

УДК 629.4: 539.3

*Чепурной А.Д., д-р техн. наук; Шейченко Р.И.; Граборов Р.В.; Ткачук Н.А., д-р техн. наук; Бондаренко М.А.; Грабовский А.В., канд. техн. наук; Лунев Е.А.; Ткачук А.В., канд. техн. наук; Набоков А.В., Бондаренко Л.Н.*

## **ИННОВАЦИОННЫЙ ВАГОН-ЦИСТЕРНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕГКОВЕСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ**

**Введение.** Обеспокоенность международного сообщества вызвана климатическими изменениями и нашла отражение в рамочной конвенции ООН об изменении климата [1], принятой в 1992 году на Саммите Земли в Рио-де-Жанейро, основные положения которой были конкретизированы в процессе встреч участников Киотского протокола, Конференции сторон конвенции (Conference of the Parties, COP) по изменению климата а также ряде национальных Конференций стран-участниц Соглашения. Основные тенденции по внедрению энергоэффективных технологий внедряются на уровне национальных законодательных актов. При этом регулируются отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, предписываются требования к решениям, влияющим на энергетическую эффективность, а также требования к отдельным элементам, конструкциям и к их свойствам, к устройствам и технологиям. Наряду с этим предусматривается осуществление государственной поддержки и содействие в разработке и использовании объектов, технологий, имеющих высокую энергетическую эффективность.

Таким образом, на уровне национальных законодательств предписывается необходимость руководствоваться энергосберегающими технологиями и конструктивными решениями при разработке и внедрении новых проектов.

Цель работы и описываемого проекта создания инновационного вагона соответствует существующим приоритетам [2], стратегии инновационного развития железных дорог в части организации производства подвижного состава нового поколения, разработки новых типов и образцов подвижного состава, обеспечивающих повышение надёжности и безопасности эксплуатации.

**Состояние вопроса.** В проекте большое значение отведено грузовому транспорту, который предполагается использовать для осуществления перевозок [2]. Учитывая значительные расстояния, которые необходимо преодолевать, транспорт должен быть скоростным и обеспечивать движение поездов с отдельными типами вагонов (платформ, рефрижераторов и пр.) до 140 км/ч. Это предполагает широкое внедрение скоростного подвижного состава с одновременным снижением удельного расхода топливно-энергетических ресурсов.

Ретроспективный анализ технико-экономических показателей серийных вагонов-цистерн для перевозки химических продуктов, выполненный на основе [3] издания 1993 г., позволяет проследить тенденцию увеличения грузоподъемности, осевой нагрузки и диаметра котла на протяжении второй половины 20-го века. На момент издания справочного пособия максимальный диаметр котла серийных вагонов-цистерн составлял 3200 мм и был обусловлен габаритом 1-Т. Современный справочник [4] показывает, что разработчики новых конструкций вагонов-цистерн массово освоили разработку котлов диаметром 3200 мм.

Сейчас, спустя четверть века, модернизация инфраструктуры в части повышения допускаемой осевой нагрузки и расширения допускаемых габаритов подвижного состава дает разработчику возможность поиска новых конструктивных решений по интенсификации перевозочного процесса.

© А.Д. Чепурной, 2017

Максимальный объём котла серийного вагона-цистерны с длиной по осям автосцепок 12020 мм имеет Тихвинский завод химического машиностроения, входящий в Объединённую вагонную компанию [5]. Разработанный ВНИЦТТ вагон-цистерна мод. 15-6880-01 для перевозки метанола в габарите Тпр имеет диаметр котла 3350 мм и объём 94 м<sup>3</sup>.

Конструкторское подразделение цистерностроения научно-инженерного центра разработало конструкцию вагонов-цистерн, способную при её массовом внедрении оказать значительное влияние на эффективность процесса перевозок. Следующим логичным шагом компании РТХ видится переход на разработку и постройку подвижного состава под наливные грузы низкой плотности в габарите Тц.

**Технические характеристики инновационного изделия.** Создание инновационного вагона-цистерны для легковесных химических продуктов модели 15-6899 (рис. 1), отвечающего всем существующим параметрам инновационных показателей (табл. 1), имеющего повышенные технико-экономические показатели. Грузоподъёмность – 74,5 т; объём котла – 95,0 м<sup>3</sup>; диаметр центральной царги котла – 3500 мм; масса тары – 25±0,5 т; расчетная осевая нагрузка – 25 т/ось; габарит по ГОСТ 9238-2013 – Тц; база вагона – 7800 мм; длина по осям автосцепок – 12020 мм; конструкционная скорость – 120 км/ч.



Рис. 1. Опытный образец вагона-цистерны для легковесных химических продуктов мод. 15-6899

Таблица 1

Параметры инновационных показателей специализированных вагонов-цистерн

ОПЖТ* (по итогам Комитета НП "ОПЖТ" по грузовому ПС от 18.07.2014 и в соответствии с Перечнем параметров, обеспечивающих инновационность грузового ПС)	МИНПРОМТОРГ		СОЖТ** (по итогам РГЭ*** от 14.11.2014г.)
<b>СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВАГОНЫ-ЦИСТЕРНЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ХИМИЧЕСКИХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ГРУЗОВ (КИСЛОТ)</b>			
Грузоподъёмность вагона-цистерны не менее 68 т	Грузоподъёмность вагона-цистерны, не менее 68 т	Грузоподъёмность вагона-цистерны, не менее 68 т	Грузоподъёмность не менее 68 т
Восприятие осевой нагрузки от 25 тс и выше	Восприятие осевой нагрузки от 25 тс и выше.	Восприятие осевой нагрузки от 25 тс и выше.	
Назначенный срок службы не менее 27 лет	Назначенный срок службы не менее 27 лет	Назначенный срок службы не менее 27 лет	

\* ОПЖТ – Объединение производителей железнодорожной техники

\*\* СОЖТ – Союз операторов железнодорожного транспорта

\*\*\* РГЭ – Рабочая группа экспертов

**Назначение, область использования инновационного изделия.** Назначение описываемого проекта – обоснование технических решений, освоение в серийном производстве и выпуск вагонов-цистерн для перевозки легковесных химических грузов с повышенными по сравнению с серийными вагонами технико-экономическими

параметрами. Область использования – железнодорожный перевозочный процесс.

**Актуальность проекта.** Актуальность проекта обусловлена значительной ролью легковесных (с плотностями ок.  $0,8 \text{ т/м}^3$ ) химических продуктов в химической промышленности многих стран. Подвижной состав, используемый при транспортировке наливных грузов, имеет традиционную длину шага сливо-наливных эстакад 12020 мм. С переходом на осевую нагрузку 25 т открываются перспективы по повышению провозной способности железной дороги и повышению интенсивности перевозочного процесса. Препятствием к полному использованию осевой нагрузки служит использование подвижного состава, построенного в габарите 1-Т диаметром 3200 мм, объём цистерны которого не позволяет залить более  $85 \div 86 \text{ м}^3$ .

Выходом из этого противоречия может служить переход на перспективные габариты Тпр и Тц вновь строящегося подвижного состава. Тц, как наибольший из допустимых габаритов ГОСТ 9238, выбран для инновационного проекта, поскольку он позволяет максимально полно реализовать потенциал осевой нагрузки 25 т при традиционной длине шага эстакад 12020 мм.

**Структура научных исследований.** При реализации проекта были проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на достижение показателей вагона, соответствующих или превышающих мировой уровень.

Переход на осевую нагрузку 25 т/ось, являющуюся одним из критериев инновационного подвижного состава, по сравнению с осевой нагрузкой 23,5 т дает прибавку к массе брутто 6 тонн. С учетом коэффициента тары вагона ожидаемая прибавка грузоподъемности составляет 3,5-4,5 т.

Для оптимизации конструкции была построена математическая модель, учитывающая основные конструктивные особенности вагона цистерны. Были выбраны критерии оптимизации и установлены допустимые пределы варьирования. В результате вычислительного эксперимента на имитационных моделях (рис. 2) вся возможная прибавка 6 т была обращена в грузоподъемность, а, кроме того, за счет оптимизации конструкции грузоподъемность повышена дополнительно более, чем на 3 т по сравнению с аналогами, построенными в габарите 1-Т.

Впервые были апробированы методики расчета вагонов-цистерн с несущей нецилиндрической оболочкой котла и показана их техническая и технологическая возможность изготовления на серийном производстве.

По результатам выполнения опытно-конструкторских работ опубликован ряд статей в специализированных научных изданиях [6–10], сделаны доклады на научно-технических конференциях.

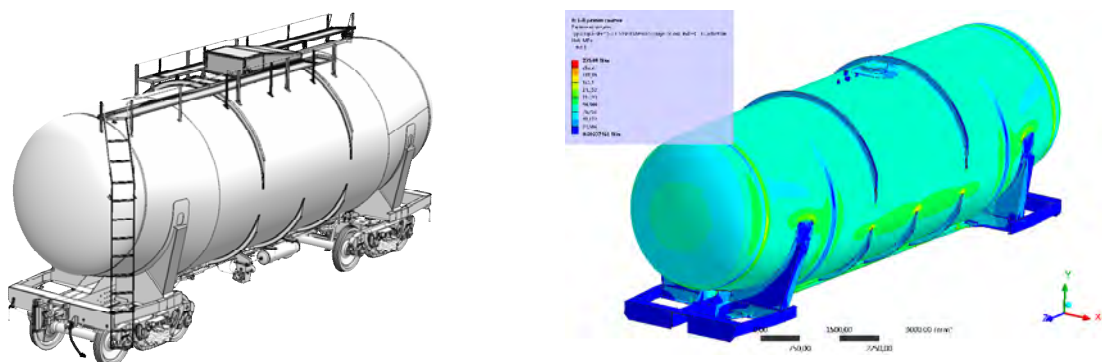


Рис. 2. Твёрдотельная модель инновационного вагона-цистерны мод. 15-6899 и результаты вычислительного эксперимента

**Описание.** Путь увеличения на 200–300 мм диаметра цилиндрического котла вагона-цистерны, который выглядит наиболее очевидным, ведет к повышению ординаты центра тяжести груженого вагона, что неминуемо влечёт снижение устойчивости вагона. Нормами [11] предписано максимально допустимое положение центра тяжести, и, таким образом, увеличение диаметра цилиндрического котла до значения, допустимого габаритом Тпр, Тц, делает вагон неустойчивым.

Для разрешения этого противоречия был разработан котел с коническими консольными частями, верхняя образующая которого находится на одном уровне, а средняя часть, имеющая максимальный диаметр, допускаемый габаритом Тц, опущена до значения, обеспечивающего устойчивость вагона по требованиям [11, 12].

В традиционных конструкциях вагонов-цистерн для перевозки легковесных продуктов применяется цилиндрический котел. Одним из действенных путей снижения материалоемкости и коэффициента тары является отказ от продольного элемента жесткости вагона – хребтовой балки и переход к цельнонесущему кузову. Впервые такой опыт был получен при разработке большегрузных вагонов-цистерн для бензина (рис. 3) в условиях Ждановского завода тяжелого машиностроения в содружестве с МИИТ и ВНИЖТ. Впервые в мировой практике вагоностроения спроектированный вагон имел кольцевые элементы жесткости переменного сечения. Отсутствие продольной хребтовой балки позволило снизить массу тары на 2,5–3 тонны [13].



Рис. 3. Безрамный восьмиосный вагон-цистерна производства «Азовмаш»

Инновационному проекту вагона-цистерны для легковесных химических продуктов в габарите Тц мод. 15-6899 присущи апробированные конструкторские решения, подтвержденные многолетней эксплуатацией. Рационально размещенные шпангоуты переменного сечения наряду с отказом от хребтовой балки позволяют экономить 2 т металла (в сравнении с ближайшим аналогом в габарите Тпр) при большем объеме котла. При расчётном среднесуточном пробеге грузового вагона 342 км [14] при сроке службы 36 лет эксплуатация такого вагона позволяет получить экономию 8,74 млн. т·км. При расходе энергоресурсов при транспортировке грузовым подвижным составом 677 кДж/т·км [15] экономия составляет 1643 МВт·ч энергии на один вагон. Экономия при постройке одного состава длиной 71 условный вагон (83 инновационных цистерн) составляет 166 тонн стали; при эксплуатации – 272,7 ГВт·ч электрической энергии за нормативный срок службы.

Следует отметить, что вагоны с цельнонесущим кузовом (рис. 4) наряду со своим большим техническим совершенством требуют также и более высокой культуры производства, повышенного уровня подготовки инженеров, производящих технические расчёты, а также больший расход времени и средств на испытания и освоение серийного выпуска. Эти обстоятельства привели к тому, что при разрыве промышленных связей в 1991-1998 годах между предприятиями бывшего Советского Союза в серийном производстве были оставлены лишь вагоны старого типа рамной конструкции. Таким образом, магистрали стран с колеей 1520 мм массово заполнили вагоны старых типов, не отвечающие современным тенденциям в проектировании подвижного состава.

Текущее положение призваны исправить ряд стимулирующих мер, согласно которым начисляются выплаты предприятиям, закупающим инновационный подвижной состав, а также регуляторы технической политики, которые установили показатели инновационности грузовых вагонов через грузоподъемность и коэффициент тары. Принятые меры стимулируют разработчиков искать новые конструктивные решения по сокращению материалоемкости новой техники, снижению коэффициента тары, что неизбежно влечёт увеличение доли работ, связанных с математическим моделированием, выполнением вычислительных экспериментов на математических моделях и прочими расчётными и экспериментальными работами.

Как указывает [16], масса груза не подлежит уменьшению, в то же время массу тары снижают новыми конструктивными решениями, перераспределением материалов в конструкции (усилением нагруженных зон при одновременном снижении материалоемкости других, менее нагруженных), а также внедрением новых конструкционных материалов, имеющих меньшую плотность или повышенную прочность. Вывод, сделанный авторами, о путях снижения энергозатрат применительно к созданию инновационного подвижного состава: основным способом является снижение массы тары – для всех типов вагонов.



Рис.4. Вагоны-цистерны производства Уралвагонзавода: а) – безрамная; б) – рамная

**Преимущества вагона-цистерны по сравнению с выпускаемой техникой и с инновационными разработками аналогичного назначения.** Перед разработкой нового вагона-цистерны Научно-инженерным центром УК «РэйлТрансХолдинг» проводилась большая работа по поиску и исследованию вагонов-цистерн ведущих мировых производителей, отбираются наилучшие представители и осуществляется их анализ на техническое совершенство конструктивных решений. Анализ проводился с точки зрения функциональности, технологичности, ремонтпригодности и технико-экономических показателей вагона. На основе анализа производился выбор того направления, в котором были сосредоточены усилия конструкторов для проектирования конкурентоспособного изделия. Стратегия выбора направления сосредоточения конструкторских усилий зависит от характера вагона, который находится в разработке.

Основным производителем вагонов-цистерн в странах СНГ был «Азовмаш», Украина, который резко снизил выпуск продукции в настоящее время.

Поскольку из вагоностроительных заводов РФ лишь Тихвинский завод химического машиностроения освоил производство вагонов-цистерн с повышенными технико-экономическими показателями, основной акцент при сопоставлении конструкции выполнен на его продукции (рис. 5, 6).

Ранее предпринимались попытки построить вагон-цистерну с нецилиндрическим котлом в габарите 1-Т. Совместная разработка учёных ПГУПС и Руххиммаш была выполнена в начале 2000-х годов. Опытный образец, построенный на

стадії освоєння виробництва (рис. 7), пройшов випробування, але на серійне виробництво поставлений не був, оскільки техніко-економічні параметри його були недостаточні для забезпечення конкурентних переваг перед масово вироблюваними в той час вагонами-цистернами.



Рис. 5. Вагон-цистерна мод. 15-6880-01 виробництва ОВК в габариті Тпр



Рис. 6. Вагон-цистерна мод. 15-6880 виробництва ОВК в габариті 1-Т

Вагони виробництва інших країн розглядалися з точки зору аналізу конструктивних елементів і прийнятих конструктивних рішень. При аналізі враховувалися особливості національних нормативних документів країн-виробників вагонів, а також особливості експлуатації. Так, вагонам-цистернам країн Північної Америки (рис. 8) нормативними документами передбачено мати обечайку підвищеної товщини, яка забезпечує значительний запас міцності. Це обставина дозволяє розробникам відмовитися від хребтової балки на користь несущого котла.



Рис. 7. Вагон-цистерна з нециліндричним котлом побудови Руххиммаш

Розробники вагонів-цистерн Японії використовують котли нециліндричної форми (рис. 9), керуючись прагненням повністю використати потенціал габаритів. Жорсткі обмеження, накладувані вузькою колією, порівняно малою осовою навантаженням і прагненням підвищити провозну здатність залізничних доріг при перевезенні наливних вантажів викликають необхідність пошуку раціональних форм котла, товщини його елементів.

Конструкція вагонів-цистерн з нециліндричним котлом Китаю (рис. 10) в значительній мірі відтворює конструктивні рішення країн Північної Америки і Європи. Країни ЄС також виготовляють вагони-цистерни з нециліндричними котлами. Так, на виставці Іннотранс-2016 в Берліні був показаний вагон-цистерна (рис. 11) з котлом, що складається з двох конічних сегментів.

Як уже згадувалося, пряме порівняння вагонів різних країн не може дати об'єктивних результатів, оскільки кожна вагостроительна школа керується тими обмеженнями (осова навантаження, сили фактори, габарит, нормативне поле, пр.), які діють в полігоні обертання розроблюваного рухомого складу.

Порівняльний аналіз, проведений при розробці інноваційного вагона мод. 15-6899, виявив те, перевірені практикою експлуатації, конструктивні рішення, які дозволяють підвищити техніко-економічні параметри вагона-цистерни, його надійність, довговічність, безпеку, табл. 2, рис. 12. Такі конструктивні рішення пройшли перевірку на патентну чистоту і, в разі встановлення такої, були реалізовані в інноваційному виробстві.

**Технические преимущества.** Технические преимущества инновационного вагона порождены анализом технических проблем традиционных вагонов-цистерн, ранее выпускавшихся заводами-изготовителями, а также поставленных на производство в последние годы, и новыми техническими решениями, отвечающих инновационным требованиям к подвижному составу. Повышенная до 25 тонн осевая нагрузка позволяет значительно увеличить грузоподъемность – до 74,5 т (+11,4÷12,7 %). Увеличен объём котла до 95 м<sup>3</sup> (+7,3÷13,7 %).



Рис. 8. Безрамный вагон-цистерна с котлом переменного сечения, США



Рис. 9. Вагон-цистерна с нецилиндрическим котлом производства Японии



Рис. 10. Вагон-цистерна с нецилиндрическим котлом производства КНР



Рис. 11. Вагон-цистерна с нецилиндрическим котлом производства ЕС

Таблица 2

Технические и функциональные показатели инновационного вагона-цистерны по сравнению с лучшими аналогами

Параметр	Производитель, модель								
	Азовмаш	РМ Рейл		Алтай вагон	УВЗ		ОВК		УК «РТХ»
	1610	1213-01	1240	2132	150-05	5157-04	6880	6880-01	6899
Грузоподъёмность, т	66	66	65	66	65	73	73	71,7	<b>74,5</b>
Масса тары, т	25	26-28	27,2-28	27-28	28-28,5	25,1-27	27	28,5	<b>25</b>
Объём котла, м <sup>3</sup>	85,6	85,5	82	85,5	85,6	87,1	88	94	<b>95</b>
Внутренний диаметр котла, мм	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3240	3350	<b>3000÷3500</b>
Габарит по ГОСТ 9238-2013	1-Т	1-Т	1-Т	1-Т	1-Т	1-ВМ	1-Т	Тпр	<b>Тц</b>
Модель тележки типа	18-100	18-100	18-100	18-100	18-100	18-194-01	18-9855 (Барбер)	18-9855 (Барбер)	<b>18-194-01</b>
Расчётная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, тс	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	25	25,0	25,0	<b>25,0</b>

Вагон-цистерна в полной мере отвечает требованиям СМГС [17], имеет значительное количество инноваций, учитывающих опыт эксплуатации и тенденции развития специального подвижного состава, свободен от недостатков, присущих традиционным вагонам-цистернам.

**Технические и функциональные показатели инновационного вагона-цистерны по сравнению с лучшими аналогами.** Требования к восприятию осевой нагрузки 25 тс инновационным подвижным составом исключают из рассмотрения европейские вагоны-цистерны с более низкой осевой нагрузкой, а также вагоны-цистерны производства США с более высокой осевой нагрузкой 27 тс, поэтому в качестве аналогов рассматривался подвижной состав, эксплуатирующийся на путях СНГ.

Анализ показателей вагонов-цистерн – аналогов показывает, что инновационный вагон-цистерна превосходит лучшие аналоги по всем показателям.

**Технологическая новизна проекта и готовность производственной базы к его реализации.** Новизна и оригинальность конструкции отмечена [18]. При разработке инновационного проекта предусматривалась возможность изготовления вагона-цистерны на любом предприятии, имеющем опыт цистерностроения. Инновационные показатели достигнуты путём внедрения их в конструктив, но не в технологию. Использование типовых технологических процессов обеспечивает уменьшение стоимости готового изделия и положительно сказывается на сроках и стоимости реализации проекта. Готовность производственной базы к реализации проекта была обеспечена дооснащением завода-изготовителя автоматизированным сварочным оборудованием, обеспечивающим стабильность показателей качества.

**Показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохранности проектируемого изделия.** Показатели надёжности соответствуют значениям, приведённым в табл. 3. Показатели безотказности, надёжности, долговечности соответствуют требованиям, предъявляемым к инновационному подвижному составу. Ремонтпригодность обеспечивается внедрением в конструкцию стандартных комплектующих, унифицированных элементов, типовых технологических процессов.

**Показатели, характеризующие ограничения вредных воздействий.** В соответствии с кодом цистерны L4DH по СМГС вагон-цистерна имеет герметичный сосуд, который исключает контакт продукта с окружающим воздухом, это обеспечивает практическую значимость экологической эффективности проекта. Безопасность цистерны подтверждается сертификатом соответствия техническим



Рис. 12. Сравнительная диаграмма технико-экономических показателей



регламентам о безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением». Конструкция сливо-наливных коммуникаций цистерны обеспечивает закрытый способ проведения сливо-наливных операций, исключая вредное воздействие паров продукта на обслуживающий персонал. Вагон оснащен подножками составителя, лестницами и площадками для обслуживания устройств, находящихся наверху цистерны. Все возможные места контакта обслуживающего персонала с вагоном спроектированы с учётом эргономических показателей для возможности удобного проведения операций обслуживания и отвечают требованиям предписывающих нормативных документов.

Таблица 3

Показатели надёжности	
Параметры и характеристики	Значение
Назначенный срок службы цистерн, лет	36
Назначенный срок службы до первого капитального ремонта, лет	12
Нормативы периодичности проведения деповского ремонта цистерн по критерию фактически выполненного объёма работ, пробегу, тыс. км (лет)	
- первый после постройки	500 (6)
- после деповского ремонта	250 (4)
- после капитального ремонта	250 (4)

**Показатели экономного использования сырья, материалов, топлива, энергии, трудовых ресурсов.** При изготовлении вагона-цистерны была освоена технология производства с максимально возможным коэффициентом полезного использования сырья и материалов. Это было достигнуто следующими способами:

- заказ металлопроката «чистового» размера с обрезной кромкой и его использование в изготовлении без дополнительной мехобработки;
- автоматизация раскроя;
- сокращением подгоночных работ.

Энергоёмкие технологические процессы (сварка, резка) сведены к необходимому минимуму, а такие процессы как горячая ковка, штамповка – исключены из техпроцесса на заводе-изготовителе. Длина сварных швов, требующих значительный объём энергии, на вагоне сведена к необходимому минимуму.

Топливо используется в технологическом процессе для межцеховой транспортировки заготовок, которые невозможно перевезти существующим заводским электротранспортом. Установленные современные источники питания и преобразователи с высоким КПД обеспечивают экономное использование электрической энергии при выполнении всех технологических операций.

Трудовые ресурсы используются только там, где необходимо экономически обоснованное непосредственное участие человека в технологическом процессе. Сварка типовых протяженных конструктивных элементов (хребтовая балка рамы, продольные и кольцевые швы цистерны, пр.) выполняются на автоматических линиях.

Рабочие места сварки котлов оснащены универсальными модульной компоновки сварочными системами производства ESAB для сварки под флюсом, обеспечивающим высокую точность поддержания режимов сварки и качество сварных соединений.

**Экономические преимущества.** Экономические преимущества следует

разделять на те, которые получают:

1) владелец вагона (повышенные технико-экономические параметры и увеличенный срок службы), рис. 13: увеличен межремонтный интервал до 500 тыс. км (6 лет), увеличен срок службы вагона до 36 лет (+25 %), при перевозке продукта составом из 71 условного вагона (83 вагона-цистерны) масса продукта увеличена до 6183,5 т (что на 124,5 т выше аналогов ближайшего аналога в габарите Тпр и соответствует двум дополнительным вагонам-цистернам, а также на 788,5 т превосходит грузоподъемность состава в габарите 1-Т);

2) инфраструктура (повышенная интенсивность перевозочного процесса, пониженные удельные расходы на транспортировку), рис.14;

3) общество (снижение экологической нагрузки за счёт пониженного коэффициента тары и, как следствие – расхода энергии на тягу состава [19]), рис. 15.

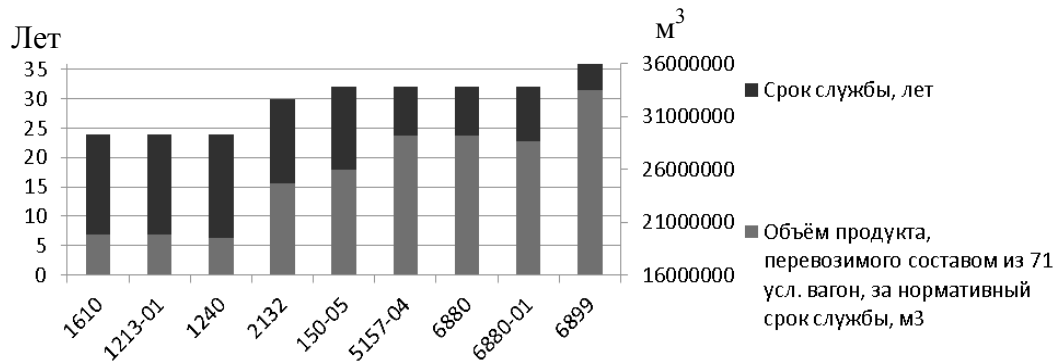


Рис. 13. Прямые экономические преимущества вагона-цистерны в сравнении с аналогами

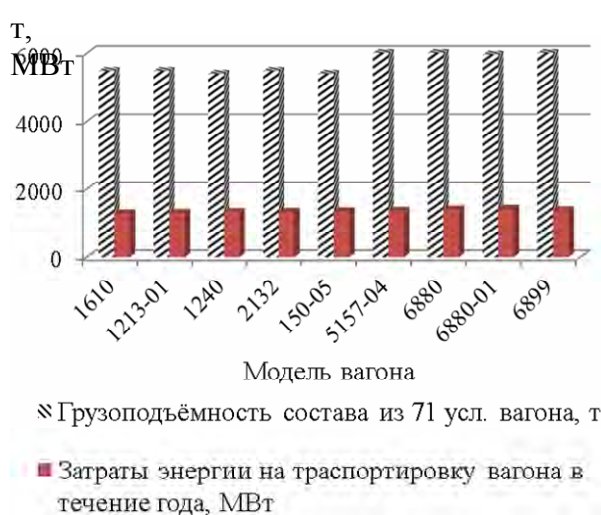


Рис. 14. Сопоставление затрат энергии (тяги) на транспортировку продукта



Рис. 15. Сравнение показателей экологической нагрузки на окружающую среду и объёма перевозимого продукта вагонов-цистерн

**Стадия освоения инновационного проекта.** Вагон-цистерна проходит комплекс испытаний, получил высокую оценку, необходимые на данном этапе сертификаты и декларации в стадии оформления, вагон-цистерна находится на завершающей стадии постановки на серийное производство (рис. 16).

Текущий уровень реализации проекта – подготовка серийного производства и поставки продукции в соответствии с договором, заключённым заводом-изготовителем с заказчиком.



Рис. 16. Подготовка вагона к испытаниям

#### **Потенциальная потребность рынка.**

Потенциальная потребность рынка неоднократно была заявлена на ежегодных конференциях «Метанол». Ощущается дефицит вагонов-цистерн для перевозки химических продуктов, и ситуация с парком по их перевозке имеет тенденцию к ухудшению. Потребность внутреннего рынка сейчас составляет 1200÷1500 вагонов-цистерн ежегодно. Кроме того, вагон-цистерна может быть использован для экспортных перевозок излишков производимых легковесных химических продуктов.

**Патентноспособные решения,** примененные в конструкции вагон-цистерны, защищены патентами на изобретения и на полезные модели [20]. Часть заявленных материалов прошла экспертизу, получила положительные решения, и в ближайшее время предстоит получение дополнительных патентов. Кроме того, на часть новых патентноспособных технических решений заявочные материалы находятся в стадии подготовки к подаче.

**Выводы.** В инновационном вагоне-цистерне использованы технические решения, позволяющие уменьшить трудоёмкость, массу тары, сложность сборки, затраты на эксплуатацию, увеличив при этом надёжность и прочность конструкции.

Конструкция вагона должным образом задокументирована, технологические процессы производства воспроизводимы на любом цистерностроительном предприятии, таким образом, инновационный проект свободен от «секретов производства» и может быть подготовлен к внедрению на вагоностроительных предприятиях, имеющих необходимую оснастку.

Разработчик проекта – УК «Рэйлтрансхолдинг» – имеет опыт реализации инновационных проектов в области постройки подвижного состава. Только за последние 2 года им была разработан целый ряд новых инновационных вагон-платформ модульной конструкции, не имеющих аналогов, для перевозки широкой номенклатуры генеральных грузов, получивший положительные отзывы от эксплуатирующей организации, а также семейство инновационных крытых вагонов различного объёма. Разработка инновационного подвижного состава является непрерывным процессом в стратегии компании, поэтому инновационные проекты находятся на разных стадиях реализации: от разработки конструкторской документации до серийного производства.

При проведении проектных исследований привлечены подходы, методы и модели для обоснования проектно-технологических решений инновационных изделий, описанные в работах [6–10]. Они были успешно опробованы на целом ряде других изделий, что дало возможность распространить эти наработки на данный проект. В ходе исследований были достигнуты положительные результаты, что позволило достичь высокие технические характеристики созданного вагона-цистерны.

**Литература:** 1. Рамочная конвенция ООН об изменении климата, РКИК (Framework Convention on Climate Change, UN FCCC. Режим доступа: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convru.pdf>. 2. Осипов Г.В. Интегральная евразийская инфраструктурная система как приоритет национального развития страны / Г.В. Осипов,

В. А. Садовничий, В. И. Якунин. – М.: ИСПИ РАН, 2013. – 62 с. 3. Пособие. Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов. Справочное пособие. М.: Издательство стандартов, 1993. 4. Грузовые ЖД Вагоны. Альбом-справочник. Колея 1520 мм. Часть 6.3 – Вагоны-цистерны для химических веществ. [http://www.agonta.com/dwlds/1520mm\\_tanks\\_4\\_chem.pdf](http://www.agonta.com/dwlds/1520mm_tanks_4_chem.pdf). 5. <http://www.tvsz.ru> 6. Чепурной А. Д. Инновационный вагон-цистерна для перевозки легковесных химических продуктов модели 15-6899 / А. Д. Чепурной, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов, Н. А. Ткачук, М. А. Бондаренко / Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XII Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 5-9 июля 2017 г.-СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017.– с.32–33. 7. Marchenko A. Analysis and synthesis of complex spatial thin-walled structures / A. Marchenko, A. Chepurnoy, V. Sen'ko, S. Makeev, O. Litvinenko, R. Sheychenko, R. Graborov, M. Tkachuk, M. Bondarenko / Proceedings of the Institute of Vehicles. – Institute of Vehicles of Warsaw University of Technology. – 2017. – No. 1(110). – pp. 17–29. 8. Чепурной А. Д. Экспериментальные исследования грузового вагона / А. Д. Чепурной, А. В. Литвиненко, А. Н. Баранов, Р. И. Шейченко, М. А. Бондаренко // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Серія: Транспортне машинобудування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – №22 (1065). – С. 44-61. 9. Методологические основы расширенных прочностных и динамических исследований при испытаниях длиннобазных платформ / В. И. Сенько, С. В. Макеев, А. Д. Чепурной, А. В. Литвиненко, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов, Н. А. Ткачук, М. А. Чубань // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – №1. – С. 67–81. 10. Испытания вагона-платформы универсальной / В. И. Сенько, С. В. Макеев, А. Д. Чепурной, Р. И. Шейченко, А. В. Литвиненко, Р. В. Граборов, Н. А. Ткачук, М. А. Чубань // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – №12 (1184). – С. 71–83. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.10. 11. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с. 12. ГОСТ 33211-2014 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. 13. [http://www.agonta.com/cont\\_ru/railcars/info/info\\_tank.html](http://www.agonta.com/cont_ru/railcars/info/info_tank.html) 14. РД 24.050.37.95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. 15. Карпенков С. Х. Концепции современного естествознания: учеб. Для вузов / С. Х. Карпенков – 12-е изд. перераб. и доп. М.: «Высшая школа» 2014. 16. Гапанович В. А. Энергосбережение на железнодорожном транспорте: учебник для вузов / В. А. Гапанович, В. Д. Авилон, Б. А. Аржанников: под. ред. В.А. Гапановича. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 620 с. 17. Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) (действует с 1 ноября 1951 г. с изменениями и дополнениями на 1 июля 2015 г.). 18. Рекомендации XII международной научно-технической конференции «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты» 5-9 июля 2017 г., г. Санкт-Петербург. <http://www.nvc-vagon.ru/UserFiles/recomend.pdf> 19. <http://www.cogeneration.ru/ratio> 20. Железнодорожный вагон-цистерна RU 170382 U1.

**Bibliography (transliterated):** 1. Ramochnaya konventsiya OON ob izmenenii klimata, RKIK (Framework Convention on Climate Change, UN FCCC. Rezhim dostupa: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convru.pdf>. 2. Osipov G. V. Integralnaya evraziyskaya infrastruktturnaya sistema kak prioritet natsionalnogo razvitiya strany / G. V. Osipov, V. A. Sadovnichiy, V. I. Yakunin. – М.: ISPI РАН, 2013. – 62 p. 3. Posobie. Spetsializirovannyye tsisternyyi dlya perevozki opasnyih gruzov. Spravochnoe posobie. М.: Izdatelstvo standartov, 1993. 4. Gruzovyye ZhD Vagonyi. Albom-spravochnik. Koleya 1520 mm. Chast 6.3 – Vagonyi-tsisternyyi dlya himicheskikh veschestv. [http://www.agonta.com/dwlds/1520mm\\_tanks\\_4\\_chem.pdf](http://www.agonta.com/dwlds/1520mm_tanks_4_chem.pdf). 5. <http://www.tvsz.ru> 6. Chepurnoj A. D. Innovatsionnyj vagon-cisterna dlya perevozki legkovesnyh himicheskikh produktov modeli 15-6899 / A. D. Chepurnoj, R. I. Shejchenko, R.V. Graborov, N. A. Tkachuk, M. A. Bondarenko / Podvizhnoj sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty: materialy XII Mezhdnarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii, Sankt-Peterburg, 5-9 iyulya 2017 g.-SPb.: FGBOU VO PGUPS, 2017.-s.32-33. 7. Marchenko A. Analysis and synthesis of complex spatial thin-walled structures / A. Marchenko, A. Chepurnoy, V. Sen'ko, S. Makeev, O. Litvinenko, R. Sheychenko, R. Graborov, M. Tkachuk, M. Bondarenko / Proceedings of the Institute of Vehicles. – Institute of Vehicles of Warsaw University of Technology. – 2017. – No. 1(110). – P. 17–29. 8. Chepurnoy A. D. Eksperimentalnyie

194 Механіка та машинобудування, 2017, № 1

*issledovaniya gruzovogo vagona / A. D. Chepurnoy, A. V. Litvinenko, A. N. Baranov, R. I. Sheychenko, M. A. Bondarenko // Visnik NTU «KhPI». Zb. nauk. prats. Seriya: Transportne mashinobuduvannya. – Kh.: NTU «KhPI», 2014. – №22 (1065). – P. 44-61. 9. Metodologicheskie osnovyi rasshirenyih prochnostnyih i dinamicheskikh issledovaniy pri ispyitaniyah dlinnobaznyih platform / V. I. Senko, S. V. Makeev, A. D. Chepurnoy, A. V. Litvinenko, R. I. Sheychenko, R. V. Graborov, N. A. Tkachuk, M. A. Chuban // Mehanika ta mashinobuduvannya. Naukovo-tehnichnyi zhurnal. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2015. – No.1. – P. 67–81. 10. Ispytaniya vagona-platformy universalnoy / V. I. Senko, S. V. Makeev, A. D. Chepurnoy, R. I. Sheychenko, A. V. Litvinenko, R. V. Graborov, N. A. Tkachuk, M. A. Chuban // Visnik NTU «KhPI». Seriya: Novi rishennya v suchasniy tehnologiyah. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2016. – No.12 (1184). – P. 71–83. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.10. 11. Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyih dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyih).– M.: GosNIIV-VNIIZhT, 1996. – 319 p. 12. GOST 33211-2014 Vagoni gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. 13. [http://www.agonta.com/cont ru/railcars/info/info tank.html](http://www.agonta.com/cont_ru/railcars/info/info_tank.html) 14. RD 24.050.37.95 Vagoni gruzovye i passazhirskie. Metody ispyitaniy na prochnost i hodovyye kachestva. 15. Karpenkov S. H. Kontseptsii sovremennogo estestvoznaniya: ucheb. Dlya vuzov / S. H. Karpenkov – 12-e izd. pererab. i dop. M.: «Vysshaya shkola», 2014. 16. Gapanovich V. A. Energoberezhenie na zheleznodorozhnom transporte: uchebnyy dlya vuzov / V. A. Gapanovich, V. D. Avilov, B. A. Arzhannikov: pod. red. V. A. Gapanovicha. – M.: Izd. Dom MISiS, 2012. – 620 p. 17. Agreement on International Goods Transport by Rail. 18. Recommendations of the XII International Scientific and Technical Conference "The rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects" 5-9 July, 2017, St. Petersburg. <http://www.nvc-vagon.ru/UserFiles/recomend.pdf>. 19. <http://www.cogeneration.ru/ratio> 20. Rail Tank-Car RU 170382 U1.*

Чепурний А.Д., Шейченко Р.І., Граборов Р.В., Ткачук М.А., Бондаренко М.О., Грабовський А.В., Луньов Є. О., Ткачук Г. В., Набоков А.В., Бондаренко Л. М.

#### ІНОВАЦІЙНИЙ ВАГОН-ЦИСТЕРНА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЛЕГКОВАГОВИХ ХІМІЧНИХ ПРОДУКТІВ

У роботі описаний проект створення інноваційного вагона-цистерни для легковагових хімічних продуктів моделі 15-6899, який має підвищені техніко-економічні параметри. Конструктивна особливість вагона – відсутність хребтової балки, яка компенсується раціонально розміщеними стрингерами. Проведена порівняльна оцінка спроектованого вагона з аналогами.

Чепурной А.Д., Шейченко Р.И., Граборов Р.В., Ткачук Н.А., Бондаренко М.А., Грабовский А.В., Лунев Е. А., Ткачук А. В., Набоков А.В., Бондаренко Л. Н.

#### ИННОВАЦИОННЫЙ ВАГОН-ЦИСТЕРНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕГКОВЕСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

В работе и описан проект создания инновационного вагона-цистерны для легковесных химических продуктов модели 15-6899, имеющего повышенные технико-экономические параметры. Конструктивная особенность вагона – отсутствие хребтовой балки, которое компенсируется рационально размещенными стрингерами. Проведена сравнительная оценка спроектированного вагона с аналогами.

A. Chepurnoy, R. Sheychenko, R. Graborov, M. Tkachuk, M. Bondarenko, A. Grabovskiy, Eu. Lunyov, A. Tkachuk, A. Nabokov, L. Bondarenko

#### INNOVATIVE TANK-CAR FOR CARRIAGE OF CHEMICAL LIGHT PRODUCTS

The project describes creation of an innovative tank wagon for light-weight chemical products of model 15-6899, which has improved technical and economic parameters. Wagon structural feature is absence of central beam, which is compensated by rationally placed stingers. Comparative evaluation of designed wagon with analogues was carried out.