

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЦЕМЕНТА

С.А. Фёдоров,
канд. техн. наук, заместитель исполнительного
директора, директор дирекции проектирования
грузовых вагонов,
М.В. Агинских,
начальник отдела «Цистерны»,
А.В. Калугин,
руководитель конструкторской группы,
Д.А. Квактун,
ведущий инженер-конструктор,
Д.В. Шевченко,
канд. техн. наук, MBA, директор
научно-исследовательской дирекции,
М.Р. Тохчукова,
канд. техн. наук, руководитель направления «Прочность
конструкций вагонов», научно-исследовательская
дирекция;
ООО «ВНИЦТТ»

Современная промышленность и строительство неразрывно связаны с использованием сыпучих строительных материалов (цемент, портландцемент, тальк и др.). Цемент не только широко применяется на строительной площадке, его также используют для производства различных смесей, бетонов, железобетонных изделий, асбестоцементных труб и плит и т.д. Использование цемента в промышленных масштабах заставляет искать пути повышения эффективности его транспортировки. Одним из таких способов является перевозка цемента железнодорожным транспортом.

Еще со времен СССР транспортировку цемента железнодорожным транспортом производили в специализированных вагонах бункерного типа (по типу хоппера) (1) и в специализированных вагонах-цистернах с аэропневмовыгрузкой (2).

Вагоны бункерного типа, помимо относительной простоты конструкции и удобства гравитационной выгрузки, предъявляют специфические требования к инфраструктуре: наличие приемных бункеров требуемого объема в зоне железнодорожных путей для разгрузки и наличие системы пылеулавливания.

Вагоны-цистерны для цемента с аэропневмовыгрузкой имеют более сложную конструкцию, система выгрузки требует наличия источника питания в виде сжатого воздуха, однако выгрузка из такого рода цистерн позволяет значительно сократить потери груза при разгрузке и снизить пылеобразование, а также производить выгрузку непосредственно в трубопровод силосных банок.

В Советском Союзе вагоны-цистерны для перевозки цемента моделей 15-854 и 15-1405 производились на ЖЗТМ (ныне ПАО «Азовмаш»). В настоящее время вагоны-цистерны для цемента производит АО «Рузхиммаш» (модель 15-1267). Сравнительные характеристики приведены в табл. 1.

Вагоны-цистерны производства ПАО «Азовмаш» сняты с производства, и срок их службы подходит к окончанию, вагон-цистерна производства АО «Рузхиммаш» предназначен для эксплуатации на путях колеи 1435 мм. Вышеуказанные вагоны-цистерны морально устарели и не отвечают требованиям, предъявляемым к современным вагонам (в первую очередь осевая нагрузка 23,5 тс и типовые межремонтные пробеги). Кроме того, вагон-цистерна модели 15-1267 имеет уменьшенный объем котла из-за ограничений габарита на железнодорожных путях колеи 1435 мм.

В рамках реализации стратегии холдинга «Объединенная Вагонная Компания» по выпуску высокотехнологичной продукции ООО «ВНИЦТТ» (инжиниринговый центр ОВК) выполнило комплекс научно-исследовательских и

Аннотация

В статье представлены результаты разработки вагона-цистерны для перевозки цемента.

Ключевые слова

Цемент, вагон-цистерна, перевозка, железнодорожный транспорт, аэропневмовыгрузка, конструкция, эксплуатация.

Таблица 1

Основные параметры и характеристики вагонов-цистерн для перевозки цемента

Наименование параметра или характеристики	Значение для вагона модели			
	15-Ц853 ОАО «Мариупольский завод тяжелого машиностроения» (снят с производства)	15-854 ПАО «Азовмаш» (снят с производства)	15-1405 ПАО «Азовмаш» (снят с производства)	15-1267 АО «Рузхиммаш»
Грузоподъемность, т	58	68	61	60
Масса тары, т	25,3	26	24,8	26
Объем полный, м ³	61,1	61	62	52
Ширина колеи, мм	1520 (1524)			1435
Осевая нагрузка, тс	20,80	23,5	21,45	21,5
Назначенный срок службы, лет	28	24	28	30
Норматив периодичности проведения капитального ремонта после постройки, лет	10	6	10	—
Нормативы периодичности проведения деповского ремонта вагона по комбинированному критерию (пробегу), тыс. км (лет):				
первый после постройки	210 (3)	210 (3)	210 (3)	—
после деповского ремонта	110 (2)	110 (2)	110 (2)	—
после капитального ремонта	160 (2)	160 (2)	160 (2)	—

опытно-конструкторских работ по разработке конструкции вагона-цистерны для перевозки цемента и других порошкообразных грузов с улучшенными технико-экономическими показателями.

На первом этапе было проведено обследование эксплуатируемых вагонов (моделей 15-Ц853 и 15-1405) для перевозки цемента и инфраструктуры погрузки-выгрузки на территории эксплуатирующей эти вагоны организации ТОО «КАЗФОСФАТ» (Республика Казахстан).

Проведенная работа позволила выявить ряд конструктивных и ремонтно-эксплуатационных особенностей вагонов-цистерн:

- использование фильтровальной ткани малой плотности на аэрлотках, приводящее к ее быстрому повреждению (разрывам) и, соответственно, к отсутствию аэрации груза, что вызывает необходимость ручной зачистки и разгрузки большого объема груза внутри котла (рис. 1);

- использование разгрузочного патрубка с одним фланцем, вызывающее его ускоренный абразивный износ в зоне изгиба (рис. 2);

- усталостные трещины сварных швов приварки откосов и рассекателей, через которые цемент просыпается в подоткосное пространство;

- отсутствие зачистных люков в днищах котла, приводящее к необходимости вырезки части днища для зачистки подоткосного пространства с последующей приваркой новой вставки (рис. 3).

На следующем этапе с учетом выявленных особенностей эксплуатации и ремонта типовых вагонов специалистами ВНИЦПТ был разработан вагон-цистерна модели 15-627.

В конструкции котла в нижней части днища предусмотрены люки для ревизии и зачистки подоткосного пространства. Для повышения надежности аэрлотков в качестве пористого материала была применена фильтровальная ткань для промышленных фильтров, которая положительно себя зарекомендовала при ремонте типовых вагонов. Чтобы обеспечить совместимость с инфраструктурой пунктов выгрузки и снизить абразивный износ, разгрузочный патрубок выполнен двухсторонним.

При проведении расчетов и оптимизации конструкции наибольшую сложность вызвали расположение и конфигурация откосов внутри котла и система их подкрепления, связанная в первую очередь со сложностью их монтажа и возросшими нагрузками при повышении грузоподъемности. Однако удалось найти компромиссное решение, удовлетворяющее требованиям прочности и технологичности.

Данный этап проектирования также сопровождался численным моделированием конструкции вагона-цистерны с учетом особенностей, определенных на стадии обследования типовых вагонов и проектирования котла.

Численный анализ разрабатываемого вагона-цистерны выполнялся с использованием метода конечных элементов, реализованного в специализи-

рованной программной системе конечного-элементного анализа Siemens NX (3). Построение 3D-модели проводилось с учетом внутреннего устройства котла, обусловленного наличием откосов, рассекателей и аэрлотков.

Для получения наиболее корректных результатов расчетные исследования проводились с учетом геометрической нелинейности граничных условий в виде контактных взаимодействий, исключающих взаимное проникновение между парами поверхностей в зоне расположения лежневых опор и шпангоутов. Особое внимание было уделено имитации рессорного подвешивания, учитывающего жесткостные характеристики пружин подкатываемых тележек, что позволило в дальнейшем максимально точно описать кинематические граничные условия.

Все расчетные исследования, подтверждающие корректность выбранных конструктивных решений, в том числе исследования по анализу статической и циклической прочности, усталости и динамических качеств, проводились с учетом требований нормативных документов (4) и (5).

Внутренние элементы конструкции котла являются одними из наиболее нагруженных частей разрабатываемого вагона. В связи с этим в процессе численного анализа проводилась оптимизация по расположению откосов, рассекателей и аэрлотков. При этом учитывались технологические особенности, возникающие при установке этих частей внутри котла.

С помощью итерационной последовательности изменений геометрических параметров, таких как угол наклона аэрлотков, выбор профиля подкрепляющих элементов, а также способа соединения элементов между собой удалось снизить напряжения в 1,5 раза по сравнению с начальной конструкцией (рис. 4). Это в свою очередь позволило выполнить требования статической и усталостной прочности, представленные в (4) и (5) (рис. 5 и 6).

Оценка полученных в ходе расчетных исследований результатов позволяет сделать вывод о том, что конструкция вагона-цистерны модели 15-627 в целом соответствует прочностным показателям нормативных документов (4) и (5).

По результатам выполненных работ был создан вагон-цистерна для перевозки цемента, обладающий улучшенными технико-экономическими параметрами. Основные технические характеристики и параметры вагона приведены в табл. 2. Общий вид вагона представлен на рис. 7.

Сравнение новой конструкции с существующими аналогами показывает увеличение грузоподъемности от 5 до 15 т и повышение объема от 12,4 до 21,5 м³, а также увеличение срока службы до 40 лет (рис. 8).

В конструкции вагона модели 15-627 использованы унифицированные узлы: рама, тормозное оборудование, автоцепные устройства и тележки, ранее примененные в конструкции других ва-



Рис. 1. Остатки груза внутри котла



Рис. 2. Разгрузочный патрубок с одним фланцем

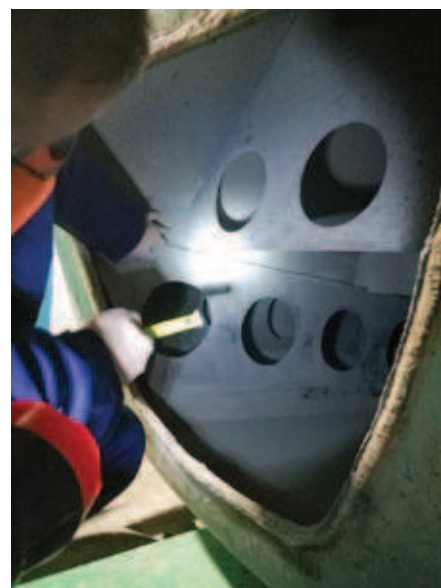


Рис. 3. Вырезанное окно для зачистки подоткосного пространства

гонов-цистерн. Это позволило сократить сроки освоения производства и обеспечить увеличенные межремонтные сроки.

Котел в сборе (рис. 9) представляет собой цельнометаллическую сварную конструкцию, состоящую из обечаек, двух днищ, одного люка-лаза (основного), двух загрузочных (дополнительных) люков, двух зачистных люков (предназначенных для периодического осмотра и зачистки подоткосного пространства), боковых откосов, рассекателей, аэрлотков, корпуса разгрузочного устройства. Для сообщения подоткосного пространства с верхней полостью котла на одном из днищ располагается труба

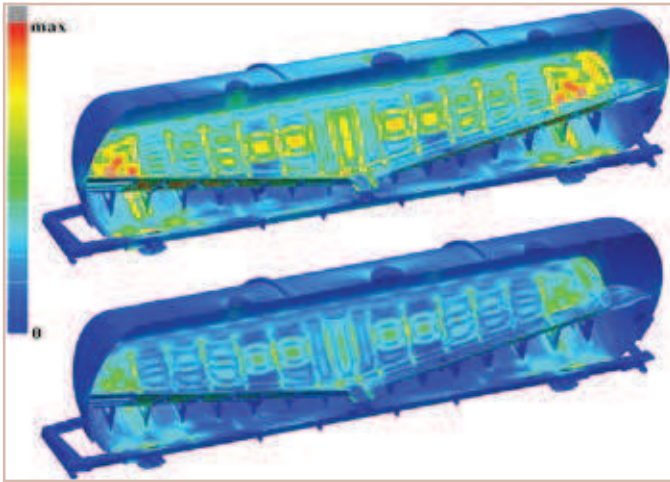


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений по теории Губера-Мизеса при статическом нагружении (сверху — до оптимизации, снизу — после), МПа

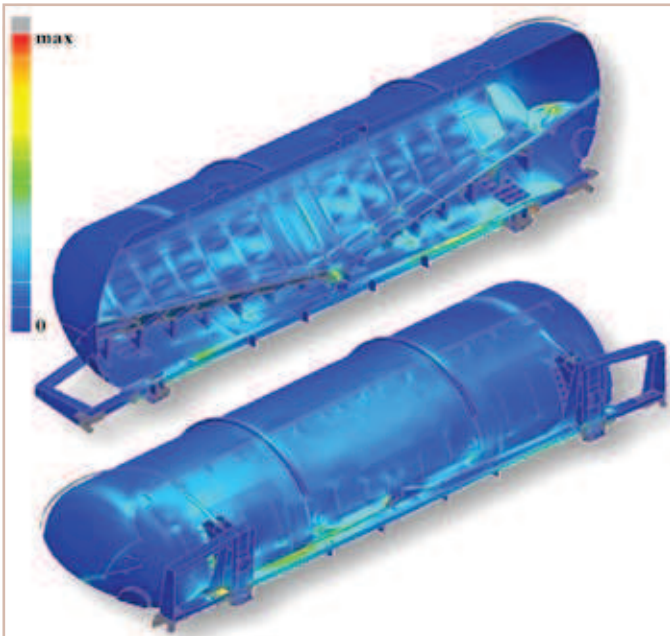


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений по теории Губера-Мизеса при ударе по I расчетному режиму, МПа



Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений по теории Губера-Мизеса при рывке по III расчетному режиму, МПа

Таблица 2
Основные технические характеристики и параметры вагона-цистерны модели 15-627

Наименование параметра или характеристики	Значение
Грузоподъемность, т	73
Масса тары, т	27,0
Максимальная расчетная статическая осевая нагрузка, кН (тс)	245 (25)
Габарит по ГОСТ 9238–2013	1-Т
Объем котла полный, м ³	73,5
Длина по осям сцепления автосцепок, мм	12 020
База вагона, мм	7 800
Внутреннее избыточное давление в котле при разгрузке, МПа	0,2
Способ погрузки	Верхний, через люки
Способ выгрузки	Нижний, через разгрузочное устройство
Назначенный срок службы, лет	40
Норматив периодичности проведения капитального ремонта после постройки, лет	16
Нормативы периодичности проведения деповского ремонта вагона по комбинированному критерию (пробегу), тыс. км (лет):	
первый после постройки	1 000 (8)
после деповского ремонта	1 000 (8)
после капитального ремонта	1 000 (8)



Рис. 7. Вагон-цистерна для цемента модели 15-627

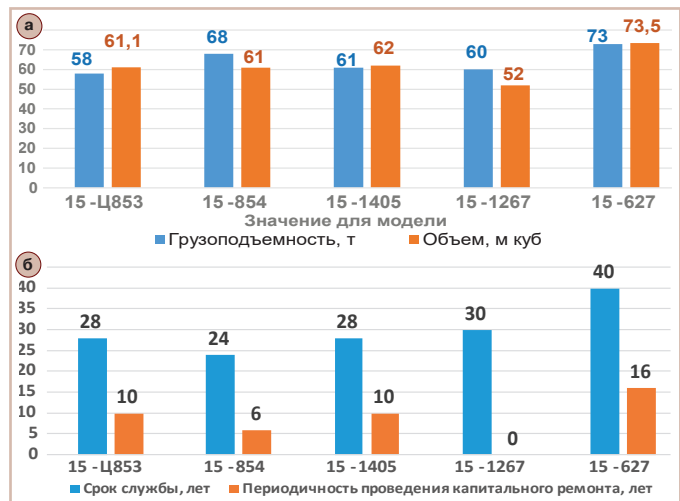


Рис. 8. Сравнение основных технико-экономических параметров проектируемого вагона и вагонов-аналогов для цемента:

а — сравнение грузоподъемности и объема вагонов-цистерн для цемента; б — сравнение по срокам службы и проведения капитального ремонта

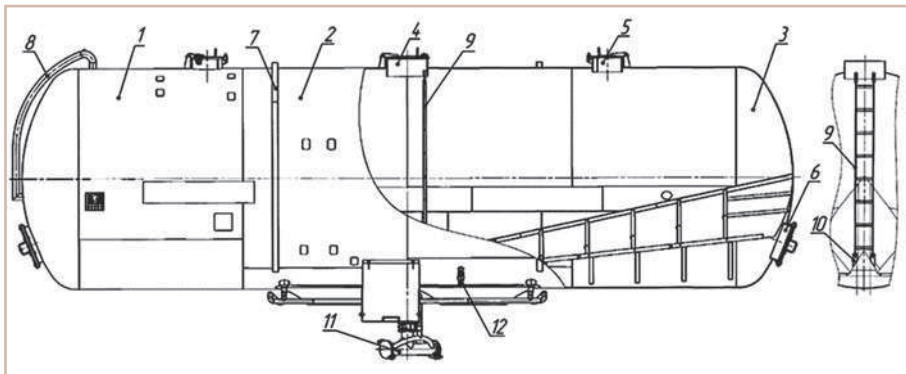


Рис. 9. Котел:

1 — обечайка крайняя; 2 — обечайка; 3 — днище; 4 — люк-лаз; 5 — люк загрузочный; 6 — люк зачистной; 7 — шпангоут; 8 — труба; 9 — лестница внутренняя; 10 — кронштейн; 11 — разгрузочное устройство; 12 — труба для сброса давления

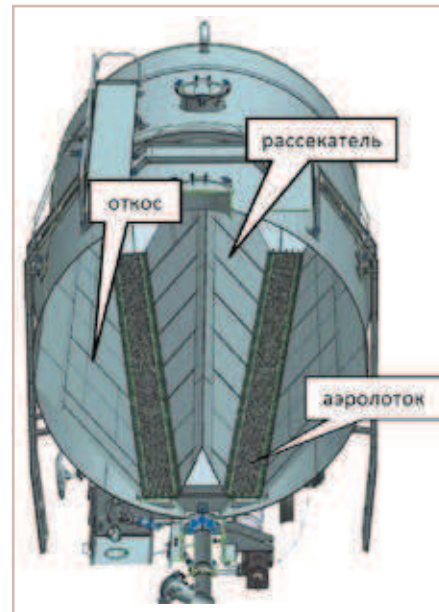


Рис. 10. Расположение аэролотков

DN 50. Для быстрого сброса давления в нижней части сбоку котла расположен отвод с вентилем DN 50.

Повышение устойчивости оболочки котла при малой его массе достигается приваренными к котлу шпангоутами. Для проведения осмотров котел снабжен внутренней лестницей.

Аэролотки выполнены в виде съемных желобов, как показано на рис. 10, сверху закрытых лентой из пористого материала, через которую проходит воздух для аэрации груза. Чтобы предупредить провисание ленты под тяжестью груза, в желобе установлена поддерживающая решетка. Для обеспечения стекания груза к разгрузочному патрубку аэролотки установлены с уклоном к продольной оси котла и его средней части. Рассекатели и боковые откосы листовой конструкции с ребрами жесткости, способствующие перемещению груза к аэролоткам, установлены с уклоном к вертикальной оси.

Вагон оборудован разгрузочным устройством (рис. 11) с дисковым затвором DN 150 и системой воздушных коммуникаций, состоящей из коллектора, воздухопроводов с запорными вентилями DN 50, боковых откосов, рассекателей, аэролотков. В нижней части корпус разгрузочного устройства имеет два патрубка, направленных по продольной оси вагона противоположно друг другу и снабженных наконечниками для подсоединения внешних коммуникаций. В транспортном положении патрубки раз-

грузочного устройства заглушены крышками при помощи болтов, гаек и шайб.

Воздушная коммуникация (рис. 12) обеспечивает подачу воздуха в аэролотки и трубу поддува при разгрузке вагона. Она состоит из коллектора, патрубка для установки манометра, расположенных в арматурном шкафу, и воздухопроводов. Патрубок сообщен с подоткосным пространством.

Коллектор является контрольно-распределительным устройством подачи воздуха при выгрузке вагона. На коллекторе установлены запорные клапаны. Клапанами регулируется подача воздуха в аэролотки и в трубу поддува.

Разгрузочное устройство (рис. 13) вагона модели 15-627 оборудовано коллектором с центральным и горизонтальным патрубками. Между патрубком котла и вертикальным патрубком разгрузочного устройства размещен затвор дисковый. Крепление затвора дискового осуществляется с помощью болтов, гаек и шайб. Коллектор оборудован трубой поддува, на вертикальном участке которой установлен запорный клапан.

В ходе разгрузки вагона к его воздушной линии подключается магистраль сжатого воздуха (давление не более 0,2 МПа), который, поступая в пространство над материалом и под аэрожелобом (рис. 14), проходит через лежащий на ткани пылевидный материал и аэрирует его. При этом груз, став аэрированным, приобретает «текучесть» и вместе с воздухом движется по аэрожелобам

к центру вагона и далее по разгрузочному патрубку попадает в разгрузочное устройство, подсоединенное к трубе силоса, после чего поступает в ту или иную силосную банку.

Полученные знания о слабых местах существующего парка вагонов-цистерн для перевозки порошкообразных грузов позволили спроектировать конструкцию вагона-цистерны по своим экономическим, прочностным и технологическим параметрам, отвечающим требованиям к современному подвижному составу (в первую очередь по грузоподъемности и объему, а также сроку службы и межремонтным нормативам).

Магистральные вагоны-цементовозы с легкостью могут эксплуатироваться и на путях промышленных предприятий в качестве внутривозовского транспорта, так как режимы нагружения (в том числе динамические) мягче, чем для общесетевых вагонов.

Первая партия вагонов-цистерн модели 15-627 была поставлена на производство именно как внутривозовского транспорт и введена в эксплуатацию на одном из промышленных предприятий России.

Практический опыт изготовления и испытаний вагона-цистерны для внутри-

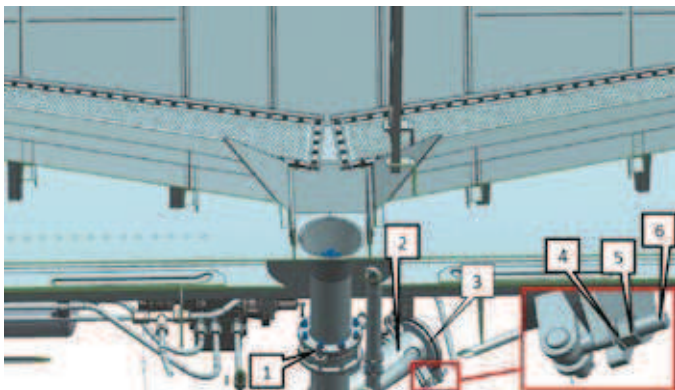


Рис. 11. Разгрузочное устройство:

1 — дисковый затвор DN 150; 2 — коллектор; 3 — крышка; 4 — шайба; 5 — гайка; 6 — болт

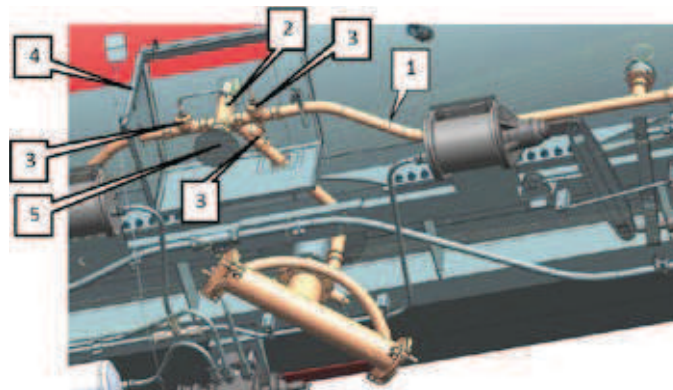


Рис. 12. Воздушная коммуникация:

1 — воздухопровод; 2 — коллектор; 3 — клапан запорный; 4 — арматурный шкаф; 5 — патрубок

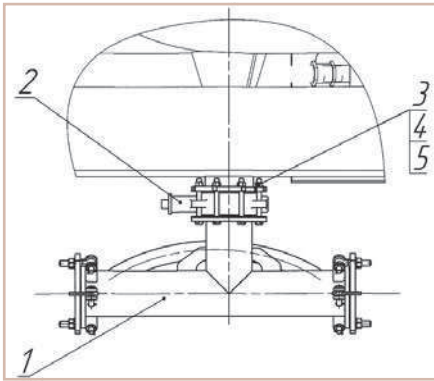


Рис. 13. Разгрузочное устройство:

1 — коллектор; 2 — дисковый затвор; 3 — болт; 4 — гайка; 5 — шайба

заводского транспорта позволяет при необходимости в кратчайшие сроки произвести постановку вагона на производство на основании требований к общесетевому грузовому подвижному составу.

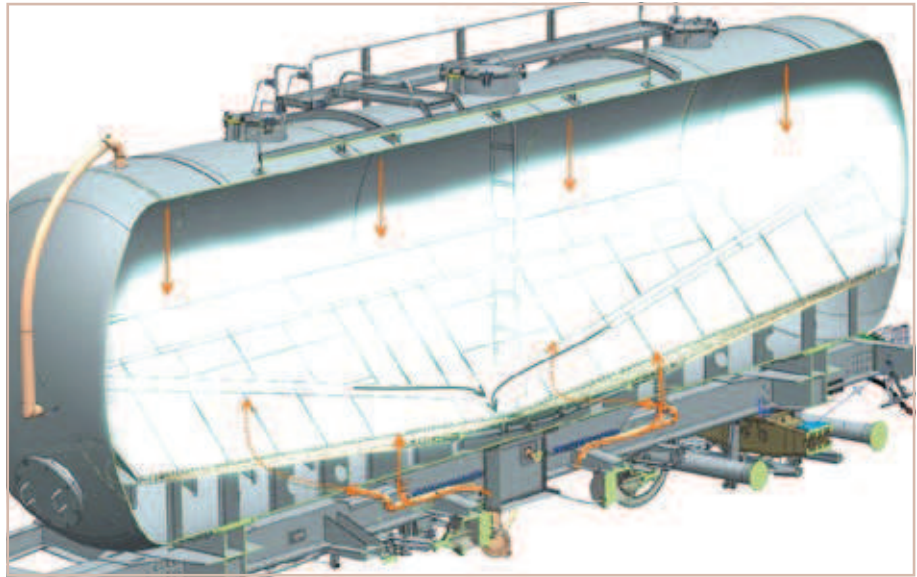


Рис. 14. Движение воздуха при разгрузке вагона

Библиография

1. Шадур Л.А. Развитие отечественного вагонного парка. — М.: Транспорт, 1988. — С. 279.
2. Кузьмич Л.Д., Кузнецов А.В., Ржавинский Б.А. и др. Вагоны: Проектирование, устройство и методы испытаний. М., «Машиностроение», 1978. — С. 376.
3. NX Nastran 10. Advanced Nonlinear Theory and Modeling Guide. — 2014.
4. ГОСТ 33211-2014 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам.
5. Нормы для расчета и проектирования вагонов железнодорожных МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М.: ВНИИ вагоностроения, 1996. — С. 319.

ТИХВИНСКИЕ ПЛАТФОРМЫ ПОПОЛНЯТ ВАГОННЫЙ ПАРК «НОВОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ»

В рамках контракта с железнодорожным оператором ООО «Новая логистическая» НПК «Объединенная Вагонная Компания» («НПК ОВК») отгрузила первую партию фитинговых платформ модели 13-6903 в количестве более 200 ед. Общий объем поставки до конца 2022 г. составит 1 000 вагонов.

Основным конкурентным преимуществом вагона-платформы модели 13-6903 для перевозок крупнотоннажных контейнеров является повышенная грузоподъемность 74,5 т при погрузочной длине 80 футов. Основные технические характеристики платформы модели 13-6903 приведены в таблице.

Кроме крупнотоннажных контейнеров, на платформе могут также перевозиться рефрижераторные и танк-контейнеры разных типоразмеров с массой брутто до 36 т. Вагон имеет утвержденные местные технические условия (МТУ) размещения и крепления крупнотоннажных контейнеров. Вагон укомплектован тележками с осевой нагрузкой 25 тс, характеристики которых обеспечивают надежность эксплуатации и увеличенный срок межремонтного пробега вагона (8 лет или до 1 млн км).

В 2021 г. на фоне роста контейнерных перевозок спрос на фитинговые платформы на российском рынке значительно вырос. Драйвером роста стало существенное развитие потока экспорта-импорта контейнеров между Россией и Китаем. Благодаря повышенному спросу производство вагонов-платформ



Основные технические характеристики вагона-платформы модели 13-6903 (80 футов)

Параметр	Величина
Грузоподъемность, т	74,5
Масса тары, т	25
Длина по осям сцепления автосцепок, мм	25 620
Длина по концевым балкам, мм	24 400
База вагона, мм	19 000
Ширина вагона, мм	2 785
Габарит по ГОСТ 9238 рамы вагона тележки	1-Т 02-ВМ
Типоразмеры контейнеров	45 футов (1EEE, 1EE), 40 футов (1AAA, 1AA, 1A, 1AX), 30 футов (1BBB, 1BB, 1B, 1BX), 20 футов (1CC, 1C, 1CX)
Количество откидных упоров для крепления контейнеров, шт.	10
Количество стационарных упоров для крепления контейнеров, шт.	4
Модель тележки (тип 3 ГОСТ 9246)	18-9855
Расчетная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, кН (тс)	245,25 (25)
Срок службы, лет	32
Нормативный межремонтный срок, до млн км (лет)	1 (8)

форм модели 13-6903 в прошлом году выросло по сравнению с 2020 г. в три раза, превысив отметку в 1,8 тыс. ед. Доля выпуска платформы данной модели составила порядка 11 % от общего объема построенных в России 80-футовых фитинговых платформ в 2021 г.

По материалам пресс-службы «НПК ОВК»