



Испытания цистерн избыточным давлением



Нина ВОРОНОВА
Nina I. VORONOVA

Николай РАЗИНКИН
Nickolay E. RAZINKIN



Воронова Нина Игнатьевна – соискатель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Петербургского государственного университета путей сообщения. Разинкин Николай Егорович – кандидат технических наук, доцент, проректор МИИТ по среднему профессиональному образованию – директор Московского колледжа железнодорожного транспорта.

Усовершенствованный испытательный стенд позволяет успешно проводить проверку конструкций вагонов-цистерн избыточным давлением. Разработанная для этого методика обеспечивает оценку многоцикловых интенсивных воздействий на котлы после сварочных работ, контроль безопасности швов и предельных нагрузок.

Ключевые слова: вагон, цистерна, железная дорога, модернизация, испытания, избыточное давление, стенд, многоцикловые нагрузки, акустическая эмиссия, органолептика.

Для удовлетворения потребностей рынка транспортных услуг чрезвычайно востребованной становится задача перепрофилирования вагонов, в частности цистерн, на перевозку другой номенклатуры грузов. В разработанной технологии модернизации вагонов-цистерн, о чем, собственно, и пойдет речь, предусмотрено несколько этапов, осуществление которых предполагает комбинирование компьютерного моделирования, аналитических расчётов, проведения натурных экспериментов и эксплуатационных испытаний вагонов. Одну из стадий этого процесса иллюстрирует рассматриваемая нами тема.

При переоборудовании цистерны-цементовоза в цистерну для перевозки светлых нефтепродуктов её котёл подвергался существенным механическим и термическим воздействиям: были срезаны внутри котла откосы, рассекатели, желобы аэролотков; произведена герметизация (заварка) лючков и отверстий; появились шпангоуты в районе люка-лаза, накладки в опорных зонах, сливной прибор и др.

Чтобы оценить влияние этих технологических воздействий на усталостную

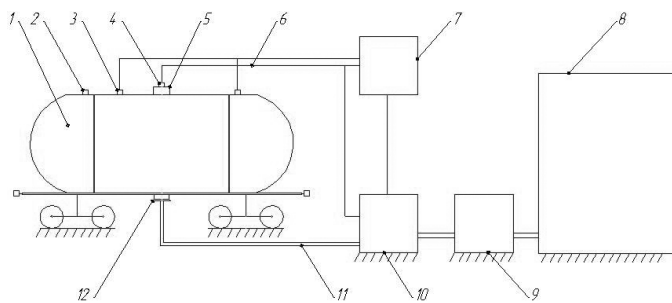


Рис. 1. Схема стенда для испытаний котла цистерны на многоцикловые нагрузки.

прочность котла были проведены различные виды испытаний, в том числе многоцикловые нагружения избыточным давлением и вакуумом.

Известно [1, 5, 6], что усталостная прочность вагонов и их составных частей обычно определяется на вибрационных установках, которые содержат раму, катковые опоры для установки колёсных пар испытуемых конструкций, электромагнитные и пневматические пульсаторы, соединённые с наддресорными балками вагонных тележек. При включении катковых опор и пульсаторов возбуждаются колебания вагона на рессорном подвешивании и проводятся испытания узлов и деталей подвижного состава.

Однако указанные установки имеют, по крайней мере, следующие недостатки: вибрационному воздействию подвергаются все составные части вагона (колёсные пары, буксовые узлы, рамы и т. д.), которые во время испытаний часто выходят из строя; весьма затруднительно смоделировать наиболее критические нагрузки, действующие именно на котёл цистерны; постройка и эксплуатация такого стенда требуют больших затрат.

Поэтому был предложен и спроектирован более простой специализированный стенд для испытаний котла цистерны на многоцикловые нагрузки, схема которого приведена на рис. 1.

Сущность предложенного стенда состоит в том, что на испытываемый котёл 1 цистерны, оснащенный предохранительно-впускным клапаном 2, погрузочным люком-лазом 5 и сливным прибором 12, устанавливаются перемещаемые части стенда: контрольно-измерительная крышка 4 на люк-лаз 5; акустико-эмиссионные датчики 3 и трубопровод для подачи воды 11, соединяющийся со сливным прибором 12. Стационарная часть стенда состоит

из измерительно-диагностического комплекса 7, управляюще-распределительного устройства 10, насосной станции 9 и накопительного резервуара 8, которые связаны между собой трубопроводами 7 и линиями связи 6.

Работа стенда для испытания котла цистерны на многоцикловые нагрузки происходит следующим образом.

Подлежащая испытаниям цистерна устанавливается на специальный путь, расположенный вблизи стенда, и к ней подключаются перемещаемые части стенда: трубопровод 7 для подачи воды присоединяется к сливному прибору 12; контрольно-измерительная крышка 4 устанавливается на люк-лаз-5; акустико-эмиссионные датчики 3 монтируются в зонах, подлежащих контролю.

Включается насосная станция 9, и вода из накопительного резервуара 8 через управляюще-распределительное устройство 10 по трубопроводу 11 через сливной прибор 12 под значительным давлением начинает заполнять котёл 1 цистерны.

Полное заполнение котла 1 фиксируется контрольно-измерительной крышкой 4, и с помощью измерительно-диагностического комплекса 7 подаётся команда управляюще-распределительному устройству 10 прекратить заполнение котла водой.

Далее начинает реализовываться программа испытаний котла 1 и предохранительно-впускного клапана 2 на многоцикловые нагрузки. В соответствии с методикой испытаний измерительно-диагностический комплекс 7 по специальному алгоритму через управляюще-распределительное устройство 10 с помощью насосной станции 9 то повышает давление в котле до контрольных величин, то снижает его до нормированного вакуума, откачивая воду из котла через устройство 10 в накопительный резервуар 8.



Результаты многоцикловых испытаний опытного котла цистерны

№ п/п	Объект исследования	Кол-во циклов испытаний до 10% возр. АЭ	Результаты органолептического контроля
1.	Опорная зона котла с усиливающей цельной накладкой	468	Трещин в сварных швах не обнаружено
2.	Опорная зона котла с перфорированной усиливающей накладкой	609	– “ –
3.	Шпангоут с монтажным зазором – 2,0 мм	747	– “ –
4.	Шпангоут с монтажным зазором – 5,0 мм	598	Трещина в приварке шпангоута к котлу

Во время многоцикловых испытаний котла акустико-эмиссионные датчики 3 фиксируют акустические сигналы о техническом состоянии контролируемых зон и направляют их в измерительно-диагностический комплекс 7 по линиям связи 6. Комплекс 7, обрабатывая информацию по специальной программе, выдаёт заключение о состоянии частей испытуемого котла.

При проведении ресурсных испытаний многоцикловое нагружение производится до тех пор, пока не возникнет предельное состояние или образуется трещина. По количеству проведенных нагружений устанавливается ресурс котла или возможный срок его полезного использования.

В качестве аналога при разработке программы испытаний котла на многоцикловые нагрузки были приняты исследования проф. М. Б. Кельриха [4]. В частности, им установлено, что наличие в котле внутреннего избыточного давления увеличивает, а вакуума – уменьшает жёсткость котла при изгибе и его сопротивляемость вибрационным нагрузкам. Наличие в котле вакуума 0,03 МПа приводит к повышению напряжению на 35–40%.

Также учитывалось, что на опорные зоны и шпангоуты котла цистерны действуют особо повышенные нагрузки при погрузочно-разгрузочных операциях, соударениях вагонов при движении в поездах и при роспуске с сортировочных горок.

Поэтому количество испытательных циклов рассчитывалось с учетом установленных соотношений.

1. Число циклов действия повышенных гидростатических нагрузок ($N_{гидр.}^n$) определялось соотношением

$$N_{гидр.}^n = N_{общ.}^{рас} + N_{п.в.}^n, \quad (1)$$

где $N_{общ.}^{рас}$ – общее расчетное количество циклов действия продольных динамических сил за время эксплуатации вагона;

$N_{п.в.}$ – общее количество циклов погрузки-выгрузки за время эксплуатации вагона.

2. Число циклов действия пониженного внутреннего давления (вакуума) ($N_{вак.}^H$) рассчитывалось из соотношения:

$$N_{вак.}^H = N_{п.в.} \cdot k_b + N_1 \cdot k_1, \quad (2)$$

где $N_{п.в.}$ – общее количество циклов погрузки-выгрузки за время эксплуатации вагона;

k_b – коэффициент, учитывающий вероятность возникновения вакуума в котле при выгрузке цистерны;

N_1 – количество пересекаемых цистерной температурных зон, инициирующих возникновение вакуума в котле, за всё время эксплуатации вагона;

k_1 – коэффициент, учитывающий вероятность возникновения вакуума в котле при нагреве-охлаждении перевозимого груза.

В исследованиях опытной цистерны была принята ступенчатая система нагружения, то есть на каждые десять циклов повышенного гидростатического давления – постепенного снижения до штатного режима реализовывался один цикл ограниченного вакуумирования – восстановления штатного давления.

В качестве объекта исследования для испытания на многоцикловые нагружения был специально изготовлен опытный котёл от списанной цистерны-цементовоза, в одной из опорных зон которого установлена цельная усиливающая накладка с местным зазором не более 2,0 мм, а в другой опорной зоне – перфорированная усиливающая накладка также с местными зазорами не более 2,0 мм. Один из шпангоутов приваривали на котёл с зазором около 2,0 мм, а другой – с зазором до 5,0 мм.

Все эти технологические варианты рассмотрели на опытном котле для экспериментальной оценки влияния монтажных зазоров на работоспособность составных частей и качественного сопоставления с результатами компьютерного моделирования, проведенного до начала испытаний.

Как уже отмечалось, многоцикловые ресурсные испытания обычно проводятся до тех пор, пока не возникнет отказ – трещина или иное предельное состояние, которое фиксируется органолептическими или другими методами.

В данном случае было признано целесообразным не форсировать появление трещин в опытном котле, а его техническое состояние определять с помощью акустико-эмиссионного метода.

Метод диагностирования технического состояния, основанный на измерении процессов излучения волн напряжений, обусловленных возникновением и развитием дефектов структуры металла, построен на учете акустической эмиссии (АЭ) [2,3]. Измерение параметров указанных волн позволяет обнаруживать различные дефекты, оценивать их размеры, степень опасности и прогнозировать разрушающую нагрузку и ресурс.

В качестве диагностического параметра были приняты: суммарная АЭ, т.е. число зарегистрированных превышений сигналом акустической эмиссии установленного уровня ограничения за исследуемый интервал времени, и спектральная плотность сигналов АЭ, распределение сигналов акустической эмиссии по частотам энергии.

Для определения этих параметров вблизи сварных швов на накладках и шпангоутах применены диагностическая акустико-

эмиссионная установка А-Line 32DN10014 и диагностический прибор акустического контроля ВШВ-003-М2.

Измерения проводились после каждого сотога нагружения котла циклическими нагрузками давления-вакуума, а также проводился визуальный осмотр сварных швов.

Результаты многоцикловых испытаний опытного котла приведены в таблице 1.

Анализ результатов этих испытаний дает возможность констатировать следующее.

1. Разработанный стенд воспроизводит интенсивное знакопеременное воздействие на котёл цистерны и в ускоренном темпе позволяет оценить качество проведённых на нём сварочных работ.

2. Многоцикловые испытания котла цистерны выявили, что постановка перфорированных усиливающих накладок почти на 30% повышает усталостную прочность опорной зоны котла в сравнении с цельной накладкой.

3. Постановка шпангоута с монтажным зазором более 2,0 мм резко снижает его усталостную прочность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авторское свидетельство СССР № 264739 / Кл. G01M 17/06, 1967 г.
2. Грешников В. А., Дробот Ю. Б. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1976.
3. Дробот Ю. Б., Лазарев А. М. Неразрушающий контроль усталостных трещин акустико-эмиссионным методом. – М.: Изд-во стандартов, 1987.
4. Кельрих М. Б. Исследование эксплуатационной нагруженности несущих конструкций подвижного состава типа котлов больших цистерн / Дис... канд. техн. наук. – Л., 1979.
5. Соколов М. М. и др. Измерение и контроль при ремонте и эксплуатации вагонов. – М.: Транспорт, 1991.
6. Соколов М. М. Диагностирование вагонов. – М.: Транспорт, 1990. ●

RAILWAY TANK CAR TESTING BY EXCESS PRESSURE

Voronova, Nina I. – Ph.D. candidate at the department of wagons and wagon facilities of St. Petersburg State University of Railway Engineering.

Razinkin, Nikolay E. – Ph.D. (Tech), associate professor, director of Moscow railway college, pro-rector for high professional education of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The updated testing stand permits verification of design of tank cars by overpressure. The appropriate methods ensure assessment of high-cycle intense actions on the tank after welding, as well as effective control of welded joints safety and critical loads.

Key words: railway car, tank car, railway, modernization, tests, overpressure, testing stand, multiple-cycle loading, acoustic emission, organoleptic properties.

Координаты авторов (contact information): Воронова Н. И. – voronova39@mail.ru, Разинкин Н.Е. – razinkin@mkqt.ru

