

Рис. 3. Технологическая схема устройства теплоизоляции с использованием «ковра из плит»

1 – емкость для мастики; 2 – складированные плиты; 3 – маячные плиты; 4 – гребок для мастики; 5 – мастика; 6 – «ковер из плит»; 7 – стеклоткань.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аврутин Ю.Е., Кричевская Е.И., Фоломин А.И. Железобетонные крыши жилых и общественных зданий. – М., Стройиздат, 1971. – 151 с.
2. Никитин А.А., Николаев В.Б., Сельдин Н.Н., Соколов В.К. Эксплуатация кровель жилых зданий. Справочник. – М.: Стройиздат, 1990. – 364 с.
3. Рекомендации по эксплуатации и ремонту кровель из рулонных материалов. – М.: Стройиздат, 1986. – 36 с.
4. Ройтман А.Г., Смоленская Н.Г. Ремонт и реконструкция жилых и общественных зданий, – М.: Стройиздат, 1978. – 234 с.
5. СНБ 5.08.02-2000 Кровли. Технические требования и правила приемки. – Взамен СНиП П-26-76; Введ. 01.01.2001. – Минск, 2000. – 26 с.
6. Техническое обследование конструкций покрытия и чердачного перекрытия прядильной фабрики №1 и разработка рекомендаций по их ремонту и усилению: Отчет о НИР (1 этап) / ЦНИИПромзданий. – Москва-Брест, 1990. – 126 с.
7. Черноиван В.Н., Самкевич В.А. Отчет по обследованию рулонных кровель отапливаемых эксплуатируемых зданий //Х/Д 95/104 Разработка технологии реабилитации рулонных кровель отапливаемых эксплуатируемых зданий. – Брест, 1996. – 16 с.
8. Штейнхёфель Х.-Й. Комплексный ремонт плоских крыш. – М.: Стройиздат, 1989. – 136 с.

УДК629.463.3

Сенько В.И., Шимановский А.О., Пуцято А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ КРЕПЛЕНИЙ КОТЛА К РАМЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ

Значительную долю парка грузовых вагонов Белорусской железной дороги составляют вагоны-цистерны. Выполненный ОНИЛ «ТТОРЕПС» Белорусского государственного университета транспорта анализ состояния парка цистерн показал, что значительная их доля достигла нормативного срока службы. При этом объем закупок новых вагонов не позволяет восполнить существующую потребность в наливном подвижном составе [1]. Дальнейшее сокращение парка вагонов-цистерн может привести к перебоям в работе Белорусских нефтеперерабатывающих заводов. В связи с этим необходимо предпринимать эффективные меры по проведению капитально-восстановительных работ.

Статистические данные обследования цистерн показали, что в ходе эксплуатации одним из наиболее частых видов повреждений являются трещины в области крепления котла к раме. С целью недопущения брака в работе железной дороги, вызванного отказом цистерн, целесообразно проведение мероприятий по усовершенствованию их конструкции. Для решения этой задачи необходим анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкции наиболее распространенных на сети железных дорог цистерн. В частности, цель этой работы исследование влияния на прочность деталей креплений изменение их конструктивных параметров, а также степени затяжки стяжных хомутов.

Сенько Вениамин Иванович, д. т. н., профессор, ректор Белорусского государственного университета транспорта.

Шимановский Александр Олегович, к.т.н., доцент каф. «Техническая физика и теоретическая механика» Белорусского государственного университета транспорта.

Пуцято Артур Владимирович, аспирант каф. «Вагоны и вагонное хозяйство» Белорусского государственного университета транспорта.

Беларусь, БелГУТ, г. Гомель.

Строительство и архитектура

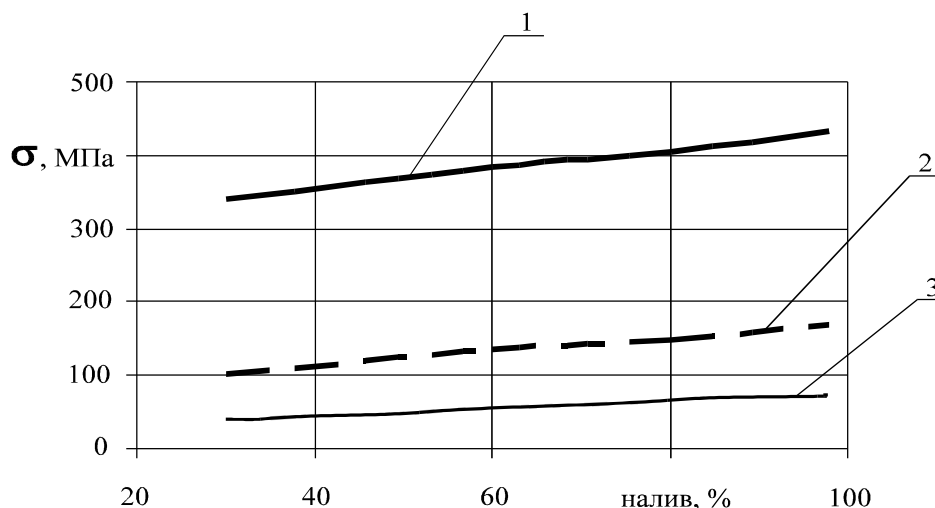


Рис. 1. Зависимости изменения напряжений от уровня налива при отсутствии трения на консольных опорах. (1 – зона соединения фасонной лапы с хребтовой балкой; 2 – зона соединения фасонной лапы с оболочкой котла; 3 – область консольного опирания)

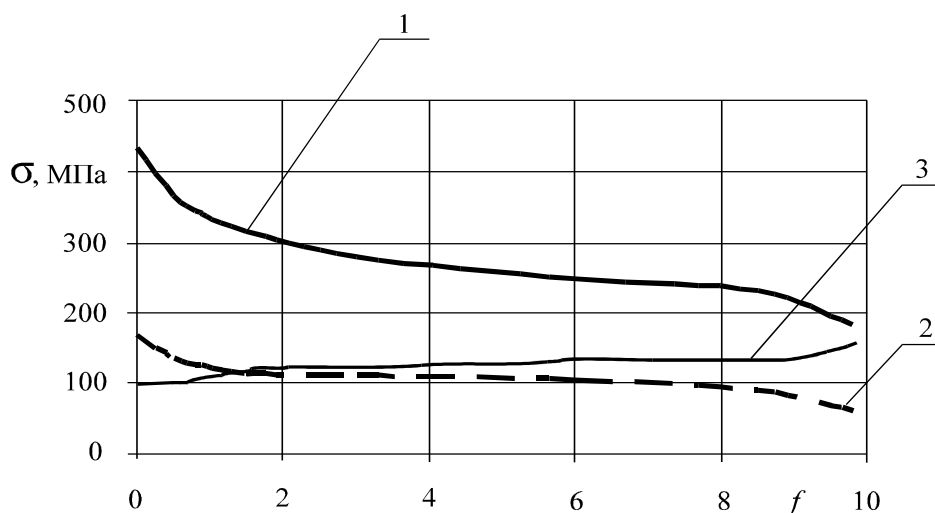


Рис. 2. Зависимости напряжений в местах крепления котла к раме от приведенного коэффициента трения. (1 – зона соединения фасонной лапы с хребтовой балкой; 2 – зона соединения фасонной лапы с оболочкой котла; 3 – область консольного опирания).

Для прочностных расчетов инженерных конструкций применяется достаточно большое количество различных методов. Основным недостатком аналитических методов является невозможность объективной оценки НДС в зонах сопряжения элементов со сложной геометрической формой. Чтобы обеспечить требуемую точность расчетов, нами применен программный комплекс конечноэлементного анализа ANSYS [2].

Железнодорожная цистерна представляет собой сложную конструкцию, на которую в процессе эксплуатации действуют различные динамические нагрузки. Основными конструктивными элементами вагона-цистерны являются котел и рама. Крепление котла к раме в средней части осуществляется жестко при помощи фасонных лап. По консолям котел свободно опирается на деревянные бруски, расположенные в желобах рамы цистерны. Для недопущения смещения котла относительно рамы по консольным опорам предусмотрены стяжные хомуты.

Объективная оценка НДС областей связи котла с рамой возможна только при рассмотрении модели цистерны как единого целого. Особенности создания конечноэлементных моделей котла и рамы вагона-цистерны представлены в рабо-

тах [3,4]. Наряду с обычно учитываемыми деталями при моделировании учтены такие особенности конструкции, как консольное опирание котла на деревянные бруски с подкреплением стяжными хомутами.

При моделировании учитывались следующие кинематические и силовые параметры: ограничение вертикального и поперечного смещения в области подпятника; наложение продольного ограничения перемещения по одному из упоров автосцепного устройства; продольная сила, эквивалентная удару в 3,5 МН (при I расчетном режиме нагружения) и в 1 МН (при III расчетном режиме нагружения) ко второму упору автосцепки; распределение давления жидкости на внутреннюю поверхность котла цистерны; вес вагона; силы инерции, действующие на вагон и груз.

Результаты работы [5] показали, что достаточная для практических целей точность расчетов может быть достигнута при применении модели, предполагающей, что свободная поверхность жидкости является плоскостью. Это позволило получить выражение давления жидкости в точке котла с координатами x, y, z [6]:

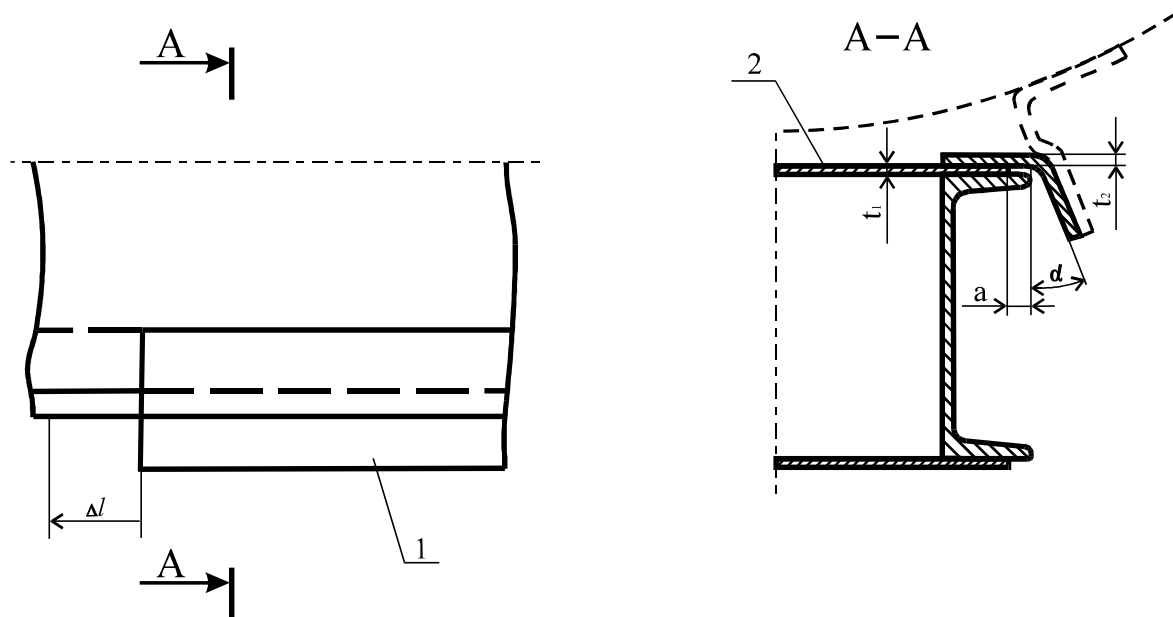


Рис. 3. Среднее крепление котла к раме. (1 – фасонная лапа; 2 – верхняя накладка хребтовой балки).

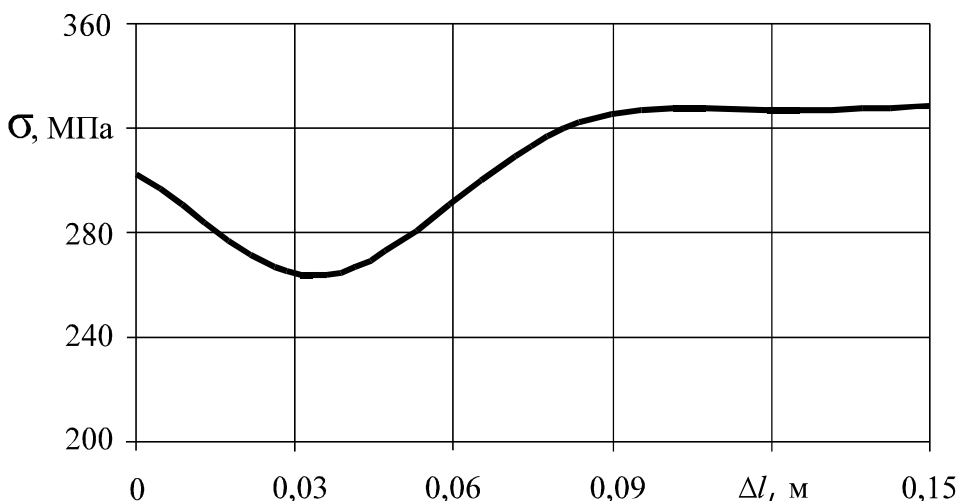


Рис. 4. Изменение напряжений в области крепления фасонной лапы к хребтовой балке с увеличением размера Δl .

$$p = p_{н.п.} + \rho \cdot [a^t \cdot (x_0 - x) + a^n \cdot (y_0 - y) + g \cdot (z_0 - z)],$$

где $p_{н.п.}$ – давление насыщенных паров, $p_{н.п.} = 0,15$ МПа;

ρ – плотность перевозимого груза, $\rho = 800$ кг/м³;

a^t, a^n, g – касательное и нормальное ускорения движения вагона и ускорение свободного падения соответственно;

x_0, y_0, z_0 – координаты «контрольной точки», находящейся в плоскости свободной поверхности жидкости и определяющей уровень заполнения котла цистерны.

Выполненные ранее исследования НДС проводились с предположением о работе всех узлов конструкции согласно штатным режимам эксплуатации. При этом в процессе создания модели предполагалось, что затяжка хомутов обеспечивает постоянный контакт консольной части с деревянными брусками [7]. В то же время на практике наблюдается недостаточная надежность опирания котла на деревянные бруски. Вследствие изменения влажности дерева, усадки при естественном старении происходит ослабление натяжения стяжных хомутов. Так

же оно может быть вызвано разницей вертикальных частот подпрыгивания и галопирования [8]. Кроме того, вследствие ряда внешних воздействий возможно снижение сил трения в области консольной опоры. Учет описанных особенностей приводит к эксплуатации вагона-цистерны с отклонением от штатного режима и вызывает существенный рост напряжений деталей крепления котла к раме. Так при состоянии, предшествующем отрыву от опорных брусков значения напряжений в зоне крепления фасонной лапы к хребтовой балке увеличиваются в 1,5 – 2 раза. При анализе НДС по двум расчетным режимам нагружения самым неблагоприятным оказался I режим. На рисунке 1 представлены графики, иллюстрирующие изменение напряжений в креплениях котла к раме при отсутствии сил трения на консольных опорах.

Из них видно, что во всем диапазоне уровней заполнения котла напряжения в зоне крепления фасонной лапы к хребтовой балке превышают допустимые значения, которые для I режима приравняются к пределу текучести ($[\sigma] = 305$ МПа для материала рамы и фасонных лап, $[\sigma] = 370$ МПа для материала котла). В области крепления фасонной лапы к

котлу напряжения не достигают допустимых значений, но при полном наливе также высокие. Аналогичный рост напряжений замечен в броневом листе консольной части.

В реальных условиях между брусками и броневым листом котла имеется трение, причем коэффициент трения может меняться в широких пределах. Поэтому интерес представляет зависимость напряжений в рассматриваемых зонах от коэффициента трения f на консольных опорах (рисунок 2).

Представленные исследования показывают, что выполнять оценку НДС конструкции цистерны при моделировании «жесткой» консольной опоры нельзя, поскольку реально эксплуатационные напряжения будут находиться в диапазоне коэффициента трения от 0 до 2. С использованием представленных на рисунке 2 графиков, возможно регулирование затяжки стяжных хомутов до предела, при котором напряжения в областях крепления котла к раме будут находиться на безопасном уровне.

Помимо регулировки натяжения стяжных хомутов, в области крепления фасонных лап также возможно внесение незначительных изменений в конструкцию цистерны. На рисунке 3 представлена конструкция узла среднего крепления котла к раме с обозначением параметров, изменение которых, возможно, приведет к снижению напряжений в рассматриваемых областях.

Варьирование параметрами t_1 , t_2 , α и Δl будем осуществлять в следующих пределах:

$$7 \text{ мм} \leq t_1 \leq 12 \text{ мм},$$

$$10 \text{ мм} \leq t_2 \leq 15 \text{ мм};$$

$$0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ;$$

$$0 \leq \Delta l \leq 150 \text{ мм}.$$

С целью экономии времени при проведении многовариантных расчетов был применен метод подмоделей, основанный на принципе Сен-Венана и позволяющий проводить оценку НДС рассматриваемой области, не рассчитывая модель заново.

Результаты расчета показали, что при изменении параметров t_1 , t_2 , α напряжения не уменьшаются до допустимой величины, так при изменении размера t_1 напряжения снижаются на 4,5 %; при изменении t_2 – на 7 %; при изменении α – на 8 – 10 %. При установке накладки шириной $a = 25$ мм по длине фасонной лапы обнаружено снижение напряжений в зоне соединения фасонной лапы и хребтовой балки на 30 %. Интерес представляет зависимость максимальных эквивалентных напряжений в этой зоне по мере увеличения длины накладке на Δl (рисунок 4). Так при $\Delta l = 30 - 40$ мм, получены наименьшие значения напряжений в рассматриваемой области и тем самым обеспечивается их снижение на 40 %.

УДК 620.178.16:620.178.3

Богданович А.В.

КРИТЕРИЙ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ СИСТЕМ И ЕГО АНАЛИЗ

В элементах силовых систем машин при их эксплуатации, как известно [1 – 3], развиваются комплексные износоусталостные повреждения. Поэтому при проектировании таких систем, прогнозировании их ресурса, оценке технического состояния должны использоваться критерии, учитывающие сложное взаимодействие различных по природе повреждающих явлений, приводящих к износоусталостному поврежде-

Увеличение напряжений с дальнейшим ростом величины Δl можно объяснить повышением жесткости узла, что отражается на его прочностных характеристиках.

Таким образом, анализ проведенных исследований показал, что путем подбора конкретных значений величины Δl можно достигнуть снижения напряжений в местах крепления фасонной лапы к хребтовой балке на 40 %. Кроме того, повышение продольной жесткости соединения области консольного опирания котла на деревянные бруски, также позволяет существенно снизить напряженное состояние среднего крепления котла к раме.

Реализация полученных результатов на практике позволит повысить вероятность безотказной работы наливного подвижного состава.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сенько В.И., Пастухов И.Ф., Чернин И.Л., Быхек И.С. К вопросу восстановления нефтеналивных цистерн на Белорусской железной дороге//II научно-техническая конференция «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». – Санкт-Петербург, 2001.– С. 126-128.
2. Moaveni S. Finite element analysis. Theory and application with ANSYS.– New Jersey: Prentiss Hall Inc.– 1999.– 527 с.
3. Пуятю А. В. Конечно-элементное моделирование котла железнодорожной цистерны с использованием программного комплекса ANSYS//Республиканский межведомственный сборник научных трудов «Машиностроение». Вып. 18. Под ред. И. П. Филонова. – Мн.:УП «Технопринт», 2002. – с. 491 – 495.
4. Пуятю А. В. Особенности конечноэлементного моделирования рамы железнодорожной цистерны//Республиканский межведомственный сборник научных трудов «Машиностроение». Вып. 19. Под ред. И. П. Филонова. – Мн.:УП «Технопринт», 2003. – с. 712 – 716.
5. Шимановский А. О. Математическая модель и расчет динамики цистерн, частично заполненных жидкостью//Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике. – Мн.: «Технопринт», 2001. – с. 506 – 510.
6. Сенько В. И., Шимановский А. О., Пуятю А. В. Расчетная схема приложения силовых факторов к конструкции цистерны при ее движении в кривой// Труды научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2003. – с. IV-79 – IV-80.
7. Пуятю А. В. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния железнодорожной цистерны при движении по кривой//Известия Белорусской инженерной академии, 2003. – №1(15)/1. – С. 170 – 173.
8. Казимиров А. С. Изменение напряжений в нижнем листе котла вагона-цистерны при ослаблении тарельчатых пружин хомутов//II научно-техническая конференция «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». – Санкт-Петербург, 2001.– С. 29-30.

нию. В настоящей работе дается анализ одного из таких критериев, построенного на основе энергетического подхода, как наиболее общего и универсального.

При разработке критерия были приняты следующие основные допущения.

1. Зарождение и развитие износоусталостных повреждений определяется, главным образом, явлениями механической

Богданович Александр Вальдемарович, к.т.н., преподаватель Лидского технического колледжа УО «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы».

Беларусь, 231300 Гродненской обл., г. Лида, ул. Дубровенская, 4.