в пределах участка сопряжения круговой кривой и прямой, а также в зоне s -образной кривой в соответствии с формулами (8) и (9) для некоторых типов вагонов показаны во втором столбце табл. 3. Результаты расчета величин радиусов, обеспечивающих движение аналогичных типов вагонов в сцепе с перекосом автосцепки в нормальном и заглубленном положениях показаны в третьей колонке этой же таблицы.

Как видно из данных таблицы при условии выполнения автоматического сцепления на s -образной кривой и движения в сцепе при заглубленном положении автосцепок, наблюдается значительное превышение требуемых величин радиусов необходимых для обеспечения эффективного сцепления (в два и более раза). Следовательно, в качестве критерия проектирования путей структур железнодорожных станций, может быть принято условие эффективного автоматического сцепления.

Можно также сделать важные выводы о влиянии геометрических параметров путевого

развития на функционирование ударно-тяговых механизмов вагонов при их движении в сцепе. Так, весьма заметна разница в условиях движения в сцепе при сжатых и растянутых автосцепках. Это означает, что зоны, в которых выполняются маневры вагонами вперед, требуют соблюдения более строгих условий эксплуатации и проектирования.

Таблица 3

Сравнение геометрических параметров путевого развития при автоматическом сцеплении и движении вагонов в сцепе

Параметры вагона (длина/база/ консоль), м	Величины радиусов с округлением, м		
	АС (круговая кривая/ s -образная кривая)	ДС (ПН / ПЗ)	Разница условий АС и ДС, м (s -обр. - ПЗ)
4-осн. разл. типов (13,92/8,65/2,635)	110 / 240	80 / 100	140 (140 %)
4-осн. крытый (15,35/9,83/2,76)	130 / 280	90 / 120	160 (133 %)
4-осн. крытый (17,67/12,24/2,715)	150 / 330	110 / 140	190 (136 %)
8-осная цистерна (18,69/10,52/4,085)	170 / 390	150 / 200	190 (95 %)
8-осный полувагон (20,24/12,07/4,085)	190 / 430	170 / 220	210 (95 %)
8-осная цистерна (21,25/13,92/3,665)	190 / 420	170 / 210	210 (100 %)
4-осн. 2-яр. платф. (21,66/16,5/2,58)	180 / 400	130 / 170	230 (135 %)
4-осн. крытый (ав- том.) (24,26/17,3/3,63)	260 / 610	200 / 260	350 (135 %)
4-осн. платформа (24,52/19,62/2,45)	190 / 440	150 / 190	250 (132 %)
4-осн. платформа (26,22/19,3/3,61)	290 / 660	220 / 280	380 (136 %)

Примечание:

АС – автоматическое сцепление;

ДС – движение вагонов в сцепе;

ПН, ПЗ – см. табл. 2

Учитывая, что более 20 % кривых имеют радиусы менее 200 м (рис. 2), то очевидно, что для части вагонов увеличенных геометрических размеров (табл. 3) условие эффективного движения в сцепе может быть нарушено.

Количественная оценка этих явлений на практике затруднена и является сочетанием многих случайных факторов. Однако, очевидно, что показанный «разрыв» между параметрами путевого развития и подвижного состава может приводить на практике к ряду негативных последствий описанных ранее.

Результаты

Применение предложенного метода определения эффективной конструкции элементов путевого развития при движении в сцепе рас-

ширяет возможности исследования условий эксплуатации подвижного состава увеличенных геометрических размеров. Метод позволяет определить ограничение минимально допустимой величины радиуса кривой на станции. Обеспечение предельных величин радиусов в зависимости от размеров обращающегося вагонотока позволит повысить надежность функционирования ударно-тяговых механизмов подвижного состава, снизить эксплуатационные нагрузки на элементы конструкции вагонов и пути, повысить безопасность перевозочного процесса в целом.

Сравнение условий обеспечения основных функций автосцепного механизма, выполняемых в горизонтальной плоскости (движение вагонов в сцепе и их автоматическое сцепление) позволило установить единый критерий эффективного взаимодействия автосцепок. Это является основой для разработки комплексных требований к проектированию путевого развития железнодорожных станций, обеспечивающих эффективность взаимодействия подвижного состава.

Научная новизна и практическая значимость

На основе существующих методов оценки эффективности движения вагонов в сцепе, разработан достаточно простой способ непосредственного расчета допустимой величины радиуса кривой. Предлагаемый метод позволяет оценить степень влияния кривизны пути на конструкцию ударно-тягового механизма в зависимости от положения хвостовика (четыре варианта). Так наиболее «трудные» условия работы ударно-тягового механизма возникают при заглубленном положении автосцепки без перекоса, а более «легкие» – при нормальном положении с перекосом в угольник. При этом величины углов отклонения в указанных положениях могут различаться более чем в два раза. В этом диапазоне и происходит силовое взаимодействие автосцепок, которое приводит к повышенному износу элементов их конструкций.

Показано также, что маневры с подвижным составом вагонами вперед, требуют соблюдения более строгих условий эксплуатации и применения более пологих кривых (более чем на 20 %).

Применение в качестве критерия эффективности взаимодействия автосцепок условия обеспечения эффективности автоматического сцепления позволяет также обеспечить эффективное движение вагонов в сцепе и снизить

степень силового взаимодействия в узлах автосцепки более чем на 30 %.

Выводы

Разработанный метод оценки эффективности конструкций путевого развития для движения сцепленных вагонов целесообразно использовать для установления предельно допустимых величин радиусов, применяемых на железнодорожных станциях. Особенно актуально это для станций, выполняющих работу с вагонами увеличенных геометрических размеров, доля которых постоянно увеличивается.

Определение комплексного критерия эффективности взаимодействия автосцепок, позволяет разработать специальные требования к проектам путевого развития железнодорожных станций, обнаружить и локализовать опасные участки путевой инфраструктуры, выделить безопасные технологические маршруты пропуска вагонов увеличенных геометрических размеров, повысить эффективность и безопасность перевозочного процесса в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года : утв. прик. М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, 25.02.2015 № 57-Ц. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rw.by/corporate/press_center/reportings_interview_article/2015/03/strategija_innovacionnogo_razv/. Дата доступа : 12.12.2018.
2. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 г. : утв. расп. Пр-ва Рос. Фед., 17.06.2008 г. № 877-р. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mintrans.ru/documents/1/1010>. Дата доступа : 12.12.2018.
3. СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализир. редакция. – Москва : ФАУ «ФЦС» 2012. – 51 с.
4. СП 37.13330.2012. Промышленный транспорт. Актуализированная редакция. СНиП 2.05.07-91. – Москва : ЗАО «Промтрансстрой», 2013.
5. ГОСТ 22235-2010. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. – Москва : Стандартинформ, 2011 г. – 19 с.
6. Филатов, Е. А. Повышение безопасности функционирования железнодорожных станций / Е. А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок. – 2017. – Вып. 13. – С. 78–83. Doi : <https://doi.org/10.15802/tstt2017/110773>
7. Филатов, Е. А. Расчет параметров путевых структур железнодорожных станций по критерию безопасности / Е. А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок. – 2017. – Вып. 14. – С.

86-94. Doi : <https://doi.org/10.15802/tstt2017/123179>

8. Филатов, Е. А. Влияние геометрических параметров путевых структур на работу железнодорожного транспорта / Е. А. Филатов // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : IV Международная научно-практическая конференция. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 117–119.

9. Виноградов, Г. П. Выбор параметров и конструктивных схем грузовых вагонов / Г. П. Виноградов, Л. А. Коган, И. М. Трещалин // Труды

Є. А. ФІЛАТОВ

ВНИИЖТ, – 1960. – Вып. 189. – 191 с.

10. Вагоны. Основы конструирования и экспертизы технических решений : уч. пособие для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. В. Н. Котуранова. – Москва : Маршрут, 2005. – 490 с.

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

Поступила в редколлегию 04.12.2018.

Принята к печати 06.12.2018.

КОМПЛЕКСНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШЛЯХОВОГО РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ І ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ РУХОМОГО СКЛАДУ

Мета. Метою дослідження є визначення єдиного критерію ефективності взаємодії автотзчеплень, для комплексного обґрунтування параметрів путнього розвитку залізничних станцій і геометричних розмірів рухомого складу. **Методика.** В якості критеріїв ефективності і безпеки конструкцій путнього розвитку розглядаються основні експлуатаційні характеристики автотзчепних механізмів в горизонтальній площині: ефективність руху вагонів в зчепі і можливість їх автоматичного зчеплення. Аналіз методів оцінки умов виконання вказаних критеріїв, дозволяє виділити дві групи впливаючих чинників : геометричні параметри путнього розвитку (радіус кривої, довжина кривої, пряма вставка) і геометричні розміри рухомого складу (довжина бази вагону, довжина консольної частини, база візка, додаткове зміщення візків, ширина захоплення і кут відхилення автотзчеплення). Порівняльна оцінка вибраних критеріїв виконується за допомогою аналітичних залежностей для безпосереднього розрахунку довжин радіусів, що забезпечують автоматичне зчеплення і рух вагонів в зчепі. З цією метою в дослідженні отримано вираження для безпосереднього розрахунку довжини радіусу залежно від кута відхилення хвостовика автотзчеплення при русі в зчепі. Це дозволило оцінити ефективні конструкції путнього розвитку залежно від положення елементів автотзчеплення при русі в зчепі: перекошене і не перекошене положення тягового хому́та з урахуванням нормального або заглибленого положення автотзчеплення. Для визначення єдиного критерію при проектуванні путнього розвитку, що забезпечує ефективність взаємодії автотзчеплень, виконано порівняння допустимих радіусів при автоматичному зчепленні (у зоні кругової і s-образній кривих) і радіусів, що забезпечують рух в зчепі (при різному положенні автотзчеплення) для різних типів рухомого складу. Величини радіусів, що забезпечують автоматичне зчеплення значно перевищують необхідні величини радіусів для забезпечення ефективного руху в зчепі (навіть при заглибленому положенні хвостовика автотзчеплення). Отже, в якості критерію при розробці вимог до проектування путніх структур залізничних станцій, може бути прийнята умова автоматичного зчеплення. **Результати.** Застосування комп'ютерного імітаційного моделювання дозволяє значно розширити можливості дослідження умов взаємодії вагонів на ділянках з різними геометричними параметрами. Так, визначено умови та характер Отримано, що величини кутів відхилення в різних положеннях автотзчеплень можуть розрізнятися більш ніж в два рази, і вимагає застосування відповідних радіусів кривих. Крім того, маневри з рухомим складом здійснювані вагонами вперед, вимагають дотримання строгіших умов експлуатації і застосування пологіших кривих (більш ніж на 20 %). Порівняння умов функціонування автотзчепних механізмів в горизонтальній площині, обумовлених параметрами путнього розвитку, дозволило встановити критерій ефективності взаємодії автотзчеплень і оцінити якість конструкцій елементів путніх структур. Виконані розрахунки підтверджують можливість силової взаємодії елементів автотзчеплення, обумовлену невідповідністю норм проектування путнього розвитку і рухомого складу. Крім того, в конструкціях існуючої горловини залізничних станцій зустрічаються криві радіусами що менш допускаються сучасними нормами проектування (більше 20 % кривих мають радіуси менше 200 м), що додатково ускладнює можливість забезпечення взаємодії автотзчеплень без виникнення надмірних навантажень в їх конструкціях. Показаний «розрив» між параметрами путнього розвитку і рухомого складу може призводити до ряду негативних наслідків, пов'язаних з процесами руху в зчепі і зчеплення вагонів. **Наукова новизна.** Розроблений досить простий спосіб безпосереднього розрахунку допустимої величини радіусу кривою, що забезпечує ефективність руху вагонів в зчепі. Пропонований метод дозволяє оцінити міру впливу кривизни шляху на конструкцію автотзчепних механізмів вагонів залежно від положення хвостовика (чотири варіанти). Обґрунтований єдиний критерій проектування путнього розвитку, що забезпечує ефективність взаємодії рухомого складу. **Практична значимість.** Обґрунтування критерію ефективності взаємодії вагонів, дозволяє: забезпечити зчеплення вагонів за рахунок зменшення горизонтальних відхилень; понизити міру силової взаємодії у вуз-

лах автозчеплення при русі в зчепі більш ніж на 30 %, підвищивши відповідно надійність їх функціонування; розробити спеціальні вимоги до проектування путнього розвитку залізничних станцій; виявити і локалізувати небезпечні ділянки путньої інфраструктури; виділити безпечні технологічні маршрути пропуску вагонів збільшених геометричних розмірів; підвищити ефективність і безпеку перевізного процесу в цілому.

Ключові слова: геометричні параметри путнього розвитку, вагони збільшених розмірів, ефективність і безпека взаємодії рухомого складу.

E. FILATOV

COMPLEX JUSTIFICATION OF WAYS PARAMETERS OF RAILWAY STATIONS AND THE GEOMETRIC DIMENSIONS OF THE ROLLING STOCK

Purpose. The purpose of the study is to determine a single criterion for the effectiveness of the interaction of couplers, for a comprehensive justification of the parameters of the track development of railway stations and the geometric dimensions of the rolling stock. **Technique.** As criteria of efficiency and safety of designs of track development the main operational characteristics of automatic chain mechanisms in the horizontal plane are considered: efficiency of the movement of cars in the coupling and possibility of their automatic coupling. The analysis of methods for assessing the conditions for the fulfillment of these criteria allows us to distinguish two groups of influencing factors: the geometric parameters of the track development (curve radius, curve length, straight insert) and the geometric dimensions of the rolling stock (length of the wagon base, length of the cantilever part, trolley base, additional displacement of the bogies, the width of the grip and the angle of deviation of the coupler). Comparative assessment of the chosen criteria is done using the analytical dependences for the direct calculation of the lengths of the radii, which is the automatic clutch and the movement of wagons in the block train. To this end, the study obtained an expression for the direct calculation of the radius length depending on the angle of deviation of the automatic coupling shank when driving in the clutch. It allowed to estimate effective designs of track development depending on position of elements of the automatic coupling at movement in the coupling: the skewed and not skewed position of the traction clamp taking into account normal or the buried position of the automatic coupling. To determine a single criterion in the design of the track development, ensuring the effectiveness of the interaction of couplers, a comparison of the permissible radii at automatic coupling (in the zone of circular and s-shaped curves) and radii, providing movement in the coupling (at different position of the coupler) for different types of rolling stock. The values of the radii that automatically grip far exceed the required values of the radii for the effective movement in the clutch (even with the recessed position of the shank of the coupler). Therefore, as a criterion in the development of requirements for the design of track structures of railway stations, the condition of automatic coupling can be accepted. **Results.** It is found that the values of the angles of deviation in different positions of couplers can vary more than twice, and requires the use of appropriate radii of curves. In addition, maneuvers with rolling stock carried out by wagons forward, require compliance with more stringent operating conditions and the use of more gentle curves (more than 20 %). Comparison of the conditions of functioning of automatic couplers in the horizontal plane, due to the parameters of the track development, allowed to establish a criterion for the effectiveness of the interaction of automatic couplers and to assess the quality of structures of elements of track structures. The performed calculations confirm the possibility of power interaction of auto coupling elements due to the discrepancy between the design standards of track development and rolling stock. In addition, in the structures of the existing railway station necks there are curves with radii less than permissible by modern design standards (more than 20 % of curves have radii less than 200 m), which further complicates the possibility of ensuring the interaction of couplers without the occurrence of excessive loads in their structures. The shown «gap» between the parameters of track development and rolling stock can lead to a number of negative consequences associated with the processes of movement in the coupling and coupling of wagons. **Scientific novelty.** A fairly simple method of direct calculation of the permissible value of the radius of the curve, ensuring the efficiency of movement of wagons in the train, is developed. The proposed method makes it possible to estimate the degree of influence of the curvature of the track on the design of automatic coupling mechanisms of wagons depending on the position of the shank (four options). A single criterion for the design of track development, ensuring the effectiveness of the interaction of rolling stock, is substantiated. **Practical importance.** Justification of the criterion of efficiency of interaction of wagons, allows: to provide coupling of wagons at the expense of reduction of horizontal deviations; to reduce degree of power interaction in knots of the automatic coupling at the movement in the coupling more than by 30 %, having increased respectively reliability of their functioning; to develop special requirements to design of track development of railway stations; to find and localize dangerous sites of track infrastructure; to allocate safe technological routes of passing of wagons of the increased geometrical sizes; to increase efficiency and safety of transportation process as a whole.

Keywords: geometrical parameters of track development, wagons of the increased sizes, efficiency and safety of interaction of the rolling stock.