
**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 614.87

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ РАМЫ
ДЛЯ ДОСТАВКИ ГИДРОРЕЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
С ЦЕЛЬЮ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ
С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ**

© 2018 Ю.Ю. Лушина*, О.Ю. Жабунина, А.Е. Кипкаев**,
Н.Ю. Паршукова***

** Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Снежинск, Челябинская обл., Россия*

*** Федеральное государственное унитарное предприятие «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл., Россия*

Темой работы является проблема обеспечения безопасности и сохранности при перевозке гидрорезного оборудования железнодорожным и автомобильным транспортом к месту проведения работ по ликвидации аварий с опасными грузами. С целью гарантированной доставки оборудования к месту аварии предлагается усилить имеющиеся виды креплений путем использования разработанной транспортной рамы. Обоснование прочности и надежности конструкции рамы выполнено аналитически и численно – проведены прочностные расчеты конструкции рамы в программе конечно-элементного анализа в условиях действия транспортных синусоидальных нагрузок. Результаты выполненных расчетов показали, что предлагаемая конструкция транспортной рамы удовлетворяет всем нормативным требованиям прочности.

Ключевые слова: опасный груз, транспортировка, гидрорезное оборудование, генераторный модуль, насосный модуль, элементы крепления, прочность, надежность.

Поступила в редакцию: 12.02.2018

Обеспечение безопасности при обращении с опасными грузами (ОГ), подвергшимися аварийным воздействиям, является актуальной задачей.

В качестве решения данной проблемы применяется гидрорезное оборудование, в состав которого входят генераторный и насосный модули. Гидрорезное оборудование обеспечивает выполнение широкого спектра задач по дистанционной гидроабразивной разрезке корпусов ОГ в полевых условиях (в том числе пожаро-взрывоопасных) для доступа к отдельным элементам ОГ, подвергшимся аварийным воздействиям, и ликвидации последствий аварий с ними.

Для доставки оборудования к месту выполнения работ по ликвидации аварий с ОГ используется железнодорожный и автомобильный транспорт.

В обоих случаях предъявляемое к транспортировке гидрорезное оборудование должно быть подготовлено таким образом, чтобы в процессе перевозки были обеспечены безопасность движения транспортного средства, сохранность оборудования и самого транспортного средства [1]. С этой целью при перевозке оборудования должна быть обеспечена прочность узлов и деталей, предназначенных для крепления в транспортном средстве. Требования и подходы по обеспечению прочности приведены в [1–6].

Для крепления грузов в вагонах применяются растяжки, обвязки, стяжки, увязки, деревянные стойки и другие элементы; для крепления в автомобильном транспорте могут использоваться стяжные ремни, деревянные распорки, распорные планки, воздушные пакеты и т. д. [1, 7]

Каждый из перечисленных элементов крепления имеет свои преимущества и недостатки. Так, деревянные распорки и стойки не всегда способны выдерживать возникающие нагрузки во время транспортировки груза. И зачастую масса крепежного материала значительно увеличивает массу погрузки, а это приводит к перегрузу транспортного средства [7]. Стяжные ремни, обвязки, увязки требуют постоянной проверки, поскольку при транспортировке возможен износ вследствие истирания [4, 5].

Поэтому для обеспечения большей надежности в процессе грузоперевозки дополнительно рекомендуется использовать транспортную раму.

Рама служит для транспортировки гидрорезного оборудования к месту своего назначения, а также является промежуточным скрепляющим элементом для оборудования и транспортного средства. Поскольку такое оборудование является сложным массивным грузом, то для него требуется создание индивидуальной рамы. С этой целью была разработана транспортная рама, которая способствует безопасной перевозке генераторного и насосного модулей (гидрорезного оборудования) на железнодорожном и автомобильном транспорте.

Транспортная рама представляет собой сварную балочную конструкцию, сечением которой является швеллер 12П ГОСТ 8240–97 [8], изготовленный из материала – Ст3сп 5 ГОСТ 535–2005 [9]. Схема рамы приведена на рисунке 1.

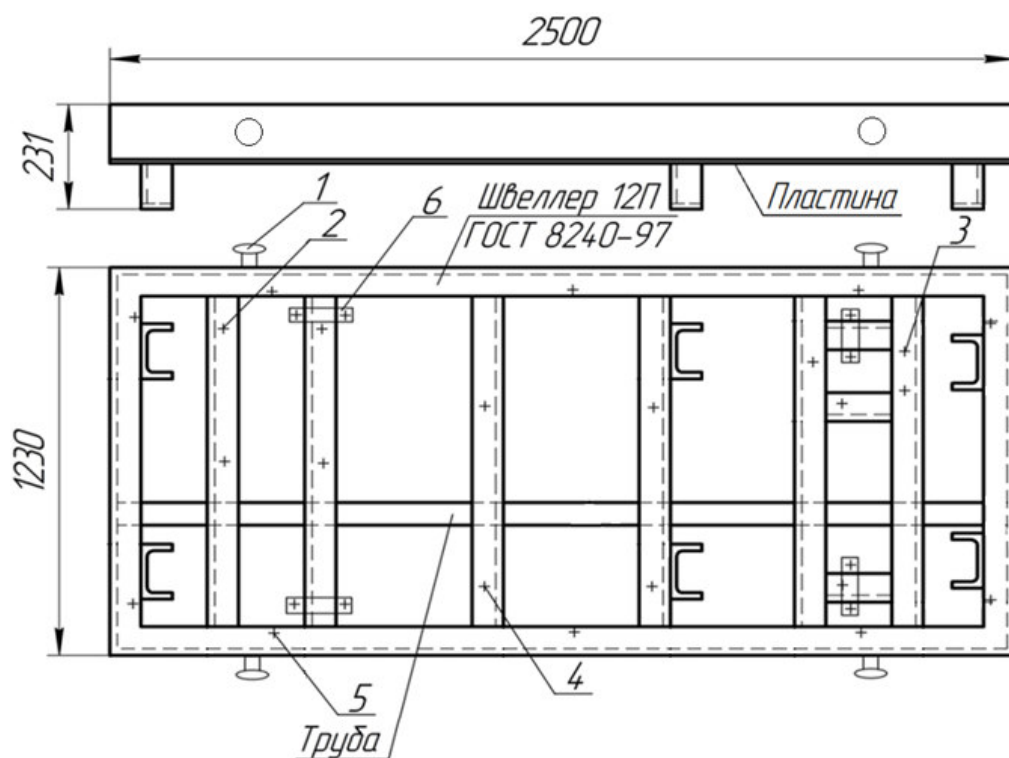


Рис. 1. – Схема транспортной рамы [Transport frame scheme].

На схеме позициями обозначены резьбовые соединения [10 – 12] диаметрами М10 (10 болтовых соединений), М16 (четыре стремянки и 7 болтовых соединений), М20 (шесть болтовых соединений) и М36 (четыре грузовых винта), выполненные из материалов сталь 20, сталь 45 и сталь 30ХГСА [6, 13].

Конструкция рамы обеспечивает крепление к ней гидрорезного оборудования посредством болтовых соединений [11, 12]. Это позволяет предварительно перед погрузкой устанавливать оборудование на раму и осуществлять его передвижение совместно с рамой.

Присоединение рамы с установленным на ней гидрорезным оборудованием к транспортному средству осуществляется следующими элементами крепления:

- растяжками, крепящими через грузовые винты раму с гидрорезным оборудованием к железнодорожной платформе;
- стремянками, крепящими раму с гидрорезным оборудованием к раме прицепа грузового автомобиля.

Для сохранности транспортируемого оборудования и самого транспортного средства необходимо, чтобы была обеспечена прочность и надежность транспортной рамы и её элементов крепления – растяжек, стремянок и резьбовых соединений в процессе грузоперевозки. В соответствии с этим были поставлены следующие задачи:

- провести аналитический расчет элементов крепления рамы с гидрорезным оборудованием к транспортному средству (железнодорожная платформа, прицеп грузового автомобиля) и расчет элементов крепления гидрорезного оборудования к транспортной раме по методикам, приведенным в [1–3, 6];
- провести расчет на прочность конструкции рамы в программе конечно-элементного анализа в условиях действия транспортных нагрузок.

Аналитический расчет элементов крепления рамы с гидрорезным оборудованием на железнодорожной платформе был выполнен с учетом следующих усилий [1]:

- продольной инерционной силы;
- поперечной инерционной силы;
- вертикальной инерционной силы;
- ветровой нагрузки;
- силы трения.

Результаты расчета усилий, действующих на генераторный и насосный модули, на железнодорожной платформе приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Значения усилий, действующих на генераторный и насосный модули
[Force values impacting on the generator and pump modules]

Усилия	Генераторный модуль	Насосный модуль
Продольная инерционная сила, тс	1,67	2,92
Поперечная инерционная сила, тс	0,63	0,98
Вертикальная инерционная сила, тс	0,67	1,15
Ветровая нагрузка, тс	0,20	0,21
Продольная сила трения, тс	0,56	0,98
Поперечная сила трения, тс	0,29	0,52

По рассчитанным усилиям было определено максимальное усилие в растяжках, которое составило $R_{max} = 615$ кгс.

Поэтому для перевозки модулей рекомендуется использовать растяжки, состоящие не менее чем из двух нитей проволоки диаметром не менее 5 мм. Также

возможны другие сочетания сечения проволоки и количества ее нитей в растяжке с допускаемыми растягивающими нагрузками, превышающими рассчитанное максимальное усилие в растяжках (см. таблицу 2).

Таблица 2. – Допускаемые растягивающие нагрузки в растяжках в зависимости от диаметра проволоки и количества ее нитей в растяжке (кгс) [Allowable tensile loads in stretchings, depending on wire diameter and the number of threads in the stretch (kgf)]

Число нитей в растяжке	Диаметр проволоки, мм			
	4,0	4,5	5,0	≥ 5,5
2	Не рекомендуется применять		680	≥ 840
3	660	840	1020	≥ 1260
≥ 4	≥ 880	≥ 1120	≥ 1360	≥ 1680

Кроме этого, растяжки крепятся за грузовые винты на раме. Следовательно, возникающее усилие в растяжке передается на винтовое соединение. Поэтому были выполнены расчеты на прочность винтовых соединений по следующим критериям [2, 3, 6]:

- по усилию среза стержня винта при подъеме гидрорезного оборудования;
- по усилию среза стержня винта при действии на винтовое соединение нагрузки в поперечном направлении;
- по усилию среза резьбы винта или бонки (выполняет функцию гайки для винта) при действии на винтовое соединение нагрузки в продольном направлении;
- по растягивающей стержень винта силе.

Результаты аналитических расчетов показали, что прочность винтовых соединений обеспечивается с минимальным коэффициентом запаса $n_{min} = 32$, который определялся по формуле [2, 3]:

$$n = \frac{Q_{пред}}{Q_0},$$

где $Q_{пред}$ – предельное усилие, вызывающее разрушение резьбового соединения;
 Q_0 – усилие, действующее на резьбовое соединение.

Расчет стремянок – элементов крепления рамы с гидрорезным оборудованием к прицепу грузового автомобиля осуществлялся по трем критериям [2, 3, 6]:

- по усилию среза стержня стремянки при действии на нее нагрузки в поперечном направлении;
- по усилию среза резьбы стремянки или гайки при действии на резьбовое соединение нагрузки в продольном направлении;
- по растягивающей стержень стремянки силе.

Результаты этих расчетов показали, что прочность стремянок обеспечивается с минимальным коэффициентом запаса $n_{min} = 4,8$.

Расчет резьбовых соединений, крепящих гидрорезное оборудование к транспортной раме, осуществлялся по тем же критериям, что и для стремянок. В результате было определено, что прочность резьбовых соединений обеспечивается с минимальным коэффициентом запаса $n_{min} = 15$.

Как видно, коэффициенты запаса прочности резьбовых соединений более чем достаточны. Поэтому конструкцию рамы можно оптимизировать следующими

способами:

- уменьшение количества болтовых соединений (с 23 до 16);
- изменение диаметра болтовых соединений (до 8 мм);
- применение менее затратных материалов для болтовых соединений (сталь 10, сталь 20).

Для подтверждения надежности работы выбранной конструкции рамы были проведены расчеты в программе конечно-элементного анализа [14–16] при действии синусоидальной транспортной нагрузки в продольном, поперечном и вертикальном направлениях с частотой $f = 30$ Гц.

Построенная конечно-элементная модель (КЭМ) конструкции транспортной рамы приведена на рисунке 2, КЭМ конструкции рамы с установленным на ней гидрорезным оборудованием приведена на рисунке 3. Модель содержит ~ 200000 твердотельных элементов, элементов контакта и балочных элементов.

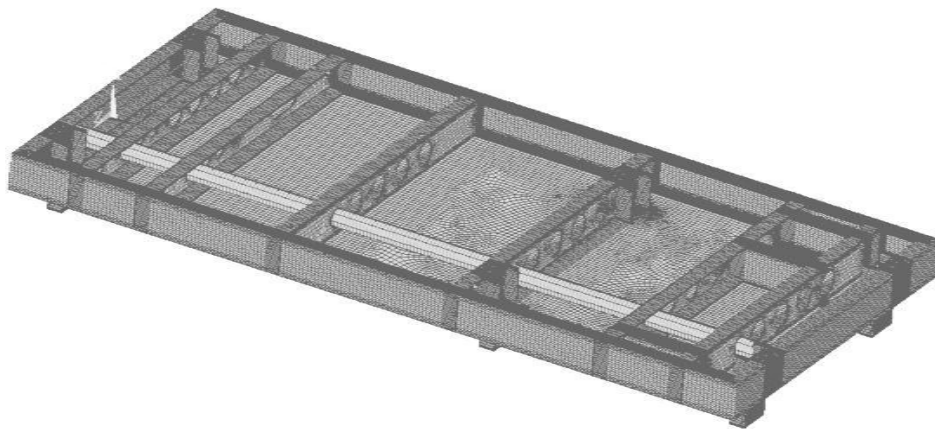


Рис. 2. – КЭМ транспортной рамы [Finite element transport frame model]

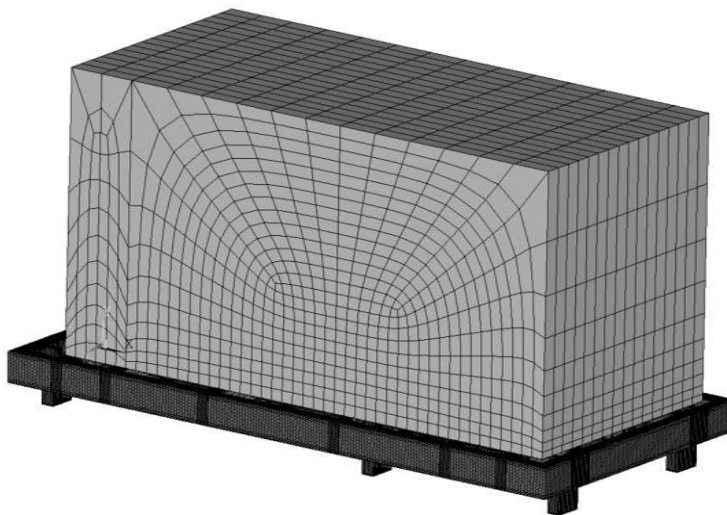


Рис. 3. – КЭМ конструкции рамы с грузом [Finite element model of frame design with load]

Предварительные расчеты в программе конечно-элементного анализа [14, 15, 16] при действии вертикальной статической нагрузки показали, что возникающие резонансные частоты (см. рисунок 4) превышают диапазон наиболее динамичных транспортных частот ($f_i < 50$ Гц [17]). Следовательно, вибростойкость конструкции рамы обеспечивается.

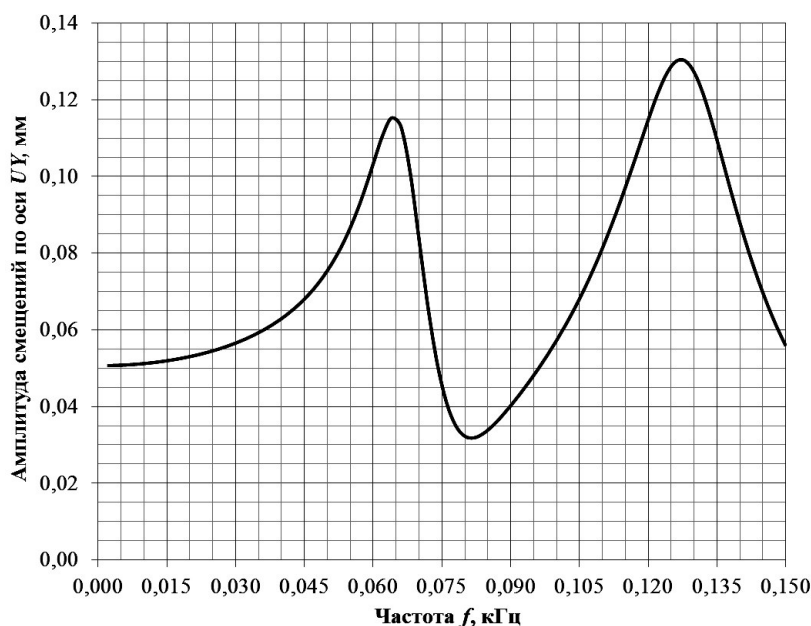


Рис. 4. – Амплитудно-частотная характеристика конструкции рамы с гидрорезным оборудованием [Amplitude and frequency characteristic of frame design with hydraulic sharing equipment]

Последующие расчеты в программе конечно-элементного анализа при действии транспортной синусоидальной нагрузки [14–16] показали, что наиболее нагружена конструкция рамы при действии продольной нагрузки. На рисунке 5 приведены действующее (входное) ускорение в направлении оси X , в виде которого задана транспортная нагрузка, и отклик центра масс рамы по оси X с гидрорезным оборудованием на приложенную нагрузку.

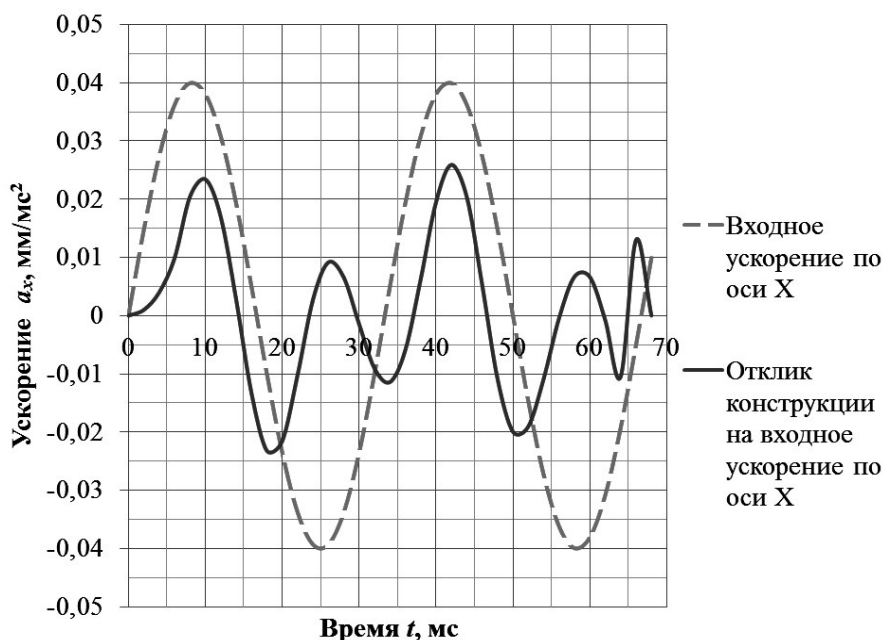


Рис. 5. – Графики входного ускорения и ускорения центра масс конструкции рамы с гидрорезным оборудованием по оси X [Diagrams of input acceleration and mass frame center construction acceleration with the hydraulic sharing equipment along the X axis]

Из построенных графиков можно заключить, что колебания центра масс гидрорезного оборудования не превышают приложенную нагрузку – динамичность конструкции меньше 1 (максимальный коэффициент динамичности $k_{дин}^{max} = 0,65$).

По результатам расчётов наибольшие смещения по оси X (см. рисунок 6) и эквивалентные напряжения (см. рисунок 7) возникают в момент времени $t = 44$ мс.

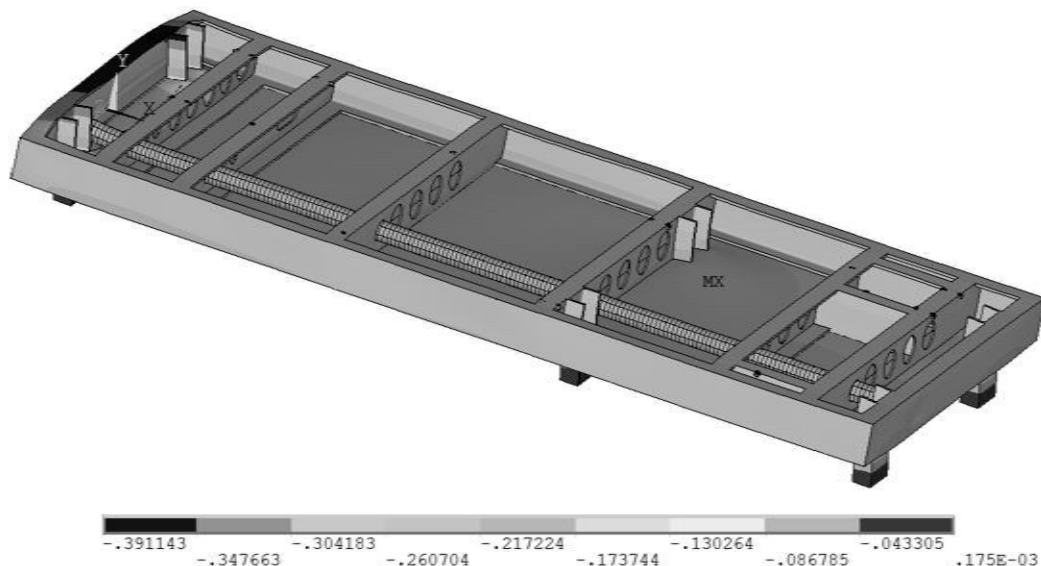


Рис. 6. – Смещения транспортной рамы по оси X при 44 мс [Transport frame offsets along the X axis at 44 ms]

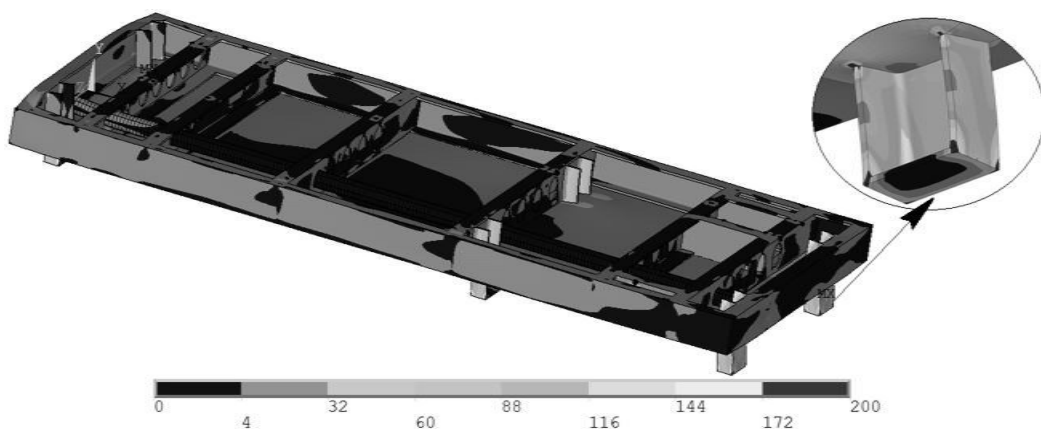


Рис. 7. – Эквивалентные напряжения рамы при 44 мс [Equivalent frame voltages at 44 ms]

При этом максимальные эквивалентные напряжения возникают в месте стыка ножки и пластины рамы и составляют 200 МПа, что меньше предела текучести материала СтЗсп 5 ($\sigma_m = 255$ МПа). Следовательно, при действии транспортной синусоидальной нагрузки прочность рамы обеспечивается с коэффициентом запаса по пределу текучести не менее $n_m = 1,3$.

Таким образом, предлагаемая конструкция транспортной рамы обеспечивает безопасность перевозки гидрорезного оборудования в транспортном средстве к месту проведения работ по ликвидации аварий с ОГ, сокращает время подготовки к транспортировке, за счет дополнительного крепления обеспечивает прочность и сохранность гидрорезного оборудования и транспортного средства.

Аналитические расчеты элементов крепления рамы к транспортному средству и

гидрорезного оборудования к раме показали, что их прочность обеспечивается с минимальным коэффициентом запаса $n_{min} = 4,8$. Расчеты в программе конечно-элементного анализа показали, что возникающие резонансные частоты превышают диапазон наиболее динамичных транспортных частот, то есть вибростойкость конструкции рамы обеспечивается. Кроме этого, при действии транспортной синусоидальной нагрузки колебания ускорения в центре массы гидрорезного оборудования не превышают приложенную нагрузку: коэффициент динамичности составляет 0,65. Возникающие максимальные эквивалентные напряжения меньше предела текучести материала Ст3сп 5 ($\sigma_m = 255$ МПа), то есть прочность рамы обеспечивается с коэффициентом запаса по пределу текучести не менее $n_m = 1,3$.

Следовательно, разработанная конструкция транспортной рамы с заданными характеристиками удовлетворяет всем нормативным требованиям прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах [Текст]. – М.: Юридическая фирма «Юртранс», 2003. – 544 с.
2. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов: учебник для вузов [Текст] / В.И. Феодосьев — 16-е изд., испр. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 543 с.
3. Сопротивление материалов: учебник для вузов [Текст] / Под ред. Г.С. Писаренко. – 5-е изд., перераб. и доп. - Киев: Вища шк., 1986. – 696 с.
4. Решетов, Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов [Текст] / Д.Н. Решетов – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
5. Иванов, М.Н. Детали машин. Учебник для вузов [Текст] / М.Н. Иванов. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1976. – 388 с.
6. Биргер, И.А. и др. Расчет на прочность деталей машин: Справочник [Текст] / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.
7. Основные способы крепления груза в транспортном средстве [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.tek-integra.ru/poleznye-materialy/61-osnovnye-sposoby-krepleniya-gruza-pri-perevozke-avtomobilnym-transportom.html> – 17.12.2017.
8. ГОСТ 8240 – 97 Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент. [Текст]. – Взамен ГОСТ 8240-89; введ. 2002– 01– 01. – Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 2002. – 13 с.
9. ГОСТ 535 – 2005 Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия. [Текст]. – Взамен ГОСТ 535-88; введ. 2008 – 01 – 01. – Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 2008. – 12 с.
10. ГОСТ 8922 – 69 Винты грузовые (цапфы). Конструкция. [Текст]. – Введ. 1970 – 07 – 01. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 3 с.
11. ГОСТ 7798-70 Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры (с Изменениями N 2-6). [Текст]. – введ. 1972 - 01 - 01. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 10 с.
12. ГОСТ 5915-70 Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры (с Изменениями N 2-7). [Текст]. – введ. 1973 - 01 - 01. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 6 с.
13. ГОСТ 1050 – 88 Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. [Текст]. – введ. 1990 – 01 – 01. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 20 с.
14. Жидков, А.В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике» [Текст] / А.В. Жидков. – Нижний Новгород, 2006. – 115 с.
15. Руководство по работе в программе конечно-элементного анализа [Текст] / Под ред. Б.Г. Рубцова. – Снежинск, 2000. – 160 с.
16. Фокин, В.Г. Метод конечных элементов в механике деформируемого твердого тела: Учебное пособие [Текст] / В.Г. Фокин. – Самара: СамГТУ, 2010. – 131 с.
17. Вибрации в технике: Справочник [Текст]: В 6-ти томах / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред). – М.: Машиностроение, 1981. – Т.6: Защита от вибраций и ударов / Под ред. К.В. Фролова. 1981. – 456 с.

REFERENCES

- [1] Techniceckie usloviya razmecheniya i krepleniya gruzov v vagonah i konteynerah [Specifications of Placing and Fastening of Cargoes in Railcars and Containers]. M. Pub. Yuridicheskaya firma Yurtrans ["JurTranc" Juridical firm], 2003, 544 p. (in Russian)
- [2] Pheodosyev V.I. Soprotivlenie materialov [Resistance of Materials]. M. Pub. Izdatelstvo MGTU im. N.A.Baumana [Publishing house of MSTU], 2016, 543 p. (in Russian)
- [3] Soprotivlenie materialov [Resistance of Materials] Edited by G.S. Pisarenko. Kiev. Pub. Vischa shkola [Higher School], 1986, 696 p. (in Russian)
- [4] Reshetov D.N. Detali mashin [Machine Elements]. M. Pub. Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1989, 496 p. (in Russian)
- [5] Ivanov M.N. Detali mashin [Machine Elements]. M. Pub. Vysshaya shkola [Higher School], 1976, 388 p. (in Russian)
- [6] Birger I.A., etc. Raschet na prochnost detaley mashin: Spravochnik [Strength Calculation of Machine Elements. Reference book]. M. Pub. Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1993, 640 p. (in Russian)
- [7] Osnovnye sposoby krepleniya gruzov v transportnom sredstve [The Basic Methods of Cargo Fastening in a Transport Vehicle]. Available at: <http://www.tek-integra.ru/poleznye-materialy/61-osnovnye-sposoby-krepleniya-gruzov-pri-perevozke-avtomobilnym-transportom.html> (in Russian)
- [8] GOST 8240 – 97. Shvellery stalnye goryachekatanye. Sortament. [Hot-Rolled Steel Channels. An Assortment], M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2002, 13 p. (in Russian)
- [9] GOST 535 – 2005. Prokat sortovoy i fasonnyy iz stali uglerodistoy obyknovennogo kachestva. Obschie tekhnicheskie usloviya. [Profiled and Shape Rolled Stock from Carbonaceous Ordinary Quality Steel. The General Specifications], M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2008, 12 p. (in Russian)
- [10] GOST 8922 – 69. Vinty gruzovye (czapfy). Konstrukciya. [Lifting Screws (Pins). Construction]. M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2005, 3 p. (in Russian)
- [11] GOST 7798-70. Bolty s shestigrannoy golovkoy klassa tochnosti B. Konstrukciya i razmery. [Six-Sided Head Bolts of B Class of Accuracy. Construction and Sizes.]. M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2010, 10 p. (in Russian)
- [12] GOST 5915-70. Gayki shestigrannye klassa tochnosti B. Konstrukciya i razmery. [Six-Sided Nuts of B class of Accuracy. Construction and Sizes]. M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2010, 6 p. (in Russian)
- [13] GOST 1050 – 88. Prokat sortovoy, kalibrovanny, so specialnoy otelkoy poverkhnosti iz uglerodistoy kachestvennoy konstrukcionnoy stali. Obschie tekhnicheskie usloviya. [Calibrated Rolled Section Steel with Special Finish Surface from Carbonaceous Qualitative Constructional Steel. The General Specifications.]. M. Izdatelstvo standartov [Publishing house of standards], 2008, 20 p. (in Russian)
- [14] Zhidkov A.V. Primenenie sistemy ANSYS k resheniyu zadach geometricheskogo i konechno-elementnogo modelirovaniya. Uchebno-metodicheskiy material po programme povysheniya kvalifikatsii «Informatsionnye sistemy v matematike i mekhanike» [ANSYS Application to the Decision of Geometrical and Certainly-Element Modeling Problems. The teaching and methodical materials under the program of professional skill improvement «Information Systems in Mathematics and Mechanics»]. Nizhny Novgorod, 2006, 115 p. (in Russian)
- [15] Rukovodstvo po rabote v programme konechno-elementnogo analiza [Working Guide in Program of the Certainly-Element Analysis]. Snezhinsk, 2000, 160 p. (in Russian)
- [16] Fokin V.G. Metod konechnykh elementov v mekhanike deformiruемого tverdogo tela: Uchebnoe posobie [Method of Final Elements in the Mechanics of a Deformable Firm Body]. Samara. Pub. Izdatelstvo SamGTU [Publishing house of SamGTU], 2010, 131 p. (in Russian)
- [17] Vibratsii v tekhnike: Spravochnik. Vol. 6: Zashchita ot vibratsiy i udarov [Vibrations in Engineering: Reference book. Vol. 6: Protection against Vibrations and Impacts]. M. Pub. Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1981, 456 p. (in Russian)

Provision of Transport Frame Strength for Hydraulic Sharing Equipment Delivery to Eliminate Dangerous Goods Accident Consequences

Yu.Yu. Lushina *, O.Yu. Zhabunina **, A.E. Kipkaev **, N.Yu. Parshukova*

** Snezhinsk Physics and Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
Komsomolskaya street, 8, Snezhinsk, Chelyabinsk region, Russia 456776*

*** Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics
Vasilyev street, 13, Snezhinsk, Chelyabinsk region, Russia 456770
e-mail: p.i.e@yandex.ru*

Abstract – The article considers the provision of safety and integrity when transporting hydraulic sharing equipment by road and rail to the place of dangerous goods accident consequences elimination. It is offered to strengthen the existing kinds of fastenings through the use of the engineered transport frame to ensure the equipment transportation reliability. The substantiation of the strength and reliability of the frame is given analytically and numerically. Strength analysis of frame construction is performed in the program of finite element analysis in the conditions of transport sinusoidal loadings. The calculation results show that the proposed transport frame design meets all normative requirements of safety.

Keywords: dangerous goods, transportation, hydraulic sharing equipment, the generating module, the pump module, fastening elements, strength, reliability.