

долговечности, маневренности и функциональности (ГОСТ 27352-87. “Авто-транспортные средства для заправки и транспортирования нефтепродуктов. Типы, параметры, общие технические требования”). С целью удовлетворения этим требованиям при разработке конструкции автотопливозаправщиков и в первую очередь – цистерны, проводится комплекс расчетных и эксперимен-

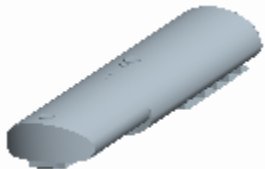


Рис.1. Цистерна авто-топливозаправщика АТЗ-22

тальных исследований и испытаний. В частности, задачей экспериментальных исследований является не только определение технических параметров автоцистерны, но и создание базы данных для обоснования их расчетных моделей. В связи с этим актуальной и важной является создание технологии расчетно-экспериментальных исследований автоцистерны, особенно в части эксперимен-

тального обоснования ее расчетной модели с целью определения напряженно-деформированного состояния (НДС).

**Анализ конструкции, технологии изготовления и условий эксплуатации.** Рассмотрим задачу экспериментального обоснования расчетных моделей цистерн автотопливозаправщиков на примере автоцистерны АТЗ-22 (рис.1).

Полуприцеп–цистерна (ППЦ) на двухосном шасси и седельный тягач КрАЗ-5444 конструкции и производства ОАО “Азовмаш” составляют автопоезд, который предназначен для заправки летательных аппаратов топливом на аэродромах всех классов, а также транспортирования топлива по автодорогам общей сети. Технические характеристики АТЗ-22-5444 приведены в табл.1.

Таблица 1  
Технические характеристики АТЗ-22-5444

Технические характеристики	Размерность	Величины
Номинальная вместимость	л	22000
Геометрическая вместимость	л	22400
Общая длина	мм	14000
Общая высота	мм	3150
Общая ширина	мм	2500
Межосевое расстояние тележки	мм	2050
Ширина колеи тележки	мм	1840
Допустимая полная масса	кг	34900
Допустимая нагрузка на оси тележки	кг	18000
Допустимая нагрузка на седло	кг	8275
Рабочее давление	МПа	0,02...0,032
Вакуумирующее давление	МПа	0,0075...0,0125
Испытательное давление	МПа	0,05

Изготавливается цистерна путем сварки из листовой стали ВстЗсп4-Св ГОСТ 14637-89 со следующими механическими характеристиками:  $\sigma_s = 370$  МПа,  $\sigma_T = 235$  МПа. Допустимые коэффициенты динамики  $k_d$ : вертикальной  $k_d^B = 2,0$ , продольной  $k_d^{np} = 2,0$ , поперечной  $k_d^{mn} = 1,0$  (ОСТ 37.001.067-86. “Тормозные свойства автотранспортных средств”). Толщины металла: обечайки – 4 мм, днищ и шпангоутов – 5 мм.

АТЗ относится к среднему типу автотопливозаправщиков по ГОСТ 27352-37, выполнен в виде автопоезда в составе седельного тягача КраЗ 5444 и полуприцеп–цистерны несущей конструкции на двухосном шасси тележки типа 2Т-18-Д1. В состав технологического оборудования седельного тягача входят коробка отбора мощности, насос АШ-50-4, масляный бак и др.

В состав оборудования полуприцеп–цистерны входят упрощенный заправочный модуль с двумя раздаточными катушками с рукавами ДУ-55, рукавами ДУ-50 с пистолетом РПГ-40Г, фильтр-сепаратор, комплект оборудования маслогидросистемы, насос СЦН, система автоматического управления с защитой по давлению и др.

Цистерна овальной формы изготовлена по чертежу 9029.00.000 с внутренним антикоррозионным покрытием и установленными внутри пятью волноулавливающими переборками. Цистерна оборудована опорным устройством, тремя верхними люками (верхнего налива, инспекционным и оборудованным дыхательным устройством, сигнализатором верхнего предельного уровня и ограничителем наполнения), а также тремя нижними люками (технологическим, нижнего налива и с отстойником, оборудованным для слива и отбора проб). По обе стороны цистерны в специальных пеналах размещены рукава ДУ-75

Рабочая тормозная система с пневматическим двухпроводным приводом с ускорительным клапаном на колодочные тормозные механизмы барабанного типа, стояночная тормозная система – пневматическая с приводом на тормозные механизмы задней оси с пружинными энергоаккумуляторами.

В процессе эксплуатации автоцистерна подвергается действию комплекса статических и динамических нагрузок, среди которых вес самой конструкции и топлива, в ней размещенного и транспортируемого; динамическое воздействие при передвижении и маневрировании; избыточное внутреннее давление и т.д. Соответственно к проектируемой и изготавливаемой конструкции предъявляются определенные требования по прочности, жесткости, долговечности и другим параметрам. В частности, зоны маневрирования на аэродромном поле и подъезда к самолетам разных типов (рис.2) определяют предельные радиусы поворотов.

Описанный комплекс силовых воздействий приводит к значительному уровню нагруженности автоцистерны, что в свою очередь требует анализа напряженно-деформированного состояния и синтеза ее конструкции с учетом

прочностных, жесткостных критериев и параметров долговечности и работоспособности при минимальной массе изделия.

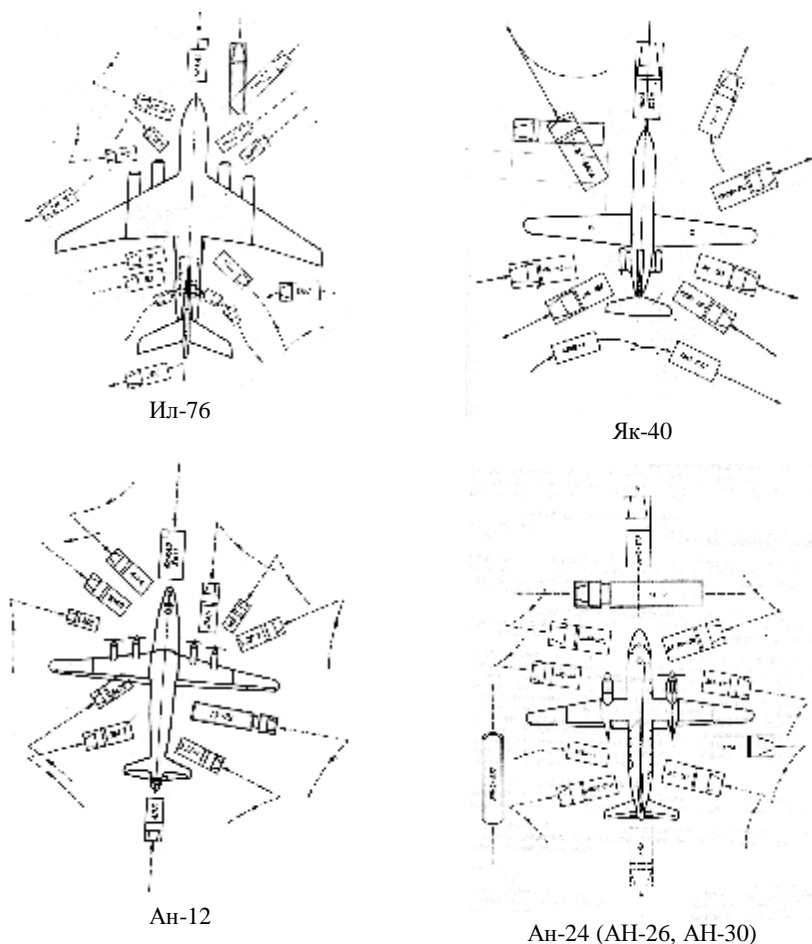


Рис.2. Схемы подъезда, отъезда и маневрирования спецмашин при обслуживании воздушных судов

**Технология расчетно-экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния автоцистерн АТЗ-22.** Разработка такой ответственной и сложной конструкции, как автоцистерна, предполагает многошаговый процесс проектирования испытаний, расчетов, технологической подготовки производства, осуществляемый параллельно несколькими потоками со множеством взаимных информационных связей. Рассмотрим отдельный важный подэтап этого процесса – расчетно-экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния (рис.3).



Рис.3. Процесс расчетно-экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния автоцистерны

В данной схеме присутствуют несколько веток обратной связи. Рассмотрим, в частности, ветку **II**. Ее начальный этап содержит анализ напряженно-деформированного состояния при текущих параметрах расчетной модели. После изготовления автоцистерны и ее экспериментального исследования появляются данные для уточнения и корректировки расчетной модели. Это относится в первую очередь к таким параметрам, как величина и распределение эксплуатационных нагрузок, расположение зон со значительными деформациями и напряжениями, соотношение напряжений, возникающих от действия отдельных факторов и их сочетаний и т.д.

Важно подчеркнуть, что если даже корректировка параметров расчетной модели в некоторых конкретных случаях и не требуется, то, во-первых, само наличие такой ветки желательно, а, во-вторых, полученные экспериментальные результаты являются составной частью базы данных, которая служит основой для создания расчетных схем семейства конструкций автоцистерн автоотопливозаправщиков.

**Методика и результаты экспериментальных исследований автоцистерны топливозаправщика.** Комплекс проведенных экспериментальных исследований автоцистерны и автоотопливозаправщика АТЗ-22 включает следующие этапы:

- исследование и оценка напряженно-деформированного состояния конструкции АТЗ под воздействием статических нагрузок;
- исследование динамической нагруженности АТЗ;
- исследование тормозных свойств автопоезда;
- проведение ресурсных испытаний методом вибронагружения.

**Методика проведения испытаний.** Испытания по определению статических деформаций конструкции АТЗ проводились при следующих нагрузке-

ниях полуприцепа:

- налив топлива в цистерну до эксплуатационного объема;
- создание положительного избыточного давления 0,05 МПа в заполненной топливом до эксплуатационного объема цистерне;
- создание режима опирания на гидроопоры.

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 режимом торможением;
- движении АТЗ с поворотами влево (вправо) с максимально возможной скоростью;
- движении АТЗ по дорогам III-V-й категорий.

**Проверка эффективности тормозных систем АТЗ на соответствие требованиям ГОСТ 22895-77, ОСТ 37.001.067-86.** Тормозные испытания типа “0” проводились на площадке отстоя транспортных самолетов Мариупольского аэропорта. Испытания стояночного тормоза проводились на специально выбранном участке дороги с уклоном 18%. Объем ресурсных испытаний включал имитацию пробега АТЗ на расстояние 2200 км, в т.ч. 2070 км (90%) по автодорогам I-II категорий со скоростью 60 км/ч и 230 км (10%) – по автодорогам III-V категорий со скоростью 25 км/ч.

На этапе *статического нагружения* конструкции регистрировались: деформации (см. схему установки тензорезисторов на рис.4, 5); давление и объем топлива в цистерне; температура окружающего воздуха. При *динамических испытаниях* регистрируются деформации, скорость движения автопоезда, ускорения (замедления) автопоезда, температура окружающего воздуха. При проведении *тормозных испытаний АТЗ* фиксировались: момент срабатывания привода тормозов, начальная скорость торможения, тормозной путь, установившееся замедление, температура тормозных барабанов. При проведении *ресурсных испытаний* фиксируются: частота вибронагружений, время и число циклов вибронагружения, величины деформаций.

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 ВИБ-6ТН, осциллограф магнитоэлектронный К-20-22, секундомер СТЦ-1, цифровой толщиномер УТ-93П, вибратор ИВ-107, вибронализатор 01022 “Роботрон”.

*Статические испытания* проводились в следующем порядке: замер толщины листов цистерны; разметка и зачистка мест под установку тензорезисторов; наклейка тензорезисторов, контроль качества наклейки; монтаж измерительных схем и проверка их работоспособности; подключение измерительно-регистрирующей аппаратуры, запись “0” показаний тензорезисторов ненагруженного агрегата, статическое нагружение агрегата путем налива топлива, создания избыточного положительного давления в цистерне, выполнение операций опирания на гидроопоры с одновременной записью пока-

заний приборов на всех режимах, демонтаж измерительных схем статики, обработка результатов статических испытаний.

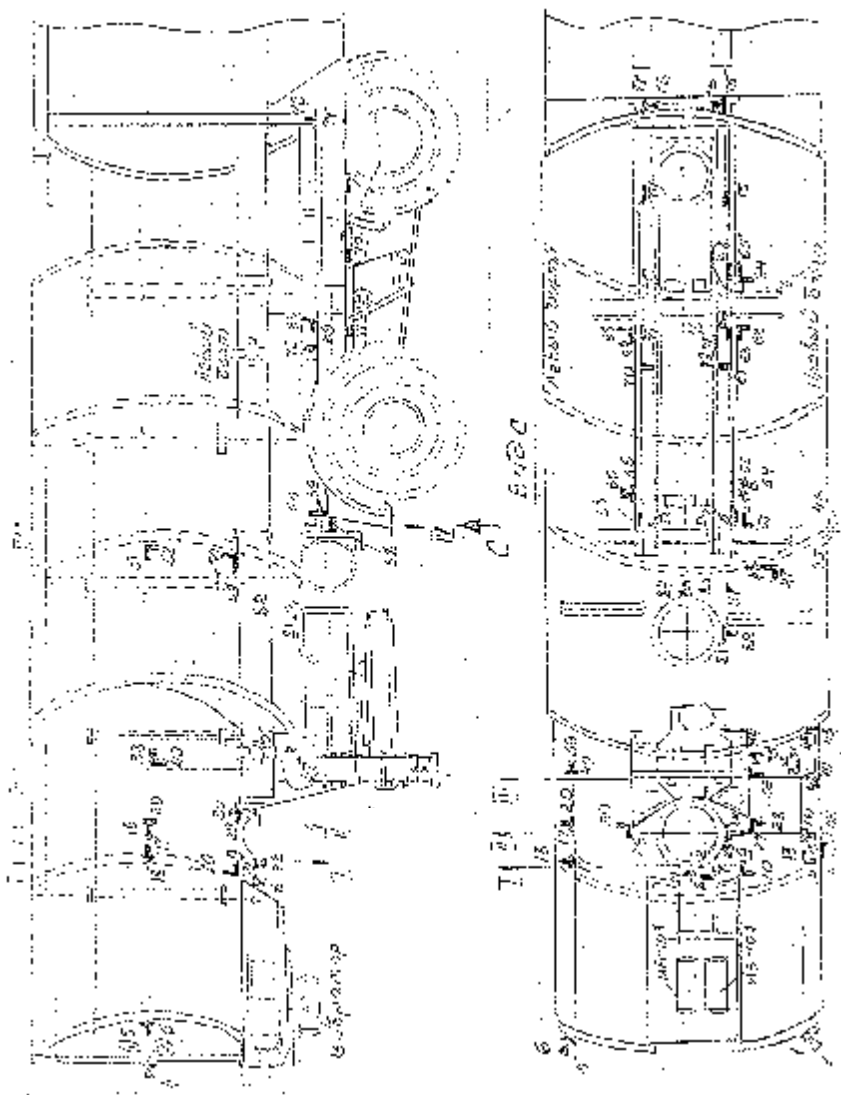


Рис.4. Схема установки тензорезисторов на АТЗ-22-5444

Порядок проведения *динамических испытаний*: выбор точек для “динамики” по результатам “статики”; монтаж измерительных схем; установка, настройка и тарировка приборов; выполнение операций динамических на-

грузений (движение по прямой с торможениями, поворотами, движение по грунтовой дороге) с регистрацией параметров, проявление осциллограмм, перезарядка кассет, обработка записей на осциллограммах.

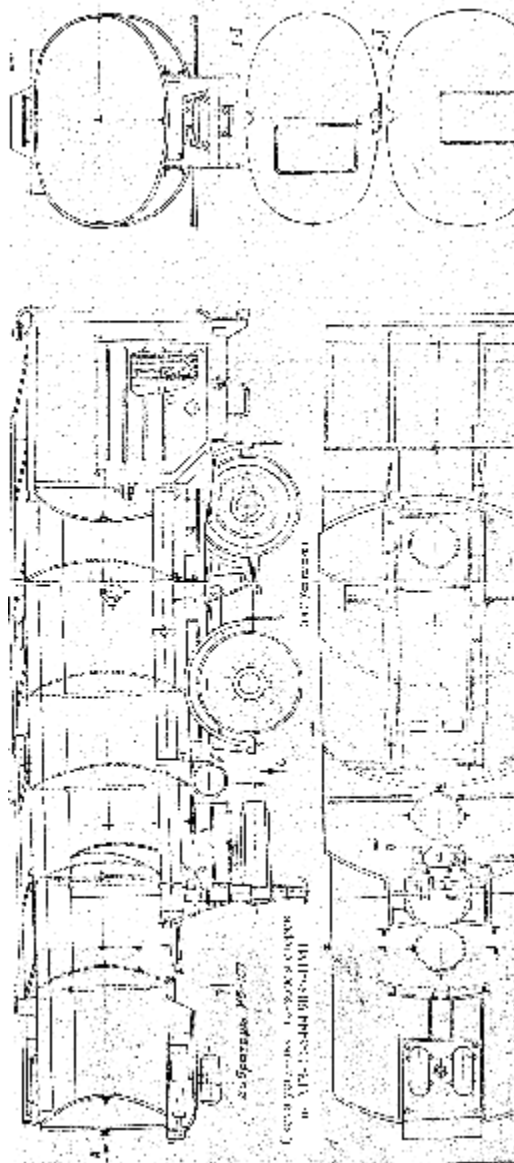


Рис.5. Схема установки вибраторов

Порядок проведения *тормозных испытаний*: монтаж на АТЗ устройства “5-е колесо”, сборка схем; установка измерительно-регистрающей ап-

паратуры, настройка; выполнение операций торможения с регистрацией величин замедлений, тормозного пути и скорости; проявление осциллограмм, обработка результатов; повторные заезды после регулировки тормозной системы по результатам предыдущих торможений; демонтаж аппаратуры и устройства.

*Ресурсные испытания* включают в себя: выбор режимов виброобработки; пробные виброн нагружения и осмотр полуприцепа; проведение виброн нагружений на выбранных режимах; посменный осмотр и выявление дефектов полуприцепа.

**Результаты испытаний.** При статических испытаниях в зонах исследования, где тензорезистор наклеен таким образом, что его продольная ось совпадает с направлением главной деформации, напряжение определяется по формуле

$$\sigma_i = E \varepsilon_i, \quad (1)$$

где  $\sigma_i$  – напряжения в точке замера, МПа;  $E$  – модуль упругости материала;  $\varepsilon_i$  – деформации в точке замера.

При измерении двухмерного поля напряжения по измеренным главным деформациям определялись по формулам [1-7]:

$$\sigma_{i1} = E(\varepsilon_1 + \mu \varepsilon_2) / (1 - \mu^2); \quad (2)$$

$$\sigma_{i2} = E(\varepsilon_2 + \mu \varepsilon_1) / (1 - \mu^2), \quad (3)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – деформации в направлении ориентации тензорезисторов;  $\mu$  – коэффициент Пуассона (для стали  $\mu = 0,3$ ).

Оценка напряженно-деформированного состояния конструкции АТЗ проводилась путем сравнения максимальных суммарных напряжений, полученных экспериментальным путем, с допускаемыми напряжениями.

При установившемся движении АТЗ должны выполняться соотношения

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \leq [\sigma']; \quad (4)$$

при продольной динамике:

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_4 \leq [\sigma'']; \quad (5)$$

при установке полуприцепа на гидроопоры:

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_5 \leq [\sigma'''], \quad (6)$$

где  $\sigma_1$  – напряжения, обусловленные массой продукта;  $\sigma_2$  – напряжения от воздействия внутреннего давления;  $\sigma_3$  – напряжения от вертикальной мической нагрузки;  $\sigma_4$  – напряжения, возникающие при торможений автопоезда;  $\sigma_5$  – напряжения при установке АТЗ на гидроопоры;  $[\sigma']$  – допускаемые на-



пряжения для эксплуатационных режимов:

$$[\sigma'] = \sigma_T / n = 160 \text{ МПа},$$

где  $n$  – коэффициент запаса прочности ( $n = 1,5$ );

$[\sigma'']$  – допускаемые напряжения при продольной динамике:

$$[\sigma''] = 0,8\sigma_T = 192 \text{ МПа}.$$

Параметры торможений определялись при обработке осциллограмм:  $t_c$  – время запаздывания как отрезок осциллограмм с момента нажатия на тормозную педаль до появления замедления;  $t_n$  – время нарастания замедления как отрезок осциллограмм с момента появления замедления до момента, когда замедление становится величиной постоянной;  $t_c + t_n$  – время срабатывания как отрезок осциллограммы с момента нажатия на педаль до появления постоянной величины замедления;  $t_{уст}$  – время установившегося замедления как отрезок осциллограммы, на котором замедление постоянно;  $t_p$  – время растормаживания как отрезок осциллограммы, когда замедление перестает быть постоянным до конца торможения;

$T$  – время торможения как отрезок осциллограммы с момента нажатия на тормозную педаль до конца торможения (ГОСТ 27352-87. “Автотранспортные средства для заправки и транспортирования нефтепродуктов. Типы, параметры, общие технические требования”, ГОСТ 22895-77. “Тормозные свойства автотранспортных средств”).

Величина начальной скорости определялась путем деления величины пути на время до начала торможения. Величина установившегося замедления определялась путем деления величины тормозного пути на квадрат времени торможения. Тормозной путь определялся как произведение длины на число оборотов мерительного колеса, фиксируемых на осциллограмме. Оценка эффективности рабочей тормозной системы АТЗ проводилась по ГОСТ 22895-77 “Тормозные свойства автотранспортных средств”.

Количество циклов виброн нагружении при проведении ресурсных испытаний определялось по формулам:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2, \quad N_1 = \frac{3600 f_1 S_1}{V_1}; \quad N_2 = \frac{3600 f_2 S_2}{V_2},$$

где  $N_{\Sigma}$  – общее количество циклов виброн нагружении;  $N_1, N_2$  – количество циклов виброн нагружении, имитирующих пробег АТЗ по автодорогам соответственно I-II и III-V категорий;  $f_1, f_2$  – резонансные частоты, подбираемые по величинам напряжений, близких к напряжениям, зафиксированных при динамических испытаниях;  $S_1, S_2, V_1, V_2$  – пути (км) и скорости (км/ч) пробега

АТЗ по автодорогам соответствующих категорий.

Результаты прочностных статических и динамических испытаний представлены в табл.2-4, примеры осциллограмм – на рис.6.

Таблица 2

Зона исследования	№ тензорезистора	Направление	Напряжения при нагрузках, МПа				
			4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
Днище переднее	1	X	-2	-2	-13	-16	-1
	2	Y	-3	-4	-20	-25	-1
	3	X	2	2	13	16	-3
	4	Y	-5	-6	1	1	3
	5	X	-4	-5	-14	-17	0
	6	Y	-2	-2	-20	-25	2
Обечайка в зоне шкворневой плиты	7	X	8	10	-13	-16	-6
	8	Y	-11	-13	-23	-29	12
	9	X	7	8	1	1	-5
	10	Y	-6	-7	-9	-11	22
Междупорная зона цистерны (сечение I-I)	11	X	1	1	9	11	3
	12	Y	2	2	2	2	0
	13	X	2	2	3	4	-3
	14	Y	3	4	3	4	1
Междупорная зона цистерны (сечение II-II)	15	X	1	1	0	0	-6
	16	Y	5	6	5	6	-1
	17	X	4	5	5	6	-3
	18	Y	3	4	5	6	0
	19	X	2	2	1	1	-4
	20	Y	4	5	0	0	0
Нижний передний люк	21	X	15	18	26	33	-7
	22	Y	20	24	41	51	-13
	23	X	10	12	0	0	-14
	24	Y	12	14	28	35	-5
Обечайка в зоне приварки гидроопор (сечение II-II)	25	X	7	8	-1	-1	-33
	26	Y	21	25	11	14	-46
	27	X	13	16	18	22	-53
	28	Y	46	55	12	15	-133
	29	X	30	36	37	46	-57
	30	Y	44	53	34	42	-88

Продолжение табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Обечайка в зоне приварки гидропор (сечение III-III)	31	X	-5	-6	-6	-8	6
	32	Y	1	1	2	3	-3
	33	X	5	6	2	3	-24
	34	Y	15	18	6	8	-27
	35	X	9	11	6	8	-14
	36	Y	11	13	4	5	-31
	37	X	3	4	1	1	0
	38	Y	10	12	6	8	11
	39	X	6	7	-2	-2	-35
	40	Y	2	2	3	4	-9
	41	X	4	5	4	5	-2
	42	Y	1	1	11	14	-4
	43	X	6	7	0	0	-10
	44	Y	3	4	2	3	8
Обечайка в зоне средней перегородки	45	X	8	10	-5	-6	6
	46	Y	6	7	2	2	2
	47	X	8	10	-4	-5	-8
	48	Y	15	18	1	1	-7
	49	X	2	2	-2	-3	-4
	50	Y	-1	-1	-5	-6	-5
	51	X	3	4	-3	-4	-10
Рама цистерны (сечение IV-IV)	52	Y	-1	-1	0	0	5
	53	X	5	6	14	17	-12
Обечайка (сечение IV-IV)	54	Y	-9	-11	5	6	-10
	55	X	5	6	2	2	-2
Рама цистерны	56	Y	3	4	6	7	-1
	57	X	2	2	-1	-1	-2
	58	X	-1	01	2	3	3
	59	X	4	5	1	1	0
Ребро рамы	60	Y	3	4	-4	-5	-4
	61	Y	-7	-8	2	3	0
Обечайка в зоне балансиров	62	Y	2	2	12	15	0
	63	X	-2	-2	5	6	1
	64	Y	-1	-1	8	10	7
	65	X	5	6	6	8	-2
Рама	66	X	-9	-11	-3	-4	-12
	67	X	2	2	-5	-6	11
Обечайка в зоне балансиров	68	Y	-1	-1	-6	-7	1
	69	X	-1	-1	5	6	1
Ребро рамы	70	Y	1	1	1	1	-2
	71	X	2	2	-2	-2	-17
Рама	72	X	10	12	-3	-4	24
	73	X	0	0	0	0	0
	74	X	11	13	2	2	10

Продолжение табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Рама в зоне приварки кабины	75	X	3	4	-2	-2	2
	76	Y	3	4	-4	-5	-6
	77	X	3	4	1	1	-5
	78	Y	-1	-1	-1	-1	0
Обечайка у люка среднего (снизу)	79	X	4	5	-6	-8	2
	80	Y	1	1	0	0	11
	81	X	7	8	6	7	-73
	82	Y	9	11	19	24	0
Рама	83	X	1	1	1	1	0
	84	Y	9	11	12	15	-4

Таблица 3

Зона исследования	№ тензо-резистора	Направление	Суммарные напряжения (налив+нагрузка), МПа			Главные напряжения при нагрузках, МПа				
			4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Днище переднее	1	X	-15	-18	-3	-3	-4	-25	-30	-5
	2	Y	-24	-29	-5	-4	-5	-21	-25	-5
	3	X	15	18	-1	1	1	15	19	-2
	4	Y	-5	-5	-3	-5	-6	-12	-13	-5
	5	X	-18	-22	-5	-5	-8	-28	-33	-5
	6	Y	-22	-27	0	-4	-4	-26	-32	1
Обечайка в зоне шкворневой плиты	7	X	-3	-6	4	5	6	-16	-21	4
	8	Y	-36	-42	-1	-9	-11	-37	-43	0
	9	X	9	9	3	6	7	5	4	9
	10	Y	-16	-18	15	-4	-5	-14	-16	18
Междуопорная зона цистерны (сечение I-I)	11	X	10	12	4	2	2	12	15	5
	12	Y	4	4	2	3	3	6	7	2
	13	X	6	6	-1	3	4	8	10	1
	14	Y	7	8	5	4	5	8	9	3
Междуопорная зона цистерны (сечение II-II)	15	X	1	1	-5	3	3	5	5	-4
	16	Y	11	12	5	6	7	15	17	6
	17	X	10	11	2	5	6	13	15	3
	18	Y	8	10	4	5	6	10	13	3
	19	X	3	3	-2	4	4	5	5	-0
	20	Y	5	5	5	5	6	20	22	9
Нижний передний люк	21	X	44	51	11	23	28	70	81	16
	22	Y	65	75	11	27	32	75	86	11
	23	X	12	12	-2	15	18	27	30	1
	24	Y	42	49	9	17	20	49	57	2

Продолжение табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

Обечайка в зоне приварки гидроопор (сечение II-II)	25	X	8	7	-25	15	18	20	21	-34
	26	Y	36	39	-21	25	30	51	56	-35
	27	X	33	38	-37	29	35	59	65	-67
	28	Y	67	70	-78	55	66	98	104	-93
	29	X	73	82	-21	48	57	109	121	-35
	30	Y	86	95	-35	58	70	91	100	-39
Обечайка в зоне приварки гидроопор (сечение III-III)	31	X	-12	-14	0	-5	-6	-12	-14	-1
	32	Y	4	4	-2	-1	-1	7	8	-8
	33	X	8	9	-18	10	13	17	18	-23
	34	Y	24	26	-9	18	22	33	35	-11
	35	X	17	19	-3	14	16	25	27	-9
	36	Y	17	18	-18	15	18	20	22	-18
	37	X	4	5	4	7	8	11	12	4
	38	Y	18	20	1	12	14	22	24	-8
	39	X	6	5	-28	7	9	8	8	-33
	40	Y	6	6	-7	4	5	9	10	-6
	41	X	9	10	3	5	6	14	16	2
	42	Y	12	15	-3	2	3	16	19	-4
	43	X	7	7	-3	8	9	10	10	1
	44	Y	6	7	12	5	6	8	8	18
Обечайка в зоне средней перегородки	45	X	5	4	16	11	13	8	7	20
	46	Y	9	9	9	9	11	12	12	11
	47	X	6	5	2	14	17	12	11	5
	48	Y	19	19	11	19	23	21	21	-12
	49	X	-0	-1	-2	2	2	-2	-3	-4
	50	Y	-6	-7	-6	-0	-1	-6	-8	-9
	51	X	0	-0	-6	3	4	0	-1	-6
	52	Y	-1	-1	4	-0	-0	5	6	2
Рама цистерны (сечение IV-IV)	53	X	20	23	-6	3	3	20	24	-13
	54	Y	-6	-5	-21	-8	-10	-4	-3	-22
Обечайка (сечение IV-IV)	55	X	8	8	4	6	8	11	12	5
	56	Y	9	11	3	5	6	11	12	3
Рама цистерны	57	X	2	1	0	2	2	2	2	1
	58	X	1	2	2	-1	-1	3	4	4
	59	X	6	6	5	5	6	6	6	5
	60	Y	-0	-1	-0	5	6	-2	-3	-3
Ребро рамы	61	Y	-6	-5	-8	-7	-8	-2	-0	-8
Обечайка в зоне балансиров	62	Y	14	17	2	-0	-0	17	20	2
	63	X	2	4	-1	-3	-3	5	7	0
	64	Y	7	9	6	-2	-2	12	14	8
	65	X	12	14	4	3	3	9	11	-3
Рама	66	X	-14	-15	-23	-9	-11	-16	-17	-21
	67	X	-2	-4	13	2	2	-5	-7	15

Продолжение табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Обечайка в зоне	68	Y	-7	-8	-0	-0	-1	-6	-7	-0

балансиров	69	X	4	5	-0	-1	-1	5	6	-0
Ребро рамы	70	Y	2	2	-1	1	1	2	3	-6
Рама	71	X	1	0	-15	2	2	4	3	-4
	72	X	9	8	36	10	12	10	9	40
	73	X	0	0	0	0	0	5	5	8
	74	X	15	15	23	11	13	17	17	27
Рама в зоне при- варки кабины	75	X	2	2	6	4	5	2	1	5
	76	Y	-0	-1	-2	4	5	1	-0	-3
	77	X	4	5	-1	3	4	4	4	-2
	78	Y	-2	-2	-1	-0	-0	-3	-3	1
Обечайка у люка среднего (снизу)	79	X	-2	-3	7	5	6	-1	-3	12
	80	Y	1	1	12	2	3	6	6	-8
	81	X	14	15	-65	11	13	25	28	-67
Рама	82	Y	30	35	11	12	15	34	39	12
	83	X	2	2	1	4	5	10	11	4
	84	Y	23	26	7	10	12	25	28	7

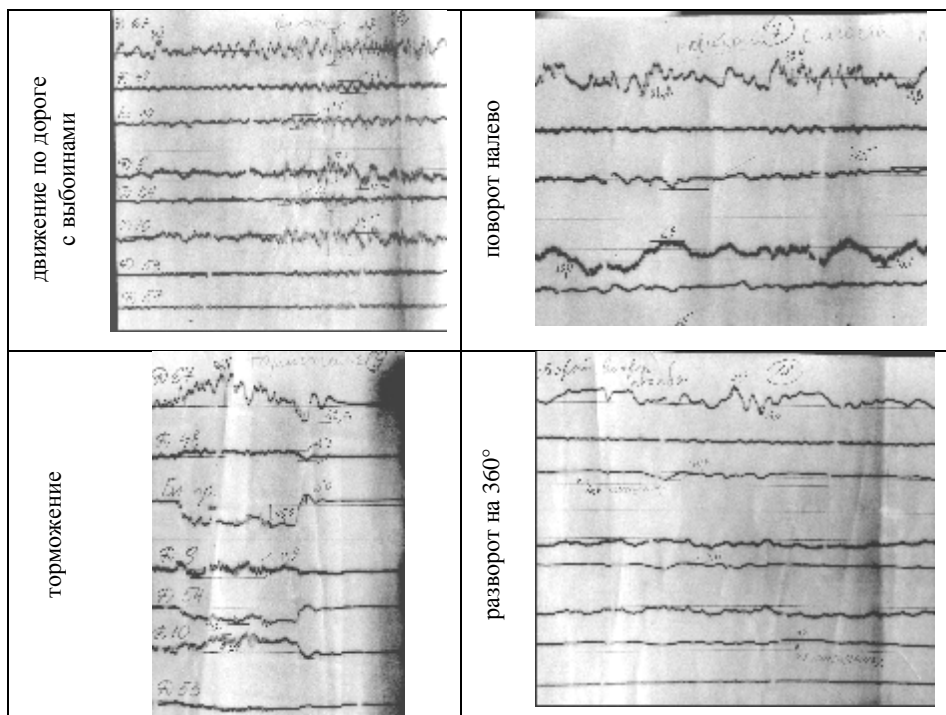


Рис.6. Примеры осциллограмм

Таблица 4

Наибольшие суммарные напряжения, зарегистрированные в элементах конструкции АТЗ-22 при статических и динамических испытаниях

№ тензорезистора	Напряжения, МПа											
	Статические				Динамические					Стат. + дин.		
	налив	давление	опирание	рем.реж.	Движение (асфальт-бетон)					выбоина-асф.	поворот (л/п)	тормож.
					прямо	направо	налево	выбоина	тормож.			
9	8	1	-	4	8	14	12	17	12	26	23	21
	-	-	-5	-	-8	-9	-12	-21	-2	-12	-3	-
10	-	-	22	6	9	20	8	35	21	-9	20	5
	-7	-9	-	-	-9	-15	-27	-35	-5	-51	-43	-22
29	36	37	-	16	10	2	9	11	21	84	82	84
	-	-	57	-	-10	-12	-9	-11	-21	-	-	-
30	53	34	-	-	18	20	27	27	32	114	114	119
	-	-	-88	-1	-18	-20	-27	-27	-45	-	-	-
53	6	14	-	8	2	2	2	2	2	22	22	22
	-	-	12	-	-2	-2	-2	-2	-2	-	-	-
54	-	5	-	-	3	6	2	6	5	-	-	10
	-11	-	-10	-16	-3	-6	-2	-6	-11	-17	-17	-22
57	2	-	-	0	2	3	3	2	2	4	5	4
	-	-1	-2	0	-2	-3	-3	-2	-2	-	-2	-
59	5	1	0	6	6	-	7	1	11	7	13	17
	-	-	-	-	-6	-22	-7	-1	-15	-	-6	-9
67	2	-	11	8	33	38	33	42	56	44	40	58
	-	-5	-	-	-33	-64	-28	-42	-28	-45	-67	-33
70	1	1	-	0	2	2	2	2	2	4	4	4
	-	-	-2	0	-2	-2	-2	-2	-2	-	-	-
72	12	-	24	33	25	22	11	22	33	34	34	45
	-	-3	-	-	-25	-39	-33	-22	-44	-13	-30	-47
75	4	-	2	4	6	23	7	9	5	13	27	9
	-	-2	-	-	-6	-	-12	-9	-5	-5	-10	-7
76	4	-	-	-	5	3	5	6	3	10	9	7
	-	-4	-6	-6	-5	-12	-5	-6	-3	-2	-12	-7
84	11	12	-	19	10	3	8	8	5	31	31	28
	-	-	-4	-	-10	-3	-8	-8	-5	-	-15	-5
Болт прав.	160 (затяжка)				14	20	35	25	30	185	195	190
					14	-40	-35	-25	-90	95	125	70
Болт лев.	260 (затяжка)				15	18	37	32	37	292	297	292
					15	-23	-38	-32	-60	228	222	228

Наибольшие напряжения в исследуемых зонах от налива топлива в цистерну были зафиксированы на обечайке вблизи нижнего переднего люка (точки 21, 22, 27, 28) – 28 ... 35 МПа, а также вблизи приварки гидропор

(точки 29, 30) – 57 МПа и 70 МПа. При создании испытательного давления 0,05 МПа в наполненной топливом цистерне зафиксированы наибольшие главные суммарные напряжения:

- на переднем днище – -25...-33 МПа (точки 1, 2, 5, 6);
- на обечайке в зоне приварки шкворневой плиты – -43 МПа (точка 8);
- на обечайке в зоне между шкворневой плитой и опорами (сеч.І-І) – 104, 121 и 100 МПа (соответственно в точках 28, 29 и 30);
- на обечайке в месте приварки нижних переднего и среднего люков – 81 МПа, 86 МПа (точки 21, 22) и 28 МПа и 39 МПа (точки 81, 82);

В режиме смены точек опирания шкворневой плиты на гидроопоры наиболее нагруженными выявились зоны обечайки у гидроопор и среднего нижнего люка – -67 МПа, -93 МПа (точки 27, 28) и -67 МПа (точка 81) и на раме (точка 72) – -40 МПа. Уровень напряжений остальных точек не превышал +40 МПа. Статические напряжения, полученные от затяжки болтов крепления цистерны к раме моментом 200...250 Н·м, составили 160 МПа (болт правый) и 260 МПа (болт левый).

Динамические дорожные испытания позволили выявить уровень знакопеременных напряжений при движении АТЗ по асфальтобетону, при этом размах их амплитуды достигал величин:

- на раме 25 ... -25 МПа, 33 ... -33 МПа (точки 72 и 67);
- на обечайке 10 ... -10 МПа (точки 29, 84), 18 ... -18 МПа (точка 30) и 9 ... -9 МПа (точки 9, 10);
- на болтах крепления – 15 ... -15 МПа.

При выполнении операций поворотов в движении на максимально допустимой скорости с учетом безопасности движения наиболее нагруженными были точки:

- на раме 38 ...-64 МПа (точка 67) и 22...-39 МПа (точка 72);
- на обечайке 20...-27 МПа и +27...-27 МПа (точки 10 и 30 соответственно).

Напряжения на крепежных болтах были при этом 35...-40 МПа (болт правый) и 37...-38 МПа (болт левый).

Динамические напряжения, обусловленные движением АТЗ по неровному асфальтобетону с выбоинами, а также по грунтовой дороге (V категории), достигали величин - +42...-42 МПа (точка 67) на раме и 27...-27 МПа, 35...-35 МПа (точки 30, 10) – на обечайке цистерны. Болты при этом испытывали “динамику” – 25...-25 МПа (правый) и 32...-32 МПа (левый).

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

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 (точки 29, 30), на раме 58...-67 МПа (точка 67), 45...-47 МПа (точ-



(точка 72), на болтах 297 МПа (левом) и 195 МПа (правом).

Результаты виброиспытаний АТЗ №3 представлены в табл.5-7. Местом установки двух вибраторов была выбрана шкворневая плита, при этом ось вращения была параллельна оси "Х" (продольной оси цистерны). Схема установки вибраторов показана на рис.5.

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

Отработка режимов вибронагрузений (выбор частот вибрации) по уровню напряженного состояния в контрольных точках цистерны представлена в табл.5.

Таблица 5

Частота, Гц	Напряжения, МПа	Примечание
6,0...8,0	3,5...-3,5	груженная 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

Время нагружения АТЗ и количество наработанных циклов на различных частотах приведена в табл.6.

Таблица 6

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

Замеченные повреждения и дефекты при виброиспытаниях представлены ниже в табл. 7.

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

Таблица 7

Неисправности и дефекты	К-во циклов
Открылся замок ящика (левая сторона, второе отделение)	857200
Открылся замок насосного отделения (по правому борту АТЗ )	965300
Течь по трещине по левому борту (обечайка у шкворневой плиты)	6176000
Трещина по сварному шву по правому борту (обечайка у шкворневой плиты)	6176000

**Заключение.** Результаты экспериментальных исследований автоцистерны автоопливозаправщика АТЗ-22 дают основание сделать следующие выводы.

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

2. Величины напряжений, полученных при виброиспытаниях, соответствуют напряжениям, полученным при динамических пробеговых испытаниях АТЗ без учета экстремальных условий (резкие торможения, дефекты дороги и др.).

3. Выявленные дефекты сварных швов при количестве циклов вибронагрузений, имитирующих пробег АТЗ на расстояние 12 тыс. км, предполагают уделить особое внимание контролю качества сварки в труднодоступных местах. При этом конструктивно целесообразно разнести сварные швы от зоны выявленного дефекта.

4. Эффективность тормозных систем АТЗ удовлетворяет требованиям нормативных документов.

Полученные данные нуждаются в дальнейшем сопоставлении с численными результатами исследования напряженно-деформированного состояния автоцистерны, что послужит основой создания достоверных расчетных моделей конструкций данного типа.

**Список литературы. 1.** *Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений.* Справочное пособие // Б.С.Касаткин, А.В.Кудрин, Л.М.Лобанов, В.А.Пивторак, П.И.Полухин, Н.А.Чиченев. – К.: Наукова думка, 1981. – 583 с. **2.** *Бауманн Э.* Измерение сил электрическими методами. – М.: Мир, 1978. **3.** *Финк К., Рорбах Х.* Измерение напряжений и деформаций. – М.: Машгиз, 1961. **4.** *Логиков В.П.* Электрические измерения механических величин. – М.: Энергия, 1970. **5.** *Проектирование датчиков для измерения механических величин /* Под ред. Е.П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979. – 480 с. **6.** *Арутюнов В.О.* Электрические измерительные приборы и измерения. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958. – 632 с. **7.** *Туричин А.М.* Электрические измерения неэлектрических величин. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1966. – 690 с.

*Поступила в редакцию 20.05.06*