

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАВЕРСЫ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 160 ТОНН

А.С. Яблоков

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

С.А. Борунов

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

А.Д. Девин

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

В.В. Шутов

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В статье выполняется расчет анализа напряженно-деформированного состояния траверсы с учетом дополнительных нагрузок, действующих в натурных условиях эксплуатации. Представленная методика расчета основана на определении допускаемых напряжений и моделировании конструкции по методу конечных элементов. Разработана расчетная схема, твердоотельно-деформированная модель и выполнен расчет методом конечных элементов в САД/САЕ системе. Напряженно-деформированное состояние элементов траверсы является достаточно сложным, поскольку в одном элементе в разных плоскостях возникают как напряжения сжатия, так и напряжения растяжения, которые взаимозаменяются во время работы подъемного сооружения.

Ключевые слова: траверса, металлоконструкция, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, моделирование, прочность, концентрация напряжений, надежность.

1. Введение

Тенденция развития конструкций и аппаратов современного машиностроения характеризуется снижением металлоемкости за счет оптимального проектирования и применения высокопрочных материалов, обеспечение безопасной эксплуатации которых связано с повышенной общей и местной напряженностью конструктивных элементов и уменьшением коэффициента запаса прочности. Значительно увеличиваются требования к надежности и длительности безаварийной эксплуатации как конструкций в целом, так и отдельных её элементов. Указанные тенденции привели к тому, что в настоящее время одной из актуальных задач современной техники является задача надежной оценки ресурса конструкций, диагностики выработанного и прогноза остаточного ресурса в процессе эксплуатации.

2. Исходные данные для расчета

№	Наименование	Значение
1	Расчетная масса поднимаемой створки	160 тонн
2	Расчетная масса нижней траверсы	10 тонн
3	Расстояние между точками подвеса верхней траверсы	11 м
4	Расстояние между точками подвеса нижней траверсы	11 м

3. Определение допускаемых напряжений, действующих в металлоконструкции

Согласно [1] допускаемые напряжения определяются в виде:

$$[\sigma] = R_n c \frac{\gamma_c}{\gamma_m} \gamma_n,$$

где R_n – нормативное сопротивление, принимаемое равным

$$R_n = \min \left\{ R_{yn}; \frac{R_{un}}{1,3} \right\},$$

где R_{yn} – предел текучести материала;

R_{un} – временное сопротивление материала;

c – коэффициент перехода от основных к производным расчетным сопротивлениям, принимаемый равным

- 1,05, для сдвига $c = 0,58$;
- γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0;
- γ_m – коэффициент надежности по материалу, для стали 09Г2С по ГОСТ 19281-2014 принимаем равным 1,05;
- γ_n – коэффициент надежности по назначению принимается:
- для общих местных напряжений $\gamma_n = 1,4$;
 - для местных напряжений $\gamma_n = 1,2$.

Общие характеристики рассматриваемого материала траверсы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики материала

Вид деформации	Марка стали	Толщина, мм	R_n , МПа	Расчетные коэффициенты				Допускаемые напряжения, МПа [σ]
				c	γ_c	γ_m	γ_n	
Растяжение, изгиб, смятие	09Г2С	20,30,40	310	1,05	1,0	1,05	1,4	221
	09Г2С	60	290	1,05	1,0	1,05	1,4	207
	09Г2С	75	280	1,05	1,0	1,05	1,4	200
Сдвиг (срез)	09Г2С	20,30,40	310	0,58	1,0	1,05	1,2	142
	09Г2С	60	290	0,58	1,0	1,05	1,2	133
	09Г2С	75	280	0,58	1,0	1,05	1,2	128

4. Расчет верхней траверсы

Для определения действующих напряжений в металлоконструкции верхней траверсы построим модель в натуральную величину с соблюдением заданных характеристик и геометрических размеров. Учитывая большую сложность моделирования сварного соединения каждого листа, профиля, ребра – каждое соединение было заменено на абсолютно жесткое (аналог сварного соединения). Моделирование опор выполнялось в накладывании граничных условий, исключающих перемещение этих узлов во всех направлениях. Также исключался поворот в этих узлах. Исходя из параметров используемой листовой стали, идеализация конструкции на конечные элементы проводилась с использованием балочного конечного элемента, который является трехмерным симметричным в поперечном сечении. При моделировании металлоконструкции данным типом конечного элемента в качестве реальных констант использовались стандартные геометрические характеристики: площадь поперечного сечения балки, моменты инерции относительно двух осей (в поперечном сечении), высота поперечного сечения, ширина поперечного сечения. Расчетные исследования выполнены как для статического, так и для динамического типа приложения нагрузок. Для общего представления о характере деформирования траверсы и вычисления местоположения узлов, критических с точки зрения долговечности, на первом этапе был проведен упругий расчет по (КЭ) программе [2]. Для выполнения расчета была построена трехмерная модель верхней траверсы (рис. 4.1).

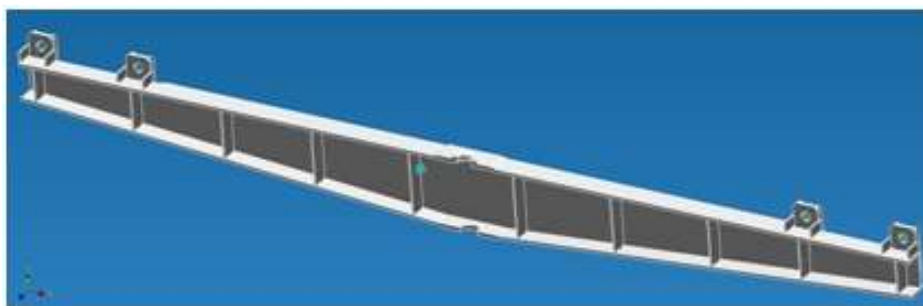


Рис. 4.1. Модель верхней траверсы

Так как конструкция траверсы симметрична относительно оси Y, то для расчета будем принимать половину симметричной модели относительно оси Y (рис. 5.1).

Указанная модель была разбита на 8, 10, 20 – узловых конечных элементы из материала с изопараметрическими свойствами для симметричной конструкции относительно продольной оси в программе «APMStudio» из пакета «APMWinmachine» (рис. 4.2).

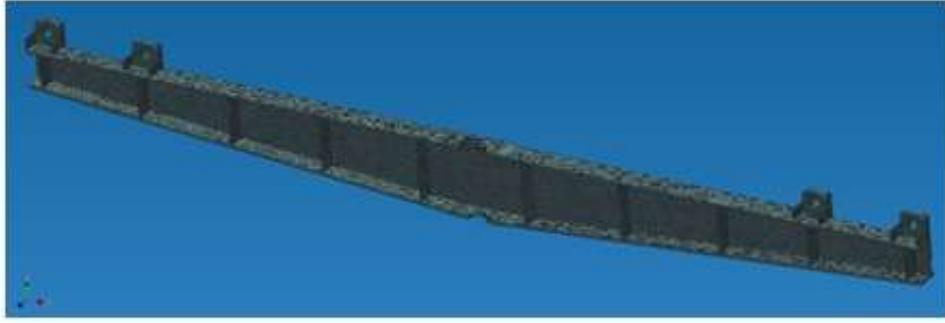


Рис. 4.2. Модель верхней траверсы с сеткой конечных элементов

Для расчета действующих напряжений в металлоконструкции верхней траверсы приложим действующую нагрузку от силы тяжести поднимаемой створки и нижней траверсы на площадь опирания упорного подшипника верхнего пояса траверсы.

$$Q = 1.25g(160 + 10) = 2084.625 \text{ кН};$$

Площадь опирания упорного подшипника определим равной – $S = 39321,148 \text{ мм}^2$;
Соответственно распределенное давление по площади опирания составит:

$$p = \frac{Q}{S} = \frac{2084.625 \text{ кН}}{39321,148 \text{ мм}^2} = 0,053 \text{ МПа}$$

Результаты расчета эквивалентных напряжений представлены на рис. 4.3.

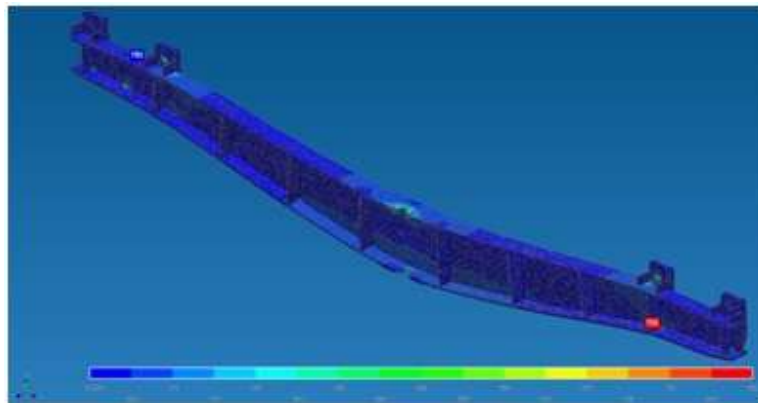


Рис. 4.3. Карта распределения эквивалентных напряжений по металлоконструкции верхней траверсы

Из анализа полученных значений определим, что наибольшие напряжения величиной 903 МПа возникают в месте сварки внутренних проушин траверсы и приводят к возникновению концентратора напряжений в месте соединения с полкой и стенкой траверсы (рис. 4.4).

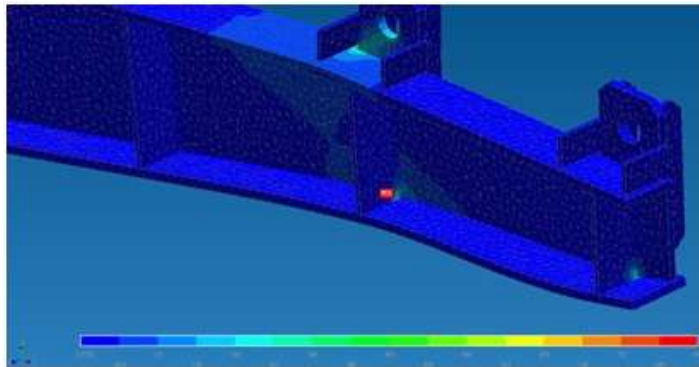


Рис. 4.4. Распределение напряжений

Распределение нормальных и касательных напряжений представлено на рис. 4.5-4.10.

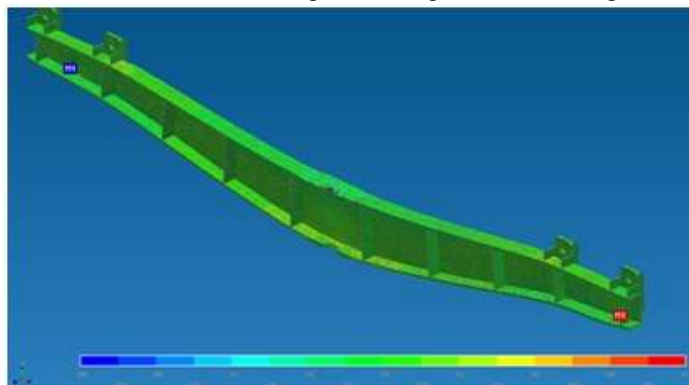


Рис. 4.5. Карта распределения нормальных напряжений по оси X

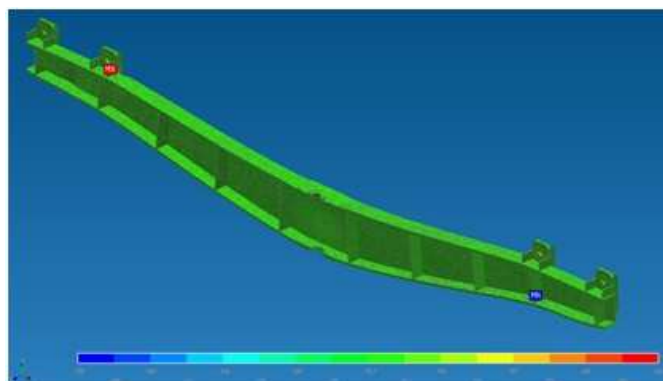


Рис. 4.6. Карта распределения нормальных напряжений по оси Y

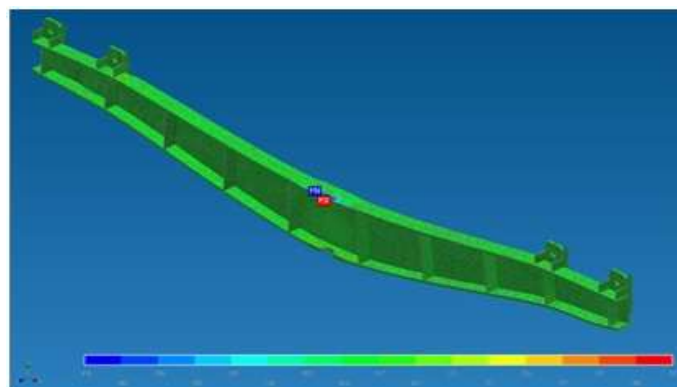


Рис. 4.7. Карта распределения нормальных напряжений по оси Z

Для анализа напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженных узлов металлоконструкции траверсы выполним моделирование четверти конструкции траверсы, считая геометрию траверсы симметричной в двух плоскостях.

Модель представлена на рис. 4.8.

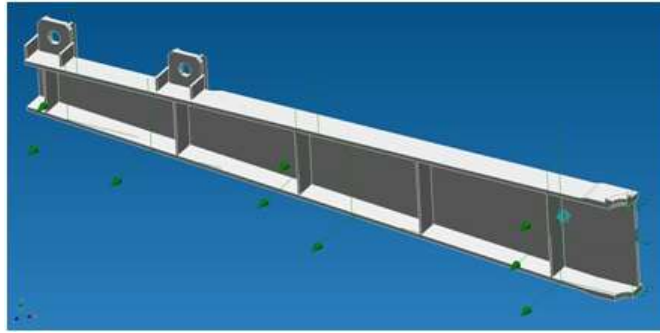


Рис. 4.8. Модель четверти траверсы

Указанная модель была разбита на 8 – узловые конечные элементы из материала с изопараметрическими свойствами для симметричной конструкции относительно продольной оси в программе «APMStudio» из пакета «APMWinmachine» (рис. 4.9).

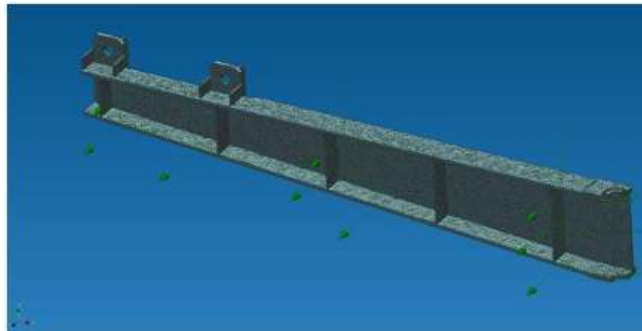


Рис. 4.9. Модель с сеткой конечных элементов

Для расчета действующих напряжений в металлоконструкции верхней траверсы приложим действующую нагрузку от силы тяжести поднимаемой створки и нижней траверсы на площадь опирания упорного подшипника верхнего пояса траверсы.

Результаты расчета эквивалентных напряжений представлены на рис. 4.10.

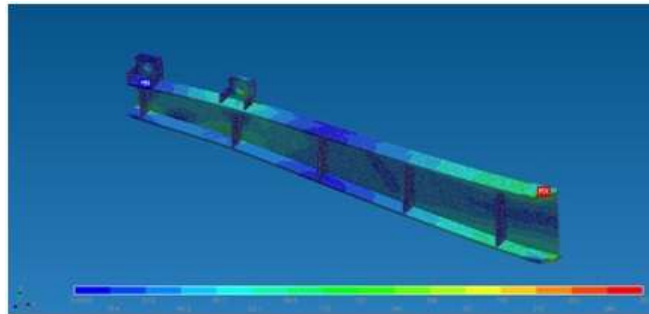
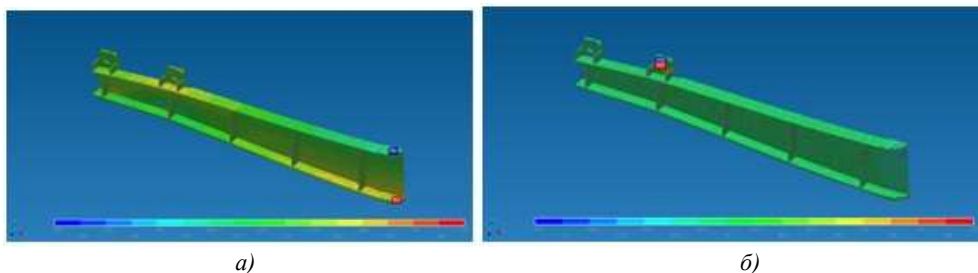
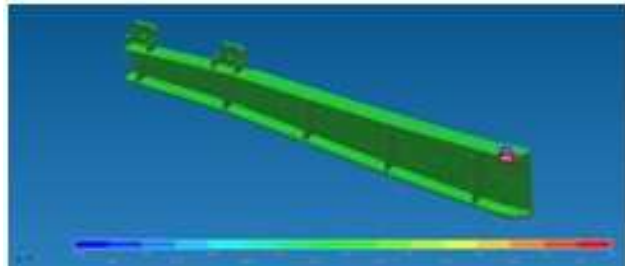


Рис. 4.10. Карта распределения эквивалентных напряжений

Схемы распределения нормальных напряжений по осям X, Y, Z представлены на рис 4.11 а-в, соответственно.





в)

Рис. 4.11. карта распределения нормальных напряжений

Из анализа полученных значений определим, что наибольшие напряжения составляют – 187 МПа. Соответственно, полученные напряжения не превышают допустимых, определенных по нормативной документации для гидротехнических сооружений.

Вывод: конструкция верхней траверсы обладает необходимой прочностью для подъема груза, предусмотренного эксплуатационной документацией траверсы.

5. Расчет нижней траверсы

Для определения действующих напряжений в металлоконструкции нижней траверсы построим модель в натуральную величину с соблюдением заданных характеристик и геометрических размеров. Учитывая большую сложность моделирования сварного соединения каждого листа, профиля, ребра было заменено на абсолютно жесткое (аналог сварного соединения). Моделирование опор выполнено в накладывании граничных условий, исключающие перемещение этих узлов во всех направлениях. Также исключался поворот в этих узлах. Исходя из параметров используемой листовой стали, идеализация конструкции на конечные элементы проводилась с использованием балочного конечного элемента, который является трехмерным симметричным в поперечном сечении. При моделировании металлоконструкции данным типом в качестве реальных констант использовались стандартные геометрические характеристики: площадь поперечного сечения балки, моменты инерции относительно двух осей (в поперечном сечении), высота поперечного сечения, ширина поперечного сечения. Расчетные исследования выполнены как для статического, так и для динамического типа приложения нагрузок. Для общего представления о характере деформирования траверсы и вычисления местоположения узлов, критических с точки зрения долговечности, на первом этапе был проведен упругий расчет по (КЭ) программе [2]. Для выполнения расчета была построена трехмерная модель нижней траверсы (рис. 5.1).

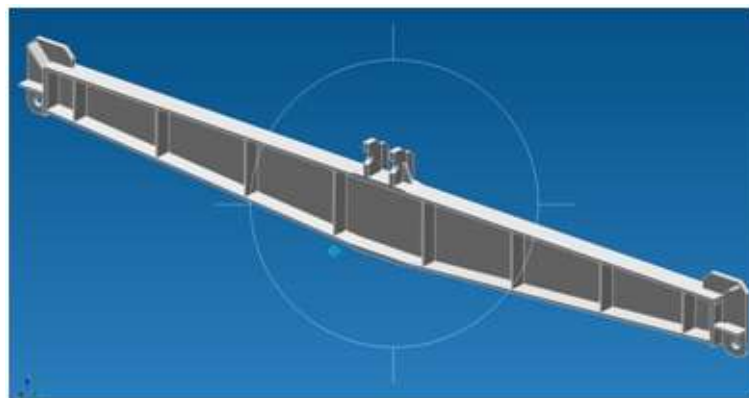


Рис. 5.1. Модель верхней траверсы

Так как конструкция траверсы симметрична, относительно оси Y, то для расчета будем принимать половину симметричной модели, относительно оси Y (рис. 5.1)

Указанная модель была разбита на 8, 10, 20 – узловые конечные элементы из материала с изопараметрическими свойствами для симметричной конструкции относительно продольной оси в программе «APMStudio» из пакета «APMWinmachine» (рис. 5.2).

Для расчета действующих напряжений в металлоконструкции нижней траверсы, приложим действующую нагрузку от силы тяжести поднимаемой створки на суммарную площадь проушин траверсы.

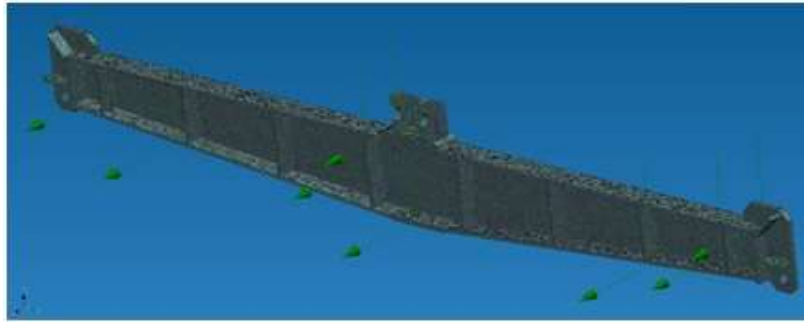


Рис. 5.2. Модель верхней траверсы с сеткой конечных элементов

$$Q_1 = 1.25g(160) = 1960 \text{ кН};$$

Площадь опирания всех проушин определим равной – $S_1=98771,68 \text{ мм}^2$;
Соответственно распределенное давление по площади опирания составит:

$$q_1 = \frac{Q_1}{S_1} = 19,85 \text{ Н/мм}^2,$$

Результаты расчета эквивалентных напряжений представлены на рис. 5.3.

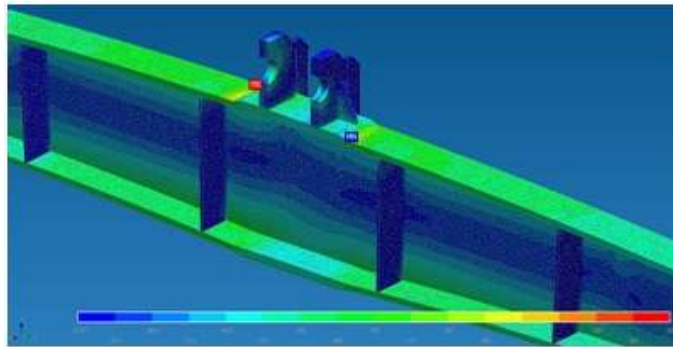


Рис. 5.3. Карта распределения эквивалентных напряжений по металлоконструкции верхней траверсы

Из анализа полученных значений, определим, что наибольшие напряжения, величиной – 285 МПа, возникают в месте сварки верхних проушин траверсы и нижней полки траверсы.

Распределение нормальных и касательных напряжений представлено на рис. 5.4–5.9.

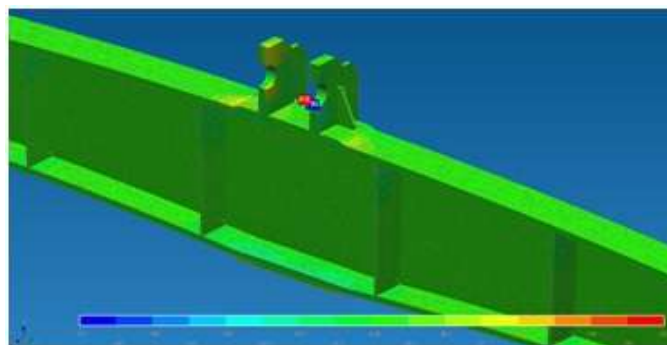


Рис. 5.4. Карта распределения нормальных напряжений по оси X

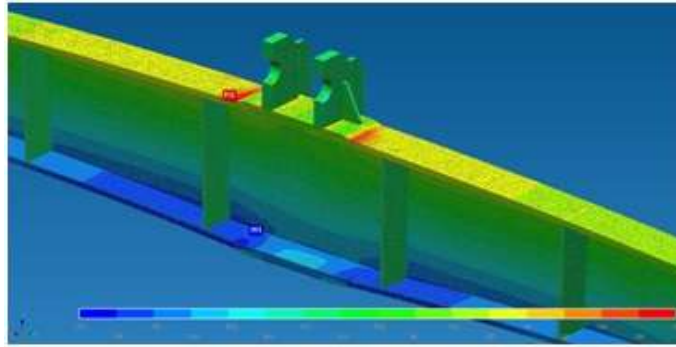


Рис. 5.5. Карта распределения нормальных напряжений по оси Y

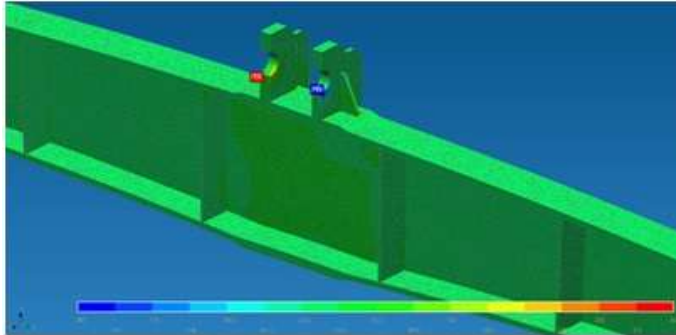


Рис. 5.6. Карта распределения нормальных напряжений по оси Z

Для анализа напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженных узлов металлоконструкции траверсы, выполним моделирование четверти конструкции траверсы, считая геометрию траверсы симметричной в двух плоскостях.

Модель представлена на рис. 5.7.

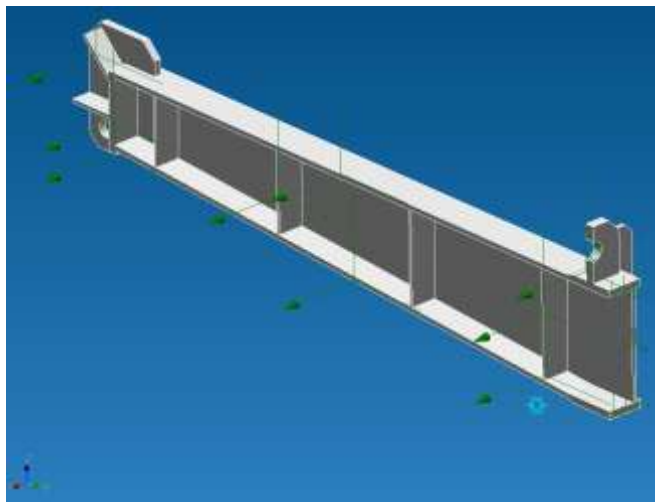


Рис. 5.7. Модель четверти траверсы

Указанная модель была разбита на 8 – узловое конечные элементы из материала с изопараметрическими свойствами для симметричной конструкции относительно продольной оси в программе «APMStudio» из пакета «APMWinmachine» (рис. 5.8).

Для расчета действующих напряжений в металлоконструкции верхней траверсы, приложим действующую нагрузку от силы тяжести поднимаемой створки на площадь опирания проушин траверсы.

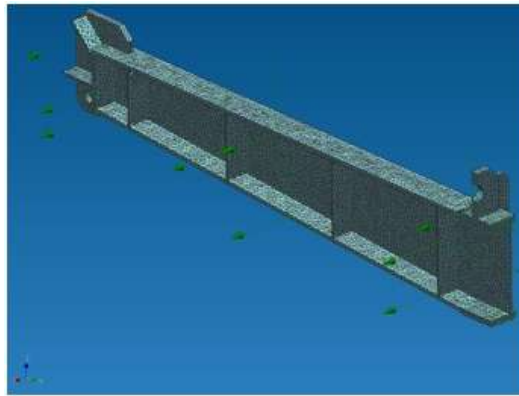


Рис. 5.8. Модель с сеткой конечных элементов

Результаты расчета эквивалентных напряжений представлены на рис. 5.9.

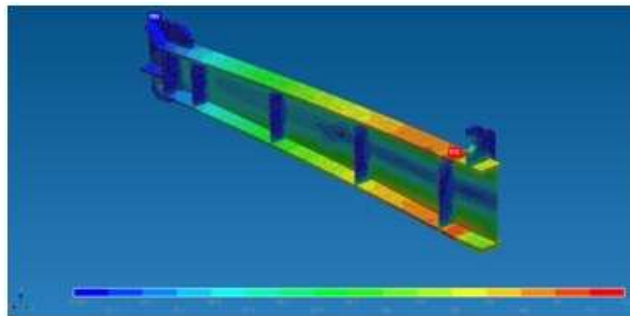


Рис. 5.9. Карта распределения эквивалентных напряжений

Схемы распределения нормальных напряжений по осям X, Y, Z представлены на рис 5.10 а-в, соответственно.

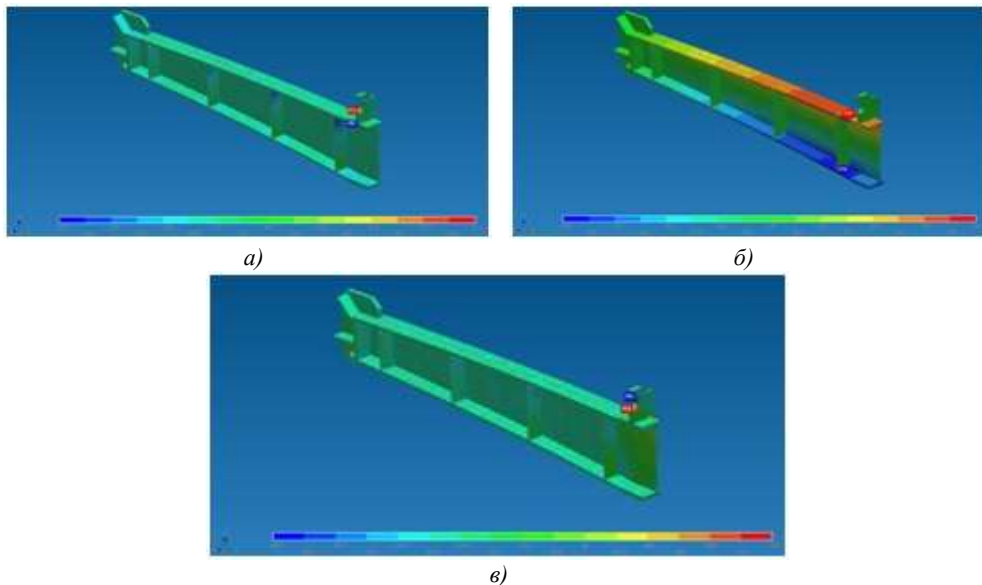


Рис. 5.10. карта распределения нормальных напряжений

Из анализа полученных значений определим, что наибольшие напряжения составляют – 183 МПа. Соответственно, полученные напряжения не превышают допустимых, определенных по нормативной документации для гидротехнических сооружений.

Вывод: конструкция нижней траверсы обладает необходимой прочностью для подъема груза, предусмотренного эксплуатационной документацией траверсы.

6. Расчет проушин

Для оценки прочности проушин, конструкция которых представлена в документации на проектирование БТ4014.04.00.00.000 выполним моделирование конструкции проушины, представленной на рис. 6.1

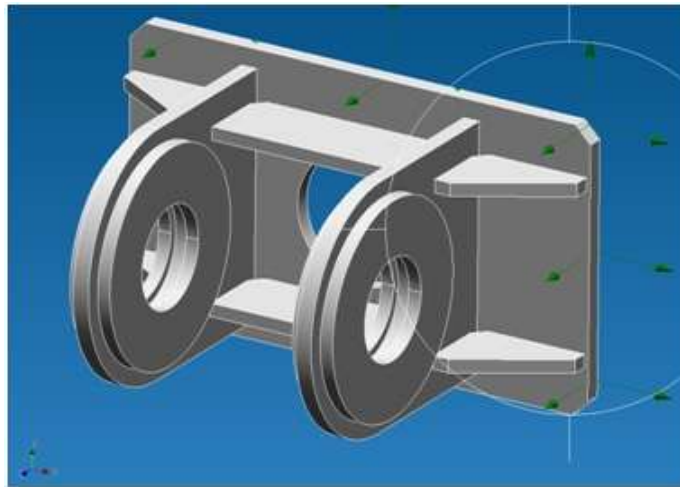


Рис. 6.1. Модель конструкции проушины

Модель конструкции проушины с сеткой конечных элементов представлена на рис. 6.2.

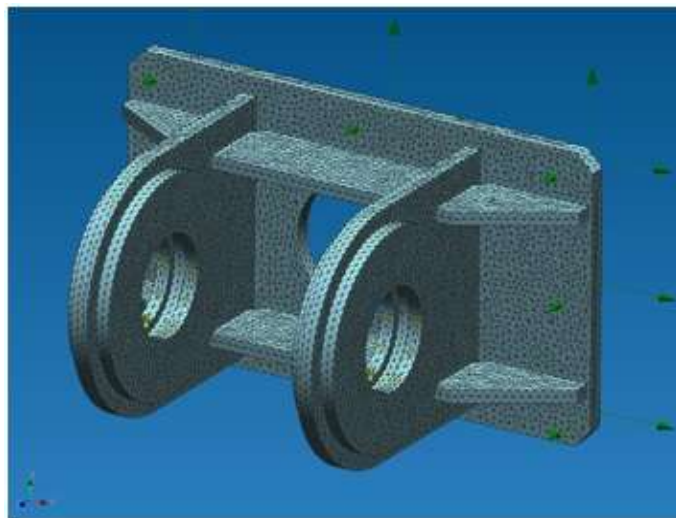


Рис. 6.2. Модель конструкции проушины с сеткой конечных элементов

Приложим к отверстиям проушины расчетное усилие, представленное в п.2.2 документации БТ4014.00.00.00.000РР01.6, результаты расчета представлены на рис. 6.3.

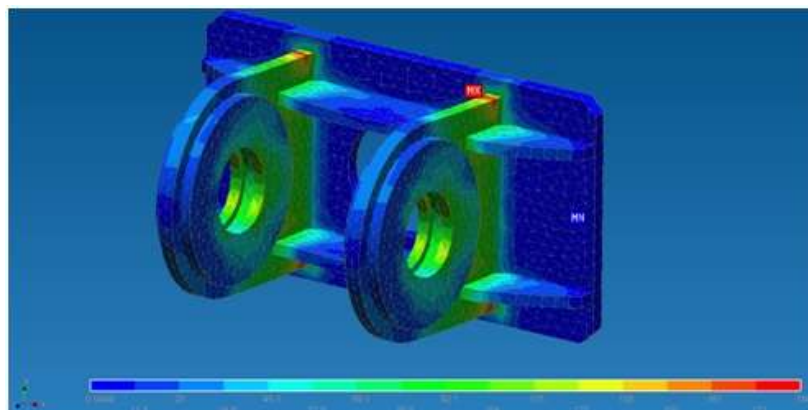


Рис. 6.3. Карта распределения эквивалентных напряжений по металлоконструкции проушины

Из анализа полученных значений определим, что наибольшие напряжения составляют – 184 МПа. Соответственно, полученные напряжения не превышают допустимых, определенных по нормативной документации для гидротехнических сооружений.

Вывод: конструкция проушины обладает необходимой прочностью.

Для оценки прочности проушин, конструкция которых представлена в документации на проектирование БТ4014.02.00.00.000 и БТ4014.03.00.00.000 выполним моделирование конструкции проушин, представленной на рис. 6.4 а, б.

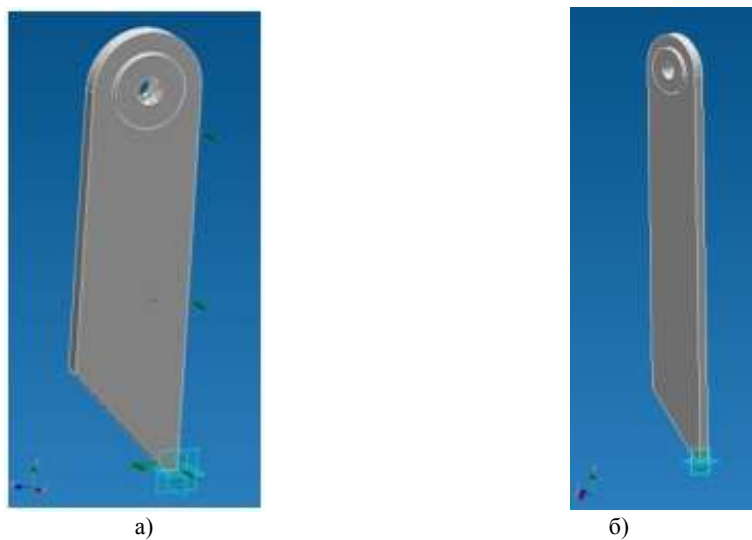


Рис. 6.4. Модель проушин

Модель проушин с сеткой конечных элементов представлена на рис. 6.5 а, б.

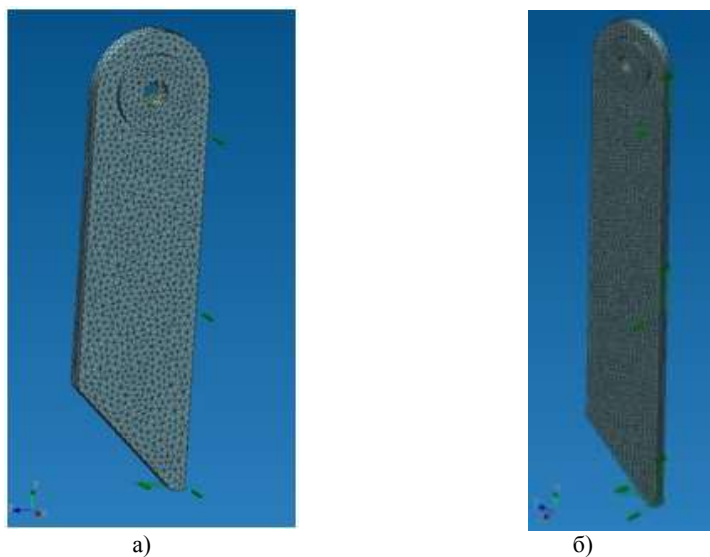


Рис. 6.5. Модель проушин с сеткой конечных элементов

Приложим к отверстиям проушины расчетное усилие, представленное в п. 4 документации БТ4014.00.00.00.000РР01.6, результаты расчета представлены на рис. 6.6.

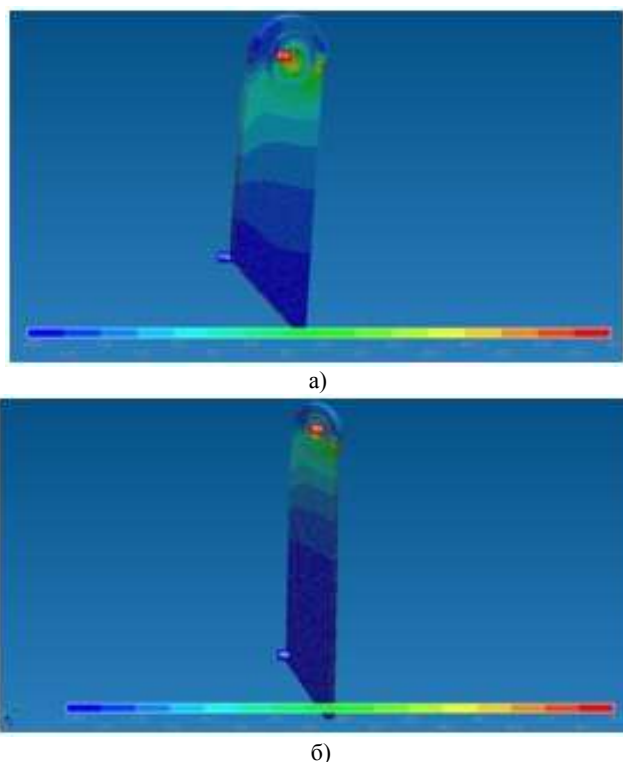


Рис. 6.6. Карта распределения эквивалентных напряжений по металлоконструкции проушины

Из анализа полученных значений, определим, что наибольшие напряжения составляют – 59,1 и 58,8 МПа. Соответственно, полученные напряжения не превышают допустимых, определенных по нормативной документации для гидротехнических сооружений.

Вывод: конструкция проушин обладает необходимой прочностью.

7. Заключение

1. Представлен вариант математической модели механики поврежденной среды, развитой в работах Ю.Г. Коротких для расчета усталостной долговечности конструкций по механизму деградации многоциклового усталости материала.

Данная математическая модель позволяет учитывать

- нелинейность процесса накопления усталостных повреждений;
- нелинейность суммирования повреждений при изменении режимов нагружения или вида напряженного состояния.

2. Разработана научно-обоснованная инженерная методика расчета полей напряжений, деформаций, повреждений в опасных зонах элементов и узлов несущих конструкций по механизму деградации многоциклового усталости материала.

3. Проведён анализ кинетики напряженно-деформированного состояния элементов и узлов грузоподъемной траверсы, подверженной воздействию знакопеременного нагружения и выполнен на его основе прогноз усталостной долговечности, который показал, что данный подход пригоден для разработки на его основе экспертных систем оценки ресурса подъемных сооружений, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации.

Список литературы:

1. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ. Предсказание. Предотвращение. – М.: Мир, 1984.
2. Волков И.А., Коротких Ю.Г. Уравнения состояния вязкоупругопластических сред с повреждениями. – М.: Физматлит, 2008. – 424с.
3. Романов А. Н. Разрушение при малоциклоном нагружении. – М.: Наука, 1988. – 279с.
4. Коум, Сартори. Оценка современной методологии проектирования высокотемпературных элементов конструкций на основе экспериментов по их разрушению // Теоретические основы инженерных расчетов. 1988, № 1. С. 104 - 118.
5. Брок Д. Основы механики разрушения. – М.: Высшая школа, 1980. – 368с.
6. Патрикеев А.Б. О механизме разрушения верхних участков стальных подкрановых балок // Пром. стр.-во. – 1979, №5. С. 38–43.

7. Руководящий технический материал // Расчёты и испытания на прочность / Методы расчёта на трещиностойкость металлоконструкций мостовых кранов при статическом и циклическом нагружении. – Красноярск, 1990. – 58 с.
8. Трошенко В. Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – Киев: Наук. думка, 1981. – 343с.
9. Волков И.А. Модель поврежденной среды для оценки ресурсных характеристик конструкционных сталей при механизмах истощения, сочетающих усталость и ползучесть материала / И.А. Волков, А.И. Волков, Ю.Г. Коротких, И.С. Тарасов // Вычислительная механика сплошных сред. 2013. Т. 6, № 2. С. 232–245.
10. Боднер, Линдхолм. Критерий приращения повреждения для зависящего от времени разрушения материалов // Теоретические основы инженерных расчетов. 1976, №2. С. 51–58.
11. Chaboche J. L. Continuous damage mechanics a tool to describe phenomena before crack initiation // Engineering Design. 1981. vol. 64. p. 233–247.
12. Волков И.А. Численное моделирование упругопластического деформирования и накопления повреждений в металлах при малоцикловой усталости / И.А. Волков, Ю.Г. Коротких, И.С. Тарасов, Д.Н. Шишулин // Междунар. научно-технический журнал «Проблемы прочности»: изд-во Института проблем прочности НАН У, №4. – Киев, 2011.
13. «Structure CAD» пакет «Scad Office v.11».
14. Акимов, И.А., Яблоков, А.С. Оценка напряженно-деформированного состояния металлоконструкции каркаса машинного отделения плавучего крана / И.А. Акимов, А.С. Яблоков // Труды 16-го международного научно-промышленного форума «Великие реки – 2014». Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек». Том 1. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГАВТ», 2014. – 215–219 с.
15. Волков И.А., Яблоков А.С. Об одном подходе к оценке долговечности металлоконструкций плавучих кранов по их фактическому, эксплуатационному нагружению // Вестник ВГАВТ №42. – Н.Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГАВТ», 2015. – 56–68 с.
16. Леметр, Ж. Модель механики повреждения сплошных сред при вязком разрушении // J. Of Engineering Materials and Technology. 1985.V. 107. P. 3-9.
17. Коротких, Ю.Г. Моделирование эффектов локальной анизотропии упрочнения в рамках модели пластичности с комбинированным упрочнением / Ю.Г. Коротких, Г.А. Маковкин, В.А. Сбитнев // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Численное моделирование физико-механических процессов : межвуз. сб. / М.: Товарищ. научн. изд. КМК. – 1995. – С. 23–31.
18. Коротких Ю.Г. Математическое моделирование процессов деформирования и разрушения конструкционных материалов / Ю.Г. Коротких, И.А. Волков, Г.А. Маковкин – Н.Новгород: ВГАВТ, 1996. – 345 с.
19. Волков, И.А. Уравнения состояния вязкоупругопластических сред с повреждениями / И.А. Волков, Ю.Г. Коротких – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 424 С.
20. Трошенко, В.Т. Энергетический критерий усталостного разрушения. / Трошенко В.Т., Фомичев Л.А. // Проблемы прочности. № 1. Киев. – 1993. – С. 3–10.
21. Романов А.Н. Разрушение при малоцикловом нагружении / А.Н. Романов. – М.: Наука, 1988. – 279 С.
22. Chaboche, J.L. Continuous damage mechanics a tool to describe phenomena before crack initiation / J.L. Chaboche // Journal Engineering Design. – 1981. – vol. 64. – P. 233–247.
23. Леметр Ж. Модель механики повреждения сплошных сред при вязком разрушении // J. of Engineering Materials and Technology. 1985. V. 107. P. 3–9
24. Боднер, Линдхолм. Критерий приращения повреждения для зависящего от времени разрушения материалов // Теоретические основы инженерных расчетов. 1976, №2. С. 51–58.
25. Chaboche J.L. Continuous damage mechanics a tool to describe phenomena before crack initiation // Engineering Design. 1981. vol. 64. p. 233–247.

EVALUATION OF STRESSED-DEFORMED CONDITIONS OF ELEMENTS TRAVERSE WITH LOAD CAPACITY OF 160 TONS

Alexander S. Yablokov,
*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia*

Sergey A. Borunov,
*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia*

Alexander D. Devin,
*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia*

Vladislav V. Shutov,
*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The article calculates the analysis of the stress-strain state of the traverse, taking into account additional loads acting in full-scale operating conditions. The presented calculation methodology is based on determining the permissible stresses and modeling the structure using the finite element method. A design scheme, a solid-deformed model have been developed, and a finite element method has been calculated in the CAD / CAE system. To determine

the operating values in the steel structure of the lower service, we will construct a model in natural values with observance of the given characteristics and geometrical dimensions. The stress-strain state of the traverse elements is quite complex, since both compressive stresses and tensile stresses arise in one element in different planes, which are interchanged during the operation of the lifting structure. The above calculation and analysis of the strength of the metal structure of the lifting structure showed that this approach is suitable for the development on its basis of expert systems for assessing the lifespan of lifting structures, both at the stage of design and at the stage of operation

Keywords: traverse, metal construction, stress-strain state, finite element method, modeling, strength, stress concentration, reliability.

References:

1. Collins J. Damage to materials in structures. Analysis.Prediction.Prevention. – M.: Mir, 1984.
2. Volkov I.A., Korotkikh Yu.G. Equations of state of viscoelastic plastic media with damage. – M.: Fizmatlit, 2008. – 424 p.
3. Romanov A. N. Failure under low-cycle loading. – M.: Nauka, 1988. – 279 p.
4. Corum, Sartori. Evaluation of the modern methodology for designing high-temperature structural elements based on experiments on their destruction // Theoretical Foundations of Engineering Calculations. 1988, No. 1. S. 104 – 118.
5. Broek D. Fundamentals of fracture mechanics. – M.: Higher School, 1980. – 368s.
6. Patrikeev A.B. On the mechanism of destruction of the upper sections of steel crane beams // Prom. to. – 1979, No. 5. WITH 38–43.
7. Guiding technical material // Calculations and strength tests / Methods for calculating the crack resistance of metal structures of bridge cranes under static and cyclic loading. – Krasnoyarsk, 1990. – 58 p.
8. Troshchenko VT T. Deformation and fracture of metals under high-cycle loading. – Kiev: Science. Dumka, 1981.- 343s.
9. Volkov I.A. A model of a damaged medium for assessing the resource characteristics of structural steels with exhaustion mechanisms combining fatigue and creep of a material / I.A. Volkov, A.I. Volkov, Yu.G. Korotkikh, I.S. Tarasov // Computational mechanics of continuous media. 2013.Vol. 6, No. 2. P. 232–245.
10. Bodner, Lindholm. Criterion for damage increment for time-dependent fracture of materials // Theoretical Foundations of Engineering Calculations. 1976, No. 2. S. 51 – 58.
11. Chaboche J. L. Continuous damage mechanics a tool to describe phenomena before crack initiation // Engineering Design. 1981. vol. 64. p. 233–247.
12. Volkov, I.A. Numerical modeling of elastoplastic deformation and damage accumulation in metals during low-cycle fatigue. / I.A. Volkov, Yu.G. Korotkikh, I.S. Tarasov, D.N. Shishulin // Intern. scientific and technical journal «Problems of Strength»: publishing house of the Institute of Strength Problems of NASU, No. 4. – Kiev, 2011.
13. «Structure CAD» package «Scad Office v.11».
14. Akimov, I.A., Yablokov, A.S. Assessment of the stress-strain state of the metal structure of the frame of the engine room of a floating crane / I.A. Akimov, A.S. Yablokov // Proceedings of the 16th international scientific and industrial forum «Great Rivers – 2014». Materials of the scientific and methodological conference of the faculty, graduate students, specialists and students «Problems of the use and innovative development of inland waterways in the basins of great rivers.» Volume 1. – N. Novgorod: Publishing House of FSBEI HE «VGAVT», 2014. – 215 – 219s.
15. Volkov, I.A., Yablokov, A.S. About one approach to assessing the durability of metal structures of floating cranes according to their actual, operational loading // VGAVT Bulletin No. 42. – N. Novgorod: Publishing House of FSBEI HE «VGAVT», 2015. – 56 – 68s.
16. Lemeter, J. Model of the mechanics of damage to continuous media in viscous failure // J. of Engineering Materials and Technology. 1985. V. 107. P. 3-9.
17. Korotkih, JG Modeling the effects of local anisotropy in the model of hardening plasticity combined hardening / JG Korotkih, GA Makovkin, VA Sbitnev // Applied problems of strength and ductility. Numerical modeling of physical and mechanical processes: Hi. Sat. / M.: Fellow. Scien.ed. KMC. – 1995. – P. 23-31.
18. Korotkih, JG Mathematical modeling of deformation and fracture of structural materials / JG Korotkih, IA Volkov, GA Makovkin – Nizhniy Novgorod: VSAWT, 1996. – 345 p.
19. Volkov, IA Equations of state media viscoelastoplastic damaged / IA Volkov, YG Korotkih – M.: FIZMATLIT, 2008. – 424 pp
20. Troshchenko, VT Energy criterion of fatigue failure. / Troshchenko VT Fomichev LA // Problems of strength. № 1. Kiev. – 1993. – P. 3-10.
21. AN Romanov The destruction in the low-cycle loading / AN Romanov. – Moscow: Nauka, 1988. – 279 pp
22. Chaboche, J.L. Continuous damage mechanics a tool to describe phenomena before crack initiation / JL Chaboche // Journal Engineering Design. – 1981. – vol. 64. – P. 233-247.
23. Lemaitre J. Model of damage mechanics of continuous media with the ductile fracture // J. of Engineering Materials and Technology. 1985. V. 107. P. 3-9.
24. Bodner, Lindholm. The criterion for the increment of damage depends on the destruction of materials // Theoretical bases of engineering calculations. 1976, №2. S. 51–58.
25. Chaboche JL Continuous damage mechanics a tool to describe phenomena before crack initiation // Engineering Design. 1981. vol. 64. p. 233–247.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Яблоков Александр Сергеевич, к.т.н.,
доцент, доцент кафедры подъемно-
транспортных машин и машиноремонта,
Волжский государственный университет
водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),

Alexander S. Yablokov, Ph.D., associate
professor, associate professor of the chair of
lifting and transporting machines and machine
repair, Volga State University of Water
Transport,

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: mip.res.centr@yandex.ru

Борунов Сергей Александрович, магистрант
кафедры подъемно-транспортных машин и
машиноремонта, Волжский государственный
университет водного транспорта» (ФГБОУ
ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: mip.res.centr@yandex.ru

Девин Александр Дмитриевич, магистрант
кафедры подъемно-транспортных машин и
машиноремонта, Волжский государственный
университет водного транспорта» (ФГБОУ
ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: mip.res.centr@yandex.ru

Шутов Владислав Вадимович, магистрант
кафедры подъемно-транспортных машин и
машиноремонта, Волжский государственный
университет водного транспорта» (ФГБОУ
ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5
e-mail: mip.res.centr@yandex.ru

5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951.
e-mail: mip.res.centr@yandex.ru

Sergey A. Borunov, graduate student,
Department of Hoisting-and-Transport Machines
and Machine Repair, Volga State University of
Water Transport,
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951.

Alexander D. Devin, graduate student,
Department of Hoisting-and-Transport Machines
and Machine Repair, Volga State University of
Water Transport,
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951.

Vladislav V. Shutov, graduate student of the
department of lifting and transporting machines
and machine repair, Volga State University of
Water Transport,
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951.