

Направления совершенствования конструкций вагонов-цистерн для перевозки нефтепродуктов



Н. А. Атаманчук,
аспирант кафедры «Вагоны
и вагонное хозяйство»,
Петербургский
государственный
университет путей
сообщения (ПГУПС)



Л. В. Цыганская,
канд. техн. наук,
доцент кафедры «Вагоны
и вагонное хозяйство»,
ПГУПС

Совершенствование вагонов, перевозящих массовые грузы, приносит наиболее очевидный экономический эффект. К таким вагонам относятся цистерны для перевозки нефтепродуктов – груза, имеющего стратегическое значение для экономики страны. Разработка нового вагона-цистерны увеличенной вместимости и грузоподъемности потребовала инновационных технических решений, отвечающих всем требованиям инфраструктуры, надежности, безопасности. Так, в конструкции вагона применены котел с конусовидными консольными вставками и беззазорное сцепное устройство.

Направления исследований при разработке нового вагона-цистерны

При разработке вагона-цистерны увеличенной вместимости и грузоподъемности к конструкции предъявлялись следующие требования:

- увеличить объем котла и груза вагона по сравнению с существующими вагонами-цистернами;
- обеспечить ремонтпригодность, безопасность эксплуатации и технологичность изготовления вагона;
- приспособить новый вагон к существующей инфраструктуре сливно-наливных станций.

Достижение заявленных требований согласно [1] могло быть осуществлено за счет:

- увеличения нагрузки на ось;
- снижение веса тары вагона;
- использования возможностей габарита максимального приближения к объекту;
- повышения производительности вагона;
- увеличения межремонтного пробега.

Одной из основных проблем при разработке нового вагона-цистерны было то, что при увеличении объема котла и грузоподъемности вагона необходимо было обеспечить возможность эксплуатации этого вагона при существующей инфраструктуре. А это внесло жесткие требования к расположению сливно-наливных устройств на котлах вагонов-цистерн и заставило исключить из проработки ряд перспективных технических решений, внедрение которых возможно только при параллельном совершенствовании инфраструктуры.

При решении поставленной задачи был проведен анализ и выбраны следующие направления совершенствования конструкции вагона-цистерны: увеличение линейных размеров; увеличение числа осей; изменение формы котла вагона-цистерны (для максимального использования габарита подвижного состава). Варианты конструктивных решений представлены на *рис. 1*.

В направлении увеличения линейных размеров были проработаны такие варианты, как вагоны с длиной по осям сцепления автосцепок 15025 мм и 18030 мм, а также рассмотрен вариант вагона-цистерны с увеличенным диаметром котла за счет использования габарита Тпр.

По направлению увеличения числа осей вагона-цистерны рассматривались варианты создания новых восьмиосных вагонов-цистерн, вагонов-цистерн сочлененного типа и вагонов-сцепов с двумя котлами. По вагонам сочлененного типа и сцепам были проработаны варианты с двумя, тремя и более котлами.

При рассмотрении направления изменения формы котла были проработаны варианты вагона-цистерны с котлом: переменного сечения с прямым средним листом; переменного эллипсоидного сечения; переменного эллипсоидного сечения со штампованными опорными броневыми листами и др.

Проведенный анализ соответствия предлагаемых исполнений вагонов-цистерн заявленным требованиям позволил исключить ряд предлагаемых конструкций и сделать вывод,

что наиболее перспективным решением является двухсекционный восьмиосный вагон-цистерна в габарите Тпр. Такой вагон обеспечивает существенное увеличение объема перевозимого груза в составе поезда, а также полностью удовлетворяет требованиям ремонтпригодности, технологичности и приспособлен к существующей инфраструктуре сливо-наливных станций.

Оценка нагруженности котлов вагонов-цистерн различных конструктивных исполнений

Известно, что существующие вагоны-цистерны с котлами цилиндрической формы только на 40% используют возможности габарита подвижного состава, поэтому одним из наиболее очевидных вариантов увеличения объема котла является изменение его формы. Работы в этом направлении выполнялись в разные годы многими отечественными и зарубежными вагоностроителями. В данной работе представлены результаты оценки нагруженности котлов различной формы и проведен сравнительный анализ. Оценка нагруженности проводилась с использованием метода конечных элементов в соответствии с [2]. Рассмотренные варианты конструктивных исполнений котлов приведены в табл. 1.

Исследования проводились для случая нагружения котлов испытательным давлением. Результаты исследования представлены на рис. 2.

Максимальные напряжения и значения коэффициента тары для различных конструктивных исполнений котлов вагонов-цистерн, полученные в результате расчетов, были сопоставлены между собой, что позволило сделать следующие выводы.

Во-первых, отклонение от цилиндрической формы котла вагона-цистерны приводит к возрастанию напряжений в конструкции, для компенсации которых требуется существенное увеличение металлоёмкости котла. За счет этого коэффициент тары вагонов-цистерн с такими котлами выше коэффициента тары вагонов-цистерн с обычным цилиндрическим котлом.

Во-вторых, наиболее рациональным конструктивным решением среди рассмотренных котлов является вариант исполнения котла с конусовидными консольными царгами.



Рис. 1. Варианты конструктивных решений

Таблица 1. Рассмотренные конструктивные решения котлов

Форма	Эскиз	Масса, кг	Объем, м ³
Цилиндрический с конусовидными царгами на консолях		9600	98
Эллипсовидный переменного сечения		11200	100
Эллипсовидный со штампованным броневым листом переменного сечения		12600	100
Эллипсовидный		10400	96

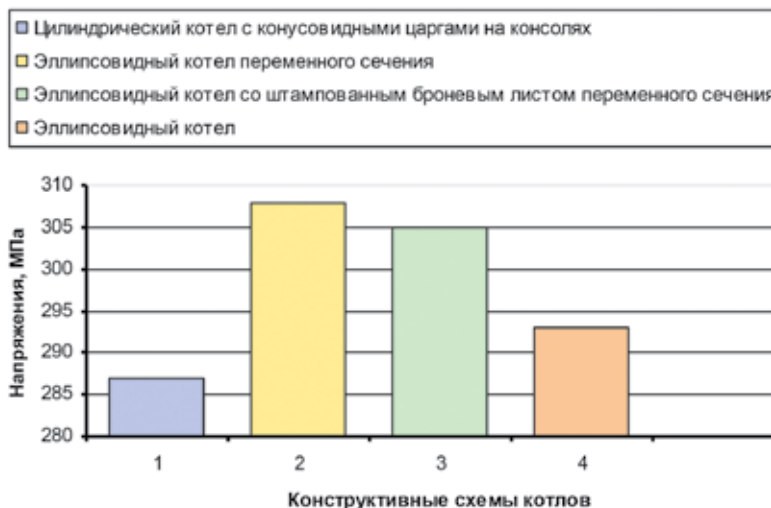


Рис. 2. Максимальные напряжения, возникающие в элементах котлов вагонов-цистерн при испытательном давлении

Сравнение двухсекционного восьмьюсного вагона-цистерны с существующими вагонами-цистернами

Проведенный анализ предлагаемых технических решений вагонов-цистерн и исследования прочности котлов различной формы позволили разработать вагон-цистерну с улучшенными технико-экономическими параметрами. Двухсекционный восьмьюсный вагон-цистерна представляет собой сцеп (рис. 4) с двумя котлами со сливно-наливной арматурой, двумя полурамами и двумя тележками на котел, подвагонным тормозным оборудованием и беззазорным сцепным устройством типа SAC-1Рус, позволившим увеличить длину котлов с сохранением шага между сливно-наливными устройствами в составе поезда.

Основные параметры и размеры двухсекционного восьмьюсного вагона-цистерны в габарите Тпр приведены в табл. 2.

Далее представлен график (рис. 5) сравнения конструкции вагона-цистерны двухсекционного восьмьюсного с вагонами-цистернами ведущих производителей Украины и России. Сравнение проводилось по объему перевозимого груза в составе поезда для светлых нефтепродуктов с минимальной плотностью 680 кг/м³ и максимальной — 860 кг/м³.

Особенности расчета прочности двухсекционного восьмьюсного вагона-цистерны

Расчет прочности двухсекционного вагона-цистерны был произведен в соответствии с [2]. Однако не все силы,

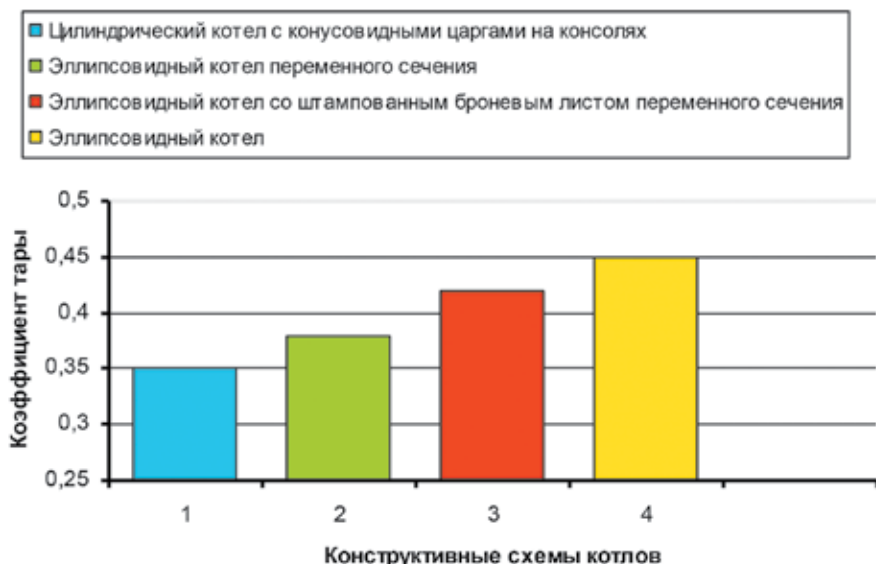


Рис. 3. Коэффициент тары для различных конструктивных схем котла

Таблица 2. Основные параметры и размеры двухсекционного восьмьюсного вагона-цистерны

Параметр	Значение
Объем котла полный, м ³	196 (98×2)
Полезный объем, м ³	194 (97×2)
Масса тары, т	54
Грузоподъемность максимальная, т	146
Внутренний диаметр котла, мм	3400
Длина вагона, мм: - по осям сцепления автосцепок; - по концевым балкам рам	24040 22820
Максимально допустимая нагрузка от оси колесной пары на рельсы, кН (тс)	245 (25) 265 (27)



Рис. 4. Вагон-цистерна двухсекционный восьмьюсный

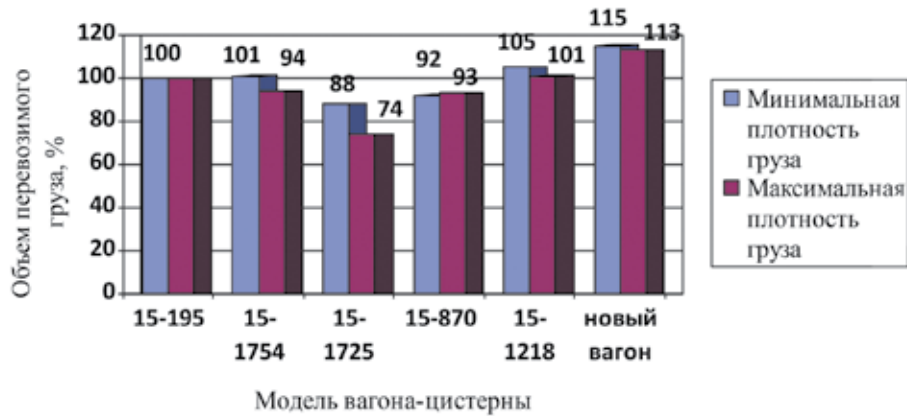


Рис. 5. Сравнение перевозимого груза минимальной плотности в составе поезда, %

возникающие в сцепе, будут действовать по схемам, пригодным для расчетов типовых конструкций вагонов-цистерн с одним котлом. Поэтому была создана схема (рис. 6, 7) действия выжимающих сил в кривой применительно к сцепу и выражены зависимости этих сил.

Из рис. 6 и 7 следует, что:

$$P_N^n = P_{N1}^n + P_{N2}^n,$$

$$\text{где } P_{N1}^n = \frac{N}{2} \cdot \cos \left(\arctg \left(\frac{\sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}}{\frac{l}{2} + l_{k1}} \right) \right),$$

$$P_{N2}^n = \frac{N}{2} \cdot \cos \left(\arctg \left(\frac{\sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}}{\frac{l}{2} + l_{k2}} \right) \right),$$

$$P_N^e = P_{N1}^e + P_{N2}^e,$$

$$\text{где } P_{N1}^e = \frac{N \Delta h_1}{2 a_1}, P_{N2}^e = \frac{N \Delta h_2}{2 a_2},$$

где l — база вагона, l_{k1} — расстояние от оси автосцепки до шкворневого узла, l_{k2} — расстояние от шарнира беззазорного сцепного устройства до

шкворневого узла, a_1, a_2 — длина жесткого стержня, образованного двумя сцепленными автосцепками, $2a$ — расстояние между шарнирами беззазорного сцепного устройства, N — продольная квазистатическая сила, действующая на кузов через автосцепку. Значение силы принималось в соответствии с [2].

Преимуществом применения двух жестко соединенных между собой котлов в конструкции вагона стало также снижение силы инерции жидкого груза, действующей на один котел, по сравнению с силой инерции жидкого груза, действующей на котел типового вагона, поскольку при расчете силы инерции учитывается масса двух котлов, что позволило снизить массу тары вагона в целом.

Заключение

В результате проведенной работы были исследованы и проанализированы варианты решения проблемы увеличения вместимости и грузоподъемности вагонов-цистерн и выбран вариант конструктивного решения, который удовлетворяет всем существующим требованиям инфраструктуры, надежности,

безопасности, дает значительный экономический эффект по сравнению с существующими вагонами и отличается инновационностью (котел с конусовидными консольными вставками и беззазорное сцепное устройство).

На данном этапе уже изготовлены опытные образцы двухсекционного восьмиосного вагона-цистерны и проведены предварительные испытания на ремонтные нагрузки и на статическую прочность котла.

На двухсекционный восьмиосный вагон-цистерну получены патенты на полезную модель [3–5].

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

Литература

1. Стратегия инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г. (Белая книга ОАО «РЖД»). М. Одобрено Советом главных инженеров ОАО «РЖД» 15.10.2010.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов, железных дорог МПС колеи 1520 мм 1996 (несамоходных). М.: ГосНИИВ–ВНИИЖТ, 1996.
3. Бороненко Ю.П., Липецкий Д.В., Цыганская Л.В., Собержанский Н.А., Соколов А.М., Маненков А.В., Мишин В.М., Набиуллин М.И. Пат. на полезную модель № 110045 «Вагон-цистерна», 2011.
4. Набиуллин М.И., Бороненко Ю.П., Липецкий Д.В., Цыганская Л.В., Собержанский Н.А., Соколов А.М., Маненков А.В., Мишин В.М. Пат. на полезную модель № 111500 «Вагон-цистерна с двумя котлами», 2011.
5. Набиуллин М.И., Бороненко Ю.П., Цыганская Л.В., Собержанский Н.А., Маненков А.В., Мишин В.М. Пат. на полезную модель № 122625 «Опора котла безрамной цистерны», 2012.



Рис. 6. Схема действия на вагон поперечной составляющей продольной силы при движении в кривой

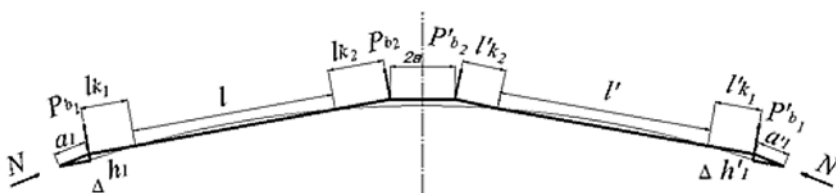


Рис. 7. Схема действия на вагон вертикальной составляющей продольной силы при движении в кривой