

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ С УЧЕТОМ ОСЛАБЛЕНИЯ КРЕПЛЕНИЙ

*Зарипов Р.Ю.
Сулейменов А.Д.*

преподаватель , Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, Павлодар

Аннотация

В работе рассмотрено применение метода конечно-элементного анализа конструкции кузова железнодорожной цистерны. Для оценки прочности ее элементов с учетом нарушения креплений котла к раме создана трехмерная модель. Графическим способом установлена степень влияния ослабления хомутов на прочность крепления котла к раме в средней части.

Описанные мероприятия позволяют проводить анализ надежности крепления котла цистерны к раме и повысить его надежность.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, котел цистерны, прочность, крепление, стяжной хомут.

К часто встречающимся повреждениям железнодорожных цистерн можно отнести ослабление стяжных хомутов, предназначенных для предотвращения вертикального смещения котла на консольных опорах. Ослабление или обрыв хомутов могут быть вызваны различными причинами, среди которых изменение влажности деревянных брусков (усадка), разница вертикальных частот подпрыгивания и галопирования, а также боковых колебаний рамы и котла. Обрывы хомутов могут привести к аварийным ситуациям из-за их попадания под колеса вагона. Эксплуатация вагонов-цистерн с ослабленными хомутами приводит к тому, что

котел цистерны поднимается над опорой, что, в свою очередь, приводит к вылету защитного металлического кожуха опоры из под котла. Нагрузка, которую должны воспринимать хомуты, передается на лапы котла и рамы, что приводит к их быстрому разрушению. В сварном шве приварки лап к котлу появляются трещины, сминаются и увеличиваются поверхности отверстий под крепежные болты [1].

Целью работы является определение степени влияния ослабления стяжного хомута на напряженно-деформированное состояние элементов конструкции кузова цистерны путем компьютерного моделирования.

Определение напряженно-деформированного состояния элементов конструкции цистерны при ослаблении стяжных хомутов.

Для достижения поставленной цели разработана пространственная конечно-элементная модель железнодорожной цистерны (рисунок 1) для перевозки нефтепродуктов модели 15-1443 в программной среде АРМ WinMachine [2], состоящая из котла, элементов крепления котла на раме, включающая опору котла в

консольных частях на деревянные бруски с последующим прихватом стяжными хомутами и болтовое закрепление котла к раме в средней части. Для учета дополнительных эффектов, связанных с вертикальными колебаниями кузова вагона, в модели учтены элементы ходовой части в виде опоры кузова через систему «пятник- подпятник» на надрессорную балку тележки, расположенную на упруго-диссипативных элементах, параметры которых эквивалентны параметрам рессорного комплекта грузовой тележки модели 18-100.



Рисунок 1 – Конечно-элементная модель кузова вагона-цистерны

Для возможности учета нарушения крепления котла к раме вагона в консольных частях в модели введены упругие элементы, варьируя характеристиками которых выполняется имитация различной степени ослабления стяжных хомутов. В областях задних упоров автосцепного устройства установлены односторонние связи, ограничивающие перемещения в случае возникновения сжимающих напряжений. Выполнено

моделирование режима соударения, как наиболее опасного с позиции прочности кузова вагона. Время действия давления от жидкого груза возросло до значения, рекомендуемого «Нормами для расчета ...» [3].

С использованием описанной модели выполнен комплекс расчетов по определению напряженно-деформированного состояния кузова вагона-цистерны для разных характеристик упругих элементов, имитирующих степень

ослабления стяжного хомута. На рисунке 2 показан фрагмент геометрической модели и картина распределения эквивалентных Н/м.

напряжений по Мизесу для момента времени 0,7 с, при жесткости упругих элементов 10^8

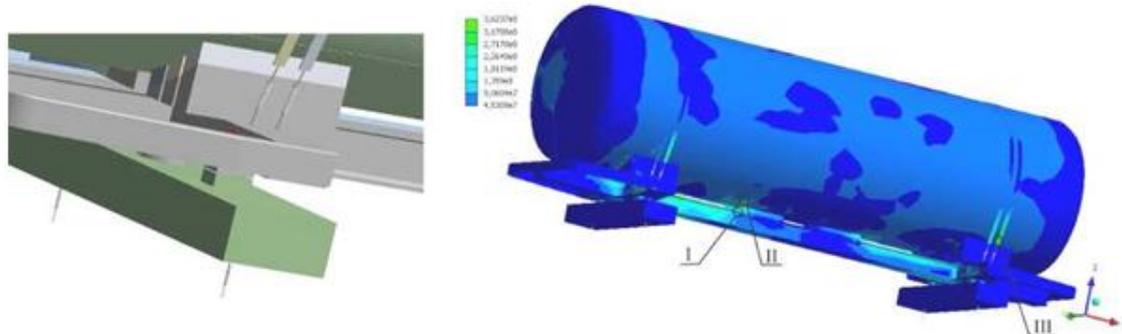


Рисунок 2 - Фрагмент геометрической модели вагона-цистерны и распределение эквивалентных напряжений (Па) в кузове для момента времени 0,7 с при жесткости упругих элементов 10^8 Н/м: I - зона крепления рамной лапы к хребтовой балке; II - зона крепления фасонной лапы к котлу; III - стяжной хомут

Установлено, что к наиболее опасным областям при рассматриваемом режиме нагружения следует отнести зону крепления рамных лап к верхнему листу хребтовой балки (рисунок 2, позиция I), фасонных лап к оболочке котла (позиция II), а также стяжной хомут со стороны разгружаемой консольной опоры (позиция III). С увеличением жесткости упругих элементов, соединяющих хомут и раму цистерны напряжения в средней части котла снижаются, а по мере ослабления хомута наблюдается их

существенный рост. В тоже время, наблюдается увеличение напряжений в стяжном хомуте с разгружаемой стороны по мере увеличения жесткости упругого элемента. Рост напряжений в средней части объясняется ослабленным хомутом и, как следствие, вертикальным перемещением консольной части котла, расположенной с противоположной стороны места соударения вагонов. Описанные процессы подтверждаются зависимостями, приведенными на рисунке 3.

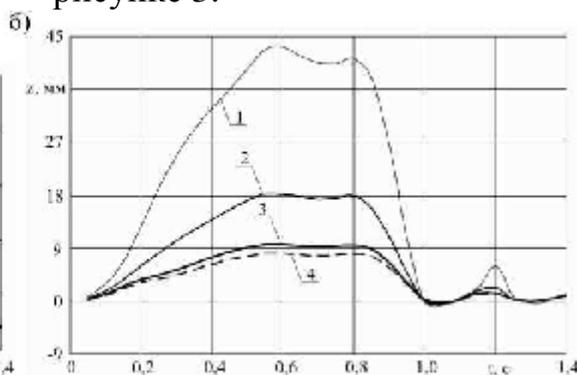
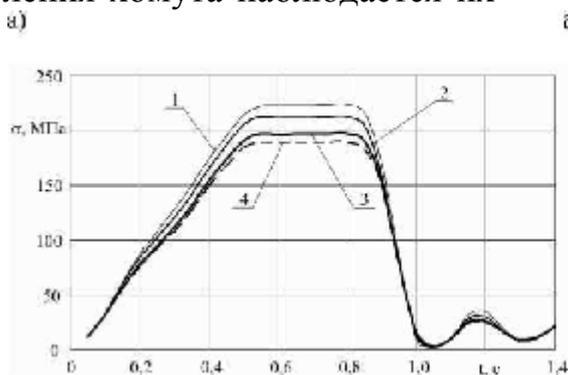


Рисунок 3 - Зависимости изменения напряжений в зоне II (рисунок 2) и перемещения котла относительно рамы для различных жесткостей элементов: 1 - $c = 10^6$ Н/м; 2 - $c = 10^7$ Н/м; 3 - $c = 5 \cdot 10^7$ Н/м; 4 - $c = 10^8$ Н/м

Рассмотрим результаты определения напряженного состояния вышеуказанных областей в случае предварительного натяжения стяжных хомутов. Для определения принципиальной зависимости выполним расчеты при варьировании предварительной затяжкой N в диапазоне $0 \text{ } ^\wedge \text{ } 200$ кН для жесткости $c = 10^6$ Н/м.

Полученные результаты представлены зависимостями на рисунке 4.

Установлено, что снизить

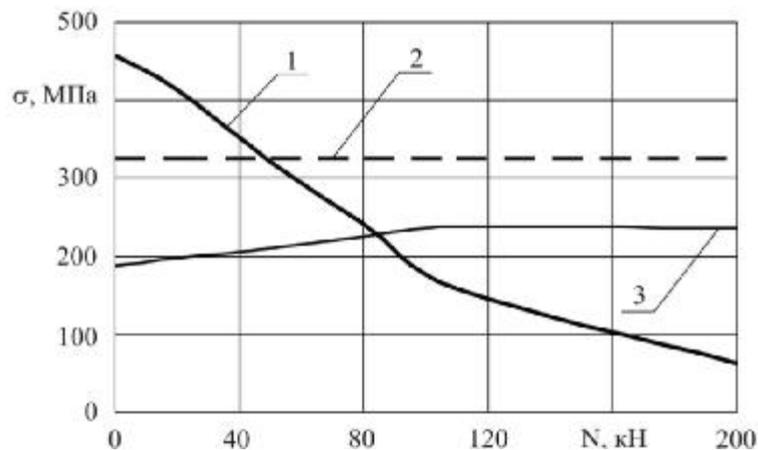


Рисунок 4 - Изменение напряжений в зоне I в зависимости от значения предварительной затяжки хомутов для жесткости упругих элементов $c = 10^6$ Н/м

Расчеты показали, что в области крепления котла к раме в средней части, в частности, зоне приварки рамной лапы к верхнему листу хребтовой балки, в ряде случаев имеют место напряжения, значительно превышающие допускаемые значения.

Эквивалентные напряжения в

значения напряжений в зоне I, расположенной со стороны разгружаемой консоли возможно путем подбора значения предварительной затяжки хомутов (зависимость 1). В то же время в аналогичной зоне, расположенной с ударной стороны зафиксирован незначительный рост напряжений (зависимость 3) не превышающих предела текучести материала (зависимость 2).

указанной области при нормативном наливе котла цистерны в отдельных случаях сочетания рассматриваемых силовых факторов могут превышать предел текучести материала, что указывает на возможное появление пластических деформаций и неприменимость линейной теории деформирования материала в рамках действия закона Гука.

Метод конечных элементов может быть использован при учете как геометрической, так и

физической нелинейности. Учет любого из этих двух типов нелинейности приводит к получению разрешающей системы уравнений, содержащей нелинейные составляющие, относительно определяемых основных неизвестных членов. Присутствие в уравнениях нелинейных членов не позволяет получить их решение в замкнутом

виде подобно тому, как это выполняется в случае расчета линейных систем. Здесь приходится использовать различные процедуры последовательных приближений [3].

При учете физической нелинейности связь между вектором напряжений $\{\sigma\}$ и вектором деформаций $\{\epsilon\}$ может быть выражена формулой

$$\{\sigma\} = [E_r(\epsilon)]\{\epsilon\} \quad (1)$$

где матрица $[E_r(\epsilon)]$ зависит от подлежащего определению деформированного состояния $\{\epsilon\}$, которое, как известно, в методе конечных элементов является однозначной функцией узловых перемещений $\{u\}$.

Учет геометрической нелинейности приводит к тому, что

зависимость между $\{\epsilon\}$ и $\{u\}$ перестает быть линейной. В результате получается, что матрица жесткости зависит не только от жесткостных параметров конструкции, но и от ее напряженно-деформированного состояния, выраженного через узловые перемещения.

$$[K] \cdot \{u\} = \{P\} \rightarrow [K(u)]\{u\} = \{P\} \quad (2)$$

Именно это обстоятельство и приводит к тому, что система алгебраических уравнений (2) оказывается нелинейной. Ее решение может быть получено с помощью итерационных методов.

К основным методам решения нелинейных задач следует отнести [3]: метод последовательных приближений, метод упругих решений; метод шагового нагружения; модифицированный метод Ньютона-Рафсона.

Несмотря на то, что приведенные выше методы процедурно различны, их объединяет общее стремление ликвидировать невязку, которая служит оценкой отклонения

положения системы от ее действительного равновесного состояния. К наиболее распространенному и эффективному методу решения нелинейных задач относится метод Ньютона-Рафсона, который применен для решения поставленной задачи.

При расчете с учетом зон пластических деформаций элементов креплений котла к раме была использована диаграмма деформирования, приведенная в работе [4].

С использованием разработанных компьютерных моделей кузова цистерны выполнены расчеты по

определению напряженно-деформированного состояния с учетом свойств пластичности материала элементов крепления крепления последний представлен подмоделью. Метод подмоделей основывается на принципе Сен-Венана, предполагающем, что эффекты концентрации напряжений

котла на раме. Для интенсификации расчетов и уточненной дискретизации узла

ограничены вблизи концентратора, поэтому, если границы подмодели достаточно далеки от концентратора напряжений, в подмодели могут быть рассчитаны достаточно точные их значения

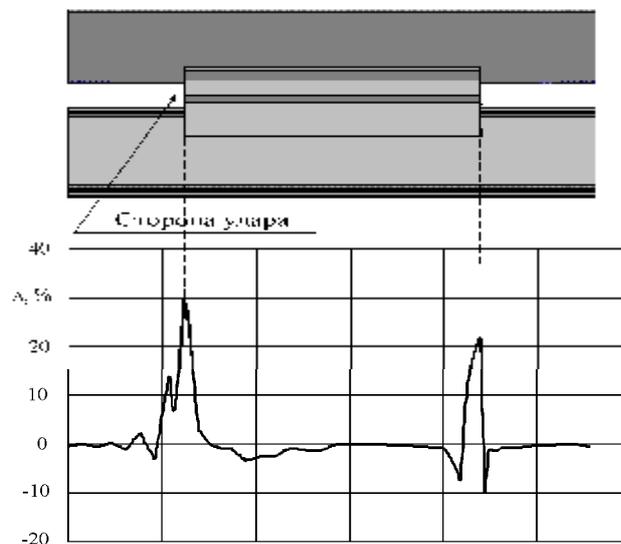


Рисунок 5 - Расхождение значений эквивалентных напряжений при использовании линейной зависимости $\sigma(\epsilon)$ и с учетом пластической деформации

На рисунке 5 приведена зависимость, характеризующая расхождение в результатах определения эквивалентных напряжений при указанных расчетах по длине участка крепления рамной лапы к верхнему листу хребтовой балки.

Различие в форме кривых можно объяснить затухающим характером приложения нагрузки с одной стороны. С целью определения значений остаточных деформаций и напряжений расчеты

выполнены в несколько этапов. На первом этапе проведен расчет напряженно-деформированного состояния кузова при статическом состоянии вагона от действия массы тары, на втором этапе элементы конструкции нагружались системой сил, соответствующей ударному взаимодействию вагонов при нормативном заполнении котла жидким грузом. Третий этап соответствует первому этапу, четвертый и пятый - второму и первому соответственно. Таким

образом, рассматривались два цикла нагружения.

На рисунке 5 приведена диаграмма, характеризующая накопление остаточных

деформаций ($\epsilon_{ост}$) и напряжений ($\sigma_{ост}$) в двух описанных циклах нагружения. Значение остаточных напряжений можно определить следующим образом:

$$\sigma_{ост} = \sigma_3 - \sigma_1 \quad (3)$$

где σ_1, σ_3 - эквивалентные напряжения, соответствующие первому и третьему этапам нагружения.

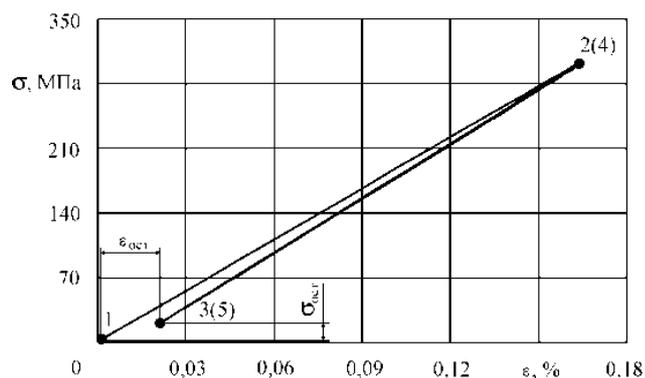


Рисунок 6 - Накопление остаточных напряжений и деформаций в двух циклах нагружения: 1, 3, 5 - масса тары вагона; 2, 4 - нагружение согласно I расчетному режиму (нормативный налив)

Установлено, что значения остаточных напряжений в узле крепления котла к раме в средней части после воздействия нагрузок, соответствующих столкновению вагонов, составляют 18,8 МПа. Следует отметить, что при рассмотрении последующих циклов нагружения значения остаточных напряжений $\sigma_{ост}$ и пластических деформаций $\epsilon_{пл}$ и пластических деформаций $\epsilon_{ост}$ остаются практически на том же уровне

Таким образом, при рассмотрении напряженно-деформированного состояния элементов конструкции с учетом особенностей, связанных с конструктивными нерегулярностями, а также при

существенных внешних силовых факторах следует вести расчеты с учетом возможного проявления свойств пластичности материала.

Длительная эксплуатация подвижного состава позволяет выявить конструкторские недостатки, допущенные при постройке вагона и учесть их при проектировании новых конструкций и модернизации существующих. При выполнении проектно-конструкторских работ по наливному подвижному составу следует максимально полно учитывать особенности взаимодействия котла с рамой вагона, а также в дальнейшем учесть влияние частичного заполнения котла жидким грузом.

На основе проведенных исследований разработан ряд технических решений, направленных на повышение надежности элементов конструкций кузовов вагонов-цистерн для перевозки нефтепродуктов: крепление котла на раме вагона-цистерны, устройство для

предохранения от скручивания стяжного хомута, котел железнодорожной цистерны. Технические предложения и рекомендации, предлагаемые на основе проведенных исследований пригодны для реализации в условиях вагонных депо.

Список литературы

1. Казимиров А. С. Изменение напряжений в нижнем листе котла вагона-цистерны при ослаблении тарельчатых пружин хомутов / А.С. Казимиров // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: тезисы докладов II науч.-техн. конф., 4-6 июля 2001 г. — Санкт-Петербург, 2001. — С. 29-30.
2. Замрий А.В. АРМ WinMachine для инженеров: справочное пособие / Замрий А.В., — М.: Машиностроение, 2004. — 512 с.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / Г осНИИВ -ВНИИЖТ. — М., 1996. — 319 с.
4. Постнов В. А. Строительная механика корабля и теория упругости: учеб. для вузов / В. А. Постнов, В.П. Суслов. — Л.: Судостроение, 1987. — Т. 1. — 288 с.
5. Битюцкий А.А. Разработка комплексного метода проектирования, расчета и испытания грузовых вагонов: дис... докт. техн. наук / А.А. Битюцкий. — СПб.: ПГУПС, 1995. — 359 с.
6. Шадур Л. А., Казанский Г. А., Спиваковский А. Л. и Девятков В. Ф. Вагоны: Учебник для вузов ж.-д. трансп. /; Под ред. Л. А. Шадура. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1980. —С. 96-141
7. В. В. Лукин, Л. А. Шадур, А. А. Хохлов, П. С. Анисимов Конструирование и расчет вагонов /; Под ред. В. В. Лукина. – М.: УМК МПС России, 2000. – С. 31-43
8. Статьи: информационный портал. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.ref.by/refs/93>, 2006 — 51 с.

Түйін

Компьютерлік модельінің шамақ темір жолы цистерналарының беріктілігін бағалау үшін оның элементтерін ескере отырып, бұзылған бекітпелер қазандық жақтауына жұмыс әзірленеді. Кірнеулі-деформацияланған күйінің есебі орындалды, хомуттың әлсіреу бекіту беріктігіне қазандық жақтауына орта бөлігінде әсер ету дәрежесі анықталды. Техникалық шешім және ұсынымдар сенімділігін арттыру бойынша қарастырылатын торабы берілген.

Summary

In the work developed a computer model of the body of the railway tank to assess the strength of its elements, including violations of the mountings of the boiler to the frame. The calculations of the stress-strain state, the degree of influence of the weakening of the clamps on the holding power of the boiler to the frame in the middle. The technical solutions and recommendations to improve the reliability of the reporting node.

Key words: computer modeling, the boiler of the tank, durability, mounting, and tensioning strap.