

коэффициент трения долгое время остается постоянным, сохраняет свое предельно низкое значение. Изучение дорожек трения на резиновых образцах показало, что нанесение на поверхность резинового образца АПП изменяет механизм изнашивания. У необработанной резины образуются трещины из-за термодеструкции, так как большой коэффициент трения вызывает значительное повышение температуры в зоне контакта. У модифицированных резин механизм трения, по-видимому, усталостный.

Механизм снижения коэффициента трения у модифицированных резин при трении без смазки может быть объяснен частичной графитизацией алмазоподобного покрытия. Этот процесс связан с тем, что на точках фактического контакта происходит трибопревращение в  $sp^3$  связей, характерных для алмаза, в  $sp^2$  связей, характерные для графита. Указанные превращения могут вызывать снижение трения за счет характерного для графита эффекта самосмазывания. После периода приработки, на стадии стационарного трения, коэффициент трения  $f = 0,3$  и интенсивность изнашивания РТИ оставались стабильно низкими. Это можно объяснить регулярным микропревращением алмазоподобного углерода в графитоподобный, о чем свидетельствует незначительная установившаяся температура в зоне трения  $30^\circ\text{C}$ .

Таким образом, использование алмазоподобных покрытий на резиновых уплотнениях может значительно повысить их работоспособность и снизить потери при трении. Это дает возможность уменьшить затраты на ремонт и повысить надежность работы подвижного состава.

УДК 629.463.3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛА ЦИСТЕРНЫ

А. В. ПИГУНОВ, П. М. АФАНАСЬКОВ, В. Г. ГУБАРЕВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время критерием исключения из инвентарного парка вагонов-цистерн или замены котла является предельный коррозионный износ для трех следующих схем износа: двух днищ; одного днища и одного продольного листа; двух продольных листов. Предельная величина коррозионного износа листов котла – 50 % и более от номинальной толщины, а в броневом листе в местах опор – 30 %.

По нашему мнению, данные величины износов не совсем обоснованы, так как не на всех участках котла коррозионные процессы протекают с одинаковой интенсивностью, а также уровень напряжений не везде одинаковый. Поэтому критерием наступления предельного состояния элементов котла цистерны должна являться потеря несущей способности – прочности или устойчивости вследствие износов, возникающих в процессе эксплуатации. Для реализации данного подхода необходимо разработка конечно-элементной модели котла и схемы коррозионных повреждений.

Четырехосные цистерны модели 13-1443 с внутренним диаметром котла 3000 мм являются наиболее многочисленными в своем классе. Конструкция кузова вагона включает в себя котел и раму. Котел в консольных частях опирается на раму непосредственно через деревянные бруски. Для предотвращения вертикальных и продольных смещений относительно рамы котел дополнительно в консольных частях притянут при помощи стальных хомутов. В средней части посредством четырех фасонных лап, он жестко соединен с рамой, что ограничивает его продольные смещения.

Для оценки остаточной несущей способности котла цистерны была разработана его пространственная расчетная конечно-элементная модель (рисунок 1). Она достаточно подробно повторяет реальную конструкцию. При ее составлении были учтены все конструктивные особенности котла. Смоделированы заливная горловина и универсальный сливной прибор. В нижнем броневом листе учтен уклон, который образован выштамповкой, обеспечивающий более полный слив нефтепродуктов.

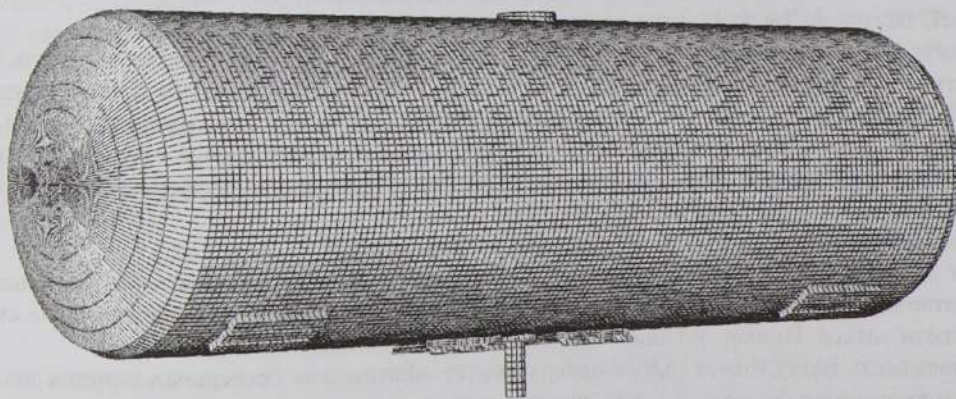


Рисунок 1 – Расчетная модель котла четырехосной цистерны

Для более реальной оценки напряженно-деформированного состояния котла в консольных частях при помощи объемных восьмиузловых элементов были смоделированы деревянные опорные бруски. Общее число узлов модели составило 29525, а конечных элементов – 26934. Для моделирования металлоконструкции котла использовались трех- и четырехугольные пластинчатые конечные элементы.

Разработанная расчетная модель позволяет производить расчеты для любого вида и сочетания эксплуатационных нагрузок, предусмотренных для первого и третьего режимов нагружения в соответствии с требованиями «Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» (М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.) и установить предельное состояние для элементов котла по критерию потери несущей способности, по условиям прочности и устойчивости. Также она позволяет выделять зоны котла, различающиеся скоростью протекания коррозионных процессов.

Применение данного подхода позволит получить обоснованные данные о предельно допустимых износах различных участков котла вагона-цистерны.

УДК 629.463.3

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОТЛОВ ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН

В. В. ПИГУНОВ, А. В. ПИГУНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Ю. С. ГИЛЬ

Полоцкое вагонное депо Белорусской железной дороги

Устойчивая и безопасная работа железнодорожного транспорта во многом зависит от уровня технического состояния подвижного состава и, в частности, состояния вагонов-цистерн.

Как известно, к вагонам-цистернам предъявляются повышенные требования в отношении эксплуатационной, экологической и пожарной безопасности. В докладе приведены результаты обследования технического состояния котлов вагонов-цистерн для перевозки нефтепродуктов, которые поступали в ремонт в Полоцкое вагонное депо. Для цистерн, у которых превышен назначенный срок службы, выполнен анализ изменения толщины элементов котла цистерн в результате коррозионных повреждений. Ниже приведены результаты обследования состояния 41 цистерны постройки 1970 года.

Анализ показал следующее.

*Толщина нижнего листа* (номинальная толщина 11 мм):

– в концевых сечениях – варьируется от 9,3 до 11,8 мм, среднее значение – 10,67 мм;

– в среднем сечении – от 9,7 до 11,6 мм, среднее значение – 10,675 мм.

*Толщина боковых листов* (номинальная толщина 9 мм):

– в концевых сечениях нижней части – изменяется от 6,6 до 9,1 мм, среднее значение – 8,5 мм; в среднем сечении нижней части – от 7,0 до 9,3 мм, среднее значение – 8,6 мм;

– в концевых сечениях верхней части – от 6,9 до 9,6 мм, среднее значение – 8,5 мм.

*Толщина верхних листов* (номинальная толщина 9 мм):

– в концевых сечениях – от 6,9 до 9,0 мм, среднее значение – 7,9 мм;

– в среднем сечении – от 6,9 до 9,2 мм, среднее значение – 7,9 мм.

*Толщина листов днища* (номинальная толщина 11 мм):

– в нижней части – изменяется от 9,1 до 11,3 мм, среднее значение – 10,8 мм;

– в верхней части – от 8,9 до 11,3 мм, среднее значение – 10,8 мм.

Для нижнего, боковых и верхних листов цилиндрической части котла, а также листов днищ были установлены статистические законы распределения толщин для цистерн с просроченным сроком службы. Полученные законы распределения позволяют установить вероятность заданной степени повреждения котла за срок службы цистерны или указать для заданной вероятности степень повреждения котла цистерны. Они могут быть использованы также для моделирования технического состояния и остаточной несущей способности котлов цистерн с учетом коррозионных повреждений.

Приведенные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1 За срок службы у большей части вагонов-цистерн имеет место незначительное уменьшение толщины элементов котла вследствие коррозионных повреждений, а следовательно, и незначительное снижение несущей способности котлов. Причем по длине листов оно примерно одинаковое.

2 Металлоемкость котла может быть снижена за счет обоснования предельных толщин листов котла, используя конечно-элементную модель котла, по критериям потери ими прочности и устойчивости.