

Выводы.

1. Существующие упругие опоры с элементами, сохраняющими форму устойчивости, не решают проблему снижения виброактивности роторных систем в достаточной мере, так как они не способны в необходимых пределах изменять свою статическую жесткость.

2. Для эффективного снижения виброактивности роторных систем с обеспечением их прочности необходимо использовать опоры, которые имеют максимально возможную жесткость на нерабочих режимах и минимально возможную жесткость – на рабочих. Такие опоры позволяют повысить точность работы высокоскоростных роторных систем с сохранением требуемого ресурса.

Список литературы: 1. А. с. 358556 СССР, М. Кл. F 16 C 35/06. Упругое кольцо / Кельзон А.С., Алексеева Н.И., Ключков Б.Ф., Линдберг Л.Ф., Резницкий Г.М. – № 1191394/25–8; заявл. 20.10.1967; опубл. 03.11.1972, Бюл № 34. 2. А. с. 898148 СССР, М. Кл. F 16 C 27/00, F 16 C 35/063. Опора вала / Журавлев Н.Н., Раскин Я.М., Свирицкий И.Б., Подковырин Е.М., Роспаченко В.И., Кошеленко И.И. – № 2762211/25–27; заявл. 07.05.79; опубл. 15.01.82, Бюл № 2. 3. А. с. 870784 СССР, М. Кл. F 16 C 27/02. Опора вала / Густин Л.И., Аджемьян В.Г. – № 2776380/25–27; заявл. 07.06.79; опубл. 07.10.81, Бюл № 37. 4. А. с. 406048 СССР, М. Кл. F 16 C 27/04. Упругая опора / Кельзон А.С., Богорад Э.Е., Ключков Б.Ф., Нефедьев В.Н., Яковлев В.И., Январев Н.В., Ярославцев Р.А. – № 1728469/25–27; заявл. 24.12.1971; опубл. 05.11.1973, Бюл № 45. 5. А. с. 1314159 СССР, F 16 C 27/00. Упругая опора / Богорад Э.Е., Зельдин Ю.Р., Зобнин А.П., Калинин Л.М. – № 3932772/27–27; заявл. 24.07.85; опубл. 30.05.87, Бюл № 20. 6. А. с. 1200005 СССР, F 16 C 27/04, F 16 F 3/00. Упругая опора / Бендин А.С., Молчанов С.Б., Корнеев В.Н., Флусов А.Н. – № 3640278/25–27; заявл. 08.09.83; опубл. 23.12.85, Бюл № 47. 7. А. с. 567864 СССР, М. Кл. F 16 C 27/04. Упругая опора / Кельзон А.С., Богорад Э.Е., Ключков Б.Ф., Минакер В.Е., Циманский Ю.П. – № 2071570/27; заявл. 01.11.74; опубл. 05.08.77, Бюл № 29. 8. А. с. 288459 СССР, МПК F 16 C 33/48. Подшипник качения / Кельзон А.С., Январев Н.В., Яковлев В.И. – № 1371271/25–27; заявл. 23.10.1969; опубл. 03.12.1970, Бюл № 36. 9. А. с. 314009 СССР, МПК F 16 C 27/04, F 16 C 33/64. Подшипник качения / Кельзон А.С., Луцкий В.М., Циманский Ю.П. – № 1498914/25–27; заявл. 21.12.1970; опубл. 07.09.1971, Бюл № 27. 10. А. с. 920285 СССР, М. Кл. F 16 C 27/04, F 16 C 33/58. Подшипник качения / Генкин В.В., Андреев Ю.А., Богорад Э.Е., Кельзон А.С., Кузьмин А.В., Циманский Ю.П. – № 2962146/25–27; заявл. 18.07.80; опубл. 15.04.82, Бюл № 14. 11. А. с. 1016579 СССР, F 16 C 27/04. Подшипник качения / Андреев Ю.А., Богорад Э.Е., Гуляев В.Я., Генкин В.В., Лебедев А.С., Кельзон А.С., Никитин А.А. – № 3385282/25–27; заявл. 13.01.82; опубл. 07.05.83, Бюл № 17. 12. А. с. 1815439 СССР, F 16 C 27/04. Виброизолирующий подшипник качения / Калинин С.Г., Павлице В.Т., Назарчук С.П. – № 4798012/27; заявл. 02.03.90; опубл. 15.05.93, Бюл № 18. 13. А. с. 1213274 СССР, F 16 C 27/00. Упругая опора качения / Барков А.В., Родионов Е.С. – № 3660924/25–27; заявл. 29.07.83; опубл. 23.02.86, Бюл № 7. 14. А. с. 1490332 СССР, F 16 C 27/04. Упругая опора / Гинзбург А.Е., Дуан А.В., Дубилет С.Л., Богун В.С. – № 4343373/25–27; заявл. 05.10.87; опубл. 30.06.89, Бюл № 24. 15. А. с. 1013642 СССР, F 16 C 27/02. Упругая опора с регулируемой жесткостью / Кузьмин А.В., Богорад Э.Е., Генкин В.В., Гуляев В.Я., Кельзон А.С. – № 3372059/25–27; заявл. 23.12.81; опубл. 23.04.83, Бюл № 15. 16. А. с. 1013643 СССР, F 16 C 27/04. Упругая опора / Сафронов О.И. – № 3352228/25–27; заявл. 04.11.81; опубл. 23.04.83, Бюл № 15. 17. А. с. 1016578 СССР, F 16 C 27/04. Упругая опора / Андреев Ю.А., Богорад Э.Е., Генкин В.В., Илларионов И.В., Кельзон А.С., Коротаев А.Е., Никитин А.А. – № 3286906/25–27; заявл. 13.05.81; опубл. 07.05.83, Бюл № 17. 18. А. с. 811005 СССР, М. Кл. F 16 C 27/02. Упругая опора / Смыков А.В., Кельзон А.В. – № 2708918/25–27; заявл. 08.01.79; опубл. 07.03.81, Бюл № 9. 19. А. с. 1160146 СССР, F 16 C 27/04. Подшипниковая опора / Расновский А.А. – № 3648068/25–27; заявл. 03.10.83; опубл. 07.06.85, Бюл № 21. 20. А. с. 1448136 СССР, F 16 C 27/04. Упругая опора / Рогачев В.М., Иевлев В.В. – № 4265212/31–27; заявл. 16.06.87; опубл. 30.12.88, Бюл № 48. 21. А. с. 1691608 СССР, F 16 C 27/02. Упругая опора вала / Рогачев В.М., Иевлев В.В. – № 4745828/27; заявл. 30.10.89; опубл. 15.11.91, Бюл № 42. 22. А. с. 1762008 СССР, F 16 C 27/04, 35/06. Упругая опора / Рогачев В.М., Иевлев В.В. – № 4842469/27; заявл. 20.04.90; опубл. 15.09.92, Бюл № 34. 23. Алабужев

П.М., Гритчин А.А., Ким Л.И. и др. Виброзащитные системы с квазиулеевой жесткостью.; Под ред. К.М. Рагульскиса. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд–ние, 1986. – 96 с. 24. Гапонов В.С., Гайдамака А.В. Пружия опора для подшипников роторных систем // Решение про выдачу патента на винахід № 12413/1 від 26.10.2009. 25. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, ошибки и парадоксы. – 3–е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.–мат. лит., 1979. – 384 с. 26. Гапонов В.С., Гайдамака А.В. Корпус шпинделя // Решение про выдачу патента на винахід № 14490/1 від 13.11.2009.

Поступила в редколлегию 02.02.10

УДК 621.01: 539.3

Г.П. ГЛИНИН, зам. директора ОАО „Головной специализированный конструкторско-технологический институт“, г. Мариуполь

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОТОПЛИВОЗАПРАВЩИКА АТЗ-22

У статті наведені основні результати експериментального дослідження статичних і динамічних міцнісних характеристик напівпричіпа-цистерни АТЗ-22. Вони є перевірочними для визначення точності моделювання із застосуванням розрахункових моделей досліджуваного класу машин.

In the paper the basic results of experimental research of static and dynamic strengthening characteristics of ATZ-22 semitrailer-cistern are presented. They are testing for determination of modeling exactness with application of computational models of the investigated class of machines.

Введение. Как отмечается в работах [1–6], 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 обновления проектных

решений. После изготовления первого опытного образца созданная машина подвергается проверочным испытаниям.

Такая методика была использована в процессе создания топливозаправщика АТЗ-22 (рис. 1). Методика его расчетно-экспериментальных исследований описана в предыдущих публикациях [1–6]. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований уже созданного топливозаправщика АТЗ-22.



Рис. 1. Автотопливозаправщик АТЗ-22

1. 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 [7-10]: 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. Основные технические характеристики АТЗ-22 приведены в [3-5].

2. Общие условия экспериментальных испытаний. В соответствии с разработанной программой и методикой испытаний [10] проводились испытания опытного образца автотопливозаправщика, включающие в себя следующие этапы: прочностные статические и динамические испытания; гидродинамические испытания; дорожные испытания.

Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) 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, вибронализатор 01022 „Роботрон”. Отдельные результаты этих испытаний представлены в виде осциллограмм в данной статье.

3. Результаты 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. 2) [1-6].

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. 3 представлены осциллограммы, зарегистрированные при дорожные испытаниях автотопливозаправщика.

Результаты испытаний. Результаты прочностных статических и динамических испытаний представлены в табл. 1.

Отработка режимов виброн нагружений (выбор частот вибрации) по уровню напряженного состояния в контрольных точках цистерны представлена в табл. 2.

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).

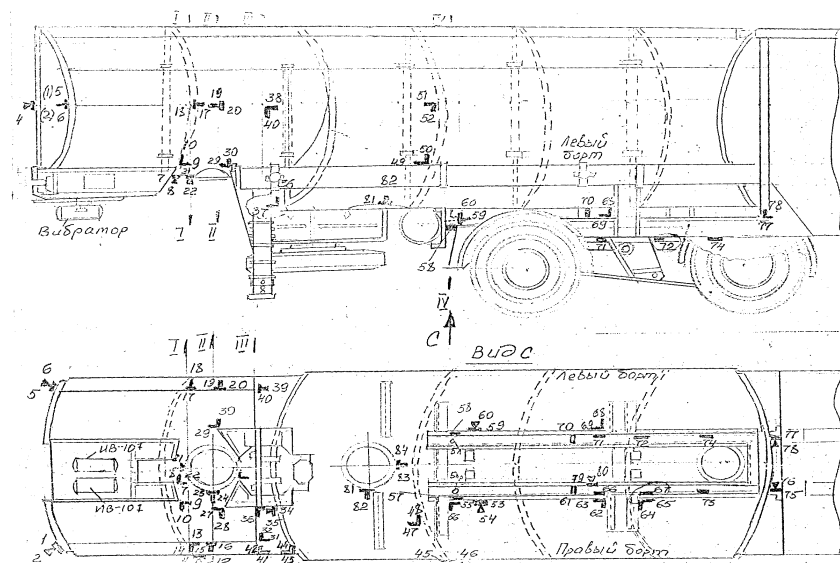


Рис. 2. Схема установки тензорезисторов на АТЗ-22-5444

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

- 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).

3. В режиме смены точек опирания с шкворневой плиты на гидроопоры наиболее нагруженными выявились зоны обечайки у гидроопор и среднего нижнего люка: -67 МПа, -93 МПа (тт. 27, 28) 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).

Таблица 1

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

№ тензорезистора	Напряжения, МПа											
	Статические				Динамические					Стат. + дин.		
	налив	давление	опирание	ремрез	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
	260 (затяжка)				14	-40	-35	-25	-90	95	125	70
Болт лев.	160 (затяжка)				15	18	37	32	37	292	297	292
	260 (затяжка)				15	-23	-38	-32	-60	228	222	228

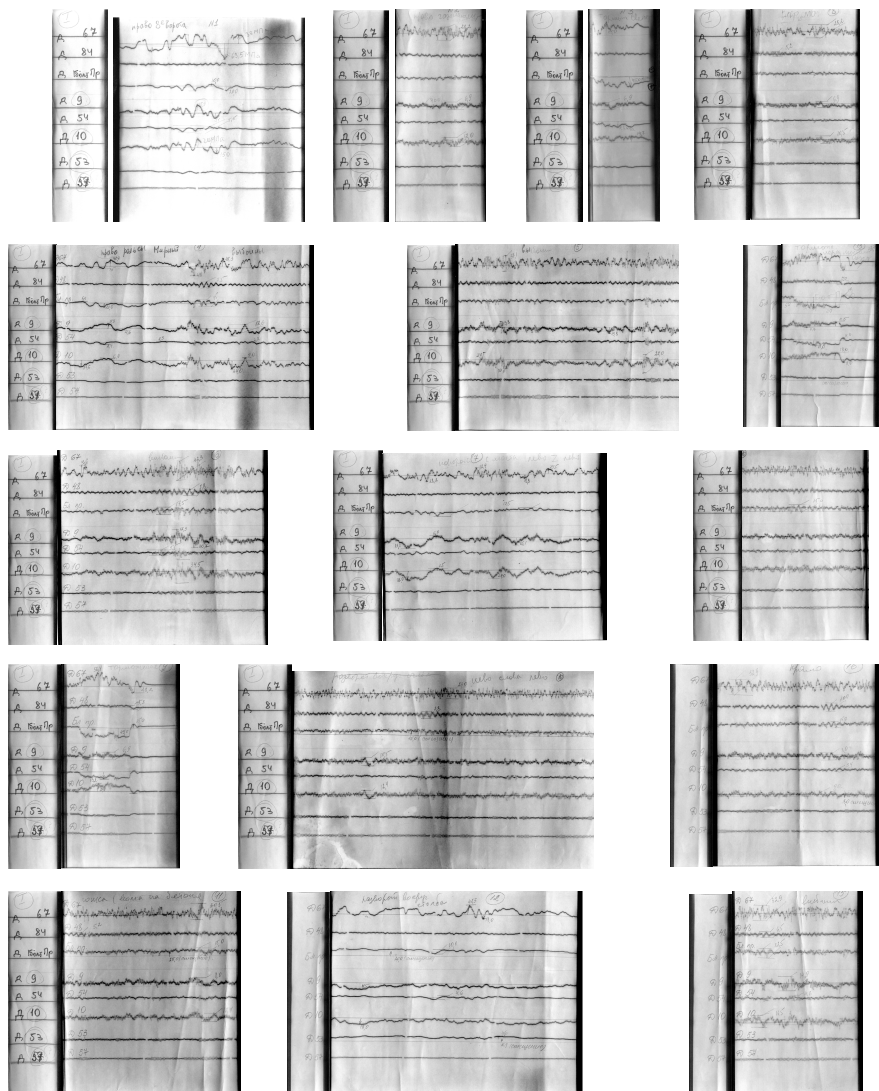


Рис. 3. Примеры осциллограмм, полученных при испытаниях

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).

7. Динамические напряжения, обусловленные движением автотопливаправщика по неровному асфальто-бетону с выбоинами, а также по грунтовой

дороге (V категории), достигали на раме величин $42 \div -42$ (МПа) (т. 67) и на обечайке цистерны $27 \div -27$ (МПа) и $35 \div -35$ (МПа) (т.т. 30, 10); болты при этом испытывали „динамику” $25 \div -25$ (МПа) (правый) и $32 \div -32$ МПа (левый).

Таблица 2

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 прокатка 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 прокатка частот

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

9. Суммирование статических напряжений с динамическими не выявили превышения уровня допускаемых напряжений; при этом в более нагруженных точках обечайки суммарные напряжения достигали

Таблица 3

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

величин 84 МПа и 119 МПа (т.т. 29, 30), на раме (т. 67) $+58 \div -67$ (МПа) и (т. 72) $45 \div -47$ (МПа), на болтах 297 МПа (левом) и 195 МПа (правом).

10. Результаты виброиспытаний АТЗ №3 представлены в табл. 3-4. Местом установки двух вибраторов была выбрана шкворневая плита, при этом ось вращения была параллельна оси "X" – продольной оси цистерны.

11. 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 гидропор).

12. Отработка режимов виброн нагружений (выбор частот вибрации) по уровню напряженного состояния в контрольных точках цистерны представлена в табл. 2. Время нагружения АТЗ и количество наработанных циклов на различных частотах приведена в табл. 3. Замеченные повреждения и дефекты

при виброиспытаниях представлены ниже в табл. 4.

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

Таблица 4

№ 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

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

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.

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-