

Выбор конструктивных решений сочлененных грузовых вагонов для колеи 1520 мм



Ю. П. Бороненко,
доктор техн. наук,
профессор, заведующий
кафедрой «Вагоны
и вагонное хозяйство»,
Петербургский
государственный
университет путей
сообщения (ПГУПС),
генеральный директор,
ОАО «НВЦ "Вагоны"»



Т. М. Белгородцева,
заведующий НИЛ
«Динамика вагонов»
кафедры «Вагоны
и вагонное хозяйство»,
ПГУПС



Н. А. Кукушина,
аспирант кафедры «Вагоны
и вагонное хозяйство»,
ПГУПС,
инженер-конструктор,
ОАО «НВЦ "Вагоны"»

Инновационное развитие железнодорожного транспорта обусловлено необходимостью повышения эффективности и снижения стоимости железнодорожных перевозок. Одним из новых для России видов подвижного состава являются сочлененные вагоны, широко распространенные за рубежом. Ряд очевидных недостатков этих вагонов сдерживал их применение на железных дорогах СССР, а затем и Российской Федерации. Объективная оценка сочлененных вагонов позволит найти их место в структуре вагонного парка страны и выбрать конструктивные решения, отвечающие условиям эксплуатации на железных дорогах колеи 1520 мм.

Анализ технико-экономических характеристик сочлененных вагонов для перевозки контейнеров

В различных странах возможности сочлененных вагонов из двух и более секций реализуются в разных конструктивных исполнениях. В Северной Америке наибольшее распространение получили сочлененные вагоны-платформы для перевозки контейнеров с погрузкой в два яруса. Максимальное количество секций достигает 10. Наибольшее распространение получили трех- и пятисекционные вагоны-платформы (табл. 1).

В странах Европы применяют одноярусную погрузку, количество секций обычно не превышает двух. Вагоны от-

личаются погрузочной длиной, которая составляет 80 или 90 футов, но имеются и более длинные вагоны-платформы, на которых допускается перевозка автомобильных прицепов (табл. 2).

Анализируя нагрузку на ось (табл. 1 и 2), можно увидеть, что у американских вагонов-платформ грузоподъемность соответствует допускаемой нагрузке, в то время как у европейских сочлененных вагонов-платформ при указанной в характеристиках грузоподъемности превышает допускаемая нагрузка на средней тележке. Это требует специальной погрузки, чтобы наиболее тяжелые контейнеры грузились над крайними тележками, а легкие — ближе к средней.

Таблица 1. Характеристики сочлененных вагонов-платформ для перевозки контейнеров стран Северной Америки

Техническая характеристика	Модель вагона	
	Maxi-Stack I Five Unit Well Car (Greenbier)	Maxi-Stack IV Three Unit Well Car (Greenbier)
Количество секций	5	3
Количество перевозимых 40-футовых контейнеров:		
- всего;	10	6
- на одной секции	2	2
Грузоподъемность, т:		
- общая;	283	163,2
- одной секции	56,6	54,4
Масса тары, т	80	56,7
Коэффициент тары	0,28	0,35
Длина по осям сцепления автосцепок, мм	78064	62122
Полезная погонная нагрузка при погрузке 40-футовых контейнеров, т/м	3,63	2,63
Количество тележек	6	4
Нагрузка на ось, тс:		
- допускаемая;	35	35
- расчетная на промежуточной тележке при перевозке 40-футовых контейнеров	35	35

Таблица 2. Характеристики сочлененных вагонов-платформ для перевозки контейнеров стран Европы

Техническая характеристика	Модель вагона			
	Sggrss80» (LOSTR)	Sggrss90» (LOSTR)	Sggmrs/ss104» (TATRA VAGÓNKA)	Sdggmrs (TATRA VAGÓNKA)
Количество секций	2	2	2	2
Количество перевозимых 40-футовых контейнеров:				
- всего;	2	2	2	2
- на одной секции	1	1	1	1
Грузоподъемность, т:				
- общая;	109	105,2	105	86
- одной секции максимальная;	54,5	52,6	52,5	43
- одной секции фактическая при перевозке 40-футовых контейнеров	30,5	30,5	30,5	30,5
Масса тары, т	26	29,8	30	34
Коэффициент тары:				
- расчетный;	0,24	0,28	0,29	0,40
- при перевозке 40-футовых контейнеров	0,43	0,49	0,49	0,56
Длина по осям сцепления автосцепок, мм	26400	28350	33480	34200
Полезная погонная нагрузка при погрузке 40-футовых контейнеров, тс/м	2,31	2,15	1,82	1,78
Количество тележек	3	3	3	3
Нагрузка на ось, тс/ось:				
- допускаемая;	22,5	22,5	22,5	22,5
- расчетная на промежуточной тележке при перевозке 40-футовых контейнеров;	15,9	15,9	17,1	19,5
- расчетная на промежуточной тележке при максимальном использовании грузоподъемности	24,3	23,0	24,8	24,6

Сравнение американских, европейских сочлененных и российских длиннобазных вагонов-платформ по погонной нагрузке и коэффициенту тары при перевозке 40-футовых контейнеров приведено на рис. 1.

Длиннобазный российский вагон-платформа уступает американскому сочлененному по всем показателям, но превосходит сочлененный европейский вагон-платформу. Анализ данных показывает, что преимущество американских вагонов-платформ в первую очередь обеспечивается двухъярусной погрузкой и большей допускаемой осевой нагрузкой и эффект от применения узла сочленения трудно выявить.

Поэтому в дальнейшем сравнения проводились между вагонами-платформами «пространства 1520», имеющими близкие осевые нагрузки и одноярусную погрузку [1].

Для сравнения были выбраны вагоны-платформы с погрузочной длиной 90, 80 и 60 футов, эксплуатирующиеся на колее 1520 мм при перевозке контейнеров стандарта ISO (табл. 3).

При перевозке 20-футовых контейнеров преимущество по полезной погонной нагрузке имеют 60-футовые вагоны-платформы. Их погонная нагрузка максимальна, а коэффициент тары минимален (рис. 2а).

При перевозке 40-футовых контейнеров по погонной погрузке наиболее эффективны длиннобазные 80-футовые вагоны-платформы (рис. 2б). Коэффициент тары у этих вагонов при перевоз-

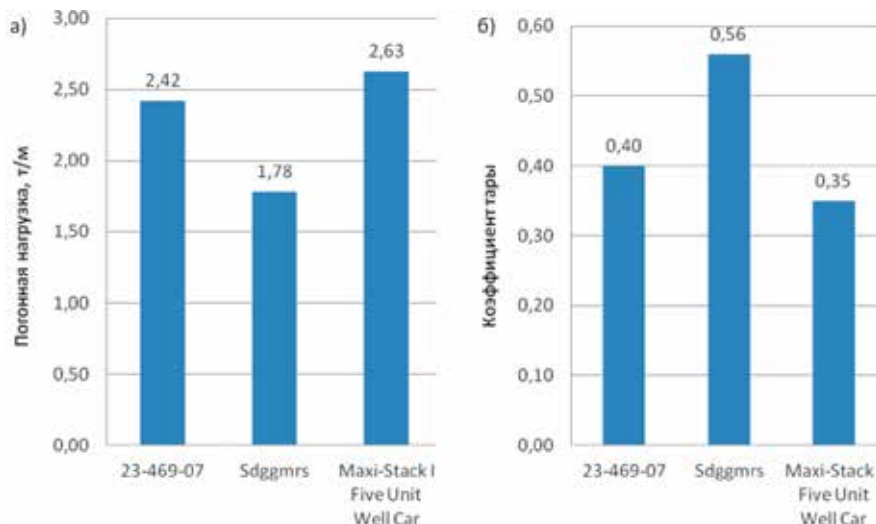


Рис. 1. Сравнение погонной нагрузки и коэффициента тары российских, европейских и американских вагонов-платформ при перевозке 40-футовых контейнеров

ке 40-футовых контейнеров также оказывается минимальным.

Сочлененные вагоны-платформы превосходят типовые четырехосные только при перевозке 45-футовых контейнеров (рис. 2в).

Таким образом, сочлененные вагоны-платформы для контейнеров имеют преимущества по своим характеристикам только при перевозке 45-футовых контейнеров. Учитывая малое количество в парке контейнеров длиной 45 футов и достаточное количество в России вагонов-платформ длиной 60 футов (47% от парка вагонов-платформ), не следует рекомендовать их широкого применения при использовании принятых технических решений.

Анализ нагруженности рам вагонов для перевозки контейнеров в длиннобазном и сочлененном исполнениях

Для анализа нагруженности определены изгибающие моменты в рамах при действии вертикальной нагрузки от веса контейнеров (рис. 3).

С точки зрения распределения нагрузок при перевозке двух 40-футовых контейнеров сочлененный вагон-платформа обладает явными преимуществами по сравнению с длиннобазным вагоном. Благодаря дополнительной опоре в центральной части в виде тележки значительно уменьшаются изгибающие моменты. При сравнении изгибающих моментов

Таблица 3. Сравнение технико-экономических характеристик вагонов-платформ для перевозки контейнеров колеи 1520 мм

Техническая характеристика	Модель вагона			
	Россия			Украина
	23-469-07 (ОАО «ЗМК»)	13-1223 (ОАО «Ружиммаш»)	13-9851 (TATRA VAGÓNKA)	13-1839 (Азовмаш)
Количество секций	1	1	2	2
Количество перевозимых контейнеров:				
- 20"	2	3	4	4
- 40"	2	1	2	2
- 45"	1	1	2	2
Грузоподъемность каждого из вагонов, т:				
- максимальная;	68	72	106	109,5
- при перевозке контейнеров				
- 20"	61	72	96	96
- 40"	61	30,5	61	61
- 45"	30,5	30,5	61	61
Масса тары, т	24,63	22	32	32
Коэффициент тары:				
- расчетный;	0,36			
- при перевозке контейнеров				
- 20"	0,40	0,3	0,36	0,32
- 40"	0,40	0,72	0,57	0,5
- 45"	0,8	0,72	0,57	0,5
Длина по осям сцепления автосцепок, мм	25 220	19 620	29 570	29 160
Погонная нагрузка при погрузке контейнеров, т/м				
- 20"	2,42	3,67	3,24	3,29
- 40"	2,42	1,55	2,06	2,09
- 45"	1,21	1,55	2,06	2,09

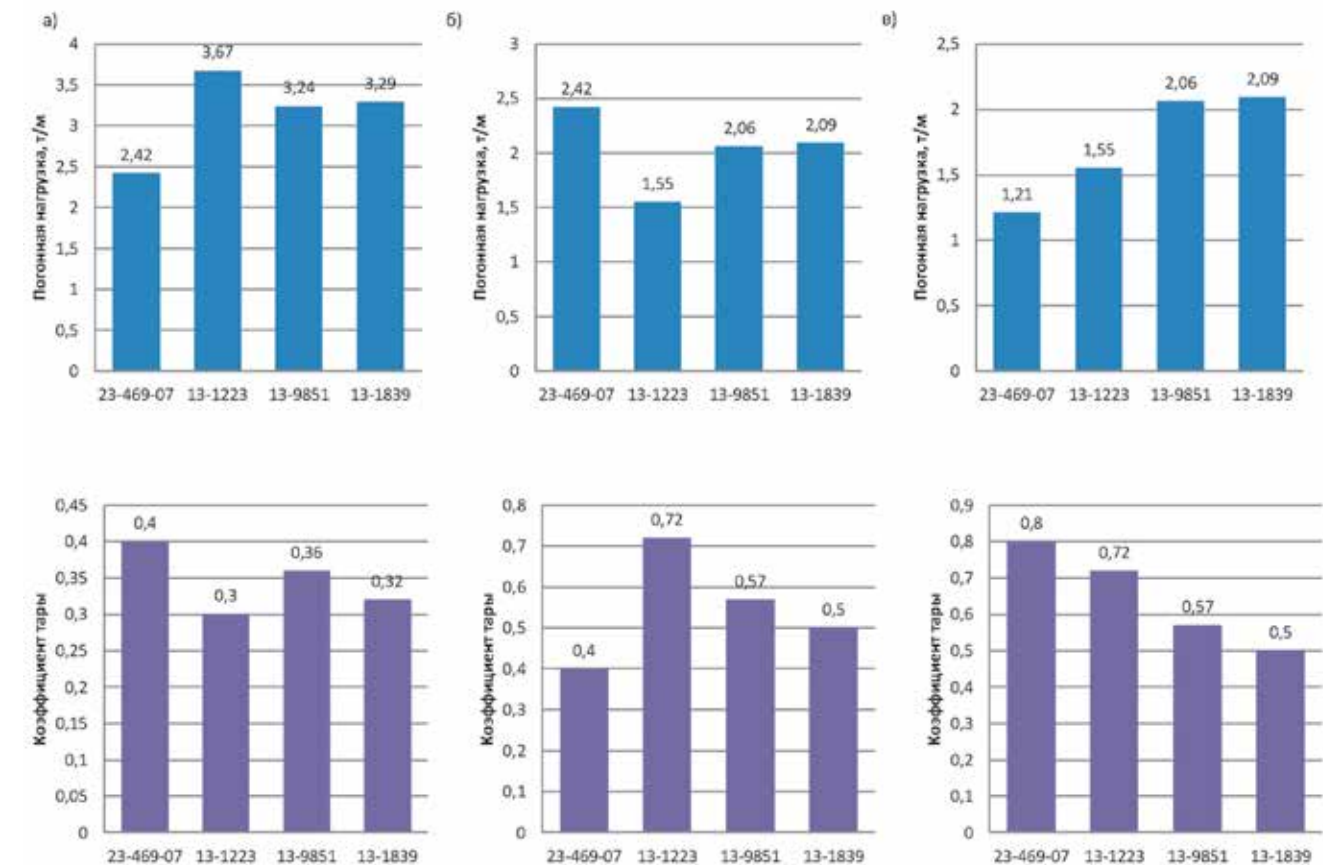


Рис. 2. Полезная погонная нагрузка и коэффициент тары вагонов-платформ колеи 1520 мм при перевозке 20-футовых (а), 40-футовых (б) и 45-футовых (в) контейнеров



Рис. 3. Максимальные изгибающие моменты в раме вагона-платформы от веса брутто контейнеров 20 и 40 футов

опоры позволяет существенно снизить вертикальные нагрузки на раму, однако в рассмотренных конструкциях использование этого преимущества не снизило массу тары вагона, а общий вес и стоимость вагона существенно увеличился на величину веса и стоимости дополнительной тележки.

Выбор оптимального числа сочлененных вагонов

Важнейшими параметрами вагона для будущего собственника является его первоначальная стоимость и эксплуатационные расходы. В настоящее время для большинства вагонов стоимость ходовых частей составляет 60% стоимости вагона. Поэтому в дальнейшем была проведена оценка стоимости ходовых частей в поезде из сочлененных вагонов в сравнении с поездом из четырехосных вагонов при равном количестве перевозимых контейнеров.

Количество тележек в поезде из четырехосных вагонов составляет $N_T = 2N_1$, где N_1 — число вагонов. Количество тележек в поезде из сочлененных вагонов составит $N_T = N + 1$, где N — число секций. Тогда стоимость тележек в обычном поезде составит $C_{\Sigma\text{обычн}} = 2N_1 \cdot C_T$, а сочлененного $C_{\Sigma\text{сочн}} = (N + 1) \cdot C_T$, где C_T — стоимость вагонной тележки.

Оценить эффект от уменьшения числа ходовых частей можно в процентах по формуле:

$$\Theta = \frac{C_T(N+1)}{C_T(2N_1)} \cdot 100\% = \frac{N+1}{2N_1} \cdot 100\%.$$

Из рис. 4, где представлен график изменения стоимости ходовых частей при применении сочлененных вагонов, видно, что наиболее ярко выраженный эффект достигается при сочленении двух-трех секций.

В то же время увеличение числа тележек в вагоне повышает вероятность

попадания в текущий отцепочный ремонт (ТОР) по неисправности тележек, колесных пар и буксовых узлов в течение года. Уже при четырех секциях вероятность отцепки возрастает в два раза.

Увеличение числа секций свыше пяти может привести к множеству проблем при эксплуатации, что уменьшит экономический эффект, поскольку неисправность одной из тележек потребует вывода из эксплуатации всего многоосного вагона, а не отдельной секции. При дальнейшем увеличении числа секций уменьшение стоимости ходовых частей замедляется, хотя и стремится в своём пределе к двукратному сокращению.

Аналогично можно рассмотреть выгоду от сокращения элементов тормозной системы в вагоне сочлененного типа. Для сцепы из двух вагонов требуется два воздухораспределителя, три авторегулятора и два привода стояноч-

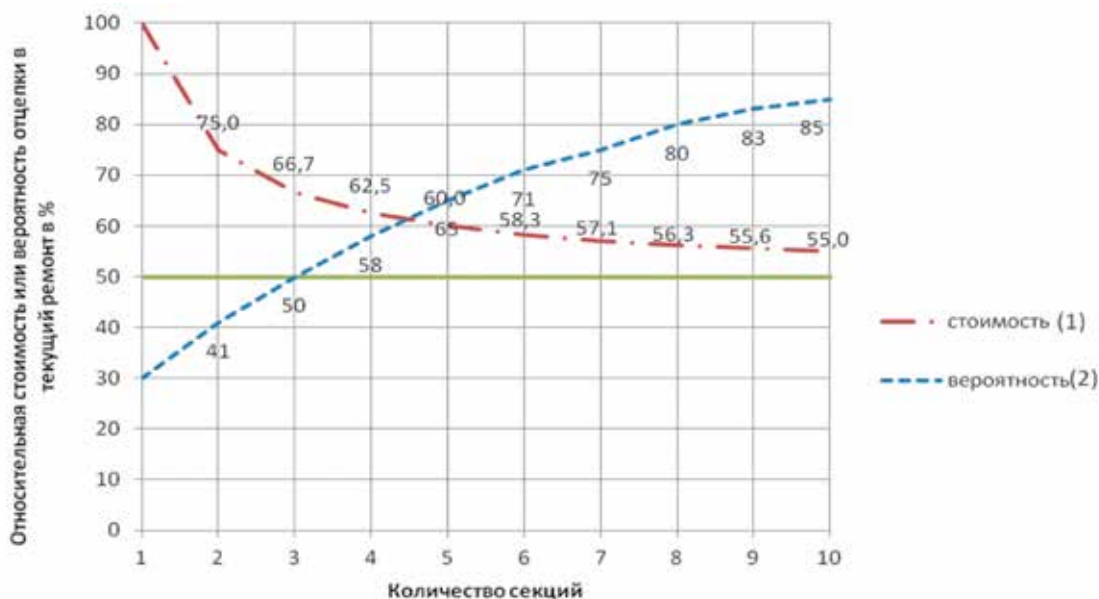


Рис. 4. Относительная стоимость вагона (1) и вероятность отцепки в текущий ремонт (2) в зависимости от числа секций

Таблица 4. Сравнение технических характеристик устройств сочленения

Характеристика	SAC-1 (Wabtec)	ASF-Keystone (Amsted)	Узел сочленения TATRAVAGÓNKA
Угол поворота относительно поперечной оси	±11°, не менее	±6°	*
Угол поворота относительно поперечной оси	±22°, не менее	±17°	*
Угол поворота относительно поперечной оси	±13°, не менее	±6°	0°
Масса, кг	625	567	100**
Максимальные нагрузки, МН: - продольная сжимающая; - продольная растягивающая	4,4 2,8	4,4 2,8	2,5 2,0

Примечания. * углы ограничены только конструкцией платформ; ** масса пятника и кронштейнов крепления включены в массу рамы.

ного тормоза. Но, как и в случае экономического эффекта от сокращения числа тележек, для сочлененных вагонов из трех и более секций может возникнуть ряд проблем, связанных с эксплуатацией. Таким образом, наиболее предпочтительной является конструкция сочлененного вагона из двух-трех секций при существующих показателях надежности тележек. При повышении надежности тележек число секций может быть увеличено до пяти.

Выбор устройств сочленения для колеи 1520 мм

К узлам сочленения предъявляется ряд специфических требований. Они должны обеспечить не только передачу продольных и вертикальных усилий, но и возможность поворота секции сочлененного вагона относительно друг друга. В мировой практике получили распространение две основные схемы: шаровые и двухшарнирные. В Север-

ной Америке наиболее распространены узлы сочленения SAC-1 «Cardwell Westinghouse» (входит в корпорацию Wabtec) и ASF-Keystone (входит в корпорацию AmstedRail), обеспечивающие поворот относительно трех осей. В Европе применяется двухшарнирный узел сочленения, обеспечивающий поворот относительно вертикальной и поперечной осей. Степень свободы на поворот относительно продольной оси обеспечивается на узле сочленения, в соединении пятник-подпятник, который у тележек типа Y-25 имеет сферическую форму. Взаимный поворот двух секций относительно продольной оси отсутствует.

В североамериканских вагонах каждая из секций имеет дополнительную опору на упругие скользяны. В большинстве европейских вагонов одна из секций через жесткий скользян опирается на другую, а та, в свою очередь, опирается на упругие скользяны.

Анализируя технические решения, следует отметить, что с точки зрения применения на пространстве колеи 1520 мм каждое из них имеет свои преимущества и недостатки.

Достоинством европейского сочленения является простота и относительная дешевизна конструкции. Но отсутствие степени свободы на поворот относительно продольной оси, на наш взгляд, существенный недостаток в случае ее применения в сочетании с плоским подпятником тележек колеи 1520 мм. В этом случае степень свободы обеспечивается перевалкой на пятнике и наклоном на пружинах, что неминуемо должно привести к ухудшению ходовых качеств.

Другим недостатком данного технического решения является необходимость разъединения секций для выкатки средней тележки, что требует не только разборки и выемки шкворня, но и разъединения рукавов тормозной магистрали, после чего нужно проводить стационарные тормозные испытания вагона.

Третьим минусом данного устройства является недостаточная прочность при действии продольных сил. Эти нагрузки передаются через шкворень. Максимально допустимые продольные силы на сжатие составляют 250 тс, а на растяжение — 200 тс, что меньше, чем предусмотрено Нормами [2] для грузовых вагонов при первом режиме.

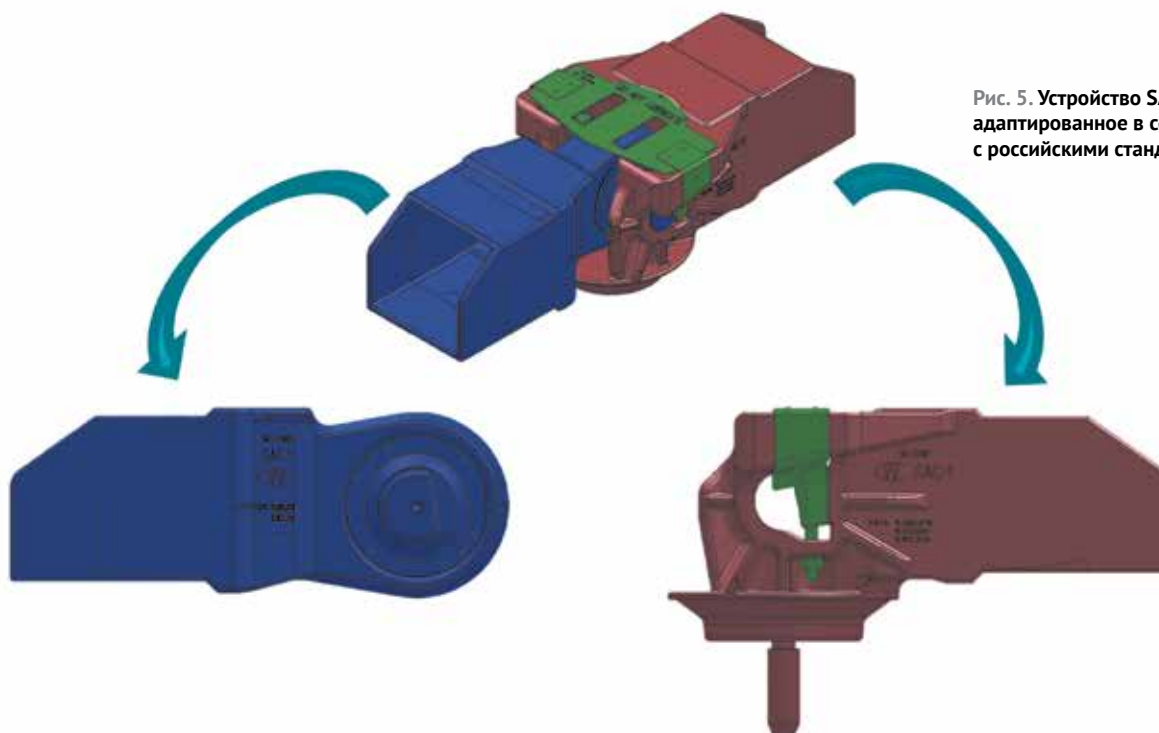


Рис. 5. Устройство SAC-1 Rus, адаптированное в соответствии с российскими стандартами

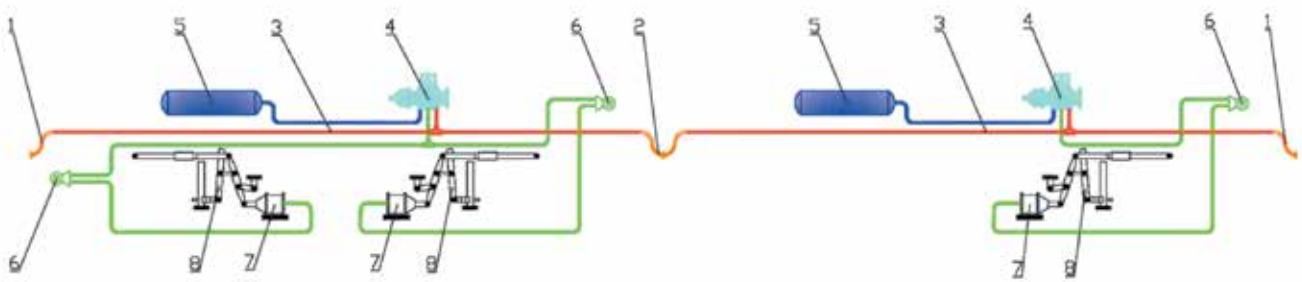


Рис. 6. Общая схема тормозной рычажной передачи сочлененного вагона и ее составные части: 1 – соединительный рукав Р17Б; 2 – соединительный рукав 747; 3 – тормозная магистраль; 4 – воздухораспределитель модели 483А-01; 5 – запасный резервуар модели Р7-78; 6 – грузовой авторежим модели 265А-4; 7 – тормозной цилиндр модели № 710; 8 – регулятор тормозной рычажной передачи РТП-300

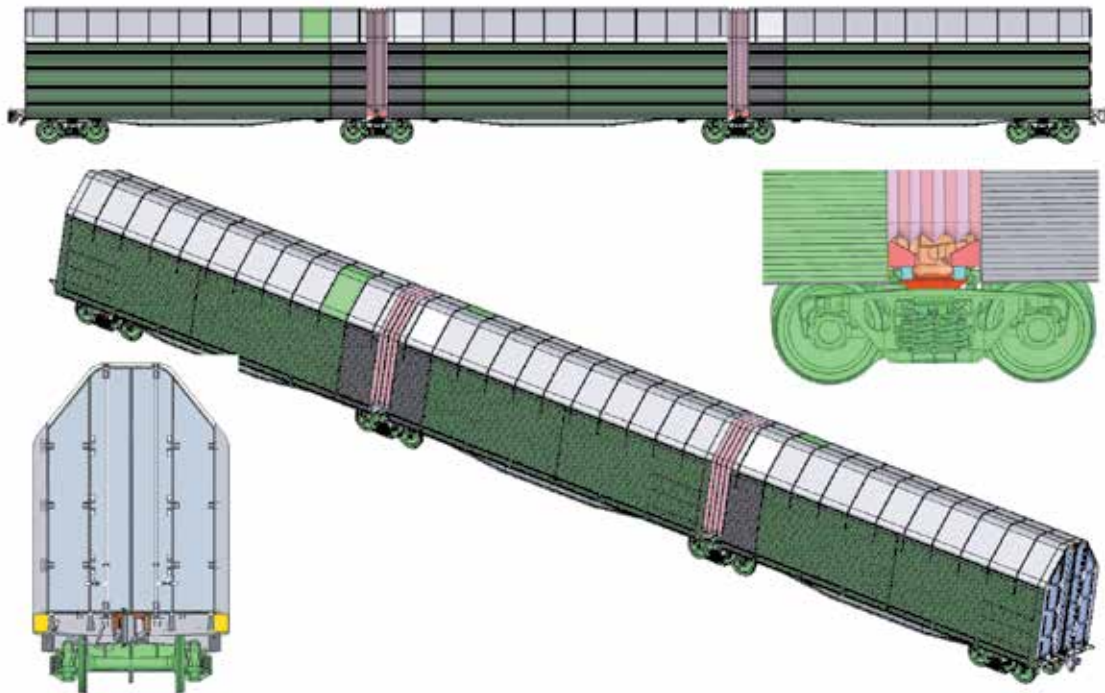


Рис. 7. Восьмисекционный трехсекционный сочлененный вагон для перевозки автомобилей

Американские сцепные устройства свободны от этих недостатков. В устройстве ASF-Keystone возможности поворота обеспечиваются наличием двух сферических вкладышей. Компенсацию зазоров выполняет клин, выбирающий зазоры под действием собственного веса. Достоинством данного устройства является простота разъединения двух секций, которое заключается в подъеме шкворня после удаления запорного устройства. На шкворень сцепного устройства действуют только силы растяжения. Силы сжатия передаются через сферический вкладыш на корпус второй части устройства.

Устройство SAC-1 представляет классический сферический шарнир. Передача нагрузок осуществляется через горизонтальную ось, которая в средней части имеет форму шара и удерживается в обойме, состоящей из двух полуколец.

Технические характеристики узлов сочленения приведены в табл. 4. Учитывая, что для прохождения кривой 60 м для вагонов с базой более 10 м требуется угол поворота относительно вертикальной оси менее $9,6^\circ$, а для прохождения горба сортировочной горки с переломом 55% требуется угол поворота относительно поперечной оси $3,15^\circ$, все рассмотренные сцепки удовлетворяют требованиям к вагонам группы I.

Устройства сочленения североамериканского типа для установки в раму вагона с автосцепным устройством по ГОСТ 3475 требуют изменения присоединительных размеров концевых частей, профиля пятника и расстояния между осью устройства и плоскостью пятника. «Wabtec» совместно с ОАО «НВЦ «Вагоны»» провели модернизацию и разработали новый узел сочленения SAC-1 Rus с шириной хвостовиков 350 мм, присоединительные размеры которых позво-

ляют устанавливать в хребтовые балки вагонов колеи 1520 мм (рис. 5) и производить опирание на стандартные российские тележки. При этом масса узла сочленения увеличилась до 740 кг из-за увеличения ширины хвостовика и расстояния до плоскости подпятника.

Тормозное оборудование сочлененных вагонов

В конструкции сочлененных и современных длиннобазных вагонов применяется тормозная система с раздельным торможением тележек и типовое тормозное оборудование. Одной из особенностей сочлененного вагона является существенная неравномерность загрузки средних и крайних тележек даже при симметричной загрузке вагонов. По этой причине при проектировании тормозной системы возникают проблемы с подбором передаточного числа тормозной рычажной передачи



Рис. 8. Сочлененный вагон-платформа модели 13–9894 с конструкционной скоростью 140 км/ч; грузоподъемность 89,5 т; масса тары 30,5 т

средних и крайних тележек таким образом, чтобы обеспечить эффективность торможения при всех схемах погрузки с применением композитных и чугунных колодок.

Схема тормозной передачи сочлененного вагона приведена на рис. 6.

У длиннобазных вагонов необходимость отдельного торможения тележек обусловлена только несимметричностью нагрузки из-за различий в весе контейнеров.

Поскольку в сочлененных вагонах-платформах используется типовое тормозное оборудование, а конструктивные особенности таких вагонов увеличивают количество тормозных приборов, а именно тормозных цилиндров, регуляторов и авторежимов, за счет большего количества тележек, то у сочлененных вагонов увеличивается стоимость тормозного оборудования и расходы на их обслуживание.

Перспективные конструкции сочлененных вагонов колеи 1520 мм

Эффективность сочлененных вагонов зависит от допускаемой нагрузки на ось. Высокая допускаемая нагрузка на ось (35 тс) в Северной Америке сделала возможным создание вагонов-платформ для двухъярусной перевозки контейнеров. Относительно невысокая допускаемая нагрузка в странах Европы (22,5 тс) позволяет эффективно использовать сочлененные вагоны-платформы при перевозке контейнеров при одноярусной погрузке.

В условиях допускаемых нагрузок от колес на рельсы (23,5–25 тс) и габаритов «пространства 1520» двухъярусная погрузка контейнеров типоразмеров выше АА и ЕЕ оказывается невозможной, а одноярусная перевозка контейнеров 40 и 20 футов — неэффективной.

С учетом этих обстоятельств, на наш взгляд, сочлененные вагоны целесообразно использовать при перевозке легковесных грузов, например автомобилей и автоприцепов, а также в специальных скоростных поездах, для которых необходимо снизить нагрузку от колес на рельсы. Предварительные проработки некоторых из таких перспективных вагонов показаны на рис. 7, 8.

Восьмиосный трехсекционный вагон для перевозки автомобилей (рис. 7) существенно превосходит существующие автомобилевозы из-за лучшего использования межвагонного пространства по погонной нагрузке и вместимости.

Совместно разработанный с ОАО «Ружиммаш» сочлененный скоростной вагон-платформа (рис. 8) обеспечивает конструкционную скорость 140 км/ч [3] при осевой нагрузке 20 тс.

Другим эффективным направлением применения сочлененных вагонов может стать их использование с перевозкой 40-футового контейнера над узлом сочленения [4, 5]. В этом случае повышается погонная нагрузка и шестиосная сочлененная вагон-платформа по погонной нагрузке и стоимости ходовых частей приближается к длиннобазной четырехосной.

Выводы

Проведенный сравнительный анализ технических характеристик и технических решений сочлененных и четырехосных вагонов-платформ показал:

- Сочлененные контейнерные вагоны-платформы превосходят эксплуатирующиеся в России четырехосные вагоны-платформы по технико-экономическим показателям только при перевозке 45-футовых контейнеров. При перевозке 20-футовых контейнеров они уступают вагонам-платформам с погрузочной длиной 60 футов, а при перевозке 40-футовых контейнеров — длиннобазным вагонам-платформам длиной 80 футов.

- Сочлененные вагоны-платформы позволяют снизить нагруженность рам вагонов вертикальной нагрузкой в 3,5 раза. В вагонах-платформах, эксплуатируемых на колее 1520 мм, это преимущество не использовано.

- Увеличение количества секций сочлененного вагона снижает стоимость, но ведет к увеличению расходов на ремонт и уменьшает производительность вагонов из-за увеличения простоев в отцепочном ремонте. Этот недостаток можно устранить применением ходовых частей повышенной эксплуатационной надежности.

- Для соединения секций вагонов-платформ предпочтительнее использовать устройства сочленения, обеспечивающие три степени свободы на поворот вокруг продольной, поперечной и вертикальной оси. Устройства сочленения североамериканского типа для установки в раму вагона с автосцепным устройством по ГОСТ 3475 требуют изменения присоединительных размеров концевых частей, профиля пятника и расстояния между осью устройства и плоскостью пятника.

- Сочлененные вагоны в условиях допускаемых осевых нагрузок 23,5–25 тс, принятых для колеи 1520 мм, рекомендуется проектировать только для перевозки легковесных грузов, использующих допускаемые осевые нагрузки менее чем на 70%, или при наличии требований о снижении нагрузки от колес на рельсы (скоростные грузовые вагоны).

Работа выполнена при поддержке Правительства Российской Федерации (субсидия Министерства образования и науки 2010–218–01–228). ■

Литература

1. Киреева Ю. С., Мещерин Ю. В. Новая сочлененная платформа разработки АО «Татравагонка» // Вагоны и вагонное хозяйство. 2009. № 2 (18). С. 14–15.
2. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.
3. Бороненко Ю. П. Инновационный грузовой подвижной состав железных дорог и его высокотехнологичное производство // Наука и транспорт. 2012. № 3. С. 18–21.
4. Бороненко Ю. П., Белгородцева Т. М., Васильев С. Г., Смирнов Н. В. Инновационное решение — 120-футовая платформа сочлененного типа для перевозки трех 40-футовых крупнотоннажных контейнеров // Транспорт РФ. 2009. № 5 (24). С. 56–59.
5. Бороненко Ю. П., Васильев С. Г., Смирнов Н. В. Вагон-платформа сочлененного типа для перевозки крупнотоннажных контейнеров. Пат. № 82174 от 09.02.2009.