acter definition a composition of military echelon (military transport) and rational use of the railway rolling-stock are investigated.

Получено 02.10.2025

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025

УДК 656.21.078

Е. А. ФИЛАТОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
filatoff.ea@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ПАССАЖИРСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Приводятся результаты исследований в области обеспечения безопасной и эффективной маневровой работы с подвижным составом различных типов, которые позволили уточнить влияние конструкций вагонов на параметры стрелочных горловин пассажирских комплексов железнодорожных станций и пунктов технического обслуживания пассажирских составов. Отличительной особенностью конструкций пассажирских вагонов является их значительная длина (до 27 м) и наличие буферов. Такие характеристики требуют повышенного внимания при маневрах в кривых и на стрелочных переводах, особенно при сцеплении между собой и тяговым подвижным составом.

Эксплуатация пассажирских вагонов на магистральных железных дорогах осуществляется с определенными технологическими ограничениями. Пассажирское движение сконцентрировано на главных путях, в пассажирских комплексах станций, пунктах (станциях) технического обслуживания, локомотивных и вагонных предприятиях, осуществляющих ремонт, обслуживание или экипировку пассажирского подвижного состава.

Маневровая работа осуществляется в основном при формировании (расформировании) на станциях приписки, прицепках (отцепках) локомотивов, работе с прицепными или беспересадочными вагонами.

На Белорусской железной дороге в 2024 году перевезено почти 62 млн пассажиров [1]. Минск-Пассажирский является пассажирской станцией Белорусской железной дороги с самым большим пассажиропотоком, которая ежесуточно обслуживает порядка 120 поездов и более 25 тыс. пассажиров [2]. На крупных станциях Белорусской железной дороги имеются развитые пассажирские устройства, в том числе и технические. В составе Минского отделения Белорусской железной дороги имеется пассажирская техническая станция Богатырёво, осуществляющая техническое обслуживание составов пассажирских поездов.

Важной особенностью пассажирских вагонов является значительная длина, которая находится в пределах 19–27 м по осям автосцепки. С точки зрения условий выполнения маневровой работы такой подвижной состав относится к вагонам увеличенных размеров и соизмерим с широко распространёнными фитинговыми платформами большой длины. На Белорусской железной дороге эксплуатируются современные пассажирские вагоны, имеющие длину более 26 м. Поэтому требования к параметрам конструкций горловин пассажирских комплексов станций, пунктов технического обслуживания должны постоянно актуализироваться с учетом новых конструкционных особенностей пассажирских вагонов.

В таблице 1 представлены результаты моделирования сцепления пассажирских вагонов различных моделей (автосцепка СА-3) при маневровой работе на расчетных элементах стрелочных горловин, [3]: одиночных стрелочных переводах марок 1/9 и 1/11; схемах попутного разностороннего размещения переводов марок 1/9 и 1/11 без вставки; круговой кривой радиуса 200 м ($\alpha = 5^{\circ}$).

Таблица 1 – **Оценка технической совместимости пассажирских вагонов различных типов на расчетных элементах**

Параметры платформ, количество осей / модель (длина по осям / база / консоль / внутренняя колесная база)	Обеспечение технической совместимости ($\Delta = B_э - b_{см}$), мм [4]		
	стрелочный перевод 1/9 / 1/11	схема № 3[5] 1/9 – 1/9 / 1/11 – 1/11	Кривая R = 200 м
1 4 / МК и модиф. (19180 / 12500 / 3340/ 8440)	+39 / +79	–18 / –8	+36
2 4 / МК и модиф. (21190 / 13770 / 3710 / 8970)	+15 / +62	–78 / –42	+10
3 4 / ДС МК, ДС ЖК, ДС ЖНК, ПСЖ и модиф. (21390 / 13970 / 3710 / 9270(9170))	+13 / +60 (+14 / +60)	–82 / –45 (–82 / –44)	+8 (+9)
4 4 / 47Д/к, К/к, БК/ки, СК/к, 61-4178, 61-4449, 61-4456, 61-4193, 61-536, 61-4199, 61-505, 61-517, 61-516, 61-533, 61-531, 61-905, 61-827 и модиф. (***24537 / 17000 / 3768,5 / 14500(14600)***)	***–24*** / +32 (***–25***/ +31)	***–145*** / ***–101***	***–31***
5 4 / 61-425, 61-504, 61-532, 61-817, 61-820, 61-821, 61-826, 61-827, 61-828, 61-836, 61-4174, 61-4177, 61-4179, 61-4186, 61-9941 и модиф. (24537 / 17000 / 3768,5 / 14300)	–25 / +31	–144 / –100	–31
6 4 / РИЦ 1131.1.00.00 (24580 / 17200 / 3690 / 14800)	–22 / +33	–139 / –97	–28
7 4 / 61-4170, 61-4188, 61-4460, 61-4464, 61-4447 и модиф. (***25500 / 17000 / 4250 / 14500(14600)***)	–52 / +11 (***–53*** /+11)	–211 / –141 ***(–212/–141)***	–59 ***(–60***)
8 4 / 2-эт. 61-4465 (26232 / 19000 / 3616 / 16500)	–31 / +25	–160 / –112	–34
9 4 /РИЦ ВЛАБ-200 3.572-00.00.00, 61-4466 и модиф. (26400 / 18306 / 4047 / 15906(15706))	–51 / +11	–210 / –142 (–209/–141)	–56 (–55)
10 4 /РИЦ 61-4476 и модиф. (26400 / 19000 / 3700 /16500)	–36 / +22	–170 / –120	–39
11 4 / РИЦ 1109.100.00 (26480 / 19000 / 3740 / 16600)	–39 / +20	–175 / –124	–42
12 4 / 61-4447 и модиф. (26696 / 19000 / 3848 / 2560 / 16440)	–45 / +15	–188 / –133	–47
Примечание – МК – мягкий купированный, ДС – дальнего следования, ЖК – жесткий купированный, ЖНК – жесткий некупированный, ПС – пригородного сообщения.			

На основании данных таблицы 1 можно отметить, что включение в состав новых вагонов, длина которых заметно превышает 25 м, может вызывать потребность переустройства платформ на участках обращения, так как при сохранении составности поездов крайние вагоны могут не размещаться полностью в пределах пассажирских платформ. Это может вызвать обратный эффект по отношению к вместимости пассажирского поезда и привести к сокращению количества вагонов в составе и неполному использованию вместимости путей (по крайней мере до момента удлинения пассажирских платформ на участке обращения).

На технических станциях при переформировании составов с новыми вагонами могут возникать ситуации с предельным использованием полезных длин, сопровождающиеся сцеплением вагонов на закрестовинных кривых и стрелочных переводах.

Следует отметить, что с 2013 года на некоторые пассажирские вагоны (61-4492 и др.) производства ОАО «ТВЗ» устанавливается автосцепка типа БСУ-3 [6], которая также имеет эксплуатационные ограничения. Область захвата автосцепки по сравнению с СА-3 (±175 мм) уменьшилась на 65 мм и составляет ±110 мм. Это пропорционально снижает возможности сцепления вагонов в кривых. Гибкость автосцепки при движении в сцепе определяется максимальным угловым отклонением в горизонтальной плоскости, равным 17° (для пассажирских вагонов с СА-3 – 14,5–16° [7]).

Как видно из таблицы 1, практически все (с учетом старых моделей) типы пассажирских вагонов (в том числе РИЦ), относятся к группе вагонов увеличенных размеров (21 м и более [7]). Моделирование взаимодействия выявило несоблюдение условий автоматического сцепления на схеме взаимного размещения № 3 [5] с вагонами всех рассмотренных типов (см. таблицу 1). Высокая вероятность возникновения нарушений при маневрах со сцеплением в стрелочных горловинах наблюдается начиная от вагона модели 47Д и других модификаций длиной 24,54 м (строка 4 таблицы 1), а также большей длины. Стоит отметить, что все типы вагонов эффективно сцепляются на переводной кривой стрелочного перевода марки 1/11, которые следует применять в конструкциях пассажирских комплексов и пунктах технического обслуживания пассажирских составов. Наиболее сложные условия взаимодействия создаются при маневрах с вагонами моделей 61-4170, 61-4188, 61-4460, 61-4464 длиной 25,5 м (строка 7). Эта группа пассажирских вагонов увеличенных размеров не гарантирует сцепление в кривых самых простых конструкций (круговая кривая, радиус 200 м, угол кривой 5°). Наихудшие условия для данной группы моделей объясняются большой длиной консольной части вагона, равной 4,25 м (принят в качестве расчетного вагона увеличенных размеров – ВУР). Поэтому вагоны даже большей длины, но с меньшей длиной консоли (строки 8–12 таблицы 1) обеспечива-

ют лучшее взаимодействие в кривых участках путей. В представленном исследовании в качестве расчетного пассажирского вагона массовых типов (ВМТ) принят мягкий купированный вагон длиной 19,18 м как не относящийся к вагонам с ограничениями по длине.

Моделирование процесса взаимодействия расчетных пассажирских вагонов выявило наличие дополнительных ограничений по обеспечению безопасности маневровой работы на железнодорожных станциях [8]. Для пассажирских вагонов увеличенных размеров неблагоприятные условия складываются практически на всех расчетных элементах нормативной конструкции. Проверка существующих требований к проектированию на обеспечение безопасности маневровой работы с пассажирскими вагонами расчетных типов и эффективные параметры элементов путевого развития приведены в таблице 2.

Таблица 2 – **Анализ обеспечения безопасности и эффективности маневров с пассажирскими вагонами на расчетных элементах путевого развития железнодорожных станций**

Номер схемы	Оценка требований для ВМТ / ВУР на станциях [8]	
	существующие отклонения, мм	ограничения, м
1 Криволинейные участки пути		
1.1 круговые	$\Delta_{R180\text{-}200}$ = +22 /+36; $\Delta_{R180\text{-}200}$ = **–60** / **–74**	нет огранич.; $R_{\min}$ = 280
1.2 *s*-образные без вставки, (α_s = 3º+3º)	$\Delta_{SR200/250}$ = **–33** / **–51**; $\Delta_{SR200/250}$ = **–137** / **–147**	$R_{\min}$ = 270 / 480; $l_{\max R200}$ = 7,7 / 5,9; $l_{\max R250}$ = 9,6 / 7,0
1.3 *s*-образные с прямой вставкой, α_s = 3º+3º	$\Delta_{SR200d15}$ = +50 / **–58**; $\Delta_{SR250d15}$ = +65 / **–28**	нет огранич. / $R_{\min}$ = 270; d_{SR200} = 7,7 / не обеспеч.; d_{SR250} = 6,4 / 19,0; нет огранич. / $l_{\max R200}$ = 6,25; нет огранич. / $l_{\max R250}$ = 8,7
2 Расположение стрелочных переводов ($R_{\text{закр}} \geq R_{\text{пер}}$)		
2.1 одиночный перевод: 1/9, 1/11; схема № 4	Δ = +79 / +39; Δ = +11 / **–52**	нет огранич.; 1/9 не обеспеч.
2.2 Схема № 1 (1/9, 1/11)	Δ_{d0} = +51 / +11; Δ_{d0} = **–70** / **–148**	нет огранич.; 1/9 не обеспеч.; $d_{\min 1/11}$ = 7,5
2.3 Схема № 2 (1/9, 1/11)	Δ_{d0} = +79 / +37; Δ_{d0} = +13 / **–52**	нет огранич.; 1/9 не обеспеч.
2.4 Схема № 3 (1/9, 1/11)	Δ_{d0} = **–8** / **–19**; Δ_{d0} = **–141** / **–211**	1/9 не обеспеч.; $d_{\min 1/11}$ = 2,5; 1/9 не обеспеч.; $d_{\min 1/11}$ = 15,5
3 *S*-образное расположение стрелочных переводов и кривых ($R_{\text{закр}} = R_{\text{пер}}$)		
3.1 Переводы 1/9; 1/11	Δ_{d0} = +21 / **–71;** Δ_{d0} = **–113** / **–266**	1/9 не обеспеч.; 1/9 не обеспеч. $d_{\min 1/11}$ = 10,4

Наиболее значительные отклонения автосцепок возможны на *s*-образных кривых без прямой вставки. Требуемый радиус в таких кривых может быть обеспечен, только с существенным ограничением общей длины кривой до

11,8–15,4 м, что на практике фактически не реализуется. Поэтому маневры с автоматическим сцеплением пассажирских вагонов на *s*-образных кривых без прямой вставки должны выполняться только с визуальным контролем процесса сцепления ответственным работником. Наличие вставки длиной 20 м обеспечивает автоматическое сцепление вагонов в большинстве случаев.

Проблемы при взаимодействии вагонов могут наблюдаться на всём протяжении стрелочных горловин т. к. на всех схемах взаимной укладки переводов марки 1/9 и 1/11 имеются заметные отклонения по условию обеспечения автоматического сцепления. Даже на одиночных стрелочных переводах марки 1/9 безопасность маневровой работы с пассажирскими вагонами не гарантирована.

Практически все современные пассажирские вагоны имеют увеличенные размеры и пропорциональные им эксплуатационные ограничения. Однако переформирование пассажирских составов не сравнимо по интенсивности с аналогичными процессами в грузовом движении. Более частым событием при оценке технической совместимости вагона и путевого развития железных дорог является движение вагонов в сцепе.

Следует отметить, что при маневровой работе стандартная автосцепка в зависимости от условий движения и параметров пути может занимать четыре основных положения: с перекосом или без перекоса тягового хомута, в нормальном или заглубленном положениях автосцепки [9]. Согласно исследованиям [10] для оценки эффективного и безопасного прохода кривых целесообразно определять возможность поворота корпуса автосцепки до совмещения центра его зацепления с осью пути без силового взаимодействия в конструкции автосцепного механизма.

При проектировании ударно-тяговых устройств нормируется в первую очередь возможный угол отклонения корпуса автосцепки α, который зависит от кривизны участка пути и типа выполняемых маневров (для стандартной автосцепки СА-3 угол α изменяется в пределах от 5°20' до 12°17' [9]), в соответствии с нормами проектирования для пассажирских вагонов угол должен достигать 14,5–16°. Условие определения допустимой величины радиуса кривой имеет следующий вид [3, 4]:

$$R_{\text{ДС}} \geq \frac{n(2l+n)-l_{\text{т}}^2}{2a \cdot \text{tg}\alpha},$$

где n – длина консоли от пятникового сечения вагона до оси автосцепки, мм; $2l$ – длина базы вагона, мм; $2l_{\text{т}}$ – длина базы тележки, мм; a – расстояние от оси поворота до центра зацепления, мм.

Произведем расчет минимальной величины радиуса кривой, обеспечивающий отсутствие силового взаимодействия узлов автосцепки при движении группы сцепленных пассажирских вагонов модели 61-470 при нормальном положении автосцепки с перекосом и выполнении маневров локомотивом вперед ($\alpha_{\text{н}} = 14{,}5°$ [7]).

$R_{ДС}$ = (4250(17000+4250) − 1200^2) / (2 · 870tg14,5) = 197497 мм = 198 м.

Полученный результат соответствует величине 200 м, допускаемой при проектировании в пассажирских комплексах железнодорожных станций.

Однако согласно [9] подвижность автосцепки при осаживании вагонами вперед снижается более чем на 20 %, тогда допустимый радиус кривой соответствует величине 250 м, которая заявлена в нормах проектирования вагонов увеличенных размеров как минимально необходимая [7]. Это говорит о нежелательности маневров осаживанием на кривых меньшего радиуса. При этом возникает силовое взаимодействие элементов автосцепки, которое сопровождается износом основных элементов конструкции, а некомпенсированные механизмом ударно-тягового устройства боковые силы передаются на кузов вагона, стремясь изменить его положение, что в свою очередь вызывает пропорциональные нагрузки в зоне контакта «колесо – рельс».

Произведенные расчеты подтверждают, что движение пассажирских вагонов ряда моделей в сцепе по кривым с радиусами 200 м может быть обеспечено только в нормальном положении автосцепки с предельным перекосом хвостовика. Учитывая, что существующие пассажирские комплексы железнодорожных станций имеют в своей конструкции такие кривые, то выполнение маневров с осаживанием на данные пути должно быть ограничено.

На основе экспертных и аналитических оценок можно оценить уровень риска возникновения нарушений безопасности при обслуживании пассажирских вагонов. Выполненные исследования позволили выделить следующие элементы риска при работе с вагонами: большие размеры вагона (не соответствующие параметрам путевого развития по условию сцепления), применение в зоне маневров *s*-образных кривых, ошибки персонала. Вероятность обслуживания пассажирских вагонов увеличенных размеров приближается к 100 %. Влияние неисправностей вагонного оборудования и наличие неблагоприятных элементов плана пассажирских комплексов оценивается на уровне 0,25 %. Вероятность ошибок при выполнении маневров можно оценить на уровне 1 %. С учетом выполненных оценок с использованием метода анализа дерева событий (ETA) [11, 12] общая вероятность нарушения условий взаимодействия имеет достаточно низкий уровень и может достигать $0{,}25 \cdot 10^{-4}$ %. При низкой интенсивности маневровой работы с вагонами такое событие может происходить крайне редко.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Будущее за цифровизацией и автоматизацией процессов. – URL: www.sb.by/articles/budushchee-za-tsifrovizatsiey-i-avtomati-zatsiey-pro-tsessov.html (дата обращения: 22.10.2025).

2 Станция Минск-Пассажирский Белорусской железной дороги удостоена премии правительства республики. – URL: www.rw.by/ corporate/press_ center/corporate_news/

2022/06/stantsiya-minsk-passazhirskiy-belorusskoy-zheleznoy-doro-gi-udostoena-premii-pravitelstva-respubliki-/ (дата обращения: 22.09.2024).

3 *Филатов, Е. А.* Безопасность взаимодействия путевой инфраструктуры железнодорожных станций и подвижного состава / Е. А. Филатов // Интеллектуальные транспортные системы: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – М. : РУТ (МИИТ), 2023. – М. : Перо, 2023. – С. 644–654.

4 *Филатов, Е. А.* Обоснование технической совместимости горловин железнодорожных станций и подвижного состава / Е. А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. Днепров. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : ДНУЖТ, 2020. – Вып. 19. – С. 25–36.

5 *Филатов, Е. А.* Безопасность маневровой работы в стрелочных зонах железнодорожных станций / Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сб. науч. статей / Е. А. Филатов / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. нац. техн. ун-т – Минск : БНТУ, 2024. – С. 45–52.

6 Беззазорное сцепное устройство БСУ-3. Руководство по эксплуатации 10185.61.00.000РЭ. – URL: www.3uch.ru/textbooks/ quit/ampfowofform/ducilam.html / (дата обращения: 22.09.2025).

7 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ, ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

8 Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм / М-во путей сообщения Российской Федерации. – М. : Техноинформ, 2001. – 255 с.

9 *Виноградов, Г. П.* Выбор параметров и конструктивных схем грузовых вагонов / Г. П. Виноградов, Л. А. Коган, И. М. Трещалин // Труды ВНИИЖТ. – М. : Трансжелдориздат, 1960. – Вып. 189. – 191 с.

10 Вагоны. Основы конструирования и экспертизы технических решений : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / А. П. Азовский, Е. В. Александров, В. В. Кобищанов [и др.] ; под ред. В. Н. Котуранова. – М. : Маршрут, 2005. – 490 с.

11 ГОСТ Р 33433-2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – М. : Стандартинформ, 2016. – 34 с.

12 ГОСТ Р МЭК 62502-2014. Менеджмент риска. Анализ дерева событий. – М. : Стандартинформ, 2015. – 30 с.

E. A. FILATOV

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF TRACK DEVELOPMENT OF RAILWAY PASSENGER COMPLEXES

The results of research in the field of ensuring safe and effective shunting work with rolling stock of various types made it possible to clarify the effect of car designs on the parameters of the switch necks of passenger complexes of railway stations and passenger train maintenance points. A distinctive feature of the designs of the passenger rolling stock is their significant length (up to 27 m) and the presence of buffers. Such characteristics require increased attention when maneuvering in curves and on turnouts, especially when engaging with each other and traction rolling stock.

Получено 21.10.2025