

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОТЛА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

При проектировании железнодорожных цистерн определение напряженно-деформированного состояния (НДС) выполняется в соответствии с Нормам для расчета и проектирования вагонов [1]. Однако распределение давления от перевозимой жидкости по Нормам не позволяет учесть особенности схемы нагружения при различных уровнях налива и положениях свободной поверхности. Нормы не предусматривают также несимметричную схему нагружения, которая имеет место при прохождении кривых или при переходах на боковой путь, сопровождающихся изменением скорости движения.

В связи с этим целью работы было установление особенностей НДС конструкции цистерны, связанных с перетеканием жидкости в ее котле. Причем при приложении силовых факторов была использована методика распределения давления жидкости по внутренней поверхности котла [2], позволяющая учитывать различные уровни налива, род груза, положение жидкости внутри котла цистерны и ее кинематические параметры.

Расчеты проводились для различных уровней налива котла при плотности перевозимого жидкого груза 800 кг/м^3 с использованием конечноэлементной модели цистерны, реализованной в программном комплексе ANSYS. Исследовались эквивалентные напряжения для различных областей оболочки, вычисленные по гипотезе формоизменения Рихарда Фон Мизеса

$$\sigma_{\text{экс}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)},$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – составляющие нормального напряжения по осям координат;

$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ – касательные напряжения в плоскостях XY, YZ и ZX, соответственно.

Выполнен расчет для случаев маневрового соударения вагонов при роспуске с сортировочной горки, трогания с места или осаживания поезда, соответствующих первому нормативному режиму нагружения. На рис. 1 представлены зависимости изменения максимальных эквивалентных напряжений от уровня налива котла.

Наибольшие напряжения в оболочке котла зафиксированы в днище с ударной стороны (кривая 1 рис. 1). Установлено, что по мере заполнения котла жидким грузом напряжения в днище возрастают по закону близкому к линейному.

Максимальные напряжения в днище обнаруживаются в зоне криволинейного перехода со сферического днища на цилиндрическую обечайку (221,4 МПа). Появление в этих областях наибольшего уровня напряжений можно объяснить наличием максимальных значений сил давления со стороны перевозимой жидкости на внутреннюю поверхность котла.

Несколько меньшие значения напряжений зафиксированы в зоне люка-лаза (216,7 МПа). Кривая 2 на рис. 1 показывает рост напряжений с уровнем налива, что, по-видимому, связано с увеличением степени деформации оболочки котла, и, как

следствие, появление в области концентратора (отверстия под люк) наибольших напряжений. Наибольшие значения наблюдаются в зоне стыка продольных листов цилиндрической обечайки, причем они имеют более интенсивное поле распределения с внутренней стороны котла. Значения напряжений резко уменьшается по мере удаления от рассматриваемой зоны.

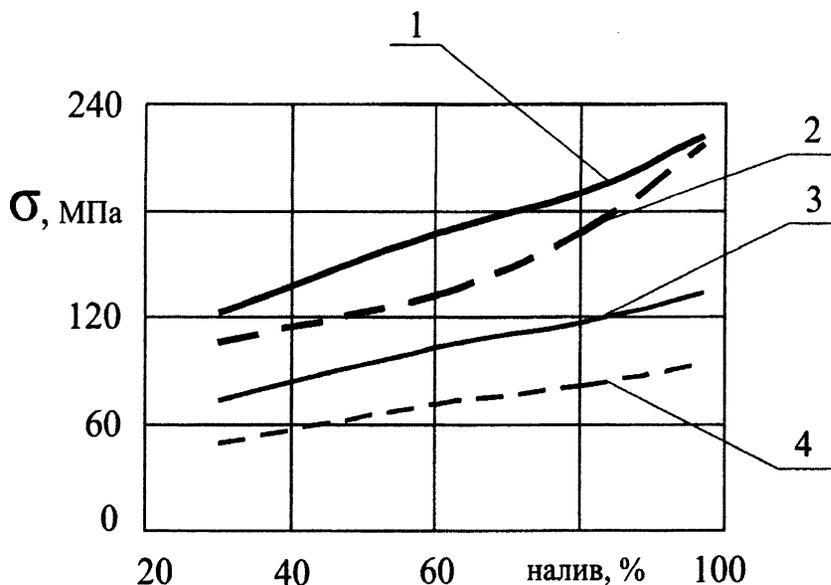


Рис. 1. Изменение напряжений в зависимости от уровня заполнения при I режиме нагружения для различных областей оболочки котла

Кривая 3 рис. 1 характеризует изменение напряжений в броневом листе, где наибольшие значения оказались в местах крепления фасонных лап, расположенных ближе к ударной стороне (133,8 МПа). Картина распределения напряжений в броневом листе показывает, что к наиболее нагруженным зонам также относятся область консольного опирания на деревянные бруски со стороны удара, а также области крепления фасонных лап с обратной стороны. Наименее нагруженными оказались зона расположения сливного прибора (его наличие не учтено) и консольная часть разгружаемой стороны.

Значения напряжений в цилиндрической обечайке (кривая 4 рис. 1), также увеличиваются с наливом котла и имеют наибольшую величину в зоне стыка с броневым листом (93,3 МПа). По мере приближения к ударной стороне напряжения возрастают, наименьшие значения они имеют на разгружаемой опоре.

При рассмотрении НДС цистерны в криволинейном участке пути зафиксировано увеличение напряжений в ряде рассмотренных областей. Зависимости на рисунке 2 показывают процентное изменение напряжений в кривой по отношению к напряжениям в случае прямолинейного движения.

Зависимости характерны для вышерассмотренных областей и построены по максимальным напряжениям. В целом установлено, что во всех областях оболочки котла напряжения при рассмотрении криволинейного движения оказываются несколько большими, чем при симметричной схеме нагружения. Значения напряжений в областях днища и люка-лаза возрастают незначительно на 1-2%, в областях наибольших напряжений броневое листе увеличиваются на 3% при 30% уровне заполнения и далее разность сводится практически к нулю, в зоне сварного шва цилиндрической оболочки с броневым листом наибольший рост напряжений зафиксирован при 60-65% заполнении котла и составляет около 7%.

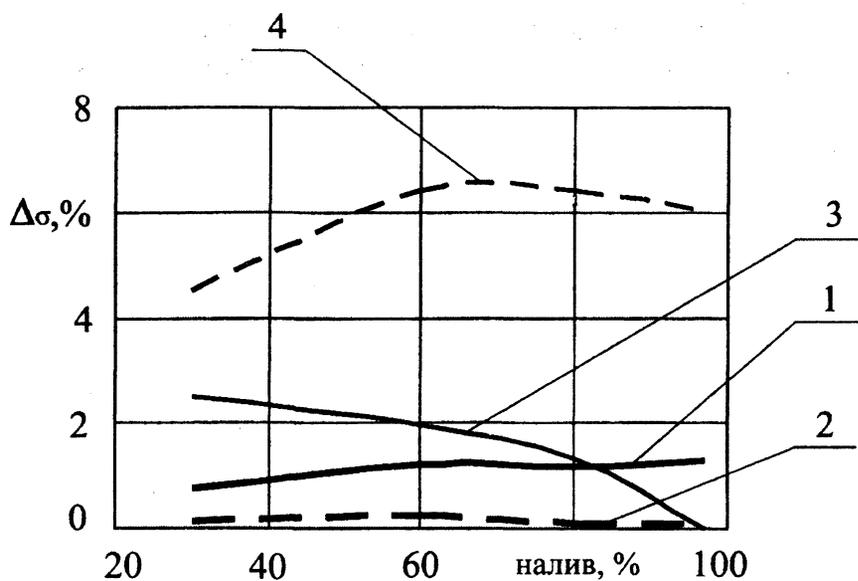


Рис. 2. Относительное изменение эквивалентных напряжений при I режиме нагружения для различных областей оболочки котла

Также моделировались нестационарные воздействия на вагон при движении в составе поезда, что соответствует третьему нормативному режиму. В результате расчетов получены зависимости, демонстрирующие, как и в случае первого рассмотренного варианта нагружения близкое к линейному увеличению эквивалентных напряжений в областях сферических днищ и цилиндрических частей котла.

Увеличение напряжений, вызванное несимметричностью нагружения, для отдельных областей оказалось значительно большим, чем в случае первого режима нагружения. При рассмотрении зависимостей, приведенных на рис. 3, можно сделать вывод о том, что напряжения в области броневых листов и зоне стыка с цилиндрической обечайкой увеличиваются на 8% и 11%, соответственно.

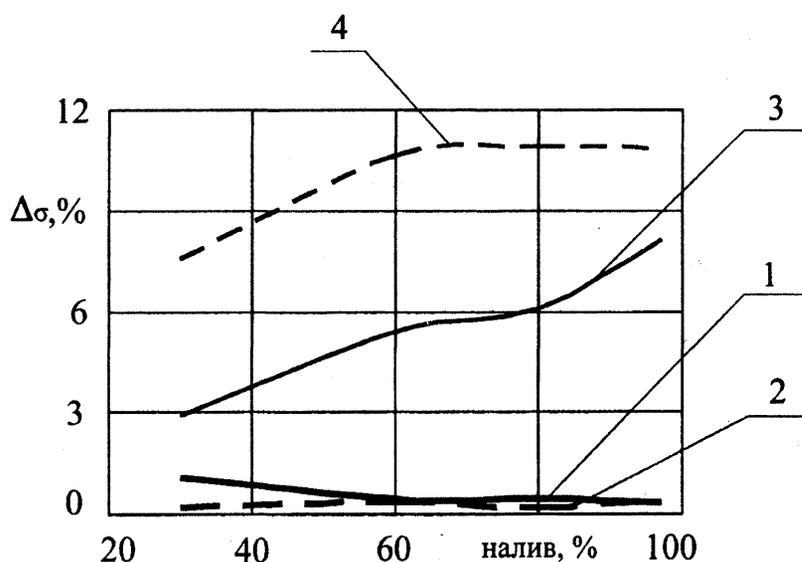


Рис. 3. Относительное изменение эквивалентных напряжений при III режиме нагружения для различных областей оболочки котла

Результаты исследований показали, что в установленных проектной документацией размерах листов оболочки и штатном режиме эксплуатации котел выдерживает эксплуатационные нагрузки, и уровень напряжений не превышает допустимых значений (для I режима нагружения $[\sigma]_I = 0,9\sigma_T = 0,9 \cdot 345 = 310,5$ МПа; для III режима нагружения $[\sigma]_{III} = 190$ МПа).

Следует отметить, что на практике зачастую в местах крепления фасонных лап к котлу обнаруживается появление трещин, также как и в зонах сварных швов стыковки днища с цилиндрической обечайкой. Анализ показал, что природа таких повреждений может носить различный характер: нарушение штатного режима эксплуатации (ослабление стяжных хомутов, превышение грузоподъемности и т. д.); наличие зародившихся в процессе эксплуатации макротрещин как результата некачественных сварочных работ, а также наличие усталостных повреждений.

Сравнение полученных результатов с НДС цистерны, рассчитанным в соответствии с Нормами [3] показывает, что найденные с учетом реального распределения давления по внутренней поверхности котла значения напряжений в броневом листе оказываются меньшими на 50 %. В то же время существенный запас прочности, предусматриваемый Нормами, недостаточно полно учитывает особенности напряженного состояния в областях крепления котла к раме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)/ ГосНИИВ-ВНИИЖТ, М., 1996. – 319 с.;
2. Путято А. Моделирование взаимодействия перевозимой жидкости с котлом железнодорожной цистерны//Сборник тезисов докладов 7-ой конференции молодых ученых Литвы «Литва без науки – Литва без будущего», 29 апреля 2004 г. Вильнюс: Техника, 2004. – с. 204 – 209.;
3. Овечников М. Н. Решение проблемы снижения повреждаемости котлов и рам железнодорожных цистерн для перевозки нефтепродуктов с использованием современных программных средств моделирования и расчета конструкции: Автореф. дис. д-ра техн. наук:05.22.07/ Мин-во путей сообщения РФ. Моск. гос. ун-т путей сообщения.-М.,2001.- 47 с.

УДК 531.39:629.4.015

А. О. Шимановский

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ЦИСТЕРНЫ ПО ПУТИ С БОЛЬШОЙ КРИВИЗНОЙ

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

Как правило, в литературе по динамике железнодорожного подвижного состава рассматривается движение поезда по перегонам либо его разгон или торможение на станционных путях. В этом случае кривизна железнодорожного пути в вертикальной плоскости весьма мала. В то же время пути, уложенные на сортировочных горках, обладают значительной кривизной, соизмеримой с углами поворота кузова вагона при колебаниях на рессорах. Кроме того, горочный путь имеет переменный радиус