

# УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУВАГОНОВ

**А.Ю. НОВОСЕЛОВ,**  
ООО «Всесоюзный научно-исследовательский центр транспортных технологий» (ООО «ВНИЦТТ»),  
руководитель отдела «Полувагоны»

**Д.С. КОРОТКОВ,**  
ООО «ВНИЦТТ»,  
инженер-конструктор 1-й категории

**Р.В. ПОПЕСКУ,**  
ООО «ВНИЦТТ»,  
младший инженер-исследователь

**УВЕЛИЧЕНИЕ** объемов и эффективности перевозок железнодорожным транспортом невозможно без развития инфраструктуры и совершенствования подвижного состава. Широкие перспективы увеличения грузооборота открываются при улучшении технико-экономических характеристик одного из самых распространенных видов грузового подвижного состава — универсальных полувагонов. В России на их долю приходится самая значительная часть перевозок, а наиболее массовыми грузами являются каменный уголь и прочие сыпучие грузы плотностью от 0,7 до 1,0 т/м<sup>3</sup>.

## АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

В табл. 1 приведены основные технические характеристики четырехосных полувагонов как широко эксплуатирующихся на сети, так и новых моделей. Длина по осям сцепления автосцепок подавляющего большинства эксплуатируемых полувагонов равна 13,92 м. Это значение, принимаемое за длину так называемого условного вагона, определяется исходя из ограничений существующей инфраструктуры,

возможностей терминалов, осуществляющих погрузочно-разгрузочные работы, длины станционных путей и характеристик вагоноопрокидывателей, которыми оснащены терминалы. Установленная для железных дорог унифицированная норма длины состава не должна превышать 71 условный вагон. Любое увеличение длины четырехосного вагона при той же удельной грузоподъемности, оптимальной для грузов насыпной плотностью от 0,7 до 1,0 т/м<sup>3</sup>, приводит к снижению числа вагонов в составе и, следовательно, к снижению массы перевозимого одним составом груза.

Представленные в табл. 1 полувагоны имеют грузоподъемность от 74 до 77 т, погонную нагрузку 7,18 тс/м и объем кузова от 88 до 103 м<sup>3</sup> при осевой нагрузке 25 тс. Для повышения эффективности перевозок необходимо увеличение грузоподъемности, погонной нагрузки нетто и объема кузова полувагонов. Это позволит формировать тяжеловесные составы и перевозить в одном поезде большее количество груза, тем самым сберегая ресурсы и повышая пропускную способность сети.

Увеличение грузоподъемности и погонной нагрузки может быть достигнуто путем применения тележек, рассчитанных на осевую нагрузку до 27 тс и более, а также за счет оптимизации конструкции кузова и уменьшения коэффициента тары. Для максимального увеличения грузоподъемности вагонов возможно комплексное использование этих двух решений.

Самый очевидный способ — это увеличение максимальной расчетной статической осевой нагрузки [1]. Вагоны на тележках, рассчитанных на осевую нагрузку 25 тс, уже 10 лет постепенно вытесняют из эксплуатации вагоны с осевой нагрузкой 23,5 тс. Но для увеличения осевой нагрузки эксплуатируемых вагонов до 27 тс и выше требуются усиление существующей железнодорожной инфраструктуры и значительные затраты для ее поддержания в нормативном состоянии [2].

Реализация второго направления заключается в оптимизации отношения массы тары вагона к его грузоподъемности — коэффициента тары — при достаточном объеме кузова для перевозки основных типов насыпных грузов [3]. Снижение коэффициента тары является важным фактором как для производителей вагонов с точки зрения стоимости материалов для производства, так и для потребителей с точки зрения повышения грузоподъемности и массы груза в поезде. Одним из способов снижения массы тары вагона является применение высокопрочных листовых сталей

с меньшей толщиной листа [4] или более легких материалов, к примеру алюминия [5].

Еще одним способом снижения массы тары универсального полувагона является оптимизация его конструкции:

- отказ от универсальности в пользу конструкции, соответствующей только фактически перевозимым грузам. Были исследованы возможности снизить расчетные нагрузки и убрать конструктивные усиления;
- изменение числа разгрузочных люков, их размеров и мест крепления на вагоне. Были исследованы возможности и эффекты от крепления крышек люков не к двутавру, а к вертикальным стенкам зетовых профилей хреб-

товой балки с исключением двутавра;

- уменьшение толщины обшивки стен без увеличения вероятности повреждения за счет добавления ребер жесткости;
- уменьшение конструктивных размеров кузова вагона (длины, высоты или ширины) с оптимизацией объема кузова под фактически перевозимые грузы.

Рассмотрим поведение конструкции торцевой стены полувагона. При перевозке, например, тяжелых штабельных грузов они под действием продольных сил инерции воздействуют на нижнюю часть торцевой стены полувагона. Такой эффект в ГОСТ 33211—2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим

качествам» и в Нормах для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), изданных в 1996 г., описывается режимом, подразумевающим воздействие нагрузки на торцевую стену, равномерно распределенной на ее нижнюю часть до высоты 600 мм по всей ширине кузова.

На рис. 1 показано напряженное состояние торцевой стены при соударении вагона в случае его загрузки насыпным и штабельным грузами. Видно, что при воздействии штабельного груза перегружаются нижняя обвязка, вертикальные стойки, а также нижний горизонтальный пояс торцевой стены. Это обязывает рассматривать данную схему загрузки как

Таблица 1

Технические параметры четырехосных полувагонов

Параметр	Полувагон универсальный с разгрузочными люками модели				Полувагон с глухим кузовом модели		
	12-9548-02*	12-196-01	12-196-02	12-2159	12-9869	12-5190	12-2156
Производитель	АО «ТВСЗ»	АО НПК «УВЗ»	АО НПК «УВЗ»	АО «Алтайвагон»	АО «ТВСЗ»	АО НПК «УВЗ»	АО «Алтайвагон»
Объем кузова, м <sup>3</sup>	103	88	94	94	98	95	94
Максимальная масса тары, т	26	25	25	25	23	23	24
Грузоподъемность, т	74*	75	75	75	77	77	76
Длина по осям автосцепок, м	13,92	13,92	13,92	13,92	13,92	13,92	13,92
База, м	9,7	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65
Осевая нагрузка, тс	25*	25	25	25	25	25	25
Модель тележки	18-6863	18-194-1	18-194-1	18-9800	18-9855	18-194-1	18-9800
Погонная нагрузка, тс/м	7,18*	7,18	7,18	7,18	7,18	7,18	7,18
Удельная грузоподъемность, т/м <sup>3</sup>	0,72	0,85	0,80	0,80	0,79	0,81	0,81
Масса груза в составе стандартной длины 988,32 м [71 условный вагон], т	5254*	5325	5325	5325	5467	5467	5396
Габарит кузова по ГОСТ 9238	1-ВМ	1-Т	1-Т	1-ВМ	1-ВМ	1-ВМ	1-ВМ

\* Возможны увеличение осевой нагрузки до 27 тс и пропорциональное увеличение погонной нагрузки при отсутствии инфраструктурных ограничений.



лимитирующую для указанных узлов и закладывать в конструкцию запас прочности исходя из полученных напряжений. Отказ от перевозки штабельных грузов позволит уменьшить требуемый запас прочности элементов торцевой стены и за счет этого снизить массу кузова примерно на 300 кг. Недостатком такого подхода является потеря полувагоном его универсальности.

**ОБЩИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ИЗМЕНЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУВАГОНОВ**

Изменение конструкции в целях уменьшения массы тары может привести к снижению удобства эксплуатации или увеличению повреждаемости полувагонов. Здесь необходим баланс между экономией от уменьшения массы и потребностями эксплуатирующих организаций. Для четырехосных вагонов даже современные технологии изготовления при осевой нагрузке 25 т не позволяют существенно поднять грузоподъемность, максимальное увеличение составляет не более 2 т.

Для эффективного использования полувагонов наряду с повышением их грузоподъемности

необходимо пропорциональное увеличение объема кузова. Можно выделить несколько направлений конструктивных изменений:

- применение наибольших габаритов кузова согласно ГОСТ 9238–2022 «Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений»;
- понижение уровня пола в межтележечном пространстве вагона;
- увеличение внутренней высоты кузова за счет уменьшения высоты хребтовой балки (применение литой консоли, крепление крышек разгрузочных люков непосредственно к хребтовой балке без использования «надстройки» – двутавра или применение двутавра уменьшенной высоты);
- вынос обшивки стен за внутреннюю плоскость стоек боковой стены, стойки выступают во внутренний объем кузова;
- увеличение длины кузова за счет выноса торцевых стен за плоскость лобовых балок [6];
- увеличение внутренних ширины и длины кузова при сохранении его габаритных размеров за счет применения более низких профилей балок торцевых стен, стоек боковых стен, обвязок стен, в том числе из высокопрочных материалов [7].

При реализации данных конструктивных решений необходимо учитывать существующие ограничения терминалов погрузки и выгрузки полувагонов и ограничение длины состава до 71 условного вагона.

В целях определения габаритных и массовых ограничений, влияющих на эксплуатацию полувагонов, было проведено обследование вагонопрокидывателей и тепляков на терминалах грузополучателей. По результатам обследования были определены максимальные габариты, масса брутто и грузоподъемность полувагонов [8], пригодных для перевалки грузов на основных типах вагонопрокидывателей (табл. 2). Распределение вагонопрокидывателей по их типу в процентном соотношении от общего числа существующих в России показано на рис. 2, а на рис. 3 – доля грузов в общем объеме грузоперевозок, пропущенная через различные модели вагонопрокидывателей. Наиболее распространенными и загруженными работой являются вагонопрокидыватели моделей ВРС-125, ВРС-134, ВРС 93-110 всех индексов.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

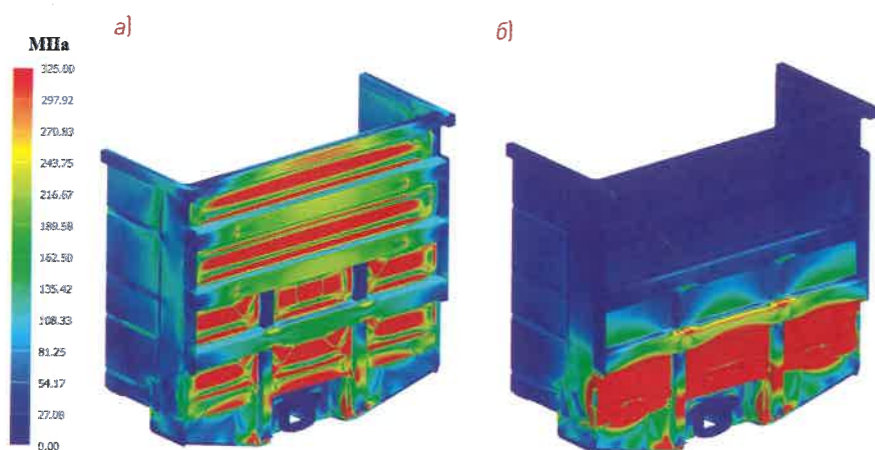
- без изменения инфраструктуры для массовых перевозок оптимально использовать полувагоны длиной по осям автосцепок 13 920 мм, высотой 3780–3900 мм, шириной 3200 мм;
- для некоторых замкнутых маршрутов с разгрузкой на вагонопрокидывателях ВРС-125 и ВРС-134 оптимальными являются вагоны длиной до 20 000 мм, высотой до 4000 мм, шириной до 3350 мм;
- перспективные полувагоны с увеличенным объемом кузова целесообразно использовать на кольцевых маршрутах с разгрузкой

Возможные размеры полувагонов, принимаемых вагонопрокидывателями

Модель вагонопрокидывателя	Грузоподъемность разгружаемых вагонов, т	Масса брутто разгружаемых вагонов, т	Максимальные размеры принимаемого вагона по паспорту вагонопрокидывателя, мм		
			Длина	Высота	Ширина
ThyssenKrupp	–	2×100	2×13 920	3900	3300
ThyssenKrupp	–	2×100	2×13 920	3840	3200
Heyl & Patterson, Inc.	2×90	–	2×13 920	4000	3280
ВРС-2×75	2×75	–	2×13 920	3800	3220
ВРС-93	93	–	13 920	3800	3200
ВРС-93	93	–	16 400	3780	3200
ВРС 93-110, ВРС 93-110М	110	–	16 400	3780	3200
ВРС 93-110 М2	100	–	13 920	3950	3300
ВРС-125	125	–	20 000	4350	3350
ВРС-134	134	–	20 000	4350	3350

Таблица 2

Рис. 1. Распределение напряжений в конструкции торцевой стены при соударении вагона, загруженного насыпным (а) и штабельным (б) грузами



на тандемных вагонопрокидывателях, установленных на площадках крупных российских портов, и вагонопрокидывателях ВРС-125, ВРС-134, а также на маршрутах, где разгрузка производится без использования вагонопрокидывателей;

- для повсеместного внедрения полувагонов увеличенной грузоподъемности и объема кузова необходимы модернизация и массовая замена имеющихся вагонопрокидывателей.

**ОСНОВНЫЕ ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕМА КУЗОВА**

Проектирование кузовов полувагонов в габаритах по ГОСТ 9238–2022 позволяет создавать подвижной состав с увеличенным объемом кузова при сохранении длины вагона по осям сцепления автосцепок 13 920 мм и общей длины поезда, что является значимым фактором для эксплуатирующих организаций. Инфраструктура железнодорожной сети позволяет повсеместно использовать вагоны с габаритом кузова Тпр шириной до 3450 мм [9]. Но основная масса вагонопрокидывателей способ-

на принимать вагоны шириной 3200–3300 мм, поэтому в настоящее время полувагон в габарите Тпр предпочтителен для операторов, не применяющих вагонопрокидыватели и осуществляющих выгрузку другими способами.

При использовании наибольших габаритов кузова по ГОСТ 9238–2022 увеличение его объема достигается за счет увеличения длины кузова, высоты вагона от уровня верха головок рельсов и ширины кузова. Но существ-

вуют конструктивные решения, позволяющие увеличить объем кузова без изменения габаритных размеров полувагона. Применение пониженного уровня пола в межтележечном пространстве, т.е. бункера, дает возможность эффективно использовать габарит (рис. 4). Для удобства эксплуатации в зависимости от функционального назначения в боковых стенках бункера могут быть размещены зачистные или разгрузочные люки, зоны пола над тележками мо-

Рис. 2. Распределение основных типов вагонопрокидывателей

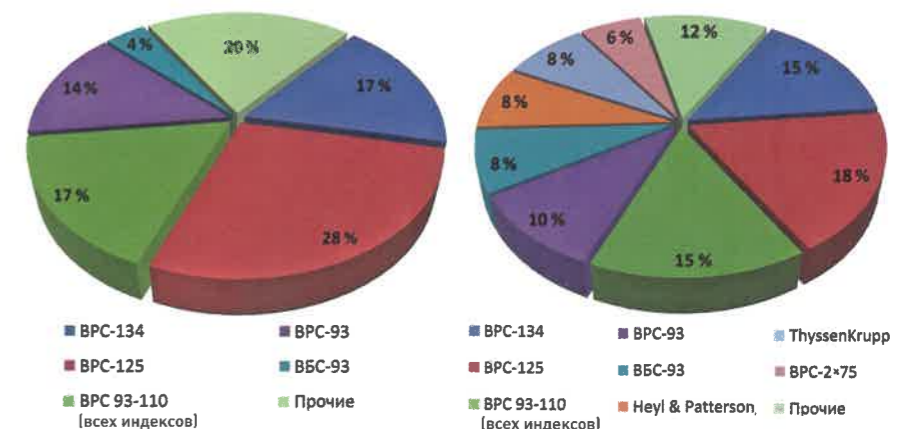


Рис. 3. Распределение объемов перевозок по типам вагонопрокидывателей



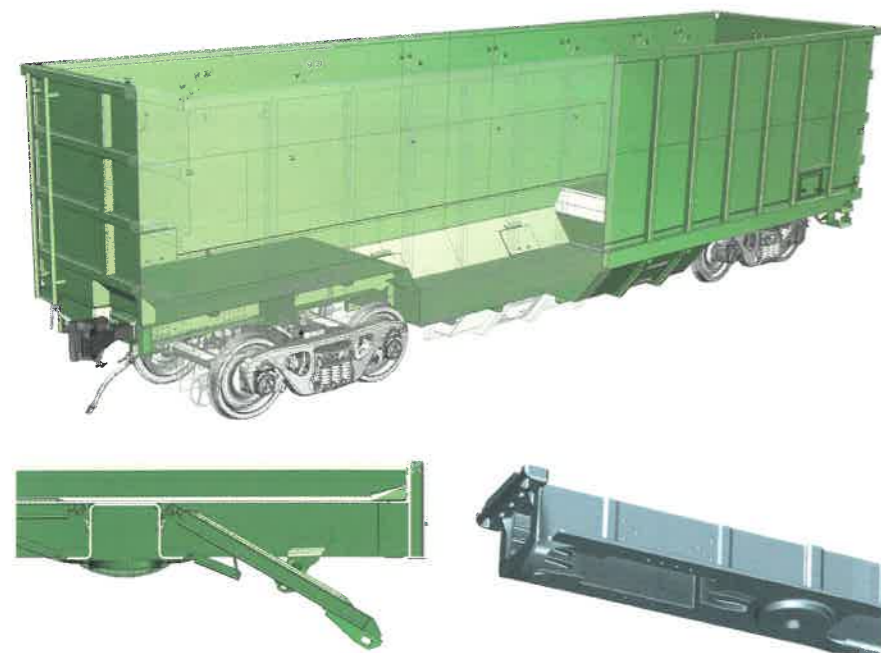


Рис. 4. Полувагон с пониженным уровнем пола

Можно также увеличить расстояния между листами обшивки противоположных стен при условии, что стойки кузова утоплены внутрь вагона, т.е. обшивка вынесена за стойки боковой стены (рис. 7). Недостаток такого решения заключается в появлении выступающих элементов во внутреннем пространстве вагона, что отразится на качестве разгрузки, увеличит повреждаемость при нетиповых способах разгрузки, приведет к усилению намерзания груза и усложнению его очистки.

Увеличение длины кузова за счет выноса торцевых стен за плоскость лобовых балок активно применяется в современных полувагонах. Это был один из первых способов увеличения объема кузова без изменения расстояния по осям сцепления (рис. 8).

Увеличение объема кузова при сохранении его габаритных размеров за счет выбора профилей балок, стоек, обвязок стен с уменьшением их габаритной толщины также является очевидным и широко применяемым способом. Использование высокопрочных сталей в балках

Рис. 5. Крепление крышки разгрузочного люка к хребтовой балке

Рис. 6. Хребтовая балка с литой консольной частью

гут быть как глухонными, так и с разгрузочными люками. Увеличение внутренней высоты кузова с сохранением высоты вагона от уровня верха головок рельсов и понижением уровня пола может достигаться за счет изменения конструкции крепления

крышек разгрузочных люков к хребтовой балке (рис. 5). Понижение уровня пола возможно за счет применения в конструкции вагона литой консольной части хребтовой балки, объединяющей передний и задний упоры и пятник (рис. 6).

Рис. 7. Полувагон с выносом обшивки боковой стены: а – поперечный разрез, б – вид изнутри кузова

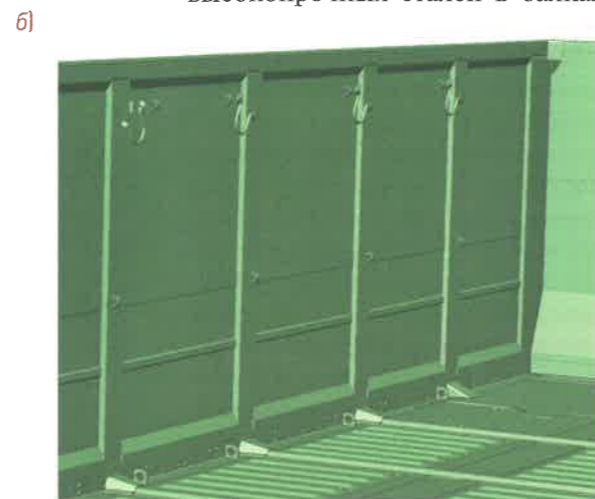


Рис. 8. Вынос торцевой стены полувагона модели 12-9548-02

торцевых стен позволяет дополнительно уменьшить высоту профиля поясов и толщину стен в целом.

Влияние отдельных конструктивных решений на объем кузова и, следовательно, на грузоподъемность типового четырехосного полувагона показано на рис. 9. Таким образом, можно говорить о возможности увеличения грузоподъемности на 2 т и объема на 2 м<sup>3</sup> при сохранении всех эксплуатационных характеристик. Увеличение грузоподъемности более чем на 2 т и объема более чем на 2 м<sup>3</sup> приводит к ухудшению ряда важных эксплуатационных свойств – ограничению полигона обращения, ограничению по местам разгрузки на вагоноопрокидывателях, увеличению времени зачистки при разгрузке через люки, исключению унификации ряда узлов с ти-

Рис. 10. Полувагон сочлененного типа модели 12-6877

УВЕЛИЧЕНИЕ ОБЪЕМА КУЗОВА ПОЛУВАГОНА, М<sup>3</sup>  
0,0 2,0 5,0 10,0 15,0 20,0 25,0 30,0 35,0

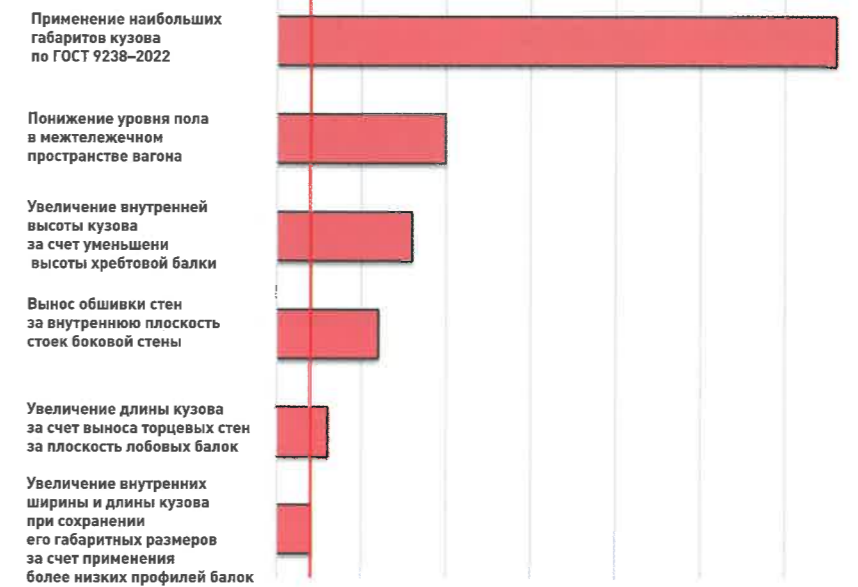


Рис. 9. Влияние различных конструктивных решений на увеличение объема кузова полувагона

повыми полувагонами, например крышками разгрузочных люков.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛУВАГОНОВ СОЧЛЕНЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ**

В шестиосных полувагонах на трех двухосных тележках увеличение грузоподъемности достигается без увеличения осевой нагрузки, что позволяет использовать имеющуюся инфраструктуру без модернизации. У вагонов со-

члененного типа длина по осям сцепления автосцепок может быть не равна и не кратна длине условного вагона, но при этом по сравнению с четырехосными за счет увеличения статической погонной нагрузки увеличивается масса грузового поезда и перевозимого груза при стандартной длине состава 71 условный вагон.

Указанные преимущества были использованы специалистами





Рис. 11. Полувагон сочлененного типа с разгрузочными люками модели 12-6877-02

ООО «ВНИЦТТ» для создания двух шестиосных полувагонов сочлененного типа моделей 12-6877 (рис. 10) и 12-6877-02 (рис. 11). При их проектировании были учтены габариты тандемных вагоноопрокидывателей ThyssenKrupp, Heyl&Patterson, Inc. и массовых вагоноопрокидывателей ВРС-125, ВРС-134.

Полувагон модели 12-6877 с глухим кузовом выполнен в габарите 1-ВМ с максимальной высотой 3850 мм, шириной 3204 мм и длиной по осям сцепления ав-

тосцепок 16 880 мм. Объем кузова 135 м<sup>3</sup> достигается за счет применения в конструкции секций вагона пониженного уровня пола в межтележечном пространстве (бункеров).

Полувагон модели 12-6877-02 с разгрузочными люками имеет ширину 3230 мм, высоту 3880 мм и длину по осям сцепления автосцепок 19 540 мм. Объем 142 м<sup>3</sup> получен за счет применения габарита 1-Т и максимальных габаритных размеров вагона, возможных для разгрузки на

указанных вагоноопрокидывателях.

Полувагоны моделей 12-6877 и 12-6877-02 по сравнению с четырехосными полувагонами за счет увеличения статической погонной нагрузки позволяют увеличить массу перевозимого груза при стандартной длине состава в 71 условный вагон: для тяжелого груза (железорудный гематит) – на 24–29 %; для среднего груза (уголь марки Д) – на 22–27 %; для легкого груза (уголь бурый) – на 7–25 %.

Снижение потребного парка вагонов составит 27–38 % в зависимости от перевозимого груза, что позволит сократить число автосцепных устройств и при большей массе поезда уменьшить стоимость перевозки груза на величину до 3 % без учета скидок на грузовой тариф. Такая эффективность сочлененных полувагонов открывает широкие перспективы для использования подвижного состава этого типа.

#### Список источников

1. Соколов А.М. Осевая нагрузка 27 тс – новая веха развития вагоностроения / А.М.Соколов, А.М.Орлова // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2016. – № 3. – С. 5–7.
2. Operational testing of trains and monitoring of 1520 mm gauge infrastructure under 27 t per axle load freight wagons / [A.Orlova et al.] // PROCEEDINGS: International Heavy Haul Association Conference. – June 2019. – P. 79–84.
3. Орлова А.М. Направления повышения технико-экономических характеристик вагонов ПАО «НПК ОVK» на примере полувагона / [А.М.Орлова, С.А.Федоров, И.А.Хилов, Р.В.Попеску] // Мат. XVI Междунар. научно-техн. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». – СПб. : ПГУПС, 2022. – С. 28–32.
4. Внедрение высокопрочных марок сталей в конструкции изделий [Электронный ресурс] // ООО «Уральское конструкторское бюро вагоностроения». – Режим доступа : <https://opzt.ru/wp-content/uploads/2022/12/k-voprosu-2.pdf>. (Дата обращения: 20.03.2023).
5. RMRail. Каталог продукции [Электронный ресурс] // Компания «RMRail». – Режим доступа : <https://rmrail.ru/catalogue/vagon-y-khorregu/vagon-khorreg-dlya-perevozki-mineralnykh-udobreniy>. (Дата обращения: 20.03.2023).
6. Федоров С.А. Особенности конструкции полувагона 12-9548-02 с увеличенным до 103 куб. м объемом кузова / С.А.Федоров, А.Ю.Новоселов // Мат. XIII Междунар. научно-техн. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». – СПб. : ПГУПС, 2018. – С. 71–73.
7. Шевченко Д.В. Методика проектирования несущих узлов грузовых вагонов на примере узла заделки стойки боковой стены полувагона / Д.В.Шевченко, С.А.Федоров, С.И.Попович // Техника железных дорог. – 2018. – № 4. – С. 68–73.
8. Денежкин Д.Б. Определение условий эксплуатации перспективных полувагонов с увеличенным объемом и грузоподъемностью / Д.Б.Денежкин // Мат. X Междунар. научно-техн. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». – СПб. : ПГУПС, 2015. – С. 27.
9. Бороненко Ю.П. Проблемы и перспективы внедрения инновационных вагонов габарита Тпр / Ю.П.Бороненко, Н.А.Атаманчук, Т.М.Белгородцева // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 20–24.