УДК 539.3

И.Н. КАРАПЕЙЧИК, канд. эконом. наук, ген. директор
ОАО „Азовмаш”, Мариуполь,
Г.П. ГЛИНИН, зам. ген. директора ОАО „Головной специализированный конструкторско-технологический институт”, Мариуполь,
Н.А.ТКАЧУК, докт. техн. наук, проф., зав каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”, Харьков

БАЗОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОТОПЛИВОЗАПРАВЩИКОВ: МЕТОДИКА, РЕЗУЛЬТАТЫ, ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Описано комплекс експериментальних досліджень, який є складовою процесу розрахунково-експериментального обґрунтування проектно-технологічних параметрів нових машин спеціального призначення. На прикладі паливозаправників АТЗ-22 та АТЗ-40, що спроектовані та виготовлені у ВАТ „Азовмаш”, описані методика, результати та проектно-технологічні рекомендації щодо вибору конструктивних схем і параметрів елементів нових машин.

Описан комплекс экспериментальных исследований, который является составляющей процесса расчетно-экспериментального обоснования проектно-технологических параметров новых машин специального назначения. На примере топливозаправщиков АТЗ-22 и АТЗ-40, спроектированных и изготовленных в ОАО "Азовмаш", описаны методика, результаты и проектно-технологические рекомендации по выбору конструктивных схем и параметров элементов новых машин.

It’s described a set of experimental studies, which is the component of calculation and experimental validation of design and technological parameters of new special purpose vehicles. The methodology, results, design and technological advice on the choice of design schemes and parameters of elements of new machines are described on the example of ATZ-22 and ATZ-40 bowsers, designed and constructed in "Azovmash" Company.

Введение. Синтез конструктивных схем и обоснование проектно-технологических параметров машин специального назначения имеет свои особенности. Это относится, например, к транспортно-технологическим машинам для обслуживания авиационных судов на аэродромах и ракетной техники на космодромах, к боевым бронированным машинам, к машинам для работы в химически и радиационно загрязненных средах и т.п. Специфические условия их эксплуатации и требования безопасности, защищенности и высоких технических и тактико-технических характеристик обуславливают жесткие ограничения на прочностные свойства наиболее нагруженных и ответственных их деталей, узлов и систем.

Кроме того, при создании таких машин существуют и другие жесткие ограничения: временные, экономические, экологические. Отсюда, в частности, – проблемы создания опытных образцов этих машин для проведения экспериментальных испытаний. В то же время существует множество аналогичных машин, в свое время спроектированных, рассчитанных, испытанных и эксплуатируемых. Это обуславливает наличие, таким образом, значительного массива информации, который можно использовать при проектных исследованиях вновь создаваемых или осваиваемых в производстве машин. Комплекс перечисленных выше факторов определил актуальность и важность задачи интеграции накопленного объема результатов численных, аналитических и экспериментальных исследований множества конструкций-предшественников в процесс обоснования проектно-технологических параметров вновь создаваемых машин.

Новая методология такой интеграции предложена в работах [1-6] и получила дальнейшее развитие в статье [7]. Она базируется на соединении результатов численных, аналитических и экспериментальных исследований как существующих машин-аналогов, так и вновь проектируемых. В результате строится так называемая «полигибридная» расчетная численная модель. Именно она составляет основную ценность, т.к. многократно прошла расчетно-экспериментальную верификацию и поэтому обладает высокой степенью адекватности и точности, а, значит, обеспечивает соответствующую степень достоверности разрабатываемых с ее помощью рекомендаций по выбору рациональных основных параметров создаваемой машины.

В качестве базовых исследований вначале для верификации численных моделей, а затем – для оценки точности полученных результатов применительно к вновь созданной машине используются результаты экспериментальных исследований машин-аналогов, с одной стороны, и вновь проектируемых, – с другой.

Целью данной статьи является описание методики и результатов таких исследований применительно к аэродромным топливозаправщикам АТЗ-22 и АТЗ-40 конструкции и производства ОАО „Азовмаш”. В этом случае машиной-аналогом является АТЗ-40, а объектом проектных расчетов – АТЗ-22.

Постановка задачи. В работе поставлена задача получения и анализа расчетных и экспериментальных данных для обоснования проектно-технологических

параметров топливозаправщиков АТЗ-40 и АТЗ-22. Схематически данный процесс можно представить в виде последовательности этапов, методологически и хронологически объединенных в единый конгломерат в соответствии с подходом, описанным в [7] (рис. 1). В данном случае, как отмечалось ранее, машиной-аналогом выступает аэродромный топливозаправщик АТЗ-40, а конечным объектом проектно-технологических обоснований – следующая машина данной серии – АТЗ-22. Основным их отличием является емкость цистерны (соответственно 40 м^3 и 23 м^3). При этом основные конструктивные решения, технология изготовления и условия эксплуатации у этих машин аналогичны. Это создает предпосылки для интеграции результатов исследований этих машин и повышения степени обоснованности проектно-технологических решений АТЗ-22, а также последующих машин данной серии. Далее в работе описаны некоторые этапы экспериментальных исследований АТЗ-40 и АТЗ-22. Расчетные модели элементов АТЗ-40 , АТЗ-22 и результаты расчета их напряженно-деформированного состояния (НДС) (этапы I, II, IV, VI и VIII, см. рис. 1) будут описаны в последующих публикациях. В данной статье основное внимание уделено этапам III и VII, которые представляют базовую информацию на начальном и завершающем этапах проектировочных расчетов (см. рис. 1).

Рис. 1. Структура расчетно-экспериментальных исследований при обосновании проектно-технологических параметров топливозаправщика АТЗ-22

Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния цистерны аэродромного топливозаправщика АТЗ-40. В связи с тем, что автотопливозаправщик представляет собой сложную транспортно-технологическую машину, смонтированную на базе серийного шасси, то основное внимание уделено оригинальному элементу машины – автоцистерне. Именно этот элемент является определяющим для кинематики и динамики автопоезда в целом, а также для расчета эксплуатационных нагрузок и прочности машины в целом и автоцистерны в частности.

Автотопливозаправщик АТЗ-35(40)-6443 относится к среднему типу АТЗ по ГОСТ 235246-87, изготовлен в ОАО "Азовмаш" в соответствии с 9010.00.000 ТУ и комплектом технической документации 9010.00.000 и представляет собой автопоезд, состоящий из полуприцепа (цистерна на двухосном шасси), тягача КрАЗ-6443 и предназначен для выполнения следующих операций [8-10]: наполнение цистерны топливом собственным или сторонним насосом (нижним или верхним наливом); заправки летательных аппаратов из своей цистерны или стороннего резервуара открытым или закрытым способом; откачивание топлива из раздаточных рукавов; транспортирование топлива на летном поле аэродрома; слив топлива из баков летательных аппаратов и т.д.

Рис. 2. Автотопливозаправщик АТЗ-35(40)- 6443

Основные технические характеристики АТЗ-35(40) (рис. 2): эксплуатационная вместимость – 35-40 м^3; количество раздаточных магистралей – 2; расход топлива через раздаточные рукава ДУ-76 длиной 20 м при закрытой заправке и противодавлении за наконечниками ТН-4, равном 0,2 МПа: через одну магистраль – не менее 1500 л/мин; через две магистрали – не менее 3000 л/мин; расход топлива через раздаточные магистрали открытым способом: через одну магистраль – не менее 600 л/мин; через две магистрали – не менее 1200 л/мин. Пропускная способность исполнительного устройства при нижнем наливе и горловины верхнего налива – не менее 3000 л/мин. Предельно допустимое давление топлива на выходе из раздельных рукавов – 0,45 МПа. Давление в цистерне при выполнении рабочих операций: от 0,0125 МПа до 0,032 МПа. Габаритные размеры АТЗ: длина – 18000 мм; высота – 3350 мм; ширина – 3150 мм. Максимальная скорость движения с полной загрузкой – 50 км/час.

Цистерна автотопливозаправщика изготовлена из нержавеющей стали 12Х18Н10Т по ГОСТ 1350-77 со следующими механическими характеристиками: σ_T = 240 МПа; σ_B = 540 МПа; $[\sigma]_p$ = 160 МПа. Допускаемые напряжения при статических нагружениях (налив + давление) $[\sigma]_{исп} = 0{,}9\sigma_T$ = 216 МПа.

В соответствии с разработанной программой и методикой испытаний [10] проводились испытания опытного образца автотопливозаправщика АТЗ-35(40)-6443, разработанного и изготовленного по чертежам 9010.00.000.

Испытания включали в себя следующие этапы: прочностные статические и динамические испытания; тормозные испытания 2-х опытных автотопливозаправщиков АТЗ-35(40) №1 и №2; гидродинамические испытания. Топливозаправщики перед испытаниями прошли техническое обслуживание в соответствии с инструкцией по эксплуатации и обкатку путем пробега на расстояние 1000 км. Статические тензометрические, а также гидродинамические испытания проводились на территории цеха № 28 ОАО „Азовмаш”, при этом заполнение цистерны продуктом и другие операции проводились на стендах цеха. Динамические пробеговые испытания АТЗ-35(40) проводились на автодороге шоссе „Мариуполь-Володарское”, тормозные испытания проводились на асфальтобетонном покрытии на территории ОАО „Азовмаш”.

Целью испытания являлось определение прочностных и эксплуатационных характеристик агрегата АТЗ-35(40), а также соответствия их техническому заданию, требованиям технической документации. Задача *прочностных испытаний* –

исследование и оценка напряженно-деформированного состояния конструкций автотопливозаправщика при воздействии статических и динамических нагрузок. Задачей *тормозных испытаний* являлось исследование тормозных свойств автотопливозаправщика. Задачей *гидродинамических испытаний* являлось определение гидродинамических давлений в системе заправки топлива. Весь комплекс экспериментальных исследований и их результатов является составным элементом при формировании полигибридных расчетно-экспериментальных моделей целого класса подобных машин, а именно при определении эксплуатационных нагрузок.

Объем и условия проведения испытаний. Испытания по определению статических деформаций конструкции автотопливозаправщика производились при создании следующих видов нагрузок: ступенчатом заполнении цистерны топливом через 10 м^3 до объема 40 м^3; создании внутреннего избыточного давления в заполненной до объема 40 м^3 цистерне, равного $P_{раб}$ = 0,025 МПа и $P_{исп}$ = = 0,05 МПа; создании внешнего избыточного давления величиной P_1=0,01 МПа и P_2 = 0,0125 МПа; опирании полуприцепа на гидроопоры; создании кососимметричной нагрузки на загруженный автотопливозаправщик.

Испытания по определению динамических деформаций автотопливозаправщика с заполненной цистерной до объема 40 м^3 и 25 м^3 проводились при движении со скоростью 30 и 50 км/час и торможением; при движении с поворотами влево и вправо на максимально возможной скорости, а также при движении по грунтовым дорогам со скоростью 20-25 км/час и торможением. Тормозные испытания типа „0” проводились в объеме программы испытаний рабочего тормоза автопоезда в холодном состоянии. Определение тормозного пути, времени срабатывания привода тормоза и установившееся замедление выполнялись со скорости движения 30 и 50 км/час заполненного до объема 40 м^3 топливозаправщика.

Испытания по определению величин гидродинамических давлений в системе заправки топливом производились при заполнении цистерны с заглубленного резервуара и производительности закачки топлива 1200 л/мин; при выдаче топлива из цистерны при закрытой заправке через один и два рукава с наконечниками ТН-4 при сочетаниях величин частот вращения вала двигателя 1800, 2400 и 2800 об/мин и противодавлениях 0,2; 0,3 и 0,45 МПа, а также при выдаче топлива из цистерны во время открытой заправки через один и два раздаточных пистолета РП-401, давление на входе в раздаточный рукав 0,4 МПа на 1...3 положениях рычагов.

Статические тензометрические испытания проводились в крытом помещении цеха №28 ОАО „Азовмаш” в июне месяце, при температуре окружающей среды 27...30°С. Динамические прочностные испытания автотопливозаправщика проводились на автошоссе „Мариуполь-Володарское” при температуре окружающей среды 30°С. Тормозные испытания проводились на асфальтобетонном покрытии автодороги на территории ОАО „Азовмаш” при температуре окружающей среды 25 °С. Гидродинамические испытания проводились на территории цеха № 28 при температуре окружающей среды 5°С.

Методика экспериментальных исследований. Исследование напряженно-деформированного состояния автотопливозаправщика выполнялось методом электротензометрии с использованием тензорезисторов типа КФ-5 [11], которые были установлены в следующих зонах цистерны (см. схему установки тензорезисторов, рис. 3,4): в шести сечениях по шпангоутам, перегородкам и стрингерам внутри цистерны (тензорезисторы №№ 0…60); в девяти сечениях по наружной поверхности цистерны (сечения I-I... VI –VI, I'-I', III-III, тензорезисторы №№ 13…16, 133…146, 155…184); на переднем и заднем днищах (тензорезисторы №№1...12 и 185…203); верхних и нижних люках (тензорезисторы №.117...132 и 147...154); зоне сочленения двух секций цистерны (тензорезисторы №204…223); зоне передней и задней опор (тензорезисторы № 221…249 и 271…281).

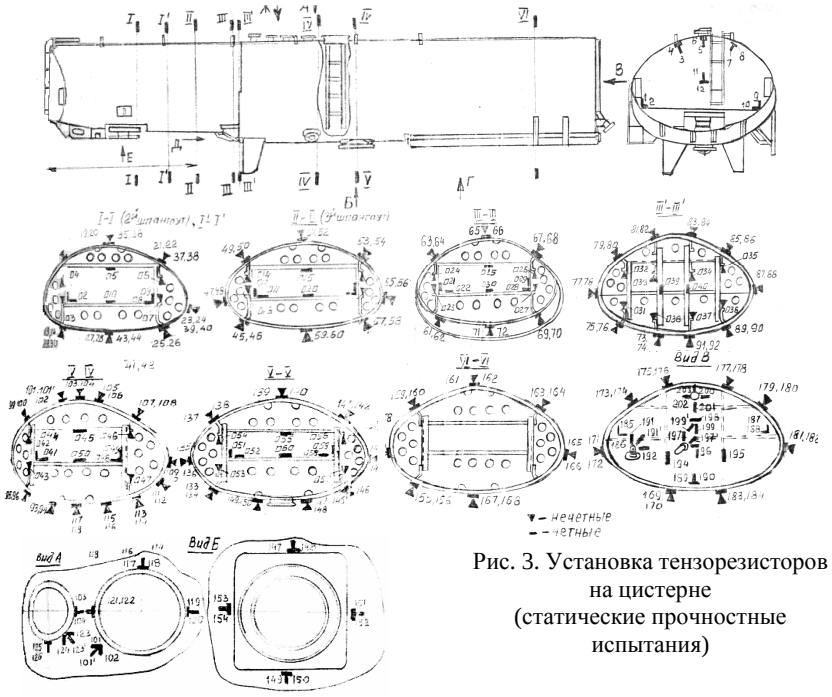


Рис. 3. Установка тензорезисторов на цистерне (статические прочностные испытания)

Наклейка тензорезисторов осуществлялась клеем „циакрин” при температуре +27°С. Предварительно поверхность под наклейку была очищена от грязи и обезжирена ацетоном. После естественной полимеризации клея в течение 24-х часов тензорезисторы покрывались лаком „ХВ” от воздействия влаги и просушивались при 25°С в течение 12 часов. Проверка качества наклейки тензорезисторов включала в себя: визуальный осмотр и выявление смещений решетки тензорезисторов, неплотностей прилегания; проверку целостности решетки тензорезистора путем измерения его сопротивления с помощью цифрового омметра Щ-34; измерение

сопротивления изоляции между решеткой тензорезистора и корпусом цистерны, которое находилось в пределах 20-100 МОм; выявление пузырьков воздуха под решеткой тензорезистора путем нажатия на основу тензорезистора и измерения его сопротивления.

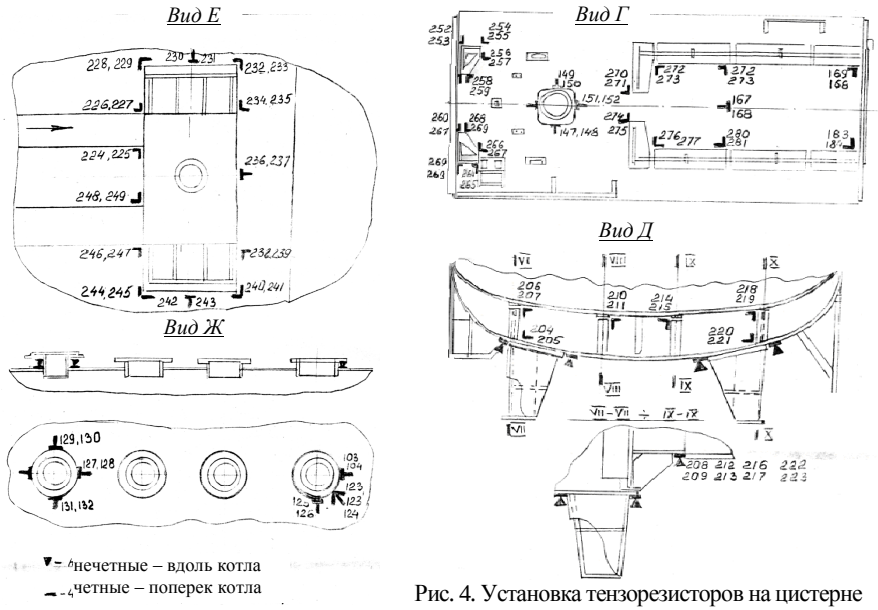


Рис. 4. Установка тензорезисторов на цистерне

Измерение статических деформаций осуществлялось по групповой схеме включения тензорезисторов, при этом в одно плечо измерительного моста включается компенсационный тензорезистор, а во второе плечо автоматически подключается группа активных. В качестве измерительно-регистрирующего прибора использована система СИИТ-3 с записью цифровых данных на магнитную ленту. Обработка результатов измерений производилась по разработанной программе с помощью компьютера „Электроника Б-02”.

Динамические деформации измерялись по мостовой схеме, при этом в плечи полумоста включался один активный и один компенсационный тензорезисторы. В качестве усилителя сигналов использовался усилитель тензометрический ТУП-12. Регистрация величин динамической деформации производилась на осциллографную фотобумагу магнито-электрического шлейфового осциллографа К-20-22.

Измерения ускорений (замедлений) и регистрация их в процессе динамических и тормозных испытаний производились с помощью датчиков ускорений ДУ-5с, работающих в комплекте с виброизмерительной аппаратурой ВИ6-6ТН, и осциллографа К-20-22. Датчики устанавливались в 2-х плоскостях – вертикальной (нечетные номера) и горизонтальной (четные номера) в

следующих зонах: на раме тягача (датчики ДУ – №№ 1,2); на полуприцепе в области седельно-прицепного устройства (датчики № 3-4); на заднем днище полуприцепа цистерны (ДУ № 5...6).

Подготовка к статическим и динамическим измерениям включала в себя: отбор, калибровку и группировку тензорезисторов; отбор аппаратуры по диапазону измеряемых величин и чувствительности; тарировку измерительных трактов; установка тензорезисторов на конструкции топливозаправщика; монтаж измерительных схем; подключение, заземление, прогрев, настройка аппаратуры; пробная запись во время опрессовки цистерны путем налива топлива в объеме 40 $м^3$; подбор масштаба записи параметров и положение нулевых линий на осциллографе.

Подготовка виброизмерительной аппаратуры к работе заключалась в проверке на функционирование и тарировке. Тарировка сводилась к нахождению коэффициентов чувствительности измерительного тракта при повороте датчика, установленного на специальном тарировочном устройстве, на 90° от своего горизонтального положения равновесия, что соответствует ускорению 9,8 $мс^{-2}$.

Определение скорости движения и тормозного пути производилось с помощью специального мерительного устройства „пятое колесо”, прикрепляемого во время тормозных испытаний к полуприцепу топливозаправщика и оснащенного электрическим преобразователем пути и скорости. Сигнал с «пятого колеса» регистрировался на фотобумаге осциллографа К-20-22.

Тарировка устройства измерения скорости „пятого колеса” производилась на стенде с заранее известными скоростями вращающихся деталей.

Проведение контрольных торможений выполнялось следующим образом: разгоняли автопоезд до скорости, на 3-5 км/час больше необходимой скорости; отсоединяли двигатель от трансмиссии путем установки в нейтральное положение коробки передач; при продолжении движения накатом до заданной скорости затормаживают автопоезд путем нажатия на тормозную педаль с усилием 700 Н. При испытаниях „0” было выполнено не менее 2-х торможений в каждом направлении движения на каждой скорости.

Измерение температуры в тормозных колодках автотопливозаправщика производилось с помощью датчиков температуры ИС-545 образцовым измерительным мостом МО-62 по сопротивлению датчика температуры, устанавливаемого на тормозных колодках и пересчетным таблицам, прилагаемым к паспорту датчика.

При гидравлических испытаниях давление в гидросистеме топливозаправщика измерялось с помощью датчиков давления мембранного типа ДДМ-15 и ДДМ-25, соединенных по безусилительной схеме с регистрирующим осциллографом К-20-22. Регистрация гидродинамических давлений на фотобумагу осциллографа производилась в момент прекращения подачи топлива путем закрытия задвижек стенда, срабатывания клапанов и включения раздаточных пистолетов. Датчики давления устанавливались: на заборном трубопроводе между приемочными штуцерами ШП1 и ШП2 и клапаном К3 (датчик ДД №1); на трубопроводе между насосом Н заправщика и клапанами

К1 и К2 выдающих магистралей (датчики ДД №2, ДД №3); на выходе из раздаточных магистралей между наконечниками топливных модулей ТН-1 и ТН-2 и приемным резервуаром стенда (датчики ДД №4, ДД №5).

Статические испытания. От воздействия статической вертикальной нагрузки, создаваемой путем заполнения цистерны 40 м^3 топлива, в конструкции заправщика зарегистрированы следующие значения наибольших величин главных напряжений, приведенные на рис. 5. При создании внутреннего избыточного давления в заполненной топливом цистерне, равного 0,025 и 0,05 МПа, зарегистрированы наибольшие величины напряжений (МПа) в исследуемых элементах и зонах, приведенные на рис. 6.

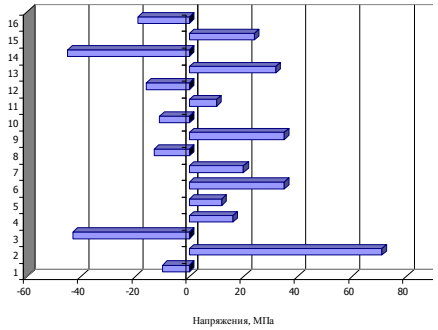


Рис. 5. Максимальные главные напряжения в сечениях автотопливозаправщика от воздействия статической вертикальной нагрузки

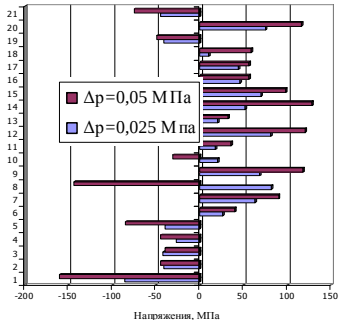


Рис. 6. Наибольшие напряжения от внутреннего избыточного давления в цистерне

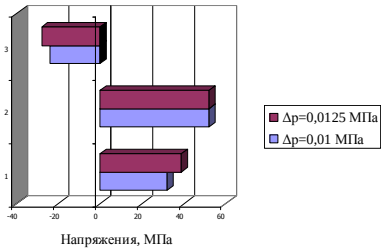


Рис. 7. Наибольшие напряжения при создании избыточного внешнего давления в цистерне

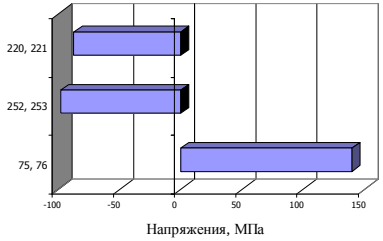


Рис. 8. Напряжения в цистерне при установке заполненного топливом АТЗ-40 на гидроопоры

Нагружение конструкции заправщика путем создания внешнего избыточного давления (разрежения) в котле 0,01 и 0,0125 МПа показали, что оболочка обладает достаточной устойчивостью. Величины напряжений не превышают приведенных на рис. 7. В остальных исследуемых точках и зонах величины напряжений ниже приведенных. При установке заполненного топливом полуприцепа на гидроопоры выявлено, что наиболее нагруженными элементами конструкции являлись сечение III'- III', зона установки гидроопор

(вид Г) и зона соединения двух секций цистерны (вид Д), а величины напряжений соответственно приведены на рис. 8. В остальных исследуемых зонах величины напряжений не превышали -44 МПа.

Под воздействием кососимметричных нагрузок, создаваемых путем наезда автотопливозаправщика колесами тягача и полуприцепа на специально изготовленные препятствия высотой 250 мм, в конструкции АТЗ возникали напряжения, величины которых представлены на рис. 9. В остальных сечениях и зонах величины напряжений ниже приведенных. Величины суммарных напряжений от совместного воздействия статических нагрузок для рабочего и испытательного режимов соответственно не превышали величин, приведенных на рис. 10. Величины главных и суммарных напряжений при статических нагружениях конструкции автотопливозаправщика приведены в табл. 1.

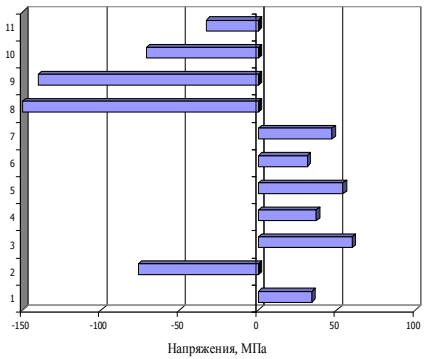


Рис. 9. Напряжения в АТЗ при создании кососимметричной нагрузки на полуприцеп

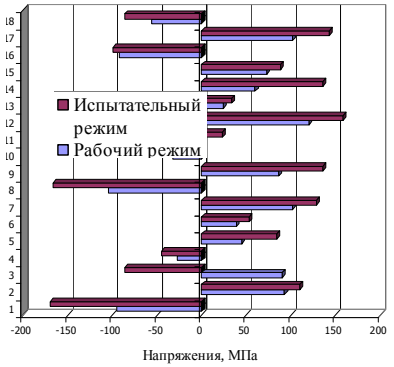


Рис. 10. Суммарные напряжения от совместного воздействия статических нагрузок для рабочего и испытательного режимов

Таблица 1

Наибольшие величины главных и суммарных напряжений при статических нагружениях топливозаправщика, МПа

Исследуемая зона	Номер тензорез.	Направление	Заполнение топливом, м^3				Вес котла	Избыт. давление, МПа		Разрежение, МПа		Опирание гидроопоры	Кососимметрич. нагружение	Суммарные напряжения при режимах	
			10	20	30	40		0,025	0,05	0,01	0,0125			рабочем Σ ПП 7,8,9	испытательно Σ ИП 7, 8, 10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Днище переднее	3	x	-2	-2	-3	-4	0	-30	-55	10	14	-6	-10	34	-59
	4	y	-2	-2	-4	-8	-1	-67	-125	25	29	-14	-15	-76	-134
	5	x	-2	-2	-4	-10	-1	-72	-130	27	32	-15	-6	-83	-141
	6	y	-2	-4	-5	-9	-1	-86	-160	32	39	-17	-7	-96	-170
	7	x	-3	-3	-3	-5	-1	-32	-60	14	17	-6	-11	-38	-66
	8	y	-2	-2	-4	-6	-1	-58	-110	22	23	-12	-13	-65	-117

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Сече-ние I-I	010		11	30	48	71	9	73	30	52	52	-17	56	93	110
	27	x	-9	-20	-33	-39	-5	-41	-45	-5	-4	-5	-29	-85	-89
	28	y	-4	-8	-13	-18	-2	-17	-19	-1	0	-1	-22	-37	-39
Сече-ние I'-I'	41	x	-	-	-	-13	-2	-7	-8	11	14	2	60	-22	-23
	42	y	-4	-6	-7	-43	-5	-42	-40	11	33	0	50	-90	-88
	44	y	2	3	5	7	1	31	46	-7	-8	11	10	39	54
Сечение II-II	49	x	-2	-2	-3	-4	0	6	13	-2	-2	0	-8	-4*	11
	50	y	-3	-	-2	0	0	-5	-13	5	5	0	-8	-5	-13
	60	y	0	6	12	16	2	20	26	8	8	-2	10	38	44
	015		1	2	5	10	1	-18	-43	15	17	3	5	11*	-32
	019		1	1	2	4	0	41	80	-10	-12	17	17	43	84
	020		-1	-1	0	5	1	-40	-85	22	25	-13	-4	-34	-79
Сечение III'-III	021		0	2	3	9	1	19	30	1	0	-9	1	29	40
	022		-1	-3	-4	-4	0	-14	-25	7	8	25	-14	-18	-29
	028		0	-3	-3	-3	0	-13	-25	5	6	20	-14	-16	-28
	029		2	3	5	12	1	26	40	0	-3	-11	11	39	53
Опора котла	271	x	-4	-5	-7	-10	-1	-45	-75	19	21	-22	-14	-56	-86
Сечение III' -III'	031		6	10	15	25	3	44	50	4	2	15	35	72	88
	032		2	3	5	7	1	27	42	-5	-7	-33	-14	35	50
	033		2	3	4	8	1	14	44	-3	-5	-22	10	23	53
	034		2	2	4	8	1	30	60	-5	-8	-25	10	39	59
	035		2	2	5	7	1	32	48	-11	-14	-30	13	40	-56
	036		6	10	15	24	3	43	60	0	-2	15	34	70	87
	037		8	14	22	35	4	63	90	3	0	-9	36	102	129
	038		8	14	22	33	4	60	87	3	0	-11	37	97	124
	039		2	6	9	17	2	36	55	2	0	-44	19	55	74
	040		2	6	9	16	2	34	57	0	4	-36	-34	52	75
	82	y	-7	-3	-11	-13	-2	-18	-30	-3	4	27	-16	-33	-45
	83	x	-11	-11	-29	-32	-4	-16	-22	-5	-5	34	-20	-52	-59
	85	x	-8	-9	-24	-30	-4	-22	-22	-6	-7	36	-21	-56	-56
Сечение IV -IV	041		4	4	6	10	10	55	100	-9	-13	18	10	66	111
	045		-3	-5	-5	-5	-1	-30	-62	13	15	-5	-5	-36	-68
	050		-9	-10	-14	-20	-3	-82	-144	22	28	-44	-17	-105	-167
	104	y	-2	-2	-2	-2	0	12	24	-6	-7	5	-4	10	22
	105	x	-5	-6	-6	-8	-1	-7	-10	-5	-8	12	-13	-16	-19
	114	y	-4	-5	-9	-9	-1	-14	-34	5	7	2	-9	-24	-44
	116	y	-4	-6	-10	-11	-1	-30	-51	9	11	11	-12	-41	-67
Зона верх. люков, вид А и Ж	118	y	-4	-7	-9	-12	-1	18	36	-5	-11	-10	-13	-13*	23
	120	y	-3	-4	-6	-8	-1	20	31	-7	-10	5	-7	11	-22
	124	y	1	1	1	2	0	8	20	2	4	16	10	10	22
Сечение V -V	051		6	7	8	16	2	68	118	-11	-15	19	14	86	136
	055		-5	-5	-5	-6	-1	-56	-104	18	21	-14	-8	-65	-111
	059		5	6	8	20	3	66	104	-6	-8	19	19	-89	127
Вид Г, зона установки гидроопор	258	y	7	12	15	24	3	75	116	-11	-16	44	28	102	143
	268	y	6	10	13	21	3	55	81	-6	-9	31	20	79	105
Нижн.люк Вид Б	147	x	11	13	21	35	4	81	120	-11	-23	40	54	120	159
	149	x	7	14	19	26	3	60	90	0	-3	9	28	89	119
	151	x	9	15	22	29	4	71	105	-4	-9	10	-29	104	138

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Нижн.люк Вид Б	152	y	8	14	20	27	3	73	13	-8	-13	11	26	103	143
	153	x	0	18	24	32	4	79	116	-3	-7	6	33	113	152
	154	y	9	14	20	27	3	75	116	-7	-18	12	28	105	145
сечение VI -VI	156	y	-1	-1	-2	-3	0	-5	-7	-3	-3	-8	-6	-8	-10
	157	x	-1	0	0	4	0	13	21	-1	-2	-7	3	17	25
	165	x	-1	-1	0	6	1	16	26	-2	-3	-3	3	23	33
	166	y	-1	1	4	7	1	16	23	0	-2	3	2	24	31
	168	y	-4	-5	-6	-11	-1	-20	-31	8	10	-11	-11	-32	-43
Обечайка котла, Вид В	173	x	1	3	5	8	1	15	25	0	-1	4	7	24	34
	174	y	1	0	0	-1	0	-9	-15	4	4	-1	-1	-10	-16
	175	x	1	1	-1	-2	0	-10	-16	4	5	-1	-2	-12	-20
	176	y	0	1	3	8	1	20	32	-2	-3	5	7	29	41
Вид В днище заднее	187	x	1	2	3	5	1	19	35	-6	-7	3	4	25	41
	189	x	-2	-7	-10	-16	-2	-35	-43	5	8	-12	-13	-53	-61
	192	y	0	2	3	9	1	47	84	6	8	11	10	57	94
	195		0	1	3	7	1	51	97	-15	-19	9	7	59	105
	196	x	1	2	4	7	1	52	128	6	7	10	11	60	135
	199	y	0	1	3	13	2	70	98	-11	-14	12	9	85	118
Зона сочленения 2-х секций цистерны, вид Д	205	x	3	6	9	13	2	16	17	3	2	-71	21	31	32
	209	x	5	10	16	22	3	33	41	4	3	-28	32	52	66
	212	y	5	10	17	24	3	40	54	1	-1	-19	31	67	81
	213	x	6	12	19	26	3	44	59	0	2	-19	28	73	88
	216	y	2	11	17	25	3	34	42	6	7	-24	31	62	70
	217	x	6	16	23	32	4	46	56	8	8	-28	40	82	92
Зона передней опоры, вид Е	235	x	-2	-14	-27	-40	-5	-42	-43	-4	-3	-8	-73	-87	-88
	239	x	-9	-23	-36	-45	-6	-41	-49	-8	-7	-6	-100	-92	-100
	241	x	-6	-14	-22	-32	-4	-30	-32	-8	-7	-1	-39	-66	-68

Динамические испытания. Наибольшие величины динамических напряжений при исследовании вертикальной динамики топливозаправщика зафиксированы на котле у передней опоры (сечения I-I, II-II), в зоне сочленения (т.60, датчик Д). В остальных точках напряжения представлены на рис. 11. При воздействии продольной динамической нагрузки наибольшие величины напряжений достигали величин, приведенных на рис. 12. Для всех тензорезисторов, установленных для измерения динамических напряжений, величины напряжений представлены на рис. 13, 14.

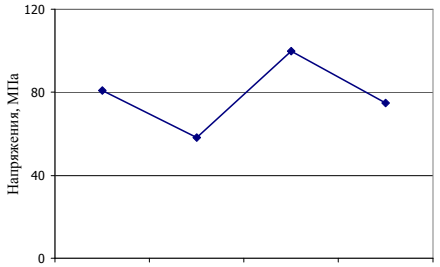


Рис. 11. Напряжения при вертикальной динамике

Результаты исследований продольной динамики конструкции заправщика показаны на рис. 15, 16. Максимальные амплитуды ус-

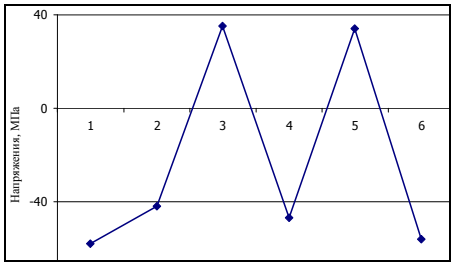


Рис. 12. Напряжения при продольной динамической нагрузке

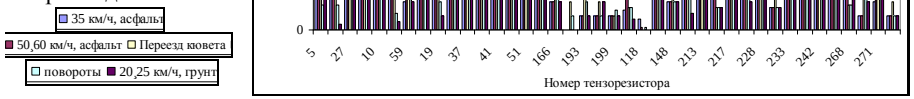
Таблица 2

Амплитуды ускорений при движении по асфальтному покрытию дороги, м/с^2

Режим движения со скоростью, км/час	Амплитуда ускорений, м/с^2
35	4,8…4,9
50-60	4,5…5,2

корений в вертикальной плоскости, обусловленные неровностью дороги, возникали при движении по асфальтному покрытию дороги (табл. 2) и при движении по грунтовой дороге (рис. 17). Продольные ускорения (замедления) при торможениях автотопливозаправщика составили: при асфальтном покрытии дороги при начальной скорости 35 км/час – 3,8…4,3 м/с^2, а при начальной скорости 50 км/час – 3,8…4,3 м/с^2; на грунтовой дороге при начальной скорости 20-25 км/час – 3,4…4,1 м/с^2.

Рис. 13. Наибольшие величины напряжений при исследовании вертикальной динамики конструкции топливозаправщика (Q=40 т) в зависимости от скорости движения



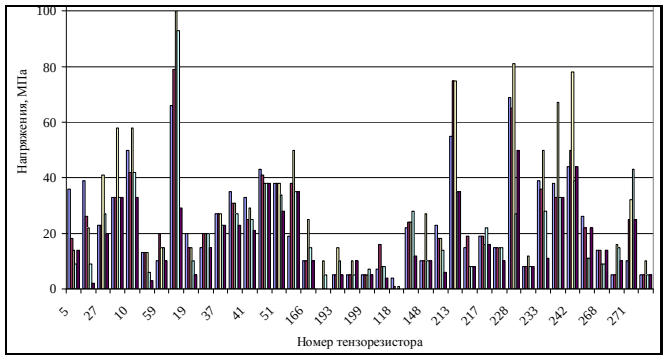
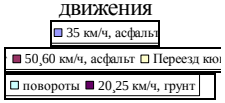
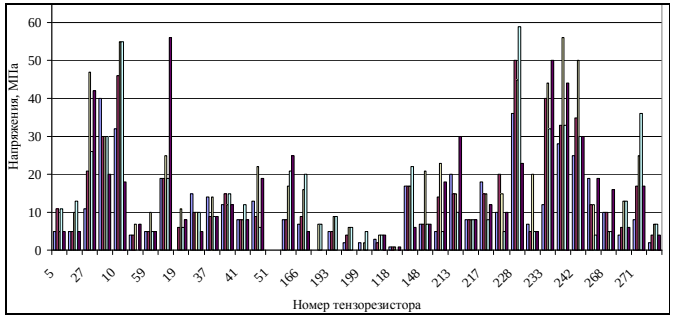


Рис. 14. Наибольшие величины напряжений при исследовании вертикальной динамики конструкции топливозаправщика (*Q* = 20-25 т) в зависимости от скорости движения





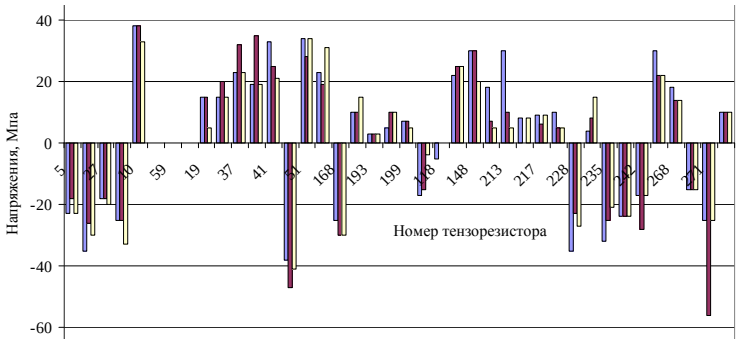
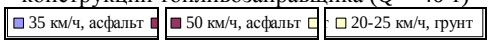


Рис. 15. Наибольшие величины напряжений при исследовании продольной динамики конструкции топливозаправщика (*Q* = 40 т)



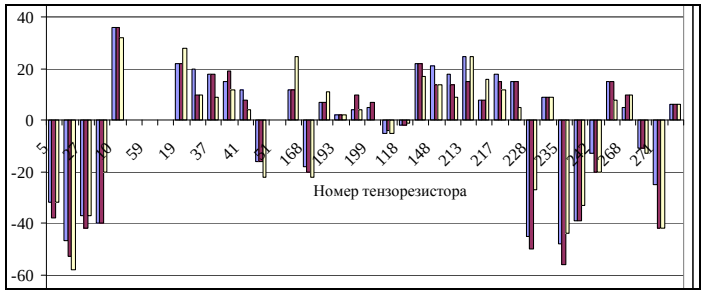


Рис. 16. Наибольшие величины напряжений при исследовании продольной динамики конструкции топливозаправщика (*Q* = 20÷25 т)

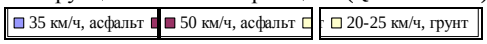
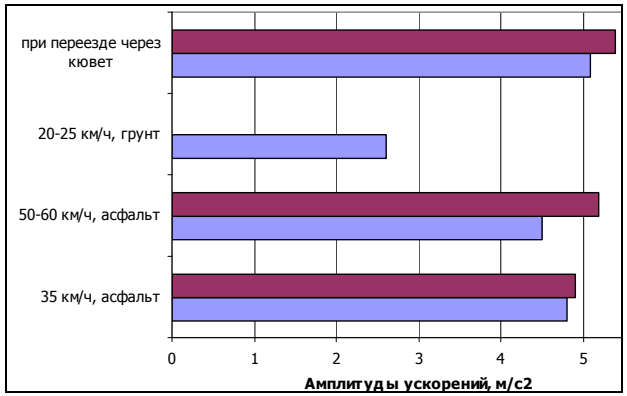


Рис. 17. Амплитуды ускорений при движении по дорогам при различных режимах



Тормозные испытания типа „0”. Результаты измерений при тормозных испытаниях двух автотопливозаправщиков №1 и №2 (зав. № 0902001 и 0902002)

приведены на рис. 18, 19. При определении эффективности рабочей тормозной системы установлено: время с момента нажатия на педаль до начала торможения не превышало 0,35 с; время с момента нажатия на педаль тормоза до полной остановки автопоезда составило 2,0…3,5 с; средняя величина начальной скорости торможения – 36 км/час; среднее значение тормозного пути – 24,5 м; среднее установившееся замедление – 5,7…6,0 м/с^2; температура тормозных колодок перед началом испытаний составляла 65°С.

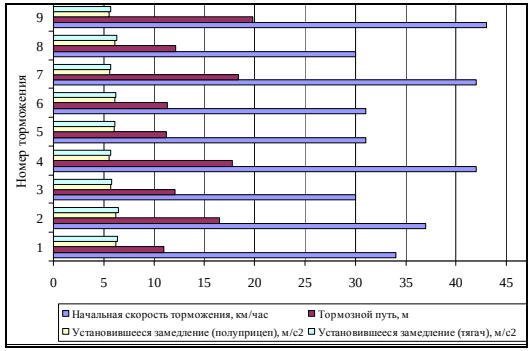


Рис. 18. Результаты тормозных испытаний автотопливозаправщика АТЗ-35(40) №1

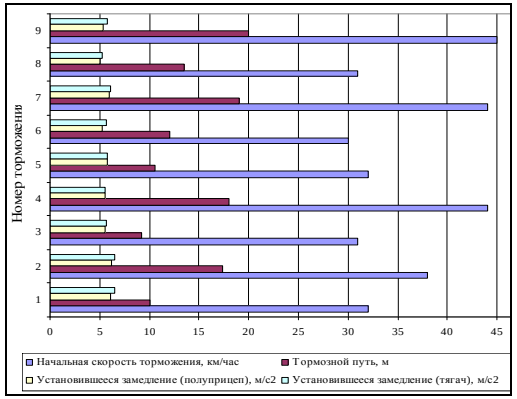


Рис. 19. Результаты тормозных испытаний автотопливозаправщика АТЗ-35(40) №2

Гидродинамические испытания. Результаты проведенных гидродинамических испытаний представлены на рис. 20-23, из которых выявлено следующее: рабочее давление, создаваемое насосом при различных скоростях вращения вала двигателя, достигало величины: при 1200 об/мин – 0,2÷0,25 МПа; при 2400 об/мин – 0,35÷0,4 МПа; при 2800 об/мин – 0,45÷0,55 МПа.

За время закрытой заправки при выдаче топлива из цистерны через один и два рукава с наконечниками ТН-4 наибольшие гидродинамические давления были зафиксированы на наконечниках в момент закрытия задвижек стенда, оборотах двигателя 2800 об/мин, противодавлении 0,2 МПа и составили 0,84 МПа – для выдачи топлива через два рукава и 0,73 МПа – через один рукав. При увеличении сопротивления до 0,3...0,45 МПа величины гидроударов снижаются в 1,5 раза.

При срабатывании клапанов К1 и К2 в этом режиме испытаний наибольшие гидродинамические давления достигали величин 0,98 МПа. Во время открытой заправки при выдаче топлива через раздаточные пистолеты РП-401, давлении на входе в раздаточный рукав 0,41÷0,45 МПа, гидродинамические давления достигали величин 1,17 МПа – на третьем положении рычагов 2-х раздаточных пистолетов. При выдаче топлива через один пистолет наибольшие величины гидродавлений составили – 1,1 МПа.

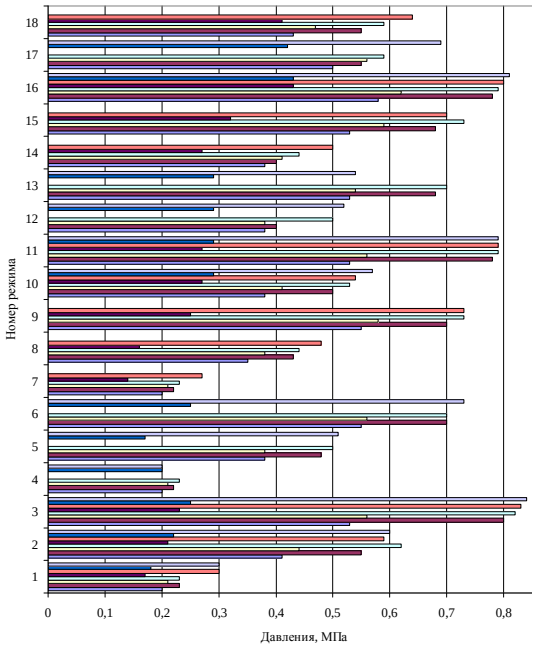


Рис. 21. Величины гидродинамических давлений АТЗ-40 при выдаче топлива из цистерны

В режиме загрузки автотопливозаправщика сторонним насосом в момент срабатывания ограничителя налива величина гидродавлений достигала 1,95 МПа, а при загрузке АТЗ из заглубленного резервуара при производительности закачки топлива 1200 л/мин – 0,61 МПа.

Оценка напряженно-деформированного состояния конструкции автотопливозаправщика АТЗ-40. Оценка НДС элементов, деталей и узлов цистерны-полуприцепа заправщика производилась сравнением наибольших суммарных на-

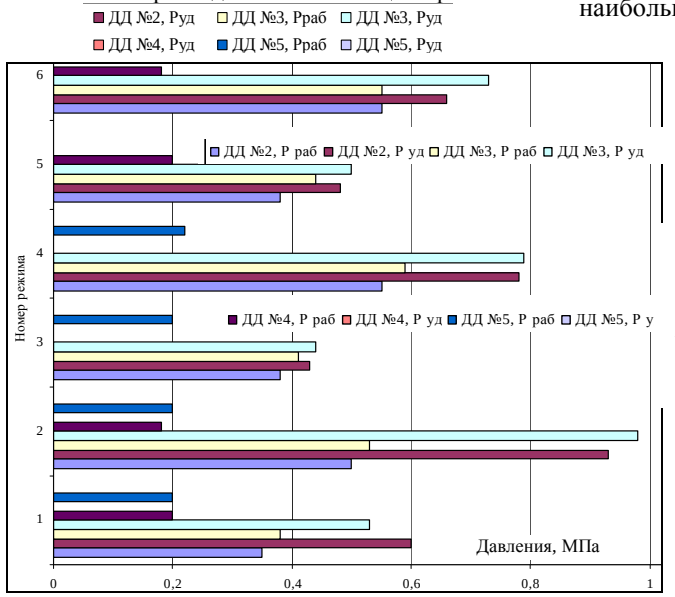


Рис. 22. Величины гидродинамических давлений АТЗ-40 при выдаче топлива из цистерны

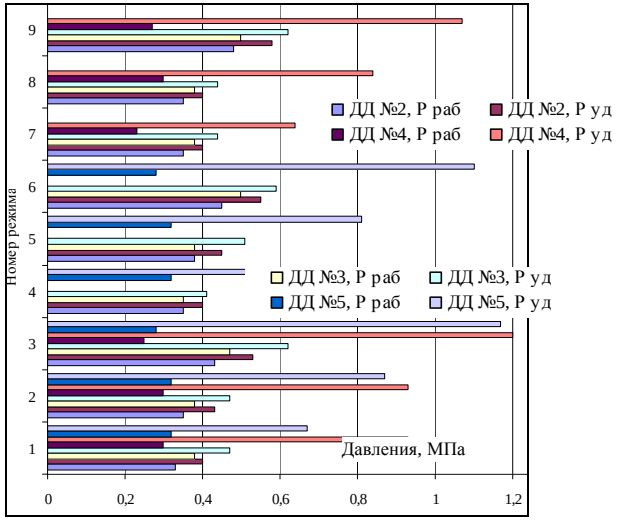


Рис. 23. Величины гидродинамических давлений АТЗ-40 при выдаче топлива из цистерны

пряжений, полученных при наиболее неблагоприятном сочетании одновременно действующих эксплуатационных нагрузок, с допускаемыми напряжениями [12].

При установившемся движении автотопливозаправщика должно выполняться соотношение $\sigma^1_{\Sigma} = \sigma_1 + \sigma_{св} + \sigma_2 + \sigma_3 \le [\sigma]_P = 160$ МПа, где σ_1 – статическое напряжение от воздействия 40 м^3 продукта, заполненного в цистерну; $\sigma_{св}$ – напряжение от собственного веса котла; σ_2 – напряжения, полученные от воздействия внутреннего избыточного рабочего давления 0,025 МПа; σ_3 – динамические напряжения, полученные при исследовании вертикальной динамики.

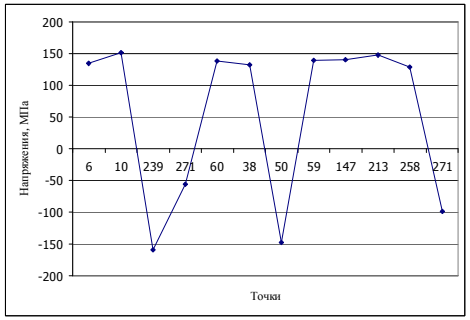


Рис. 24. Суммарные напряжения при установившемся движении автотопливозаправщика

Наибольшие суммарные напряжения были получены в следующих зонах конструкции и представлены на рис. 24.

Оценка прочности конструкции с учетом продольных динамических нагрузок, возникающих при торможениях автопоезда, осуществлялась по выражению $\sigma^2_{\Sigma} = \sigma_1 + \sigma_{св} + \sigma_2 + \sigma_4 \le [\sigma]_P = 160$ МПа, где σ_4 – динамические напряжения, измеренные при исследовании продольной динамики.

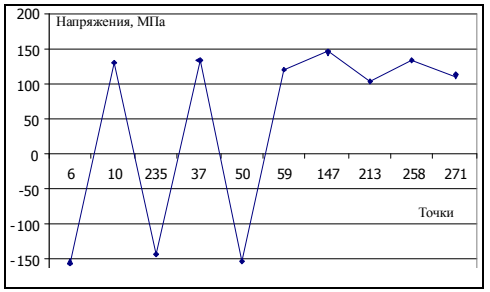


Рис. 25. Суммарные напряжения в цистерне с учетом продольных динамических нагрузок

Наибольшие суммарные напряжения σ^2_{Σ} составили величины, приведенные на рис. 25.

При установке полуприцепа на гидроопорные устройства оценка выполнялась по соотношению

$$\sigma^3_{\Sigma} = \sigma_1 + \sigma_{св} + \sigma_2 + \sigma_5 \le [\sigma]_P,$$

где σ_5 – напряжения, полученные при установке груженого полуприцепа на опорные устройства, а наибольшие суммарные напряжения получены в следующих зонах конструкции (рис. 26). Наибольшие величины главных суммарных напряжений для всех исследуемых в динамике точек и видов нагружений представлены на рис. 27, 28, где величины суммарных напряжений не превышают допускаемых, равных 160 МПа. Величины главных суммарных напряжений для испытательного режима (напряжения от массы продукта, собственного веса котла испытательного давления 0,05 МПа) не превышали 170 МПа (т. 6) при допускаемом $[\sigma]_{исп} = 216$ МПа.

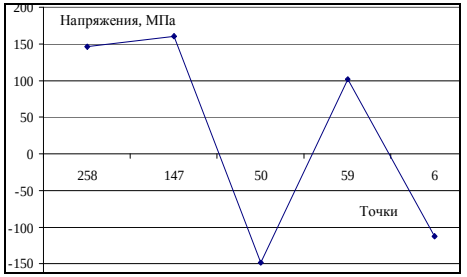


Рис. 26. Суммарные напряжения в цистерне при установке полуприцепа на гидроопоры

Рис. 27. Наибольшие величины главных суммарных напряжений с учетом всех видов нагружений

Рис. 28. Наибольшие величины суммарных напряжений
с учетом всех видов нагружений

На рис. 29 представлены типовые распределения напряжений в отдельных сечениях цистерны АТЗ-40 (масштаб M = 2 МПа/мм).

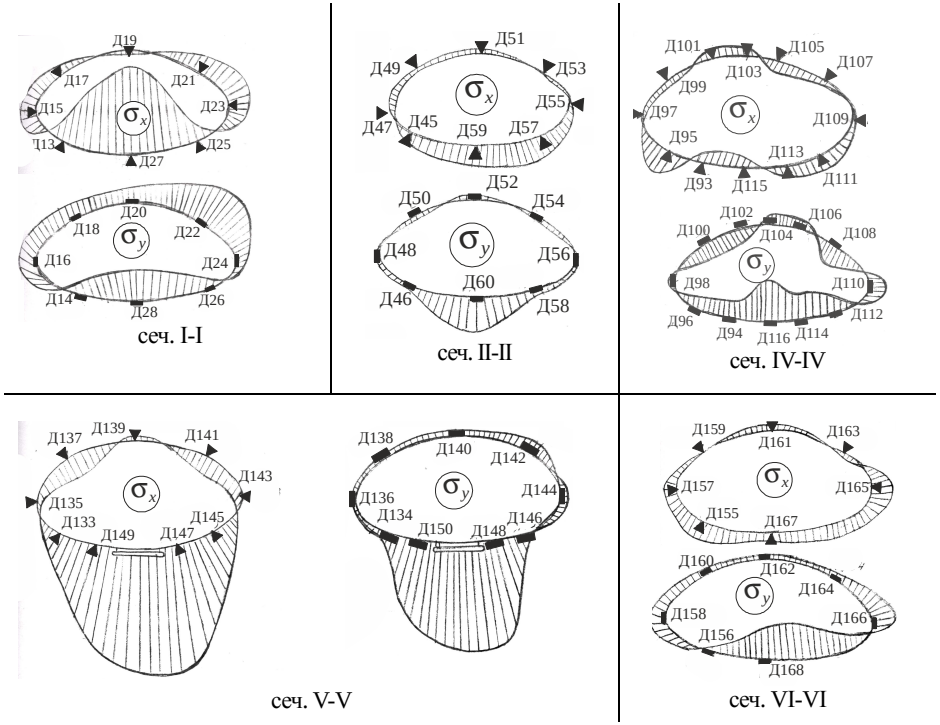


Рис. 29. Эпюры статических напряжений в различных сечениях

Погрешность измерений. Погрешность измерения прочностных параметров конструкции обусловлена следующими составляющими: δ_1 – погрешностью тензометрического метода измерения деформации; δ_2 – погрешностью измерительного тракта цифрового тензометрического моста; δ_3 – нелинейностью амплитудно-частотной характеристики измерительного тракта тензометрического усилителя ТУП-12; δ_4 – погрешностью регистрации на осциллографе; δ_5 – погрешностью обработки осциллограмм.

Погрешности, свойственные тензометрическому методу измерений, обусловлены: неидентичностью проволочных решеток тензорезисторов; качеством наклейки; неполной компенсацией влияния температуры. Указанная погрешность согласно [13] не может превышать величины δ_1 =±2,5%. Основная погрешность измерительного тракта цифрового тензометрического моста составляет δ_2 =±2% [14]. Погрешность, обусловленная нелинейностью амплитудно-частотной характеристики тензометрического усилителя ТУП-12, не превышает δ_3 = ±3% [15]. Суммарная погрешность регистрации динамических процессов магнитоэлектрическим осциллографом может достигать ±4% [16]. Погрешность обработки осциллограмм не превышает ±5%.

Среднеквадратическая погрешность при исследовании прочностных параметров составляет:

- для статических измерений $\delta_{ст} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} = 3{,}2\%$;
- для динамических измерений – $\delta_{дин} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2} = 7{,}5\%$.

Измерения ускорений, возникающих в процессе торможения топливозаправщика, выполнялись с суммарной погрешностью не более 12%. Погрешность измерения гидродинамических давлений в коммуникациях заправки не превышала ±8%. Абсолютная погрешность регистрации температуры составляла ±1,8°С.

Таким образом, на основании экспериментальных данных для всех видов проведенных измерений и анализа результатов испытаний автотопливозаправщика АТЗ-35(40) установлено следующее.

1. Цистерна автотопливозаправщика обладает достаточной прочностью и устойчивостью при воздействии эксплуатационных и испытательных нагрузок. Величины напряжений при наиболее неблагоприятном сочетании одновременно действующих нагрузок не превышали допускаемых.

2. Эффективность рабочей тормозной системы автотопливозаправщика при холодных тормозных механизмах удовлетворительная [10].

3. Наибольшие величины гидродинамических давлений в трубопроводах автотопливозаправщика в режимах заправки и выдачи топлива не превышали 1,95 МПа.

4. Автотопливозаправщик АТЗ-35(40) удовлетворяет требованиям

9010.00.000. ТУ.

Полученные результаты являются основой для создания полигибридной расчетно-экспериментальной модели для оценки несущей способности, обеспечения прочности и снижения массы наиболее нагруженных и ответственных элементов автотопливозаправщиков, в частности, АТЗ-22.

Экспериментальные исследования АТЗ-22. Как отмечалось выше, для создания адекватных и точных расчетных моделей вновь проектируемых машин, выполняющих регламентированные ответственные операции, целесообразно применение расчетно-экспериментального метода, предполагающего проведение первоначального цикла исследований на машинах-предшественниках. После этого созданные расчетные схемы используются для проведения расчетов и обоснования проектных решений. После изготовления первого опытного образца созданная машина подвергается проверочным испытаниям.

Рис. 30. Автотопливозаправщик АТЗ-22

Такая методика была использована в процессе создания топливозаправщика АТЗ-22 (рис. 30). В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований уже созданного топливозаправщика АТЗ-22.

Объект экспериментальных испытаний. Автотопливозаправщик (АТЗ) АТЗ-22, спроектированный и изготовленный в ОАО „Азовмаш”, представляет собой автопоезд, состоящий из полуприцепа (цистерна на двухосном шасси) и тягача, предназначен для выполнения следующих операций: наполнение цистерны топливом собственным или сторонним насосом; заправки летательных аппаратов из своей цистерны или стороннего резервуара открытым или закрытым способом; откачивание топлива из раздаточных рукавов; транспортирование топлива на летном поле аэродрома; слив топлива из баков летательных аппаратов и т.д.

Общие условия экспериментальных испытаний. В соответствии с разработанной программой и методикой испытаний [17] проводились испытания опытного образца автотопливозаправщика, включающие в себя следующие этапы: прочностные статические и динамические испытания; гидродинамические испытания; дорожные испытания.

Исследование напряженно-деформированного состояния конструкции АТЗ-22 при динамических испытаниях проводится с цистерной, заполненной до эксплуатационного объема при движении АТЗ со скоростью 40 и 50 км/ч с резким торможением; при движении АТЗ с поворотами влево (вправо) с максимально возможной скоростью; при движении АТЗ по дорогам III-V-й категорий.

При подготовке и проведении испытаний используются следующие оборудование и приборы: тензорезисторы КФ-5, система измерительная тензометрическая СИИТ-3, тензоусилитель 8АНЧ-23, манометр МТП, виброизмерительная аппаратура ВИ6-6ТН, осциллограф магнитоэлектронный К-20-22, секундомер СТЦ-1, цифровой толщиномер УТ-93П, вибратор ИВ-107, виброанализатор 01022 „Роботрон”. Отдельные результаты этих испытаний представлены в виде осциллограмм в данной статье.

Результаты экспериментальных исследований. Исследование напряженно-деформированного состояния автотопливозаправщика выполнялось методом электротензометрии с использованием тензорезисторов типа КФ-5 [18], которые были установлены в следующих зонах цистерны (см. схему установки тензорезисторов, рис. 31) [1-7].

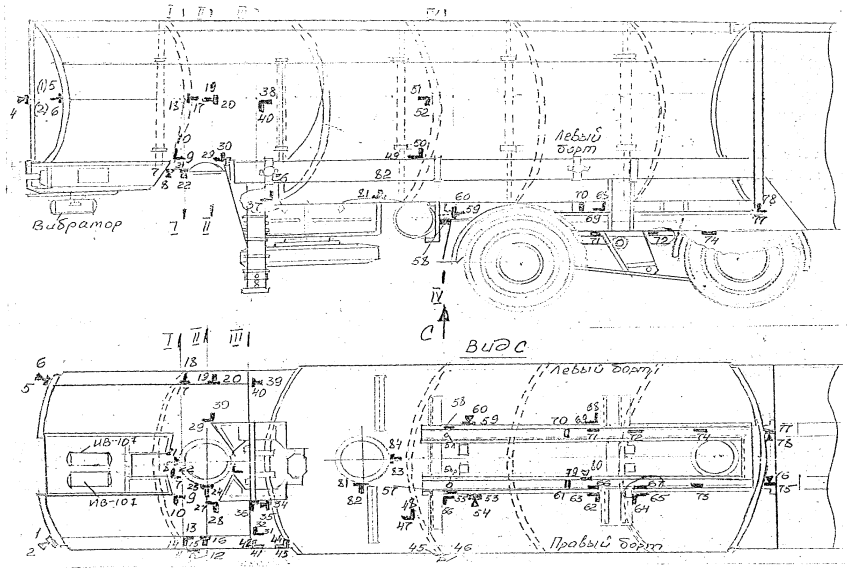


Рис. 31. Схема установки тензорезисторов на АТЗ-22-5444

Динамические деформации измерялись по мостовой схеме, при этом в плечи полумоста включался один активный и один компенсационный тензорезисторы. Регистрация величин динамической деформации производилась на осциллографную фотобумагу магнито-электрического шлейфового осциллографа К-20-22. На рис. 32 представлены осциллограммы, зарегистрированные при дорожные испытаниях автотопливозаправщика.

Результаты испытаний. Результаты прочностных статических и динамических испытаний представлены на рис. 33, 34.

Отработка режимов вибронагружений (выбор частот вибрации) по уровню напряженного состояния в контрольных точках цистерны представлена в табл. 3 и на рис. 35.

По результатам экспериментальных исследований АТЗ-22 можно сде-

лать следующие выводы.

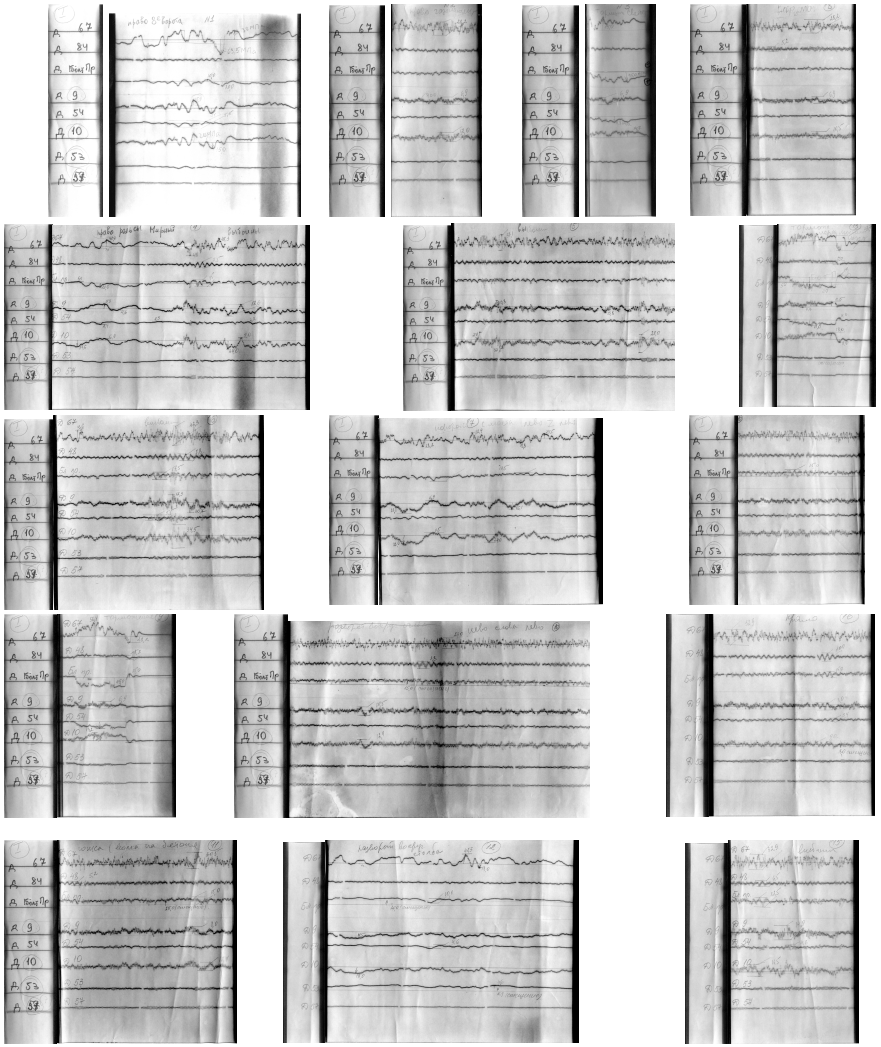


Рис. 32. Примеры осциллограмм, полученных при испытаниях

1. Наибольшие напряжения в исследуемых зонах от налива топлива в цистерну были зафиксированы на обечайке вблизи нижнего переднего люка тт. 21, 22, 27, 28 (28 ...35 МПа), а также вблизи приварки гидроопор тт. 29, 30 (57 МПа и 70 МПа).

2. При создании испытательного давления 0,05 МПа в наполненной топливом цистерне зафиксированы наибольшие главные суммарные напряжения (табл. 3):

- на переднем днище: –25...–33 МПа (тт. 1, 2, 5, 6); на обечайке в зоне приварки шкворневой плиты: – 43 МПа (т. на обечайке в зоне между шкворневой плитой и опорами (сеч. 1:104 МПа, 121 МПа и 100 МПа (тт.28-30);
- на обечайке в месте приварки нижних переднего и среднего стыков – 81 МПа, 86 МПа (тт. 21, 22) и 28 МПа и 39 МПа (тт.81, 82).

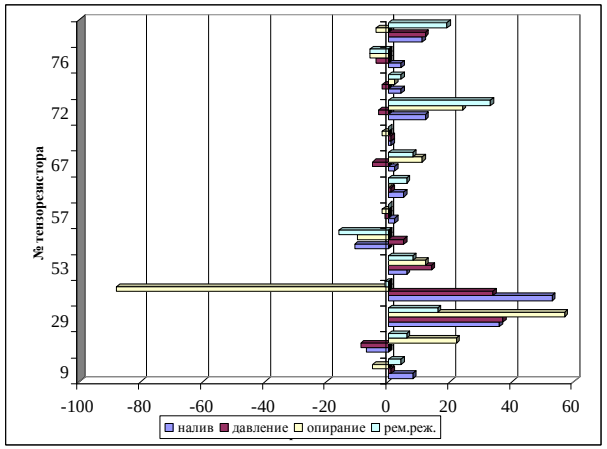


Рис. 33. Наибольшие суммарные напряжения, зарегистрированные в элементах конструкции АТЗ-22 при статических испытаниях

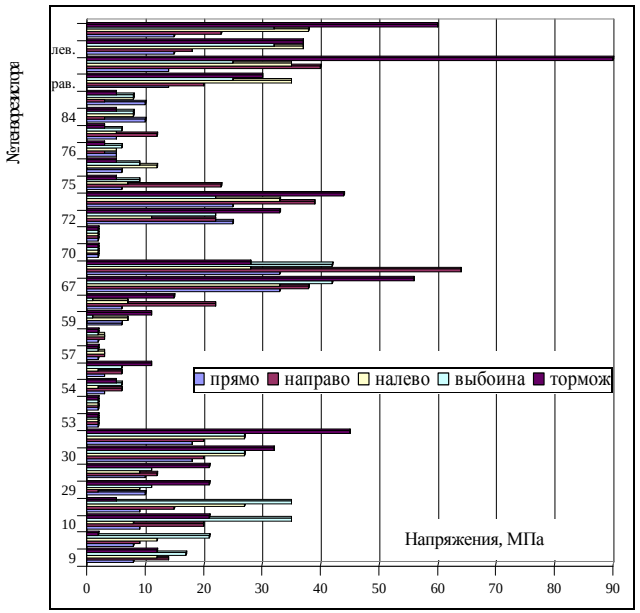


Рис. 34. Наибольшие суммарные напряжения, зарегистрированные в элементах конструкции АТЗ-22 при динамических испытаниях

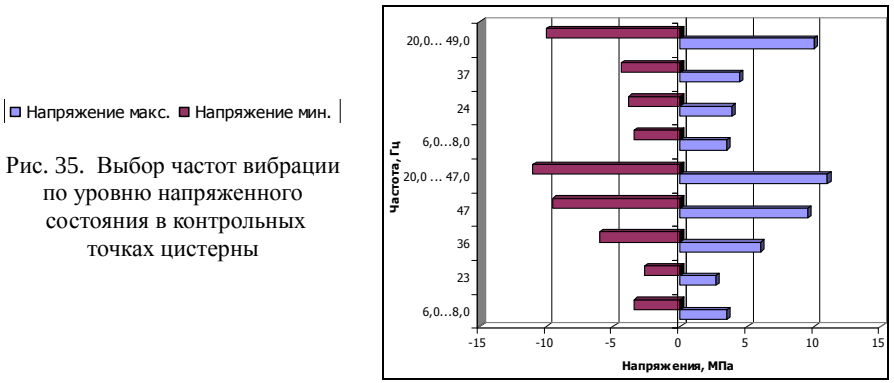


Рис. 35. Выбор частот вибрации по уровню напряженного состояния в контрольных точках цистерны

3. В режиме смены точек опирания с шкворневой плиты на гидроопоры наиболее нагруженными выявились зоны обечайки у гидроопор и среднего нижнего люка: (тт. 27, 28) –67 МПа, –93 МПа и –67 МПа (т. 81) и –40 МПа на раме (т. 72); уровень напряжений остальных точек не превышал 40 МПа.

4. Статические напряжения, полученные от затяжки болтов крепления цистерн к раме моментом 200...250 Нм, составили 160 МПа (болт правый) и 260 МПа (болт левый).

5. Динамические дорожные испытания позволили выявить уровень знакопеременных напряжений при движении АТЗ по асфальто-бетону, при этом размах их амплитуды на раме достигал величин 25÷–25 (МПа), 33÷–33 (МПа) (тт. 72 и 67), на обечайке 10÷–10 (т. т. 29, 84), +18÷–18 (МПа) (т. 30) и 9÷–9 (МПа) (тт. 9, 10) и на болтах крепления –15÷–15 (МПа).

6. При выполнении операций поворотов в движении на максимально допустимой скорости с учетом безопасности движения наиболее нагруженными были точки: на раме – 38 ÷ –64 (МПа) (т. 07) и 22 ÷ –39 (МПа) (т. 72), на обечайке – 20÷ –27 (МПа) (т. 10) и 27÷ –27 (МПа) (т.30), а напряжения на крепежных болтах были при этом: 35÷ –40 (МПа) (болт правый) и 37÷ –38 (МПа) (болт левый).

Таблица 3

Отработка режимов вибронагружений по уровню напряженного состояния в контрольных точках цистерны

Частота, Гц	Напряжения, МПа	Примечание
6,0...8,0	3,5…-3,5	груженая цистерна
23,0	2,7…-2,7	включен один вибратор
36,0	6,0…-6,0	включен один вибратор
47,0	9,5…-9,5	включен один вибратор
20,0... 47,0	11,0.-11,0	автоматическая прокачка частот
6,0...8,0	3,5…-3,5	включены два вибратора
24,0	3,9…-3,9	включены два вибратора
37,0	4,4…-4,4	включены два вибратора
20,0... 49,0	10,0…-10,0	автоматическая прокачка частот

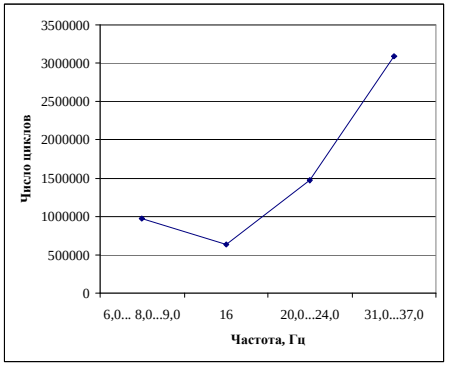


Рис. 36. Результаты виброиспытаний АТЗ №3

7. Величины главных суммарных напряжений для испытательного режима (напряжения от массы продукта, собственного веса котла и испытательного давления 0,05 МПа) не превышали 170 МПа (т. 6) при допускаемом $[\sigma]_{исп}$ =216 МПа.

8. Динамические напряжения, обусловленные движением автотопливозаправщика по неровному асфальто-бетону с выбоинами, а также по грунтовой дороге (V категории), достигали на раме величин 42÷ –42 (МПа) (т. 67) и на обечайке цистерны 27÷ –27 (МПа) и 35÷ –35 (МПа) (тт. 30, 10); болты при этом испытывали „динамику" 25÷ –25 (МПа) (правый) и 32÷ –32 МПа (левый).

9. При резких торможениях со скорости 50...60 км/ч напряжения на обечайке были 21÷–21 (МПа) и 32÷–45 (МПа) (т.т.29, 30), на раме 33 ÷ –44 (МПа) и 56 ÷ – 28 (МПа) (тт.72, 67), на болтах 30 ÷ –90 (МПа) (правом) и 37 ÷ –60 (МПа) (левом).

10. Суммирование статических напряжений с динамическими не выявили превышения уровня допускаемых напряжений; при этом в более нагруженных точках обечайки суммарные напряжения достигали величин 84 МПа и 119 МПа (тт. 29, 30), на раме (т. 67) +58÷–67 (МПа) и (т. 72) 45÷– 47 (МПа), на болтах 297 МПа (левом) и 195 МПа (правом).

11. Результаты виброиспытаний АТЗ №3 представлены на рис. 36. Местом установки двух вибраторов была выбрана шкворневая плита, при этом ось вращения была параллельна оси "X" – продольной оси цистерны.

12. Для контроля за уровнем напряжений были установлены тензорезисторы в зонах установки датчиков на АТЗ №1 – №№ 9, 10 (на обечайке шкворневой плиты) и №№ 29, 30 (на обечайке вблизи приварки гидроопор).

13. Отработка режимов вибронагружений (выбор частот вибрации) по уровню напряженного состояния в контрольных точках цистерны представлена в табл. 3. Время нагружения АТЗ и количество наработанных циклов на различных частотах приведены в табл. 4. Замеченные повреждения и дефекты при виброиспытаниях представлены ниже в табл. 5, 6.

14. После доработки было принято решение виброиспытания завершить, при этом наработанное число циклов соответствовало пробегу АТЗ на расстояние 12 тыс. км.

Результаты экспериментальных исследований напряженного состояния автоцистерны топливозаправщика АТЗ-22 дают основание сделать следующие выводы.

Таблица 4

Наибольшие напряжения от внутреннего избыточного давления в цистерне, МПа

	Зона	Точки	Δр, МПа			Зона	Точки	Δр, МПа	
			0,025	0,05				0,025	0,05
1	переднее днище	5, 6	-86	-160	13	вид В, обечайка котла	175, 176	20	32
2	сечение I-I	26, 27	-41	-45					
3	сечение I'-I'	41, 42	-42	-40	14	вид В, заднее днище	196, 197',197	52	128
4	сечение I'-I'	29, 30	-27	-45					
5	сечение II-II	020	-40	-85	15	вид В, заднее днище	198,199', 199	70	98
6	сечение III –III	029	26	40					
7	сечение III' -III'	037	63	90	16	вид Д, зона сочленения	216, 217	46	56
8	сечение IV –IV	050	82	-144	17		212, 213	44	56
9	сечение V -V	051	68	118	18	вид Е, передняя опора	228, 229	10	59
10	сечение VI –VI	167, 168	20	-31	19		238, 239	-41	-49
11	вид А, Ж, люк, патрубки	117, 118	18	36	20	вид Г, зона гидроопор	258, 259	75	116
12	вид Б, нижний люк	147, 148	81	120	21	вид Г, задняя опора котла	270, 271	-45	-75

1. Уровень напряжений, зарегистрированных при проведении прочностных и динамических испытаний, не превышает допустимых, что свидетельствует о правильности выбора конструктивных решений АТЗ-22.

2. Характер распределения во времени динамических напряжений, полученных при численном моделировании НДС элементов топливозаправщика АТЗ-22, а также их величины соответствуют напряжениям, полученным при экспериментальных испытаниях автотопливозаправщика.

Таблица5

Повреждения при виброиспытаниях

Частота, Гц	Наработано циклов	Примечание
6,0... 8,0...9,0	972000	порожняя цистерна
16,0	633600	
20,0...24,0	1476000	груженая цистерна
31,0...37,0	3094800	
ИТОГО:	6176400	

Заключение. Полученные в ходе базовых расчетно-экспериментальных исследований результаты дают основание сделать следующие выводы.

1. Предложенная методология расчетно-экспериментального обоснования проектно-технологических параметров машин специального назначения на основе построения полигибридных расчетных моделей продемонстрировала высокую степень эффективности. При этом достигается более высокая, по сравнению с традиционными подходами, точность расчетов и оперативность их проведения. Так, для топливозаправщика АТЗ-22 погрешность расчетной модели по уровню максимальных напряжений не превышает 12-15%, а сроки и стоимость проектных исследований снижены вдвое.

Таблица 6

Дефекты при виброиспытаниях

№ п.п.	Неисправности и дефекты	К-во циклов
1.	Открылся замок ящика (левая сторона, второе отделение)	857200
2.	Открылся замок насосного отделения (по правому борту АТЗ)	965300
3.	Течь по трещине по левому борту (обечайка у шкворневой плиты)	6176000
4.	Трещина по сварному шву по правому борту (обечайка у шкворневой плиты)	6176000

2. Несмотря на то, что множества факторов, влияющих на НДС машины-аналога (в данном случае, топливозаправщика АТЗ-40) и объекта проектирования (АТЗ-22), совпадают, удельный вес каждого из них в формировании прочностных и жесткостных характеристик для каждой машины отличается. Так, для АТЗ-22 влияние веса топлива в цистерне и динамики движения по различному дорожному покрытию ниже, чем для АТЗ-40. Это объясняется меньшими габаритами цистерны. При этом нельзя выделить доминирующий фактор, определяющий, в основном, прочность и жесткость, а, значит, и могущий быть положенным в основу обоснования проектно-технологических параметров серии данных машин.

3. По уровню напряжений и АТЗ-40, и АТЗ-22 удовлетворяют предъявленным требованиям по прочности для машин данного класса. При этом отсутствуют зоны с резкими всплесками напряжений. Это, с одной стороны, подтверждает достоверность расчетов на основе построенных полигибридных моделей, а, с другой, – свидетельствует о рациональном использовании материала.

Таким образом, предложенная методология дает на выходе достаточно рациональные конструктивно-технологические решения для высокоответственных элементов проектируемых машин.

В дальнейшем планируется сопоставление полученных экспериментальных данных с численными результатами исследования НДС автоцистерны, что дополнит базу данных достоверных расчетных моделей конструкций данного типа.

Список литературы: 1. *Расчетно-экспериментальный* метод определения параметров элементов машиностроительных конструкций / А.Д. Чепурной, Г.П. Глинин, Ю.Б. Гусев [и др.] // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – 2005. – №53. – С. 162-176. **2.** К вопросу об интеграции систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и управления предприятием / И.В. Артемов, Е.Н. Барчан, Г.П. Глинин [и др.] // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – 2005. – №60. – С. 9-29. **3.** *Ткачук Н.А.* Интенсивная схема экспериментальных исследований элементов сложных механических систем / Н.А. Ткачук, Г.П. Глинин, Е.А. Орлов // Пр. Таврійської держ. агротехн. академії. Наук. фахове видання. – Мелітополь, 2006, Вип.43. – С.20-29. **4.** *Глинин Г.П.* Экспериментальные исследования автотопливозаправщика АТЗ-22 / Г.П. Глинин // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – 2006. – №24. – С. 20-38. **5.** *Чепурной А.Д.* Базовые экспериментальные исследования для синтеза гибридных расчетных моделей высокоответственных машин / А.Д. Чепурной, Г.П. Глинин, Н.А. Ткачук // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. –2009. – №28. – С.140-162. **6.** *Общий* подход к обоснованию параметров проектируемых машин на основе гибридных расчетно-экспериментальных моделей / А.Д. Чепурной,

Г.П. Глинин, А.В. Литвиненко [и др.] // Механіка та машинобудування. – 2009. – №1. – С.103-109. **7**. Карапейчик И.Н. Многоуровневые гибридные расчет-но-экспериментальные модели для синтеза параметров элементов специальных транспортных средств / И.Н. Карапейчик, А.Д. Чепурной, Н.А. Ткачук // Механіка та машинобудування. – 20011. - № 1 (подана в печать). **8.** *9010.00.000.* ТУ Автотопливозаправщик АТЗ-35(40)-6443. **9.** *ГОСТ 15.001-76.* Разработка и постановка продукции на производство. **10.** *ОСТ 37.001.065-75.* Тормозные свойства автомобильного подвижного состава. Методы испытаний по определению эффективности тормозных систем. **11.** Дайчик М.Л. Методы и средства натурной тензометрии / М.Л. Дайчик, Н.И. Пригоровский, Г.Х. Хуршудов – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с. **12.** *Электрические* измерения неэлектрических величин / А. М. Туричин, П.В. Новицкий, Е. С. Левшина [и др.]. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с. **13.** *Беляев Н. М.* Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с. **14** *Техописание* и инструкция по эксплуатации системы измерительной тензометрической СИИТ-3. **15.** *Техописание* и инструкция по эксплуатации на усилитель тензометрический ТУП-12. **16.** *Техописание* и инструкция по эксплуатации на осциллограф магнитоэлектрический К-20-22. **17.** *Логиков В.П.* Электрические измерения механических величин. – М.: Энергия, 1970. **18.** *Проектирование* датчиков для измерения механических величин / Под ред. Е.П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979. – 480 с.

Поступила в редакцию 30.09.10