

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.316>

УДК 614.846.63:004.94

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ЦИСТЕРНЫ НА ЕЕ ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Ковтун В.А., Короткевич С.Г.

Цель. Модернизация эксплуатируемых цистерн пожарных автомобилей для повышения эксплуатационной надежности и увеличения межремонтного периода.

Методы. Исследования проведены с использованием программного комплекса ANSYS.

Результаты. Разработаны расчетные конечно-элементные модели цистерн, позволяющие учитывать характер динамического воздействия жидкости на ее стенки при различных режимах движения пожарного автомобиля, прогнозировать места вероятного разрушения конструкции и обосновывать внесение в нее изменений. Установлены зависимости влияния геометрических параметров элементов конструкции цистерны на ее напряженно-деформированное состояние и прочностные свойства при эксплуатации. Представлены результаты теоретического обоснования эффективности применения оптимальных (по критериям запаса прочности конструкции, количеству, размерам, расположению) ребер жесткости в конструкции цистерны.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании новых и модернизации эксплуатируемых цистерн для перевозки жидких грузов автомобильным транспортом.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, цистерна, модернизация, напряженно-деформированное состояние, компьютерное моделирование, конечно-элементная модель, сварное соединение, ребро жесткости, запас прочности.

(Поступила в редакцию 5 июня 2020 г.)

Введение

Опыт эксплуатации пожарных автомобилей показывает, что автоцистерны осуществляют более 80 % выездов на ликвидацию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по сравнению с количеством выездов другой техники, имеющейся в аварийно-спасательных подразделениях¹. Основное отличие пожарных автоцистерн от гражданских автомобилей, имеющих емкости для жидкостей, заключается в обеспечении при производстве повышенных требований к прочности конструкции цистерны². Согласно статистике в Республике Беларусь ежегодно происходит более 3000 пожаров в сельской местности и более 1000 возгораний в природных экосистемах, что составляет порядка 60 % и 20 % соответственно от общего числа чрезвычайных ситуаций³. Проведенные исследования подтверждают, что при форсированном режиме движения пожарных автомобилей максимальная скорость в 1,3–1,5 раза больше по сравнению с иными транспортными средствами, а водители для обеспечения безопасности вынуждены тормозить в 3–5 раз чаще [1; 2]. Движение пожарной автоцистерны к месту чрезвычайной ситуации нередко вынужденно происходит при отсутствии ровного дорожного покрытия. При таком режиме эксплуатации

¹ Концепция оснащения подразделений по чрезвычайным ситуациям пожарной аварийно-спасательной техникой / В.А. Казябо, Ю.И. Шавель, И.Н. Гончаров: НИИ ПБ и ПЧС: сборник отчетов о НИР. – С. 4–9.

² Сведения о чрезвычайных ситуациях // МЧС Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/ministerstvo/statistika/svedeniya-o-chs/>. – Дата доступа: 16.09.2019.

³ О пожарах с начала 2019 года // Новости [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.belta.by/society/view/bolee-600-pozharov-proizoshlo-v-prirodnyh-ekosistemah-belarusi-s-nachala-goda-342704-2019/>. – Дата доступа: 16.09.2019.

конструкция цистерны испытывает большие динамические нагрузки, передаваемые от колебаний жидкости и через раму шасси от рельефа местности. В результате происходит нарушение герметичности цистерны по причине появления трещин в местах ее угловых сварных соединений.

Результаты анализа проводимых ремонтов аварийно-спасательной техники производственно-техническими центрами Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь показали, что одной из причин вывода техники их боевого расчета является нарушение герметичности цистерн пожарных автомобилей по причине появления течи [3]. Устранение возникающих повреждений цистерн требует большого объема подготовительных и ремонтных работ: транспортировка и доставка в производственно-технический центр, работы по демонтажу и монтажу, проведение необходимых сварочных работ, использование ремонтных материалов, что ведет к простоя и снижению боевой готовности техники в течение продолжительного периода времени. Одним из путей решения данной проблемы является научно обоснованное изменение конструкции цистерны, в том числе за счет оптимизации количества, формы и размеров ребер жесткости, обеспечивающих повышение ее надежности и прочности. Однако определение необходимых геометрических параметров ребер жесткости и выбор мест их установки при минимальном увеличении массы пожарного автомобиля является весьма сложной технической задачей. Таким образом, цель работы состояла в модернизации эксплуатируемых цистерн пожарных автомобилей для повышения эксплуатационной надежности и увеличения межремонтного периода.

Основная часть

Методика исследований. Объектом исследований выбрана пожарная автоцистерна пятитонного водоизмещения на шасси МАЗ-5337 – одна из наиболее распространенных моделей на территории Республики Беларусь и уже вышедшая из гарантийного периода обслуживания. Для достижения поставленной цели работы применен методологический подход, включающий работы по экспериментальному определению возникающих виброускорений на стенках цистерн, а также разработку и расчет конечно-элементных моделей в программном комплексе ANSYS⁴. Порядок проведения испытаний и компьютерного моделирования представлен в работах [3; 4]. Для оценки и прогнозирования прочностных характеристик цистерн были проведены исследования при различных эксплуатационных режимах движения пожарных автомобилей: режим 1 – движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 км/ч; режим 2 – движение по проселочной дороге с неровностями со скоростью 20–30 км/ч; режим 3 – выезд с разворотом на скорости 10–15 км/ч; режим 4 – ускорение с места до скорости 30 км/ч и торможение. Расчет конечно-элементной модели цистерны объемом 5 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 позволил установить области в конструкции, которые подвержены наибольшему нагружению: область 1 – угловые соединения стенок; область 2 – торцевые соединения волноломов и стенок; область 3 – нахлесточные соединения ребер жесткости и боковых стенок; область 4 – угловые соединения передней, задней стенок и дна. Данные области сварных соединений приняты контрольными в дальнейшем расчете. Данные области приняты контрольными и указывают на сварные соединения элементов конструкции цистерн. На рисунке 1а представлены максимальные значения эквивалентных напряжений по Мизесу в контрольных областях цистерны при различных режимах движения пожарного автомобиля. Полученные результаты коррелируют с информацией, предоставленной производственно-техническими центрами, осуществляющими ремонт цистерн данного типа.

⁴ Методика динамического моделирования напряженно-деформированного состояния элементов и узлов конструкций оболочечного типа. – Гомель: ГФ УГЗ МЧС РБ, 2017. – 10 с. – 24.07.2017.

На рисунке 1б представлены соответствующие значения коэффициента запаса прочности, что позволяет судить об эксплуатационной надежности цистерны и способности выдерживать нагрузки выше расчетных значений. При этом необходимо отметить, что рекомендованные значения коэффициентов запаса прочности для пожарных автоцистерн в литературе отсутствуют [1; 5–7], а их выбор осуществляется на основании опыта эксплуатации аналогичных изделий и составляет 1,7–1,8. При определении допустимых напряжений для сварных швов используется понижающий коэффициент $\varphi = 0,80–0,85$, который учитывает то, что в околосшовной зоне снижаются механические характеристики основного металла [8; 9].

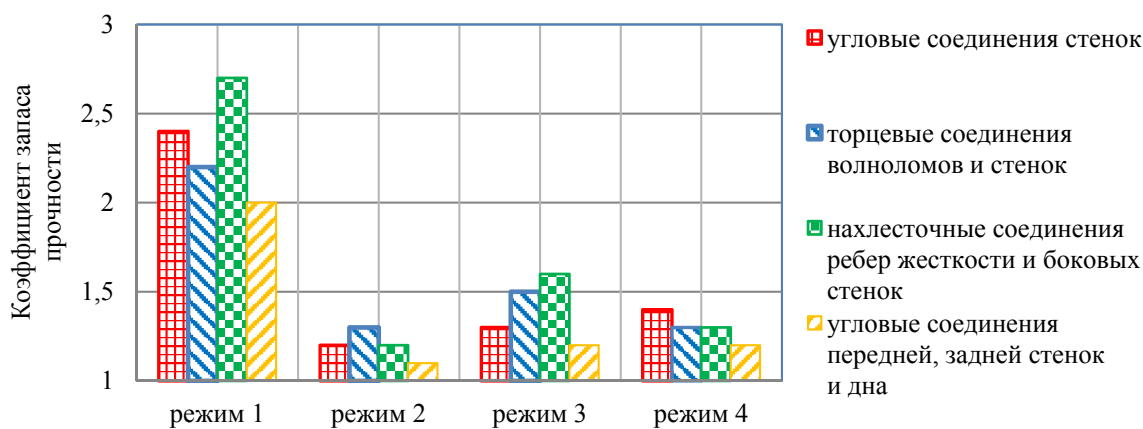
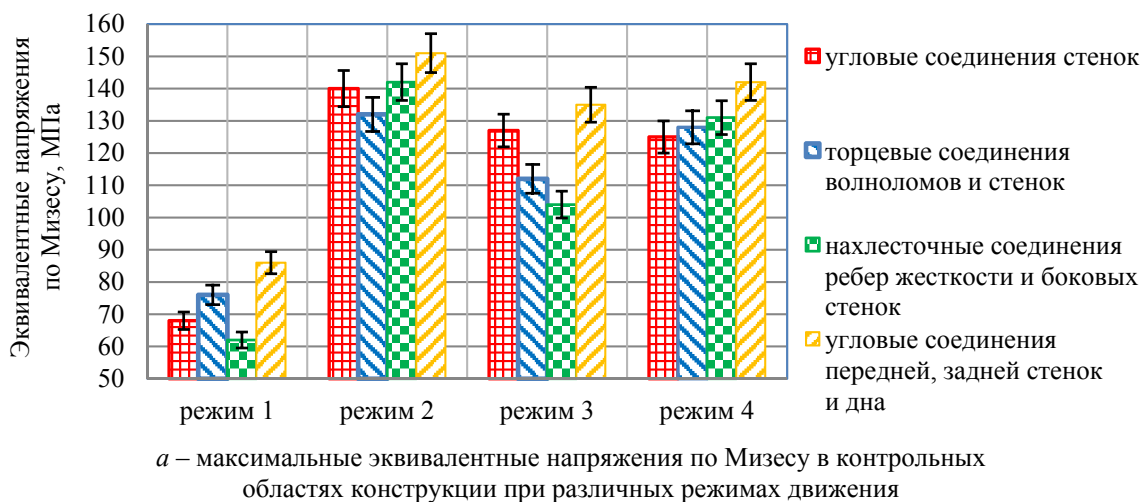


Рисунок 1. – Результаты расчета напряженно-деформированного состояния серийной цистерны пожарного автомобиля

Анализ результатов расчета позволил установить, что наибольшие эквивалентные напряжения по Мизесу в конструкции цистерны возникают при режиме 2 движения пожарного автомобиля, при этом коэффициент запаса прочности составляет 1,1–1,3.

Результаты исследований. Для повышения эксплуатационной надежности и увеличения межремонтного периода эксплуатируемых цистерн пожарных автомобилей проведены проектные расчеты, позволившие разработать способы их модернизации. Исследования проведены для случая движения пожарного автомобиля по проселочной дороге с неровностями со скоростью 20–30 км/ч, при котором зафиксированы наибольшие значения возникающих напряжений в конструкции цистерны. Результаты позволили снизить напряженно-деформированное состояние угловых сварных соединений передней, задней стенок

и дна цистерны. Предложены различные варианты изменений в конструкции. Для наглядности предлагаемых изменений на рисунке 2а представлена 3D-модель серийной цистерны пожарного автомобиля с указанием фрагмента «А» – вид изнутри углового сварного соединения передней, боковой стенок и дна. В целях полного и достаточного анализа распределения полей эквивалентных напряжений на рисунке 2б представлена конечно-элементная модель цистерны с указанием фрагмента «А*» – вид снаружи углового сварного соединения передней стенки и дна.

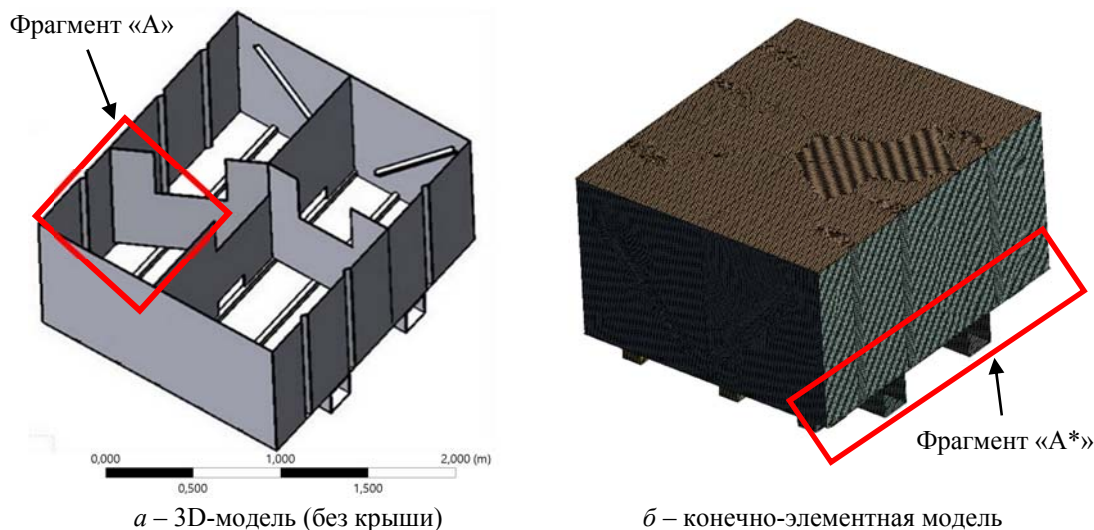


Рисунок 2. – 3D-модели серийной цистерны объемом 5 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337

На рисунке 3а представлена 3D модель серийной цистерны, а на рисунке 3б 3D-модель модернизированной цистерны. В качестве элемента модернизации конструкции предложена дополнительная установка восьми профилей равнополочных П-образного сечения размерами 50 × 50 × 3 мм (двух длиной 300 мм, четырех – 400 мм, двух – 780 мм), закрепленных на дне цистерны на расстоянии 15–20 мм от угловых сварных соединений передней, задней стенок и дна (рис. 3в, 3г). В качестве альтернативного решения предложена установка восьми уголков равнополочных размерами 50 × 3 мм (двух длиной 300 мм, четырех – 400 мм, двух – 780 мм), закрепленных сварными соединениями с передней, задней стенками и дном (рис. 3д, 3е).

На рисунке 4а представлены результаты расчета напряженно-деформированного состояния конечно-элементной модели серийной цистерны пожарного автомобиля, а на рисунках 4б и 4в – результаты расчета модернизированной цистерны пожарного автомобиля.

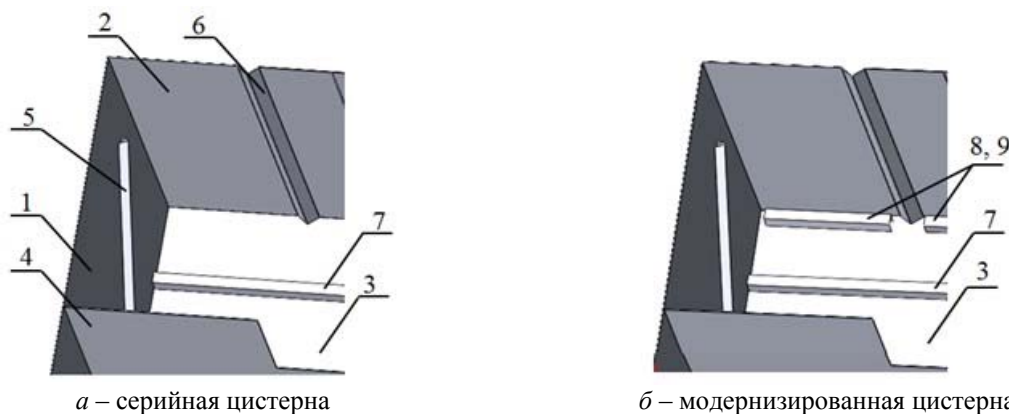
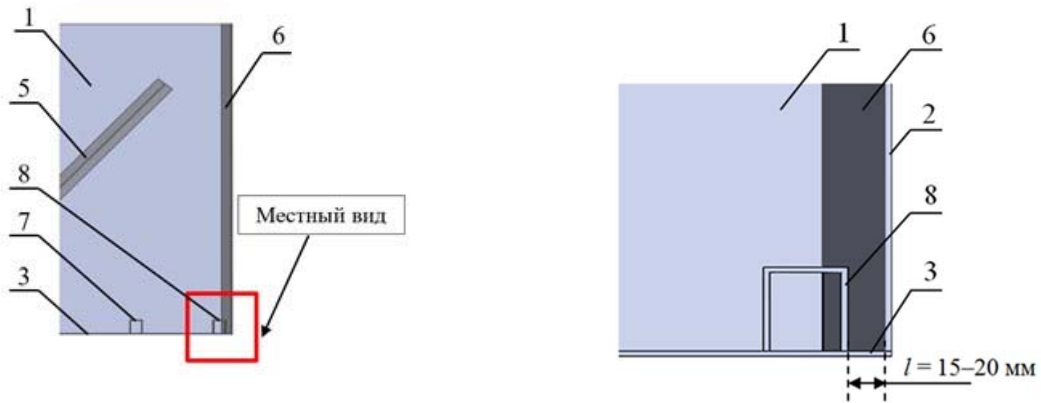


Рисунок 3. – 3D-модели серийной и модернизированной цистерны пожарного автомобиля (фрагмент «А»): 1 – боковая стенка; 2 – передняя стенка; 3 – дно; 4 – продольный волнолом; 5 – ребро жесткости на боковой стенке; 6 – ребро жесткости на передней стенке; 7 – профиль П-образного сечения; 8 – дополнительный профиль П-образного сечения; 9 – дополнительный уголок



в – вид сбоку модернизированной цистерны с установкой профилей П-образного сечения

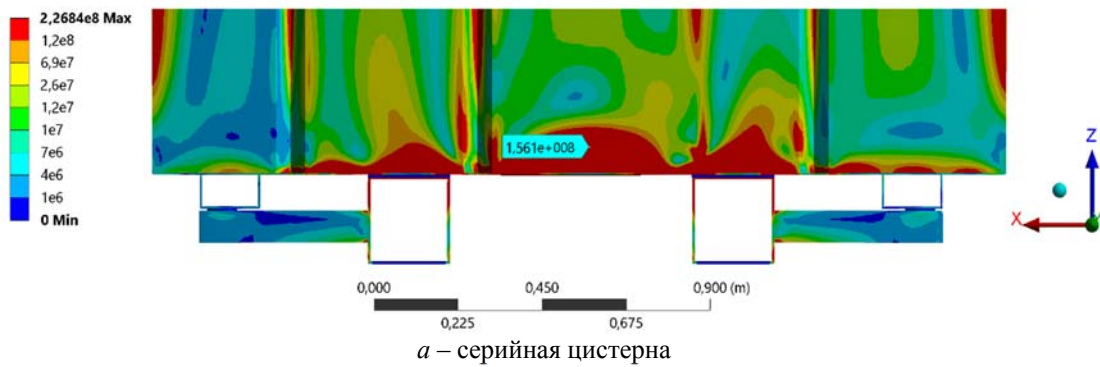
г – местный вид модернизированной цистерны с установкой профилей П-образного сечения



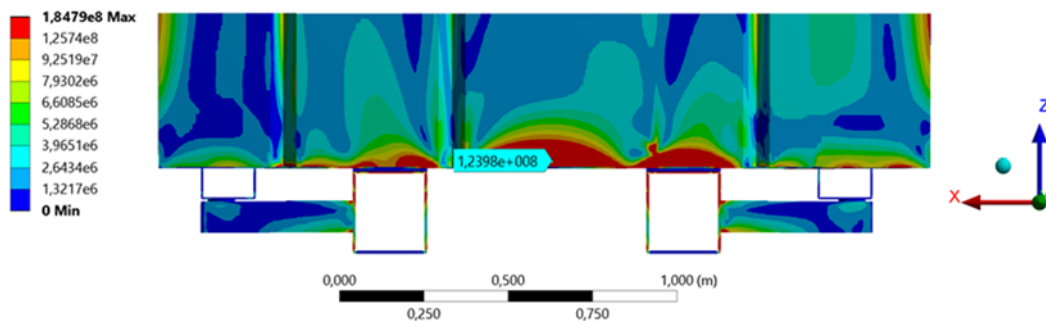
д – вид сбоку модернизированной цистерны с установкой уголков

е – местный вид модернизированной цистерны с установкой уголков

Рисунок 3. – 3D-модели серийной и модернизированной цистерны пожарного автомобиля (фрагмент «А»)



а – серийная цистерна



б – модернизированная цистерна с установкой профилей П-образного сечения

Рисунок 4. – Результаты расчета моделей цистерн пожарных автомобилей: распределение полей эквивалентных напряжений по Мизесу в конструкции (фрагмент «А*»), Па

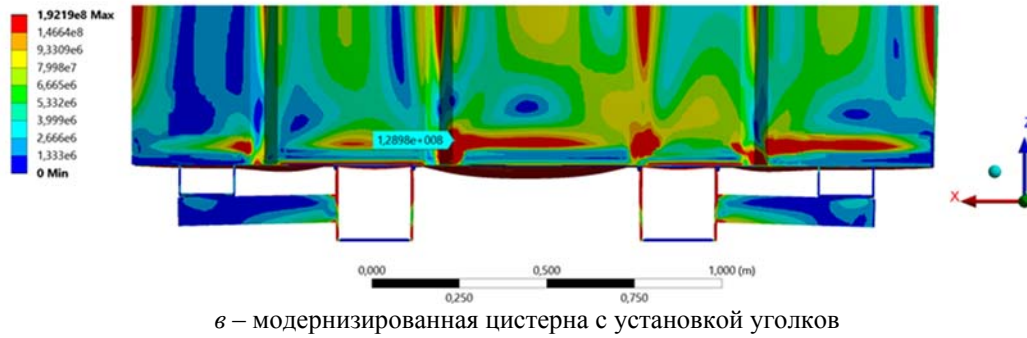


Рисунок 4. – Результаты расчета моделей цистерн пожарных автомобилей: распределение полей эквивалентных напряжений по Мизесу в конструкции (фрагмент «А*»), Па

На рисунке 5 представлен сравнительный анализ максимальных значений эквивалентных напряжений по Мизесу в областях угловых сварных соединений цистерны пожарного автомобиля от вида устанавливаемых элементов при модернизации. В результате было показано, что дополнительная установка восьми профилей равнополочных П-образного сечения размерами $50 \times 50 \times 3$ мм (двух длиной 300 мм, четырех – 400 мм, двух – 780 мм), закрепленных на дне цистерны на расстоянии 15–20 мм от углового сварного соединения передней, задней стенок и дна позволяет снизить эквивалентные напряжения по Мизесу в этих областях сварных соединений на 32–41 МПа, а также в областях угловых сварных соединений стенок на 12–20 МПа.

В работах [10; 11] представлен анализ ранее полученных результатов исследований и обоснование способов модернизации цистерны объемом 5 м^3 пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337:

- дополнительная установка четырех косынок в виде полосы размерами $900 \times 150 \times 3$ мм в вертикальной плоскости под углом 45° к находящимся в контакте стенкам позволяет снизить эквивалентные напряжения по Мизесу в областях их угловых сварных соединений на 29–36 МПа;

- увеличение длины на 250 мм в верхней и нижней части четырех ребер жесткости, выполненных в виде уголка равнополочного размерами $1200 \times 6 \times 3$ мм и закрепленных на боковых стенках под углом 45° , позволяет снизить эквивалентные напряжения по Мизесу в областях угловых сварных соединений стенок на 9–19 МПа, торцевых сварных соединений волноломов к стенкам на 19–28 МПа, а также нахлесточных сварных соединений ребер жесткости к боковым стенкам на 61–69 МПа.

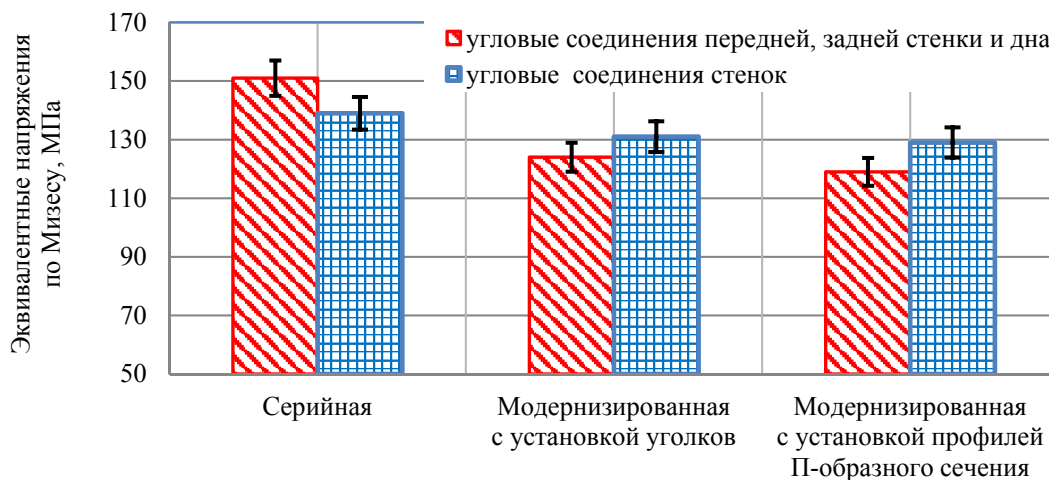


Рисунок 5. – Эквивалентные напряжения по Мизесу в областях угловых соединений исследуемых конструкций цистерн

На основании результатов проведенных исследований разработана 3D-модель модернизированной цистерны объемом 5 м³ пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337, в которой комплексно реализованы предлагаемые изменения в конструкции. Ее конечно-элементная модель содержит 392 576 узлов и 335 240 элементов. В целях оценки достаточности и эффективности предлагаемых способов модернизации цистерны выполнен сравнительный расчет напряженно-деформированного состояния конечно-элементных моделей серийной и модернизированной цистерн пожарных автомобилей. Анализ распределения полей эквивалентных напряжений в модернизированной цистерне позволил установить значительное снижение уровня максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу, возникающих в конструкции: в модернизированной цистерне $\sigma_{\max} = 184$ МПа, в серийной $\sigma_{\max} = 227$ МПа (рис. 6).

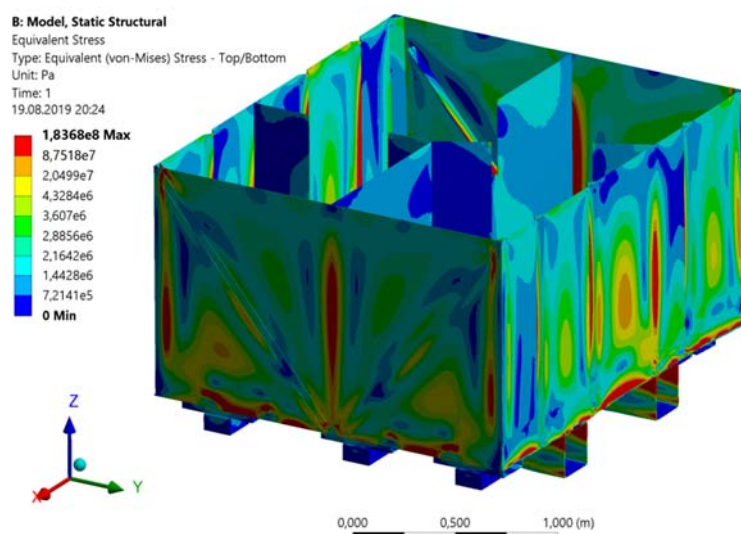
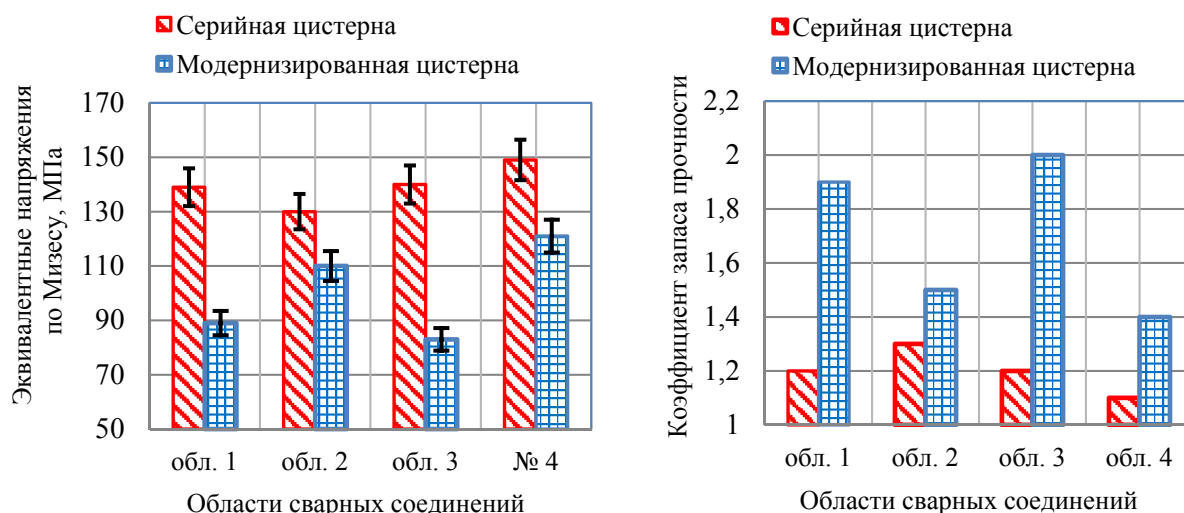


Рисунок 6. – Результаты расчета конечно-элементной модели модернизированной цистерны пожарного автомобиля: распределение полей эквивалентных напряжений в конструкции, Па

На рисунке 7 представлен сравнительный анализ максимальных значений эквивалентных напряжений по Мизесу и коэффициента запаса прочности в контрольных областях сварных соединений серийной и модернизированной цистерн пожарных автомобилей.



а – максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу в контрольных областях конструкции

б – коэффициент запаса прочности в контрольных областях конструкции

Рисунок 7. – Результаты расчета напряженно-деформированного состояния серийной и модернизированной цистерны пожарного автомобиля

В результате установлено значительное уменьшение значений эквивалентных напряжений во всех контрольных областях модернизированной конструкции. При этом комплексная практическая реализация разработанных способов модернизации цистерны обеспечила увеличение запаса прочности ее конструкции.

Результаты научных исследований использованы при проведении капитального ремонта четырех цистерн объемом 5 м³ пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337, эксплуатируемых в районных отделах по чрезвычайным ситуациям Гомельской области Республики Беларусь. Конструкция модернизирована с целью повышения их эксплуатационной надежности и увеличения межремонтного периода. Проведены осмотры технического состояния модернизированных цистерн пожарных автомобилей с применением метода неразрушающего контроля⁵. Для этого использовался комплект визуального инспекторского контроля ВИК-1, который применяется в измерительной диагностике сварных соединений конструкций, находящихся в эксплуатации [12]. Контроль качества сварочных работ осуществлялся непосредственно после модернизации цистерн пожарных автомобилей на наличие таких дефектов сварных соединений, как трещина, свищ, непровар, прожог, неметаллические и шлаковые включения, линейное и угловое смещение, несплавление⁶. На основании ежегодных осмотров модернизированных цистерн пожарных автомобилей в аварийно-спасательных подразделениях, эксплуатирующих данную технику, было установлено, что практическое применение разработанных способов модернизации позволило повысить эксплуатационную надежность конструкции цистерн и увеличить их межремонтный период в 1,5–2 раза, о чем свидетельствует отсутствие ремонтов по причине течи.

Заключение

Разработаны конечно-элементные модели цистерн, позволяющие оценить их напряженно-деформированное состояние и прочностные свойства в условиях оперативного движения пожарного автомобиля к месту ликвидации чрезвычайной ситуации. Установлены зависимости влияния геометрических параметров элементов цистерн пожарных автомобилей на формирование и распределение полей эквивалентных напряжений в конструкции. Проведен комплекс исследований, позволивших разработать способы модернизации цистерн, обеспечившие снижение напряженно-деформированного состояния в областях сварных соединений конструкции, в частности, в угловых сварных соединениях стенок на 36 %, торцевых сварных соединениях волноломов к боковым стенкам на 15 %, нахлесточных сварных соединениях ребер жесткости к боковым стенкам на 41 %, а также угловых сварных соединениях стенок и дна на 19 %. Результаты практического использования модернизированных цистерн пожарных автомобилей подтверждают, что разработка позволила увеличить их межремонтный период в 1,5–2 раза.

Таким образом, проведение подробного анализа результатов компьютерного моделирования еще на стадии проектирования позволяет оценить и спрогнозировать состояние расчетной конструкции в зависимости от различных режимов эксплуатации, а также дает возможность разрабатывать необходимые конструкционные изменения. Используемый методологический подход компьютерного моделирования, основанный на научно обоснованных подходах к прогнозированию состояния конструкций пожарных автоцистерн, может быть использован для решения задач по повышению эксплуатационной надежности различных емкостей для перевозки жидкости.

⁵ Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля: СТБ ISO 9712-2018. – Введ. 01.07.17. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. – 32 с.

⁶ Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определение: ГОСТ 30242-97. – Введ. 01.07.97. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Москва: Изд-во стандартов, 1997. – 9 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шимановский, А.О. Колебания и устойчивость автомобильных и железнодорожных цистерн, перевозящих жидкие грузы: дис. ... д-ра техн. наук: 01.02.06 / А.О. Шимановский. – Гомель, 2011. – 296 с.
2. Кулаковский, Б.Л. Исследование устойчивости пожарной автоцистерны против заноса при торможении / Б.Л. Кулаковский // Вестник Ком.-инж. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2010. – № 1 (11). – С. 73–84.
3. Короткевич, С.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей / С.Г. Короткевич, В.А. Ковтун // Вестник Воронежского ин-та ГПС МЧС России. – 2017. – № 4 (25). – С. 45–51.
4. Ковтун, В.А. Компьютерное моделирование и исследование напряженно-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей / В.А. Ковтун, С.Г. Короткевич, В.А. Жаранов // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 81–90. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.81.
5. Безбородько, М.Д. Пожарная техника: учебник / М.Д. Безбородько [и др.]; под ред. М.Д. Безбородько. – 3-е изд. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 580 с.
6. Блинкова, А.Ю. Математическое моделирование волновых процессов в вязкоупругих оболочках и оболочках с конструкционным демпфированием, взаимодействующих с вязкой жидкостью: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.02.04 / А.Ю. Блинкова; СГТУ. – Саратов, 2015. – 20 с.
7. Kolaei, A. A coupled multimodal and boundary-element method for analysis of anti-slosh effectiveness of partial baffles in a partly-filled container / A. Kolaei, S. Rakheja, M.J. Richard // Computers & Fluids. – 2015. – Vol. 107. – P. 43–58. DOI: 10.1016/j.compfluid.2014.10.013.
8. Глинкин, С.А. Расчет деталей поршневых двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / С.А. Глинкин; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2013. – 107 с.
9. Демидов, С.П. Теория упругости: учебник / С.П. Демидов. – М.: Высшая школа, 1979. – 432 с.
10. Ковтун, В.А. Оптимизация конструкции цистерны пожарного автомобиля АЦ-5.0-50/4 на базе шасси МАЗ-5337 методом компьютерного моделирования / В.А. Ковтун [и др.] // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 38–45. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.38.
11. Короткевич, С.Г. Эксплуатационная надежность цистерн пожарных автомобилей: модернизация стальных конструкций в целях повышения их механических характеристик / С.Г. Короткевич, В.А. Ковтун // Вестник ПГУ. Серия В. – 2019. – № 3. – С. 90–94.
12. Калиниченко, Н.П. Визуальный и измерительный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 300 с.

Исследование влияния геометрических параметров элементов конструкции цистерны на ее прочностные характеристики при модернизации пожарных автомобилей

Research of the geometric parameters influence of tank constructional elements on its strength characteristics at modernization of fire-fighting trucks

Ковтун Вадим Анатольевич

доктор технических наук, профессор

Гомельский филиал государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра оперативно-тактической деятельности и техники, профессор

Адрес: ш. Речицкое, 65А,
246023, г. Гомель, Беларусь

e-mail: vadimkov@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9510-132X

Vadim A. Kovtun

Grand PhD in Technical Sciences, Professor

Gomel Branch of the State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Operational-tactical Activity and Technical Equipment, Professor

Address: sh. Rechitskoe, 65A,
246023, Gomel, Belarus

e-mail: vadimkov@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9510-132X

Короткевич Сергей Геннадьевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра промышленной безопасности, преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

e-mail: korotkevichsergei@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9388-0881

Sergey G. Korotkevich

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Industrial Safety, Lecturer

Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus

e-mail: korotkevichsergei@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9388-0881

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.316>

RESEARCH OF THE GEOMETRIC PARAMETERS INFLUENCE OF TANK CONSTRUCTIONAL ELEMENTS ON ITS STRENGTH CHARACTERISTICS AT MODERNIZATION OF FIRE-FIGHTING TRUCKS

Kovtun V.A., Korotkevich S.G.

Purpose. Modernization of operating fire trucks' tanks in order to increase operational reliability and to enhance the turnaround period.

Methods. The research was carried out using the ANSYS software package.

Findings. The estimated finite element models of tanks have been developed. They allow recognizing the nature of the liquid dynamic impact on the walls under various modes of firefighting engine movement, predicting the places of probable structural failure and justifying changes in the structure. The dependences of the geometric parameters influence of tank elements on its stress-strain state and strength properties during operation are established. The results of the theoretical substantiation of the optimal effectiveness of stiffeners usage (according to the criteria of construction safety margin, amount, size, location) in the tank structure are presented.

Application field of the research. The results of the research can be applied in the design of new and modernization of existing tanks for the transportation of liquid cargo by road.

Keywords: fire truck, tank, modernization, stress-strain state, computer modelling, finite element model, welded joint, stiffener, margin of safety.

(The date of submitting: June 5, 2020)

REFERENCES

1. Shimanovskiy A.O. *Kolebaniya i ustoychivost' avtomobil'nykh i zheleznodorozhnykh tsistern, perevozyashchikh zhidkie gruzy* [Fluctuations and stability of automobile and railway tanks carrying liquid cargo]: Grand PhD tech. sci. diss.: 01.02.06. Gomel, 2011. 296 p. (rus)
2. Kulakovskiy B.L. Issledovanie ustoychivosti pozharnoy avtotstisterny protiv zanosa pri tormozhenii [Investigation of the stability of a fire truck against skidding under braking]. *Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*, 2010. No. 1 (11). Pp. 73–84. (rus)
3. Korotkevich S.G., Kovtun V.A. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya konstrukcij cistern pozharnykh avtomobilej [The research of strain-stress state of fire trucks tanks construction]. *Bulletin of the Voronezh Institute of the State Fire Service of the Emergencies Ministry of Russia*, 2017. No. 4 (25). Pp. 45–51. (rus)
4. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Zharanov V.A. Komp'yuternoe modelirovanie i issledovanie naprjazhjonno-deformirovannogo sostojaniya konstrukcij cistern pozharnykh avtomobilej [Computer simulation and research of the stress-strain state of fire truck tank construction]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 1. Pp. 81–90. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.81.
5. Bezborod'ko M.D., Aleshkov M.V., Tsarichenko S.G. *Pozharnaya tekhnika* [Fire fighting equipment]: textbook. Ed. by M. D. Bezborod'ko. 3rd ed. Moscow: State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 2015. – 580 p. (rus)
6. Blinkova A.Yu. *Matematicheskoe modelirovanie volnovykh protsessov v vyazkouprugikh obolochkakh i obolochkakh s konstruktsionnym dempfirovaniem, vzaimodeystvuyushchikh s vyazkoy zhidkost'yu* [Mathematical modeling of wave processes in viscoelastic shells and shells with structural damping interacting with a viscous fluid]: PhD tech. sci. diss. synopsis: 01.02.04. Saratov, 2015. 20 p. (rus)
7. Kolaei A., Rakheja S., Richard M.J. A coupled multimodal and boundary-element method for analysis of anti-slosh effectiveness of partial baffles in a partly-filled container. *Computers & Fluids*, 2015. Vol. 107. Pp. 43–58. DOI: 10.1016/j.compfluid.2014.10.013.
8. Glinkin S.A. *Raschet detaley porshnevnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Calculation of the details of piston internal combustion engine]: tutorial. Ed. by S.A. Glinkin. Vladimir State University. Vladimir: Izdatel'stvo VIGU, 2013. 107 p. (rus)
9. Demidov S.P. *Teoriya uprugosti* [Elasticity theory]: textbook. Moscow: Vysshaya shkola, 1979. 432 p. (rus)
10. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Pasovets V.N., Todorov I. Optimizatsiya konstruktsii tsisterny pozharnogo avtomobilya AC-5.0-50/4 na baze shassi MAZ-5337 metodom komp'yuternogo modelirovaniya

[Operational safety improvement of the fire truck's tank AC-5.0-50/4 based on the chassis MAZ-5337 by the method computer modeling]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 1. Pp. 38–45. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.38.

11. Korotkevich S.G., Kovtun V.A. Ekspluatatsionnaya nadezhnost' tsistern pozharnykh avtomobiley: modernizatsiya stal'nykh konstruktsiy v tselyakh povysheniya ikh mekhanicheskikh kharakteristik [Operational reliability of fire tank cars: modernization of steel structures in order to increase their mechanical characteristics]. *Vestnik of PSU. Series B*, 2019. No. 3. P. 97–101. (rus)
12. Kalinichenko N.P., Kalinichenko A.N. *Vizual'nyy i izmeritel'nyy kontrol'* [Visual and measuring control]: tutorial for the training of specialists of I, II and III levels. Tomsk: Tomsk Politechnic University, 2009. 300 p. (rus)