

ИССЛЕДОВАНИЕ УСКОРЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИНЕРЦИОННЫХ НАГРУЗОК В КОНСТРУКЦИЯХ ЦИСТЕРН ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ К МЕСТУ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Ковтун В.А., Короткевич С.Г.

Цель. Экспериментальное исследование влияния режимов движения пожарных автомобилей на уровень значений ускорения, возникающего в конструкциях цистерн под действием инерционных нагрузок. Для достижения поставленной цели проводимая работа включала выбор необходимого измерительного оборудования, определение мест установки датчиков и условий проведения эксперимента, обработку полученных экспериментальных данных.

Методы. При проведении исследований использовано современное измерительное оборудование, включающее анализатор шума и вибрации Larson-Davis 2900, пьезоэлектрические акселерометры типа 352C18. Полученные экспериментальные результаты измерений подлежали обработке с использованием математических методов анализа для учета погрешностей измерений.

Результаты. Представлены результаты экспериментальных исследований общего уровня ускорения, возникающего на стенках и дне резервуара конструкций цистерн при различных режимах движения пожарных автомобилей. В результате обработки данных получены зависимости, связывающие параметры (скорость, ускорение, торможение, поворот) и условия (вид дорожного покрытия), характеризующие особенности режимов движения пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317, со значениями ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкциях цистерн объемом 5, 8 и 10 м³. Полученные максимальные значения ускорения, которые составляют от 7,4 до 25,2 м/с², свидетельствуют о значительных инерционных нагрузках, возникающих в конструкциях цистерн, и в значительной мере зависят от режимов движения пожарных автомобилей и дорожного покрытия. Полученные данные подтверждают, что пожарные автоцистерны эксплуатируются в более тяжелых условиях, по сравнению с автомобилями иного типа.

Область применения исследований. Пожарные аварийно-спасательные подразделения, производственно-технические центры, промышленные предприятия и высшие учебные заведения.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, цистерна, режим движения, датчик, ускорение.

(Поступила в редакцию 8 января 2023 г.)

Введение

Оценка прочности технических конструкций является основой для определения их остаточного ресурса, работоспособности и безопасной эксплуатации. При проектировании и эксплуатации автотранспорта для точной оценки нагруженности элементов и узлов конструкций экспериментально определяют механические характеристики воздействия, которому подвергаются исследуемые объекты. Процесс перевозки жидких грузов характеризуется большими перемещениями центра масс груза в цистерне. Это обусловлено, в первую очередь ежедневной эксплуатацией пожарных автомобилей в режимах «ускорение», «торможение», «поворот» [1]. В соответствии с СТБ 2511-2017¹ испытаниям подвергают технически исправный пожарный автомобиль при полной массе. Пробеговые испытания пожарного автомобиля должны проводиться при нормальных значениях внешней

¹ Автомобили пожарные основные. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2511-2017. – Введ. 31.07.17 (с отменой НПБ 101-2005). – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2017. – 52 с.

среды², при этом приводится операционная карта городского движения пожарного автомобиля при выезде «по тревоге», которая включает такие режимы движения, как разгон до скорости 40 км/ч, разгон до скорости 50 км/ч, торможение до скорости 35 км/ч, разгон до скорости 65 км/ч, замедление двигателем до скорости 30 км/ч, разгон до скорости 70 км/ч, торможение до полной остановки. В соответствии с ГОСТ 22576-90³ измерения проводят на твердом гладком чистом и сухом участке дороги с хорошим сцеплением. Анализ существующих испытаний пожарных автомобилей показал, что рассматриваемые режимы движения не отражают в должной мере реальных условий их эксплуатации, например, ввиду возникающих пожаров в сельской местности и природных экосистемах, в связи с чем необходимо дополнительно рассматривать режим движения по проселочным и грунтовым дорогам. При этом операционная карта городского движения для пожарного автомобиля в режиме выезда «по тревоге» не учитывает наиболее нагруженных режимов движения, но встречающихся при эксплуатации: экстренное торможение до полной остановки пожарного автомобиля и вхождение в поворот на предельно допустимой скорости. В данных условиях конструкции цистерн испытывают значительные инерционные нагрузки, передаваемые через раму шасси и от перевозимой жидкости. Таким образом, целью работы является экспериментальное исследование влияния режимов движения пожарных автомобилей на уровень значений ускорения, возникающего в конструкциях цистерн под действием инерционных нагрузок.

Вибродиагностика является современным и точным средством контроля состояния сложных технических систем, которые подвержены воздействиям множества факторов в различных условиях эксплуатации. К таким в первую очередь относится автомобильный транспорт [2–4]. В общем случае в целях вибрационного контроля состояния машин используют акселерометры, выходной сигнал которых подвергается соответствующему преобразованию для получения требуемой величины⁴. Акселерометры являются датчиками инерционного типа. Их выходной сигнал пропорционален ускорению поверхности, на которой они установлены. Выбор датчика зависит от условий его применения. Проведенный анализ показал, что применение пьезоэлектрических виброизмерительных преобразователей (акселерометров) позволит оценить величину максимальных значений ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкциях цистерн пожарных автомобилей в зависимости от различных режимов движения. Для проведения экспериментальных исследований выбраны однокомпонентные пьезоэлектрические акселерометры типа 352С18. В акселерометрах серии 352 в качестве пьезоэлемента используется пьезо-керамика⁵. Согласно данным периодической аттестации датчиков погрешность по коэффициенту преобразования не превышает 5 %. При обработке данных, получаемых от акселерометров, использовался анализатор шума и вибрации Larson-Davis 2900.

Таким образом, целью работы является экспериментальное исследование влияния режимов движения пожарных автомобилей на уровень инерционных нагрузок, возникающих в конструкциях цистерн. В качестве объекта исследований выбраны наиболее распространенные модели цистерн объемом 5 м³ пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337, а также 8 и 10 м³ на шасси МАЗ-6317.

² Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды: ГОСТ 15150-1969. – Введ. 01.01.71. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1971. – 57 с.

³ Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний: ГОСТ 22576-90. – Введ. 01.01.92. – Минск: Гос. комитет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1992. – 15 с.

⁴ Вибрация и удар. Датчики инерционного типа для измерений вибрации и удара. Устанавливаемые характеристики: ГОСТ ИСО 8042-2002. – Введ. 01.04.08. – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 8 с.

⁵ Вибропреобразователи компании GLOBALTEST [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://globaltest.ru/ru/katalog/datchiki/vibropreobrazovateli/uskoreniya/>. – Дата доступа: 17.11.2019.

Основная часть

Методика проведения исследований. План проведения эксперимента включал следующие мероприятия:

- подготовку пожарного автомобиля;
- подготовку измерительного оборудования;
- определение мест установки датчиков и условий проведения эксперимента;
- проведение трех циклов измерения ускорения, возникающего в конструкции цистерны под действием инерционных нагрузок при различных режимах движения пожарного автомобиля;
- анализ полученных результатов измерений.

Принятая методика исследований была ориентирована на экономию материальных средств, необходимых для проведения экспериментов. Подготовка пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317 включала выведение из боевого расчета, а также для цистерны объемом 5 м³ частичную разборку путем снятия фальш-панелей (рис. 1а). При проведении исследований использовались четыре пьезоэлектрических акселерометра. Поверхность элементов конструкций, на которую устанавливаются датчик, была проверена на гладкость и наличие загрязнений, в отдельных местах подвергнута дополнительной шлифовке. Исследуемая поверхность цистерны не обладает магнитными свойствами и ее нельзя подвергать сверлению, поэтому для надежности крепления датчика наиболее эффективен способ установки на специальный клей на основе цианокриата. На рисунке 1б показан выбранный метод крепления акселерометра к поверхности конструкции цистерны пожарного автомобиля. Расхождение между осью чувствительности акселерометра и направлением измерений должно быть сведено к минимуму, в противном случае это вызовет появление погрешности измерений, что обусловлено поперечной чувствительностью акселерометра. Особенно большими эти погрешности будут в случае, когда колебания в поперечном направлении значительно превышают колебания в направлении оси чувствительности. При установке датчика на стенку цистерны и фиксации кабеля необходимо учитывать так называемый кабельный эффект, т.к. при движении кабель наводит на вход усилителя электродвижущую силу, возникающую в результате трения изоляции при движении автомобиля. Выбранным способом защиты являлось радиальное соединение кабеля с акселерометром, установленным на поверхности конструкции.

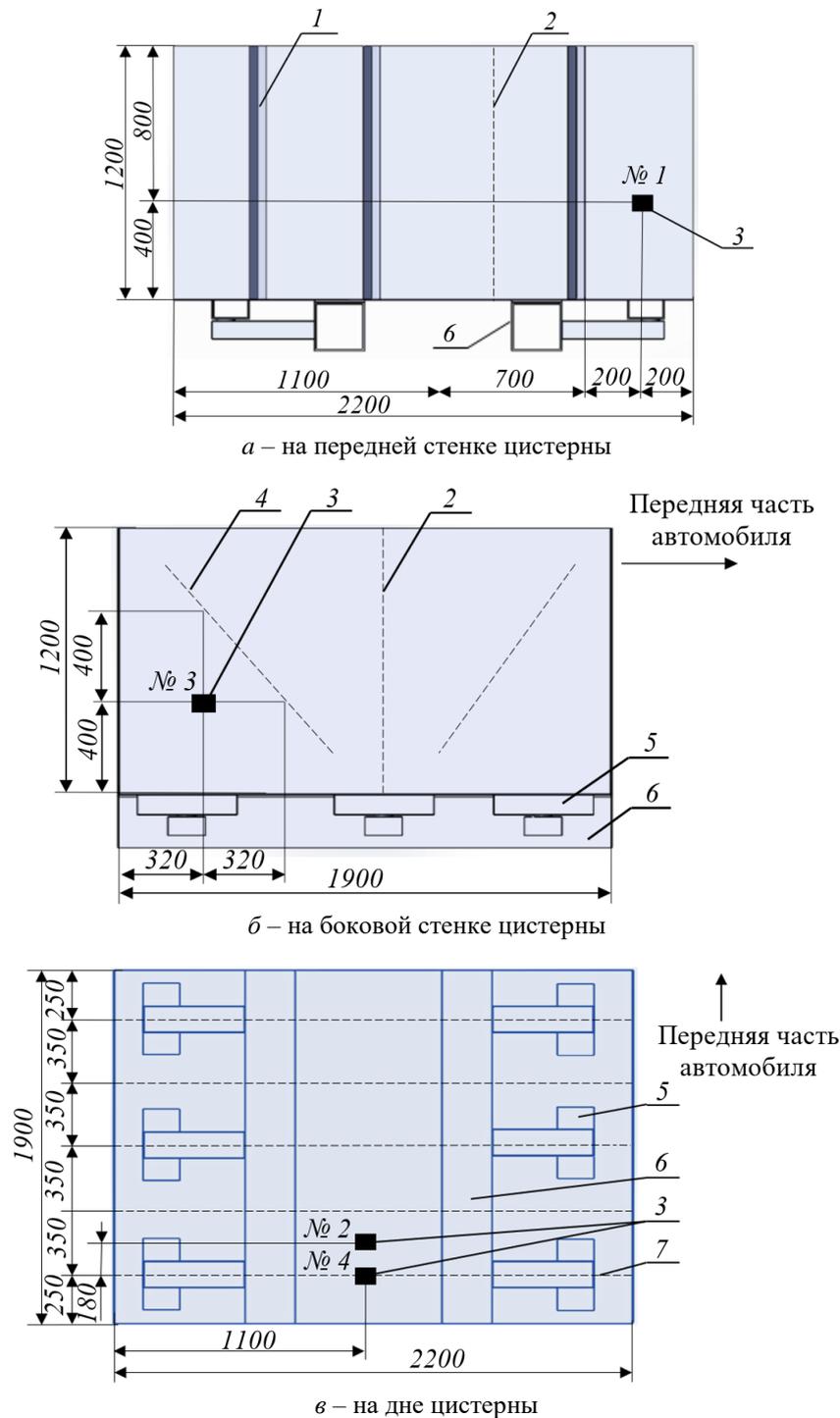


1 – поверхность конструкции; 2 – отсутствие натяжения кабеля; 3 – место фиксации кабеля на поверхности
Рисунок 1. – Общий вид надстройки пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 без фальш-панели цистерны (а), а также способ крепления датчика на стенку цистерны и фиксации кабеля (б)

Работа измерительного оборудования осуществлялась при температуре внешней среды 22 °С. При подготовке измерительного комплекса Larson-Davis 2900 выполнена установка нулевого значения ускорения, а также нахождение диапазона изменения значений исследуемого параметра. Испытания были сведены к измерению общего уровня ускорения,

возникающего в конструкции цистерны при различных параметрах и условиях движения пожарных автомобилей. На измерительном комплексе устанавливались следующие настройки: усреднение сигнала – экспоненциальное, время усреднения 1 с, вид оконной функции быстрого преобразования Фурье – окно Хеннинга.

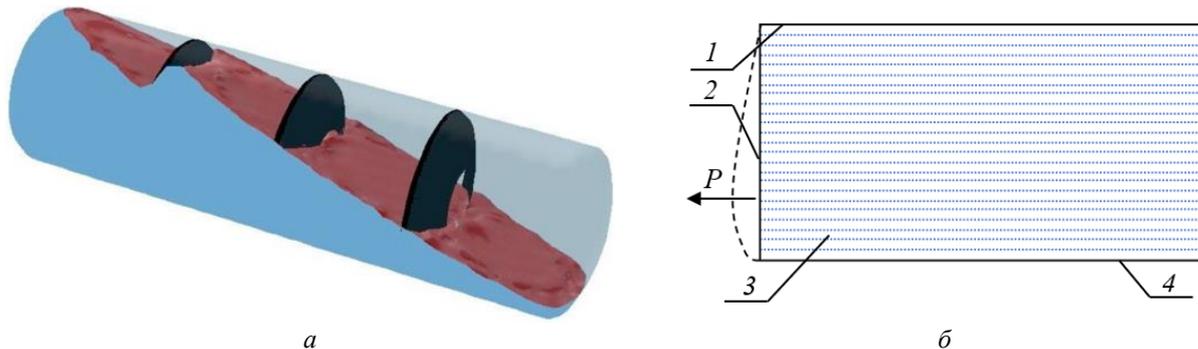
На рисунке 2 представлены места установки четырех акселерометров на стенках и дне конструкции цистерны объемом 5 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337.



1 – ребра жесткости; 2 – тавровое соединение волнолома и боковой стенки;
 3 – расположение акселерометров; 4 – внутренние ребра жесткости; 5 – кронштейн;
 6 – лонжерон; 7 – поперечные профили П-образного сечения внутри цистерны

Рисунок 2. – Схема расположения акселерометров на цистерне объемом 5 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 (размеры в мм)

Датчики 1, 2, 3 устанавливались снаружи конструкции цистерны на равноудаленном расстоянии от сварных швов, ребер жесткости и иных конструктивных элементов, влияющих на жесткость цистерны а также с учетом моделей (рис. 3а) [1; 5–8] и схем (рис. 3б) гидравлического нагружения. Так, согласно представленной схеме гидравлического нагружения конструкции цистерны, устанавливать датчики на ее передней и боковой стенках следует на высоте 1/3 от дна цистерны. Это необходимо для установления максимального уровня возникающего ускорения в момент торможения от действия гидравлического нагружения жидкости. Место установки датчика у правого края, отвечающего за учет влияния колебаний элементов конструкции в момент нагружения, зависит от расположения внутри волноломов, а также ребер жесткости на передней стенке.



1 – крыша; 2 – передняя стенка; 3 – перевозимая жидкость; 4 – дно; P – давление жидкости, Па
Рисунок 3. – Модель распределения жидкого груза в конструкции резервуара при уровне заполнения 60 % в момент торможения автомобиля (а) [7] и схема прогиба стенки цистерны под действием инерционных нагрузок (б)

Для наиболее полного представления о величине регистрируемых измерительным комплексом ускорений, характеризующих действующие эксплуатационные нагрузки, на основании анализа условий работы пожарных автомобилей, нормативно-технической документации и особенностей эксплуатации пожарной аварийно-спасательной техники на территории Республики Беларусь определены характерные эксплуатационные режимы, соответствующие реальным условиям следования автомобиля к месту возникновения чрезвычайной ситуации. Режим 1 включает движение по прямому участку асфальтированной дороги с максимально допустимой скоростью 50–70 км/ч. Режим 2 учитывает эксплуатацию пожарного автомобиля в сельской местности и включает движение по грунтовым дорогам категории VI-б⁶ с допустимой скоростью 20–30 км/ч⁷. Анализ нагрузок на конструкцию цистерн, возникающих в городских условиях движения пожарного автомобиля в режимах «ускорение», «торможение», «поворот», представлен в режимах 3 и 4. Режим 3 включает движение по прямому участку асфальтированной дороги с последующим замедлением двигателем до максимально допустимой скорости для вхождения в поворот под углом 90°, а режим 4 – ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 км/ч и экстренное торможение до полной остановки пожарного автомобиля [9].

Эксперимент проводился при полностью заполненной водой цистерне, как требует специфика работы пожарного автомобиля. Боевым уставом органов и подразделений по ЧС Республики Беларусь по организации тушения пожаров⁸ определено, что «заправка автоцистерн

⁶ Автомобильные дороги: СН 3.03.04-2019. – Введ. 26.12.19 (с отменой ТКП 45-3.03-19-2006 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 55 с.

⁷ Внутрихозяйственные автомобильные дороги в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях и организациях: СП 99.13330.2016. – Введ. 01.07.17. – М.: Стандартинформ, 2017. – 58 с.

⁸ Боевой устав органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь по организации тушения пожаров [Электронный ресурс]: приказ М-ва по чрезв. ситуациям Респ. Беларусь, 4 янв. 2021 г., № 1. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/prikazy/>. – Дата доступа: 25.05.2021.

водой после ликвидации пожара производится на ближайших к пожару водоисточниках, обеспечивающих заправку в кратчайшие сроки». Обоснование длины испытательных участков для характерных режимов движения пожарного автомобиля представлено в виде схемы на рисунке 4. При этом каждый участок можно условно разбить на 3 отрезка пути движения пожарного автомобиля, для которых устанавливается определенная последовательность действий.

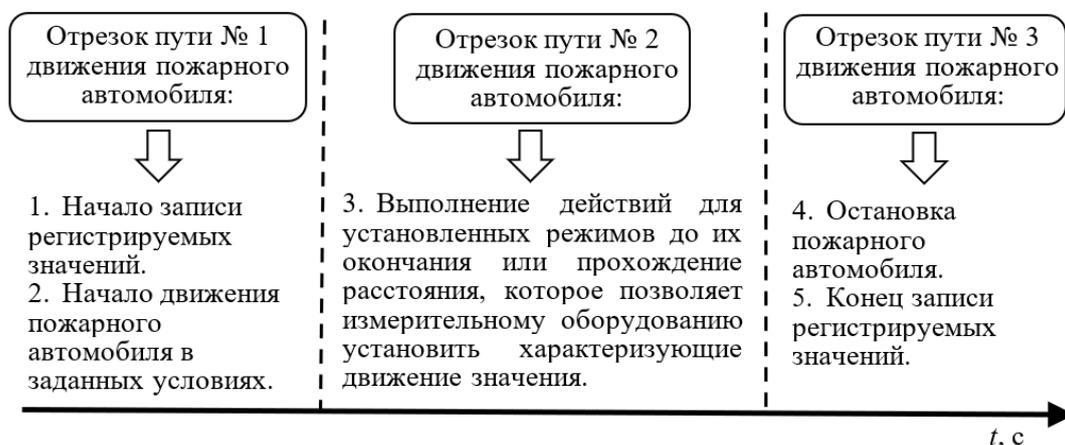


Рисунок 4. – Схематическое представление последовательности действий на каждом отрезке испытательного участка при движении пожарного автомобиля в характерных режимах

В результате исследований фиксируются зависимости получаемых значений ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкциях цистерн, от времени движения пожарного автомобиля.

Результаты исследований. Эксперименты в каждом режиме движения пожарных автомобилей проводились с повторением по 3 раза. В общей сложности проведено по 12 циклов измерений для каждой марки автомобиля. В качестве примера на рисунке 5 представлены результаты зафиксированных значений ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкции цистерны объемом 5 м³ при движении пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337, которые были получены после обработки данных измерительным комплексом Larson-Davis 2900.

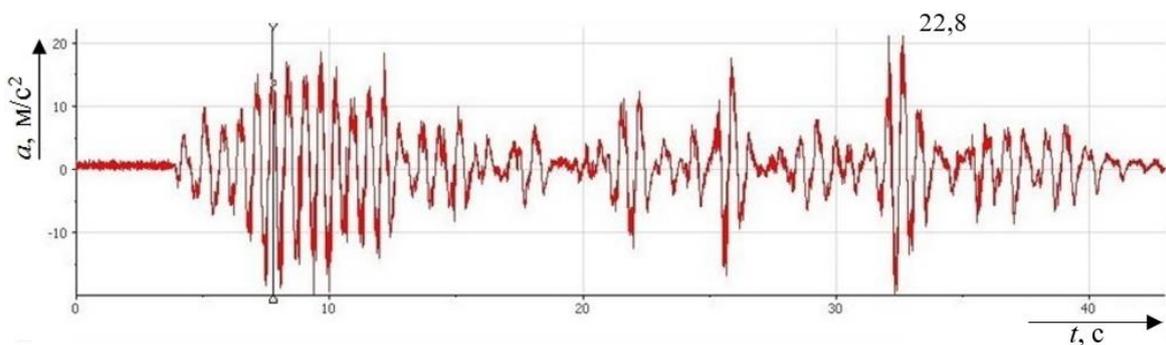


Рисунок 5. – Зависимость возникающих значений ускорения от времени движения пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч, зафиксированных датчиком 2 при проведении эксперимента 4

На передней и боковой стенках датчики 1 и 3 измеряли продольные и поперечные значения ускорения соответственно, возникающие под действием инерционных нагрузок в конструкции, на дне конструкции датчики 2 и 4 проводили измерения в вертикальном направлении. Полный перечень проведенных испытаний и полученные максимальные значения ускорения для пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 с цистерной объемом 5 м³ представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Параметры и условия испытаний, а также зафиксированные максимальные значения ускорения, m/c^2

№ эксп-та	№ режима движения	№ датчика	Максимальные значения ускорения a_{max} , m/c^2
1	1. Движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч	1	7,3
		2	6,6
		3	6,2
		4	6,3
2	1. Движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч	1	7,7
		2	6,2
		3	6,3
		4	6,8
3	1. Движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч	1	7,2
		2	5,7
		3	5,9
		4	6,7
4	2. Движение по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч	1	14,7
		2	22,8
		3	15,5
		4	21,7
5	2. Движение по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч	1	14,1
		2	22,5
		3	15,2
		4	22,2
6	2. Движение по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч	1	14,3
		2	21,5
		3	15,7
		4	21,4
7	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°	1	17,2
		2	10,0
		3	17,7
		4	11,5
8	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°	1	16,8
		2	9,9
		3	17,4
		4	10,3
9	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°	1	16,1
		2	10,5
		3	18,5
		4	10,7
10	4. Ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 ± 2 км/ч и экстренное торможение до полной остановки	1	16,1
		2	10,2
		3	15,7
		4	11,7
11	4. Ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 ± 2 км/ч и экстренное торможение до полной остановки	1	15,4
		2	10,6
		3	14,9
		4	10,9
12	4. Ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 ± 2 км/ч и экстренное торможение до полной остановки	1	15,8
		2	10,8
		3	15,6
		4	11,5

Длина испытательных участков для режима 1 составляла 850–900 м; для режима 2 – 480–500 м; для режима 3 – 280–300 м; для режима 4 – 100–110 м (рис. 6).



а – движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч, режим 1



б – движение по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч, режим 2



в – движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч с последующим замедлением до скорости 10–15 км/ч для вхождения в левый поворот на 90° , режим 3



г – ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 ± 2 км/ч и экстренное торможение до полной остановки, режим 4

Рисунок 6. – Режимы исследования значений ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкции цистерны объемом 5 м^3 пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337

Обработка полученных экспериментальных данных проведена в соответствии с ГОСТ 8.207-76⁹, ГОСТ Р 8.736-2011¹⁰ и [10]. За результат измерения принято среднее арифметическое от полученных максимальных значений ускорения, в которые предварительно введены поправки для исключения систематических погрешностей.

В таблице 2 представлены максимальные значения ускорения, полученные при испытаниях цистерны объемом 5 м^3 пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 после обработки экспериментальных данных.

⁹ Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений: ГОСТ 8.207-76. – Введ. 01.01.77. – М.: Пост. Гос. ком. стандартов Сов. Мин. СССР, 1976. – 8 с.

¹⁰ Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: ГОСТ Р 8.736-2011. – Введ. 13.12.11. – М.: Федеральное агентство по технич. регулированию и метрологии, 2011. – 23 с.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют, что наибольшие значения ускорения, возникающего в конструкции цистерны объемом 5 м³ под действием инерционных нагрузок при движении пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337, возникают при установке акселерометров на место, определенное путем проведения замеров на равноудаленное расстояние от сварных швов, ребер жесткости и иных конструктивных элементов, влияющих на жесткость цистерны.

Таблица 2. – Максимальные значения ускорения, зафиксированные в конструкции цистерны объемом 5 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 во время испытаний

Режим движения пожарного автомобиля	Максимальные значения ускорения a_{max} , м/с ²			
	датчик 1: вертикальная установка	датчик 2: горизонтальная установка	датчик 3: вертикальная установка	датчик 4: горизонтальная установка
Режим 1	7,4 ± 0,7	6,2 ± 0,5	6,1 ± 0,3	6,6 ± 0,5
Режим 2	14,4 ± 1,0	22,3 ± 1,7	15,3 ± 1,1	21,8 ± 1,5
Режим 3	17,4 ± 1,3	10,2 ± 0,9	17,9 ± 1,4	8,8 ± 0,7
Режим 4	15,8 ± 1,2	9,7 ± 1,1	15,6 ± 0,8	9,9 ± 0,4

Аналогичные исследования проведены с использованием пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317 с конструкцией цистерны объемом 8 и 10 м³. Сравнительный анализ результатов исследований показал, что наименьшие значения ускорения возникают при движении пожарного автомобиля по прямому участку асфальтированной дороги. Фиксируемые датчиками значения ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкции цистерны при движении в режиме 1, обусловлены перепадом скорости движения автомобиля 48–52 км/ч и смещением центра тяжести жидкости. При движении пожарного автомобиля по грунтовой дороге категории VI-б (режим 2) зафиксированы наибольшие значения ускорения, величина которых при проведении эксперимента возрастала в момент движения автомобиля по дорожным неровностям. Испытания при движении пожарного автомобиля в режиме 3 показали, что максимальные значения ускорения зафиксированы на боковой стенке цистерны, противоположной направлению поворота. На закруглении дороги жидкость в цистерне смещается в сторону, противоположную направлению поворота, при этом значительно снижается скорость движения пожарного автомобиля, чтобы минимизировать смещение центра тяжести, способной привести к опрокидыванию. При торможении автомобиля (режим 4) жидкий груз смещается к передней стенке цистерны, при этом воздействуя значительной нагрузкой, о чем свидетельствуют показания максимальных значений ускорения на передней стенке конструкций цистерн пожарного автомобиля. Полученные результаты свидетельствуют о том, что величина инерционных нагрузок, возникающих в конструкциях цистерн, в значительной мере зависит от режимов движения пожарного автомобиля.

В таблице 3 представлены экспериментально установленные максимальные значения ускорения, возникающего на стенках и дне резервуаров конструкций цистерн объемом 5, 8 и 10 м³ под действием инерционных нагрузок при исследуемых режимах движения пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317.

Таблица 3. – Максимальные значения ускорения a_{max} (м/с²), зафиксированные на стенках и дне резервуаров конструкций цистерн во время испытаний пожарных автомобилей

Режим движения пожарного автомобиля	Объем цистерны и модель шасси пожарного автомобиля		
	5 м ³ на шасси МАЗ-5337	8 м ³ на шасси МАЗ-6317	10 м ³ на шасси МАЗ-6317
Режим 1	7,4 ± 0,7	9,2 ± 0,8	10,8 ± 0,9
Режим 2	22,3 ± 1,7	24,6 ± 1,8	25,2 ± 1,9
Режим 3	17,9 ± 1,4	18,1 ± 1,5	19,4 ± 1,5
Режим 4	15,8 ± 1,2	22,7 ± 1,7	22,9 ± 1,8

В результате проведенных исследований определено, что основное влияние на уровень возникающих значений ускорения оказывают гидравлическое нагружение и силовое

воздействие со стороны рамы шасси на конструкцию цистерны в зависимости от дорожного покрытия.

Заключение

В данной работе проведены исследования общего уровня ускорения, возникающего в конструкциях цистерн при различных режимах движения пожарных автомобилей. При выполнении эксперимента применялось современное вибродиагностическое оборудование: измерительный комплекс Larson-Davis 2900 и пьезоэлектрические акселерометры типа 352С18. В ходе проведения испытаний и обработки данных получены зависимости, связывающие параметры (скорость, ускорение, торможение, поворот) и условия (вид дорожного покрытия), характеризующие особенности режимов движения пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317, со значениями ускорения, возникающего на стенках и дне резервуара конструкций цистерн объемом 5, 8 и 10 м³ под действием инерционных нагрузок.

Результаты свидетельствуют о том, что величина инерционных нагрузок, возникающих в конструкциях цистерн, в значительной мере зависит от режимов движения пожарного автомобиля и дорожного покрытия. Полученные данные позволили установить, что при движении пожарного автомобиля по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч зафиксированы наибольшие значения ускорения, которые составили 22,3 м/с² для цистерн пожарного автомобиля объемом 5 м³ на шасси МАЗ-5337; 24,6 м/с² для цистерн объемом 8 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-6317 и 25,2 м/с² для цистерн объемом 10 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-6317.

Величина возникающих ускорений обосновывается колебательными движениями конструкции цистерны, что обуславливают режимы и условия движения к месту ликвидации чрезвычайных ситуаций. Это свидетельствует о том, что пожарные автоцистерны эксплуатируются в более тяжелых условиях, по сравнению с автомобилями иного типа. Полученные для каждого режима движения максимальные значения ускорения, которые составляют от 7,4 до 25,2 м/с², необходимы для установления точного уровня нагруженности конструкций цистерн и могут быть использованы для дальнейших расчетов с использованием конечно-элементного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий, М.С. Динамика автомобильных и железнодорожных цистерн / М.С. Высоцкий, Ю.М. Плескачевский, А.О. Шимановский. – Минск: Белавтотракторостроение, 2006. – 320 с. – EDN: TQLXFY.
2. Liguori, A. Study of Tank Containers for Foodstuffs / A. Liguori [et al.] // Machines. – 2021. – Vol. 9. – P. 1–21. – DOI: 10.3390/machines9020044.
3. Орлов, Д.В. Диагностика вибраций узлов транспортных средств методом вейвлет анализа границ сфокусированного оптического изображения [Электронный ресурс] / Д.В. Орлов, В.Е. Махов, И.Ф. Кацан // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 3. – 14 с. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2465>. – Дата доступа: 12.07.2023.
4. Hajdu, F. Examination of chaotic vibrations during operation of a fire truck / F. Hajdu, R. Kuti // Multi-disciplinary Academic Conference on Engineering, IT and Artificial Intelligence in Prague (MAC-EITAI). – 2018. – P. 163–170.
5. Kovtun, V. Optimization of Fire Truck's Tanks on the Chassis MAZ-6317 by the Method of Computer Simulation / V. Kovtun [et al.] // International Journal «NDT Days». – 2019. – Vol. II, iss. 4. – P. 495–500.
6. Ковтун, В.А. Компьютерное моделирование и исследование напряженно-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей / В.А. Ковтун, С.Г. Короткевич, В.А. Жаранов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 81–90. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.81. – EDN: YSGWWC.
7. Kandasamy, T. An analysis of baffles designs for limiting fluid slosh in partly filled tank trucks / T. Kandasamy, S. Rakheja, A.K. W. Ahmed // The Open Transportation Journal. – 2010. – Vol. 4. – P. 23–32. – DOI: 10.2174/1874447801004010023.

8. Wang, W. A numerical study of the effects of the T-shaped baffles on liquid sloshing in horizontal elliptical tanks / W. Wang, Z. Guo, Y. Peng, Q. Zhang // *Ocean Engineering*. – 2016. – Vol. 111. – P. 543–568. – DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.11.020.
9. Кулаковский, Б.Л. Устойчивость пожарной автоцистерны против заноса при торможении / Б.Л. Кулаковский // *Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. – 2010. – Т. 11, № 1. – С. 73–84. – EDN: SMWLKL.
10. Гребенникова, И.В. Методы математической обработки экспериментальных данных: учебно-методическое пособие / И.В. Гребенникова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 124 с. – EDN: UWVVLV.

**Исследование ускорений, возникающих под действием инерционных нагрузок
в конструкциях цистерн пожарных автомобилей при движении
к месту ликвидации чрезвычайных ситуаций**

**Research of accelerations arising under the action of inertial loads in the structures
of fire truck tanks when moving to the place of emergency liquidation**

Ковтун Вадим Анатольевич

доктор технических наук, профессор
Филиал «Институт профессионального
образования» государственного учреждения
образования «Университет гражданской
защиты Министерства по чрезвычайным
ситуациям Республики Беларусь», кафедра
оперативно-тактической деятельности
и техники, профессор

Адрес: пр-т Речицкий, 35А,
246023, г. Гомель, Беларусь

Email: vadimkov@yandex.ru

SPIN-код: 3383-9618

Vadim A. Kovtun

Grand PhD in Technical Sciences, Professor
Branch «Institute of Vocational Education»
of the State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Operational-Tactical Activity
and Technical Equipment, Professor

Address: Rechitskiy ave., 35A,
246023, Gomel, Belarus

Email: vadimkov@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9510-132X

Короткевич Сергей Геннадьевич

кандидат технических наук

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

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

Email: korotkevichsergei@mail.ru

SPIN-код: 4719-8914

Sergey G. Korotkevich

PhD in Technical Sciences

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

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

Email: korotkevichsergei@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9388-0881

RESEARCH OF ACCELERATIONS ARISING UNDER THE ACTION OF INERTIAL LOADS IN THE STRUCTURES OF FIRE TRUCK TANKS WHEN MOVING TO THE PLACE OF EMERGENCY ELIMINATION

Kovtun V.A., Korotkevich S.G.

Purpose. Experimental study of the influence of fire trucks driving modes on the level of acceleration values occurring in tank structures under the action of inertial loads. To achieve the goal, the work included the selection of the necessary measuring equipment, determination of sensor installation locations and experimental conditions, processing of the obtained experimental data.

Methods. During the research, modern measuring equipment was used, including the Larson-Davis 2900 noise and vibration analyzer, piezoelectric accelerometers of type 352C18. The obtained experimental measurement results were processed using mathematical analysis methods taking into consideration measurement errors.

Findings. The experimental studies results of the acceleration's general level occurring on the walls and bottom of tank structures under various modes of movement of fire trucks are presented. As a result of data processing, the dependencies were obtained linking the parameters (speed, acceleration, braking, turning) and conditions (type of road surface) characterizing the features of the modes of movement of fire trucks on the chassis of MAZ-5337 and MAZ-6317 with the values of acceleration arising under the action of inertial loads in tank structures having a volume of 5, 8 and 10 m³. The obtained maximum acceleration values, which range from 7.4 to 25.2 m/s², indicate significant inertial loads occurring in tank structures and largely depend on the driving modes of fire trucks and the road surface. The data obtained confirm that fire tankers are operated in more severe conditions compared to other types of vehicles.

Application field of research. Firefighting rescue units, production and technical centers, industrial enterprises and higher educational institutions.

Keywords: fire truck, tank, driving mode, sensor, acceleration.

(The date of submitting: January 8, 2024)

REFERENCES

1. Vysotskiy M.S., Pleskachevsky Yu.M., Shimanovskiy A.O. Dinamika avtomobilnykh i zheleznodorozhnykh tsistern [Dynamics of truck and rail tanks]. Minsk, Belavtotraktorostroenie Publ., 2006. 320 p. (rus). EDN: TQLXFY.
2. Liguori A., Formato A., Pellegrino A., Villecco F. Study of Tank Containers for Foodstuffs. *Machines*, 2021. Vol. 9. Pp. 1–21. DOI: 10.3390/machines9020044.
3. Orlov D.V., Makhov V.E., Katsan I.F. Diagnostika vibratsiy uzlov transportnykh sredstv metodom veyvlet analiza granits sfokusirovannogo opticheskogo izobrazheniya [Diagnostics of vibrations of vehicle assemblies by the method of wavelet analysis of the boundaries of a focused optical image]. *Engineering Journal of Don*, 2014. No. 3. 14 p. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2465> (accessed: July 12, 2023). (rus)
4. Hajdu F., Kuti R. Examination of chaotic vibrations during operation of a fire truck. *Multidisciplinary Academic Conference on Engineering, IT and Artificial Intelligence in Prague (MAC-EITAI)*, 2018. Pp. 163–170.
5. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Mirchev Y., Lodnya V. Optimization of Fire Truck's Tanks on the Chassis MAZ-6317 by the Method of Computer Simulation. *International Journal «NDT Days»*, 2019. Vol. 2, iss. 4. Pp. 495–500.
6. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Zharanov V.A. Kompyuternoe modelirovanie i issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstruktsiy tsistern pozharnykh avtomobiley [Computer simulation and research of the stress-strain state of fire tank truck construction]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 1. Pp. 81–90. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.81. EDN: YSGWWC.
7. Kandasamy T., Rakheja S., Ahmed A.K.W. An analysis of baffles designs for limiting fluid slosh in partly filled tank trucks. *The Open Transportation Journal*, 2010. Vol. 4. Pp. 23–32. DOI: 10.2174/1874447801004010023.
8. Wang W., Guo Z., Peng Y., Zhang Q. A numerical study of the effects of the T-shaped baffles on liquid sloshing in horizontal elliptical tanks. *Ocean Engineering*, 2016. Vol. 111. Pp. 543–568. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.11.020.

9. Kulakovskiy B.L. Issledovanie ustoychivosti pozharnoy avtotsisterny protiv zanosa pri tormozhenii [Investigation of the stability of a fire truck against skidding while braking]. *Vestnik komandno-inzhernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2010. No. 1 (11). Pp. 73–84. (rus). EDN: SMWLKL.
10. Grebennikova I.V. Metody matematicheskoy obrabotki eksperimental'nykh dannykh [Methods of mathematical processing of experimental data]: tutorial. Yekaterinburg: Ural University, 2015. 124 p. (rus). EDN: UWVOLV.