

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ УПРОЧНЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЗЕРВУАРОВ ЦИСТЕРН ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Короткевич С. Г., Ковтун В. А.

Университет гражданской защиты, Республика Беларусь

Введение. Анализ работы аварийно-спасательных подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, направленной на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций различного характера, свидетельствует о том, что фактор времени оказывает решающее влияние на процесс развития пожаров и размер причиняемого ущерба. Статистика свидетельствует, что 98 % от общего числа погибших приходится на начальный период развития пожаров [1]. Одним из определяющих факторов в борьбе с пожарами является своевременное прибытие аварийно-спасательных подразделений, которое во многом зависит от наличия современной и надежной техники. К основным транспортным средствам специального назначения относятся пожарные автоцистерны, количество которых в подразделениях МЧС в 2021 году составило 2027 единиц, из них 61,8 % смонтировано на шасси Минского автомобильного завода (МАЗ).

Ежедневное следование пожарных автомобилей к месту возникновения чрезвычайных ситуаций происходит в режимах «ускорение», «торможение», «поворот» [2]. Большое количество пожаров происходит в сельской местности, а также в природных экосистемах, что вызывает необходимость осуществлять движение пожарных автоцистерн по проселочным дорогам, а также в условиях бездорожья. При таких условиях конструкции резервуаров цистерн испытывают значительные инерционные нагрузки, передаваемые через раму шасси и от перевозимой жидкости. Проведенный анализ показал, что часто встречающейся причиной ремонтов пожарных автомобилей является нарушение сварных соединений элементов металлоконструкции резервуаров цистерны. Одним из путей решения данной проблемы является научно-обоснованное проектирование цистерн, а также исследование уровня напряжений, возникающих в наиболее ответственных узлах при различных условиях эксплуатации пожарных автомобилей, что является сложной технической задачей.

Методика исследований. Объектом исследований выбраны наиболее распространенные модели цистерн объемом 8 м³ пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317. Для оценки напряженного состояния конструкций цистерн, возникающего при различных режимах и условиях движения пожарных автомобилей, предложена новая расчетная методика, основанная на двухэтапном подходе, включающем экспериментальное установление максимальных значений ускорений, возникающих под действием инерционных нагрузок в конструкциях резервуаров цистерн, и разработку адаптированных к режимам движения пожарных автомобилей 3D конечно-элементных моделей [3].

Для проведения исследований значений ускорений определены параметры и условия, характеризующие особенности режимов движения пожарных автомобилей к месту возникновения чрезвычайных ситуаций: режим № 1 – движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50±2 км/ч; режим № 2 – движение по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч [4]; режим № 3 – движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50±2 км/ч с последующим замедлением двигателем до скорости 10–15 км/ч для вхождения в левый

поворот на 90° ; режим № 4 – ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 ± 2 км/ч и экстренное торможение до полной остановки.

Создание 3D моделей резервуаров цистерн объемом 8 м^3 пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317 в масштабе 1:1 проводились в программном комплексе SolidWorks (рисунок 1), а разработка их конечно-элементных моделей и расчет – в программном комплексе ANSYS.

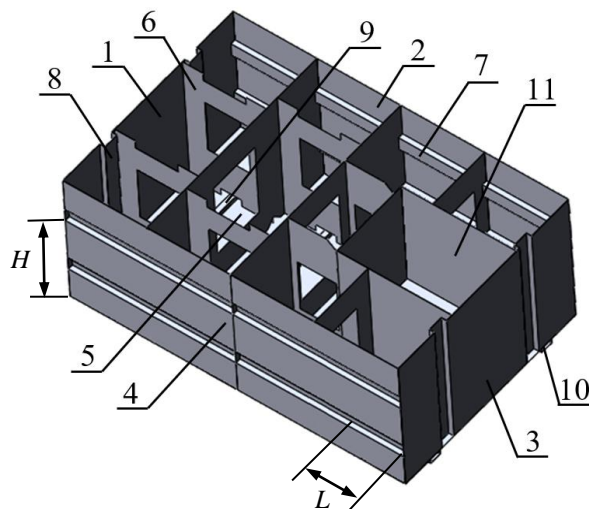


Рис. 1. 3D модель резервуара серийной цистерны объемом 8 м^3 пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317 (вид без крыши): 1, 3 – передняя и задняя стенки; 2, 4 – боковые стенки; 5 – дно; 6 – волноломы (внутренние продольные и поперечные); 7, 8 – ребра жесткости; 9 – поперечные усиления в виде профилей П-образного сечения; 10 – продольные лонжероны; 11 – пенобак

Конструкции цистерн пожарных автомобилей включают расположенные внутри волноломы и элементы, повышающие их прочность (ребра жесткости), дно цистерн опирается через демфирующие элементы на два лонжерона. Резервуары цистерн выполнены из нержавеющей стали марки AISI 430 2В. Разработанные их конечно-элементные модели содержат более 300 000 элементов и узлов [5]. Для каждого режима движения пожарных автомобилей заданы гидравлическое давление на стенки цистерны с учетом вектора действующей силы (по осям XYZ) и плотности жидкости, а также установленное экспериментально максимальное значение ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкции: режим № 1 – $9,2 \text{ м/с}^2$, режим № 2 – $24,6 \text{ м/с}^2$, режим № 3 – $18,1 \text{ м/с}^2$, режим № 4 – $22,7 \text{ м/с}^2$ [6; 7].

Расчет 3D конечно-элементных моделей цистерн пожарных автомобилей позволил исследовать характер формирования и распределения полей напряжений, возникающих в конструкциях, а также установить наиболее нагруженные соединения элементов резервуаров (рисунок 2).

Анализ полученных результатов расчета позволил установить (рисунок 3), что наибольшие эквивалентные напряжения по Мизесу в конструкциях резервуаров цистерн объемом 8 м^3 пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317 возникают при моделировании режима № 2 (движение по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч). При этом, максимальные значения эквивалентных напряжений по Мизесу составляют $\sigma_{\text{экв.}} = 137\text{--}176 \text{ МПа}$.

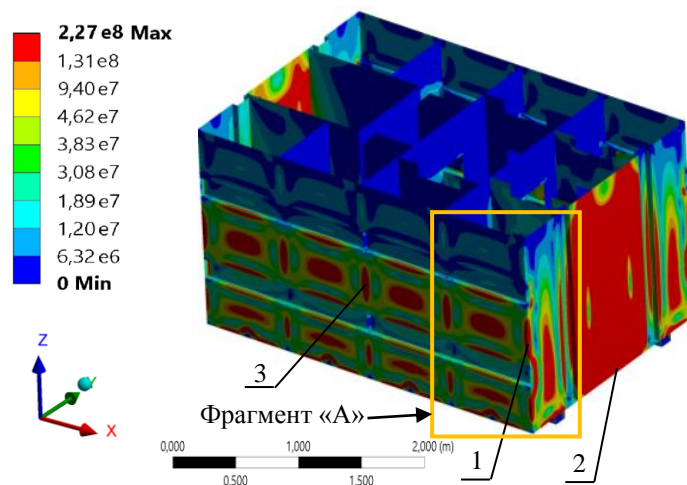


Рис. 2. 3D модель распределения полей эквивалентных напряжений, возникающих в конструкции резервуара серийной цистерны объемом 8 м^3 , при моделировании режима движения № 2 пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317, Па: 1 – угловые соединения стенок; 2 – угловые соединения передней, задней стенок и дна; 3 – тавровые соединения волноломов и стенок

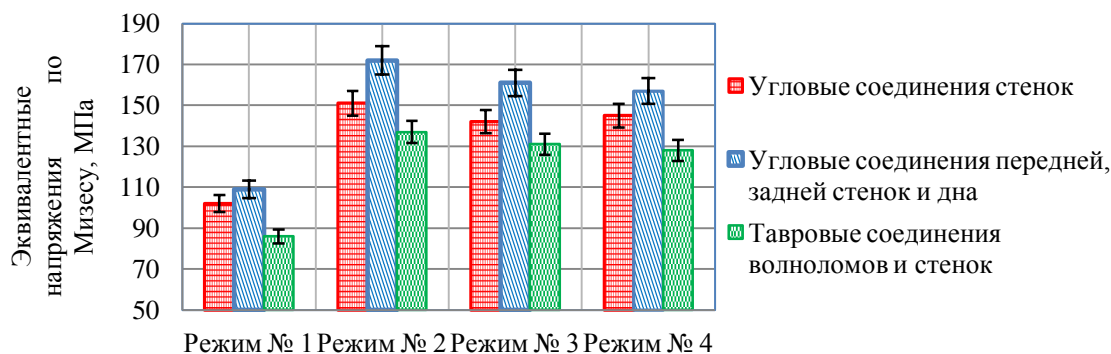


Рис. 3. Зависимости эквивалентных напряжений, возникающих в наиболее нагруженных соединениях резервуара серийной цистерны объемом 8 м^3 , от режимов движения пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317

В связи с этим, режим движения № 2 пожарных автомобилей принят для проведения дальнейших проектных расчетов. Для наиболее полного анализа распределения полей эквивалентных напряжений при проведении расчетов на рисунок 2 представлена расчетная модель резервуара цистерны с указанием фрагмента «А» – вид снаружи углового соединения передней и боковой стенок и таврового соединения поперечных волноломов и боковой стенки конструкции.

Проектные расчеты. Для повышения надежности резервуаров цистерн пожарных автомобилей проведен комплекс исследований, который позволил разработать ряд конструктивных изменений. Для снижения напряжений, возникающих в областях угловых соединений стенок цистерны, проведены исследования рациональных геометрических параметров элементов, повышающих прочность конструкции, в частности, горизонтальных ребер жесткости на ее боковых стенках, выполненных штамповкой. При проведении расчетов рассматривалось изменение величины отступа L от каждой стороны угловых соединений стенок резервуара (рисунок 1). На рисунке 4 представлены результаты проектных расчетов.

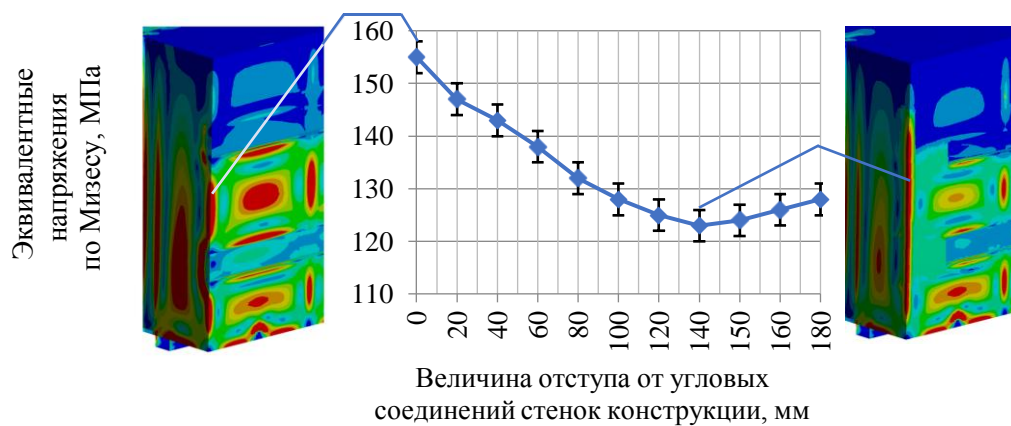


Рис. 4. Зависимость эквивалентных напряжений, возникающих в областях угловых соединений резервуара цистерны объемом 8 м^3 пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317, от геометрических параметров горизонтальных ребер жесткости на ее боковых стенках и вид распределения полей напряжений в характерных точках на фрагменте «А» цистерны

В результате установлено, что при выполнении горизонтальных ребер жесткости на боковых стенках цистерны без контакта с угловыми соединениями передней, задней и боковых стенок резервуара на отступ равный $L = 140 \text{ мм}$ от каждой стороны данных соединений обеспечивается снижение на 32–34 МПа уровня напряжений, возникающих в исследуемых областях.

Для снижения напряжений, возникающих в областях тавровых соединений поперечных волноломов и боковых стенок цистерны пожарных автомобилей, проведены расчеты по оптимизации с учетом изменения высоты H расположения верхнего горизонтального ребра жесткости на ее боковых стенках от дна резервуара (рисунок 1). На рисунке 5 представлены результаты проектных расчетов.

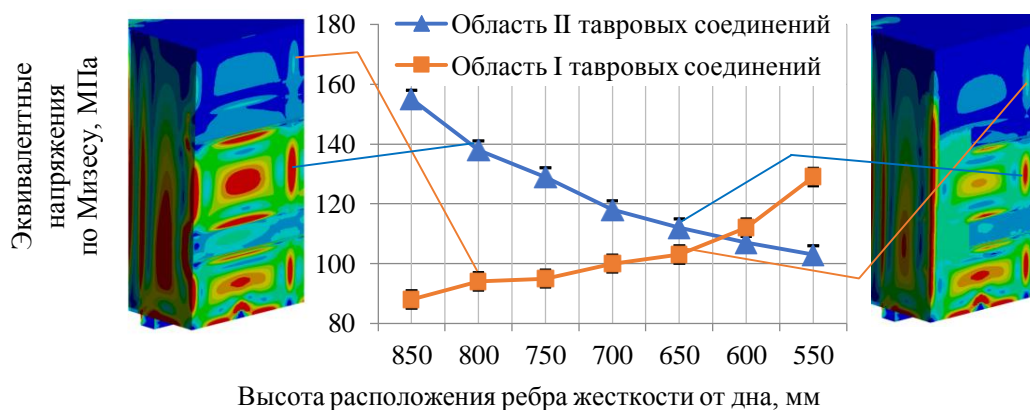


Рис. 5. Зависимости эквивалентных напряжений, возникающих в областях тавровых соединений резервуара цистерны объемом 8 м^3 пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317, от высоты расположения верхнего горизонтального ребра жесткости и вид распределения полей напряжений в характерных точках на фрагменте «А» цистерны

В результате исследований установлено, что снижение высоты верхнего ребра жесткости со стандартной (серийное исполнение) $H = 800 \text{ мм}$ до $H = 650 \text{ мм}$ в модернизированной цистерне, обеспечивает снижение на 24–26 МПа уровня напряжений, возникающих в областях II тавровых соединений поперечных волноломов и боковых стенок. При этом в областях I данных соединений рост напряжений составляет 9–11 МПа. Дальнейшее снижение высоты расположения верхнего ребра жесткости способствует

критическому росту напряжений в областях I тавровых соединений поперечных волноломов и боковых стенок (рисунок 5).

Заключение. В работе представлены результаты применения новой расчетной методики, позволяющей проектировать элементы и узлы конструкций резервуаров цистерн пожарных автомобилей. Отличительной особенностью разработанной методики является учет эксплуатационных нагрузок, характеризующих режимы движения пожарных автомобилей к месту ликвидации чрезвычайных ситуаций. На основании результатов исследований получены новые зависимости, связывающие уровень напряжений, возникающих в областях угловых соединений резервуаров цистерн *объемом* 8 м³, с режимами движения пожарных автомобилей МАЗ-6317, а также геометрическими параметрами элементов, повышающих прочность их конструкций. Проведенный комплекс расчетов позволил обосновать выбор рациональных геометрических параметров горизонтальных ребер жесткости на стенках резервуаров цистерн прямоугольного сечения пожарных автомобилей, применение которых обеспечивает повышенную эксплуатационную надежность данных конструкций.

Комплексная практическая реализация разработанных научно-обоснованных рекомендаций по проектированию осуществлена в модернизированной цистерне объемом 8 м³ пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317. Полученные результаты обеспечили снижение уровня напряжений на 32–34 МПа и 24–26 МПа, возникающих в областях угловых соединений стенок и тавровых соединений поперечных волноломов и боковых стенок соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ обстановки с чрезвычайными ситуациями в Республике Беларусь в 2016 году / А. В. Жовна [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2017. – № 1 (41). – С. 24–30.
2. Высоцкий, М. С. Динамика автомобильных и железнодорожных цистерн / М. С. Высоцкий, Ю. М. Плескачевский, А. О. Шимановский. – Минск : Белавтотракторостроение, 2006. – 320 с.
3. 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. граждан. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 81–90.
4. Автомобильные дороги = Аўтамабільныя дарогі : СН 3.03.04–2019. – Введ. 26.12.19 (с отменой ТКП 45–3.03–19–2006 (02250)). – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 55 с.
5. Короткевич, С. Г. Экспериментально-теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния цистерн пожарных автомобилей в процессе их эксплуатации / С. Г. Короткевич, В. А. Ковтун // Механика. Исследования и инновации. – 2021. – Вып. 14. – С. 112–118.
6. Ковтун, В. А. Исследование напряженного состояния цистерн водоизмещением восемь тонн при движении пожарных автомобилей к месту ликвидации чрезвычайных ситуаций / В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого. – 2022. – № 1. – С. 39–47.
7. Инженерный анализ в ANSYS Workbench : учеб. пособие / В. А. Бруйка [и др.]. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.

Поступила: 18.03.2023