

Научная статья

УДК 629.5.01

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-163-172

Модернизация универсальной сборочно-сварочной оснастки для изготовления секций корпусов судов

Павел Романович Гришин¹, Сергей Васильевич Дятченко², Егор Ильич Сергеев³

¹Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

^{2,3}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹pavel.grishin@klgtu.ru

²svd.ks@mail.ru

³egor.sergeev@klgtu.ru

Аннотация. В системе объекта морской (речной) техники корпус судна представляет собой наиболее сложную техническую подсистему. От качества проектирования, изготовления и функционирования последней во многом зависят технико-экономические показатели всей системы в целом, которая, в свою очередь, определяет тип судна и его технико-экономические показатели. В статье показано направление создания нового методического обеспечения для оптимизации конструкции корпуса на стадиях ее проектирования и создания. Предусматривается нахождение вектора оптимизируемых переменных, при котором критерий эффективности достигает экстремального значения. $F(x) \rightarrow \min(\max)$, и тем самым соблюдаются требования к конструкции корпуса судна, заданные с соответствующими ограничениями технического задания. Чтобы решить данную задачу, на стадиях проектирования конструкции используют Правила Российского морского регистра судоходства (РМРС), а также согласованные с ними соответствующие методики ее оптимизации. Для достижения этой цели необходимо создание 3D-моделей конструкций и 3D-моделей соответствующей сборочно-сварочной оснастки. Представлены предложения по модернизации универсальной стоечной сборочно-сварочной оснастки с учетом требований к технологии изготовления корпусных конструкций судов, направленных на повышение точности их изготовления, улучшение качества сварных соединений конструкций, механизации и автоматизации производственных процессов и уменьшение напряженно-деформированного состояния в создаваемых конструкциях. Кроме того, проведен анализ напряжений и деформаций, возникающих в конструкциях, которые позволили оценить целесообразность такой модернизации для повышения точности и технологичности изготовления корпусных конструкций и уменьшения их напряженно-деформированного состояния. Построены эскизные и расчетные модели данной оснастки. По результатам расчетов сделаны выводы.

© Гришин П. Р., Дятченко С. В., Сергеев Е. И., 2022

Ключевые слова: судостроение, конструкция судна, сборочно-сварочная оснастка, математическая модель, характеристики судна, 3D-модель, 3D-моделирование

Для цитирования: Гришин П. Р., Дятченко С. В., Сергеев Е. И. Модернизация универсальной сборочно-сварочной оснастки для изготовления секций корпусов судов // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 163–172.

Original article

Modernization of universal assembly and welding fittings for making ship hull sections

Pavel R. Grishin¹, Sergey V. Dyatchenko², Egor I. Sergeev³

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

^{2,3} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹pavel.grishin@klgtu.ru

²svd.ks@mail.ru

³egor.sergeev@klgtu.ru

Abstract. The paper shows the urgency of creating a new methodological support for solving one of the urgent problems of optimizing the hull structure at the stages of its design and creation, which provides for finding a vector of optimized variables at which the efficiency criterion reaches an extreme value. $F(x) \rightarrow \min(\max)$ and the requirements for the structures of ships are fulfilled, specified by the corresponding restrictions ψ , and determining the requirements of the technical specifications for the structures being created and their manufacturing technology. To solve the problem of optimizing the structure, a 3D-model of the structure and a 3D-model of assembly and welding equipment have been created. Taking into account the requirements of the technology to improve the accuracy of manufacturing the hull structures of ships and improve the quality of welded structures, as well as the requirements to reduce the stress-strain state in the created structures, the article makes proposals for the modernization of the universal rack-mount assembly and welding equipment and analyzes the stresses and strains arising in the structures, which has made it possible to assess feasibility of such modernization in order to increase accuracy and manufacturability of making hull structures and reduce their stress-strain state. Sketch and design models of this equipment have been built. Conclusions have been made based on the calculations results.

Keywords: shipbuilding, vessel design, assembly and welding equipment, mathematical model, vessel characteristics, 3D-model, 3D-modeling

For citation: Grishin P. R., Dyatchenko S. V., Sergeev E. I. Modernization of universal assembly and welding fittings for making ship hull sections. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):163–172.(in Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Основными направлениями повышения технико-экономических показателей для новых проектов судов, создаваемых в условиях базовых предприятий, являются: снижение сроков их постройки; уменьшение трудоемкости изготовления корпусных конструкций, улучшение точности их изготовления и снижение напряженно-деформированного состояния; повышение уровня механизации и автоматизации стапельных работ, использование современных оптических средств при их проведении, применение блочного метода формирования корпуса и его изготовления без монтажных припусков. Повышение точности изготовления конструкций и блоков позволяет снизить уровень их напряженно-деформированного состояния и обеспечить необходимые прочностные характеристики корпуса в процессе его эксплуатации, а также обеспечить существенное снижение трудоемкости сборочных и проверочных работ [1–4]. Переход к изготовлению конструкций и блоков в "чистый размер" предусматривает необходимость улучшения уровня механизации и автоматизации производства, использования современных программных продуктов и средств технологического обеспечения. Известны работы, направленные на повышение точности изготовления конструкций, собираемых на сборочно-сварочной оснастке [2, 5]. Для улучшения точности изготовления конструкций секций и блоков необходимы их 3D-модели, а также новые сборочно-сварочные стенды, постели, судовозные тележки, тахеометры и универсальное монтажное и сварочное оборудование. Целью работы является создание легко реконструируемой механизированной универсальной сборочно-сварочной оснастки, гарантирующей необходимую точность обводов для сборки секций в "чистый размер" и обеспечивающей в процессе создания конструкций необходимый уровень их напряженно-деформированного состояния.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Корпус судна представляет собой сложную техническую подсистему соединенных между собой конструкций, гарантирующих ему необходимую прочность и надежность при эксплуатации. От уровня напряженно-деформированного состояния конструкций корпуса, получаемого при его изготовлении и в процессе эксплуатации, зависят сроки эксплуатации и безопасность мореплавания. Следовательно, необходимо создание конструкции с минимальным напряженно-деформированным состоянием. В качестве критериев прочности используют эквивалентные максимальные напряжения по Мизесу, поэтому в судостроении важно обеспечить минимальное напряженное состояние конструкций при проведении сборочно-сварочных работ. Основываясь на статистике из источника [5, с. 254], размер оснастки был принят 18x10 м. Также согласно источнику [5] в качестве лекал стали использоваться коксы на резьбовом валу (рис. 1 и 2).

По данным плаза, была разработана концептуальная 3D-модель для анализа оснастки с применением ПО Blender со свободной лицензией, которая представлена на рис. 3–5. Данная модель была нужна для более полного понимания общего вида, а также возможных внесений изменений на ранних этапах проектирования.

Главные стойки, как и сервопривод, устанавливаются на подвижной салазке, что позволяет изменять или корректировать размер шпации по получившимся "рельсам". К выходному валу сервопривода присоединяется резьбовой, на него же крепится кокс, изменяющий свое положение по резьбовому соединению вертикально. На верхней части кокса на резьбовом соединении установлена корректировочная головка, которая более точно прилегает к конструкции по высоте.

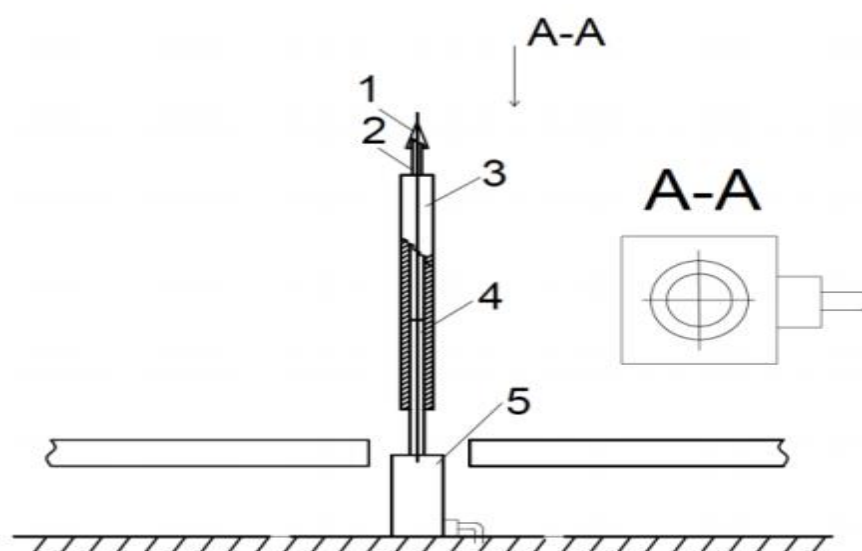


Рис. 1. Кокс на резьбовом валу с сервоприводом: 1 – корректировочная головка кокса; 2 – резьбовой вал головки кокса; 3 – подвижный кокс; 4 – основной резьбовой вал; 5 – сервопривод

Fig. 1. Coke on a threaded shaft with a servo drive: 1 – correction head of coke; 2 – threaded shaft of the coke head; 3 – movable coke; 4 – main threaded shaft; 5 – servo drive

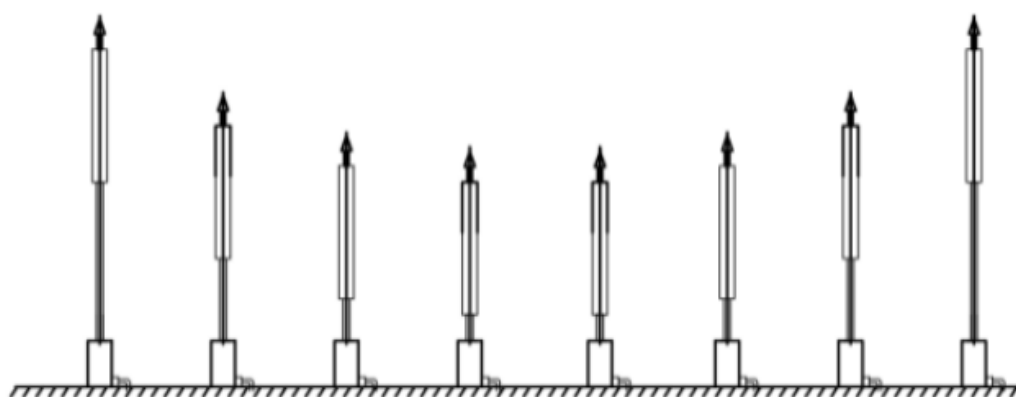


Рис. 2. Эскиз лекальной поверхности на основе коксов на сервоприводах
Fig. 2. Sketch of a patterned surface based on cokes on servo drives

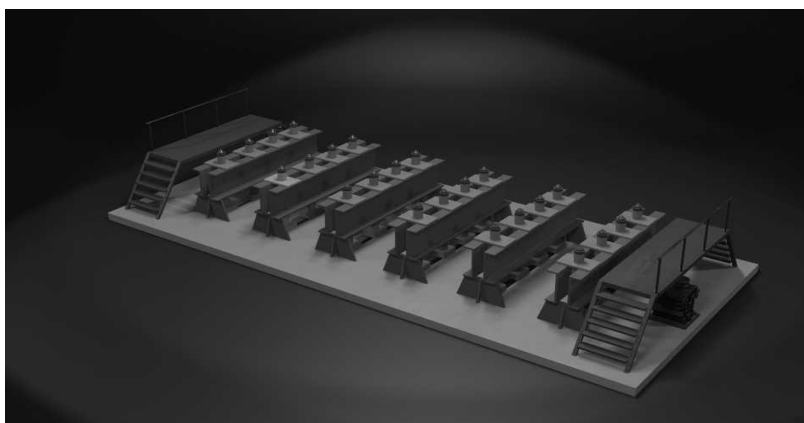


Рис. 3. 3D-модель оснастки на основе коксов на сервоприводах
(общий вид)

Fig. 3. 3D-model of equipment based on cokes on servo drives (general view)

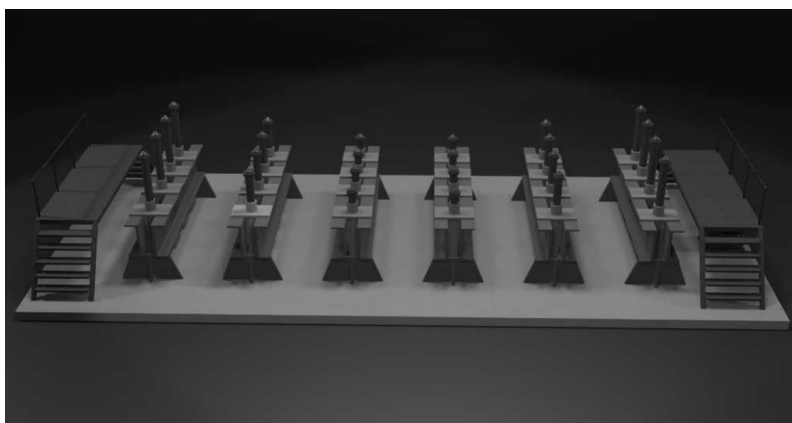


Рис. 4. 3D-модель универсальной стоечной оснастки на основе коксов
на сервоприводах (боковой вид)

Fig. 4. 3D-model of universal rack equipment based on cokes on servo drives
(side view)

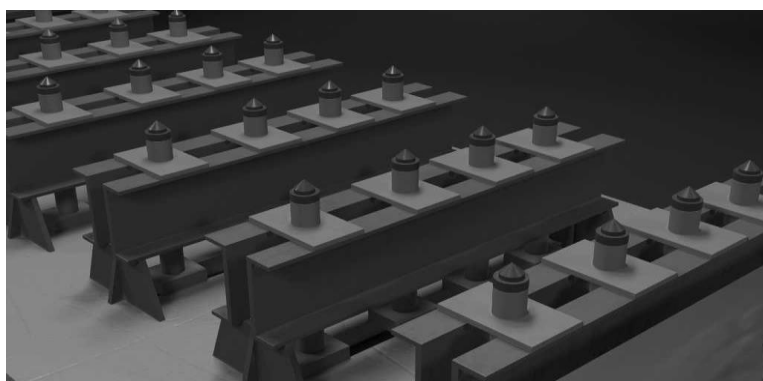


Рис. 5. 3D-модель универсальной стоечной оснастки на основе коксов на серво-
приводах (приближенный вид на коксы)

Fig. 5. 3D-model of universal rack fittings based on cokes on servo drives (close
view of cokes)

Как видно из вышепредставленных изображений, стойки расположены по площади оснастки. Все кабели для подключения питания двигателей будут присоединяться к питающему щиту с автоматическими предохранителями для экстренного отключения привода, кабеля сигнала – на пульт управления стойками, туда же загружаются координаты плазовых данных секции. Для оснастки задается базовая плоскость, от которой выносятся ординаты на коксовое поле постели. За базовую принимается плоскость, параллельная основной и лежащая в плоскости вершин коксов, выставленных в диаметральною по килевой линии, затем все данные преобразуются в сигнал для энкодера, и стойка передвигается на необходимую высоту.

После утверждения общего вида оснастки и исправления некоторых ошибок в модели для исследования напряженно-деформированного состояния корпусных конструкций судна была спроектирована расчетная 3D-модель выше указанной оснастки в ПО Autodesk Inventor, показанная на рис. 6, а также проведен анализ модели на статические и динамические напряжения, результаты которого приведены ниже на рис. 6–9:

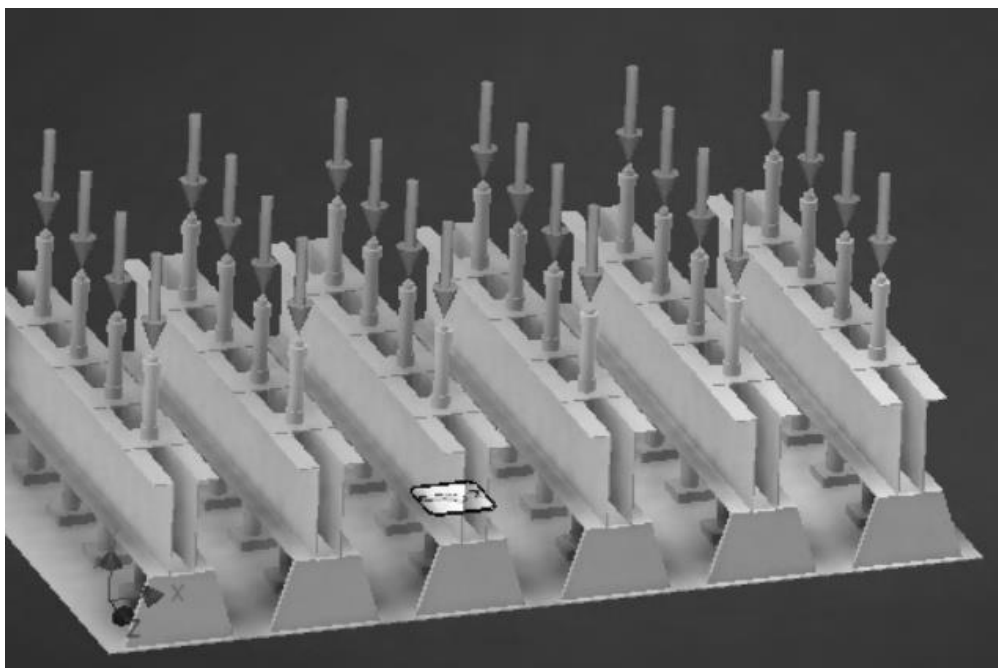


Рис. 6. 3D-модель универсальной стоечной оснастки на основе коксов на сервоприводах в ПО AutodeskInventor (общий вид с показанной нагрузкой)

Fig. 6. 3D-model of servo coke-based universal rack rigging in Autodesk Inventor software (general view with load shown)

В первом испытании стенд был проверен по критерию максимального напряжения по Мизесу, известному по теории формоизменения. Предельная текучесть рассматривается в основном как качество предельного напряжения. Благодаря программе от Autodesk Inventor можно не только использовать предельное растяжение модели, но и поставить свое значение предельного напряжения, это позволяет получить результаты в зависимости от использованных данных, приведенных на рис. 7.

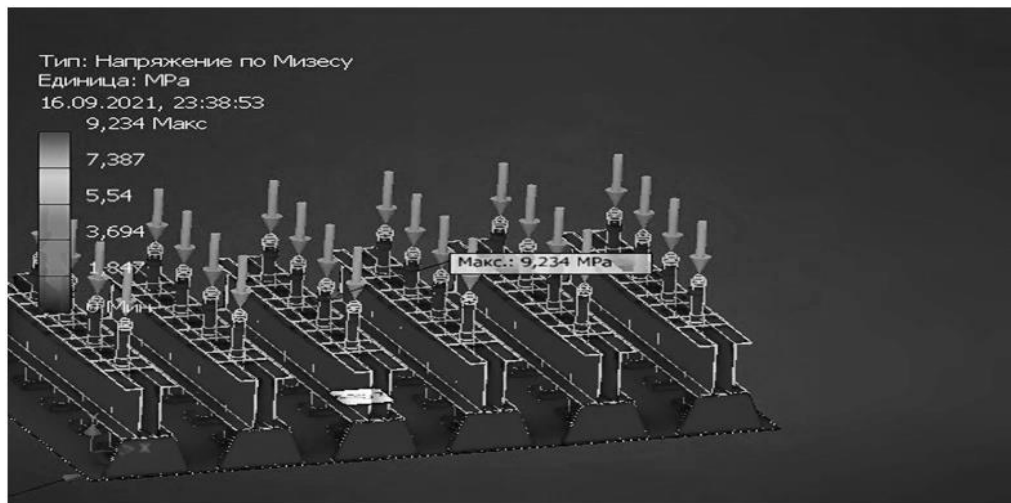


Рис. 7. Напряжение по Мизесу
Fig. 7. Mises tension

После проведения испытания по Мизесу был осуществлен анализ конструкции по первому основному напряжению. В данном анализе представлено максимальное напряжение, действующее перпендикулярно плоскости, на которое, предполагается, будет накладываться секция с касательным напряжением, равным нулю. Таким образом, настоящий анализ показывает максимальное напряжение при растяжении, которое возникает в самой конструкции и ее деталях после наложенной на нее нагрузки. Результат анализа представлен на рис. 8.

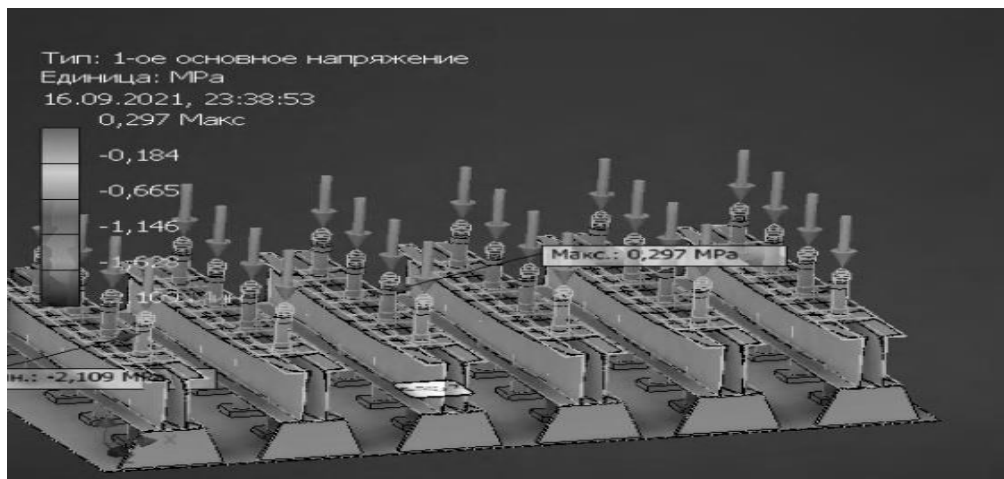


Рис. 8. Первое основное напряжение
Fig. 8. 1st main tension

Таким же образом был проведен анализ и по третьему основному напряжению, где рассматривались минимальные напряжения, также воздействующие на перпендикулярную плоскость, а именно на поверхность коксов, где касательные напряжения равны нулю. Данный анализ позволяет определить максимальное сжимающее напряжение, которое возникает в конструкции и в самих ее деталях при нагрузке секции. Результаты этого анализа приведены на рис. 9.

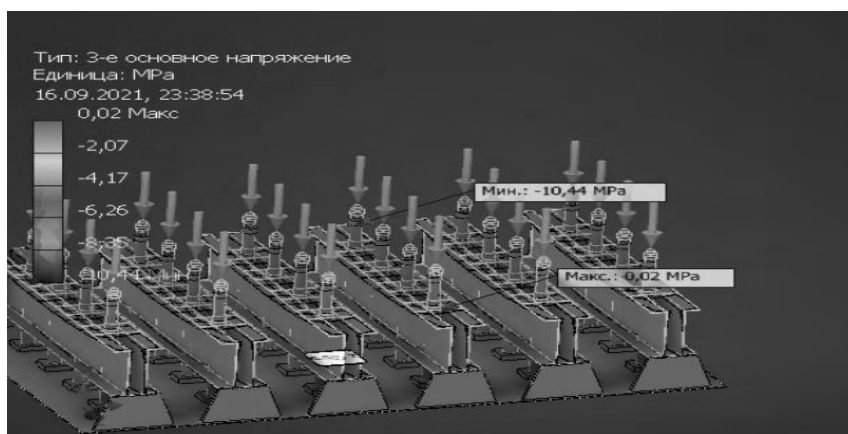


Рис 9. Третье основное напряжение
Fig. 9. 3rd main tension

Следующими этапами были проверка на смещение (деформацию) конструкции и более конкретизированные анализы по смещению (деформации) опорных конструкций на осях X и Y, а также по различным комбинациям осей. Их результаты представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Сила и момент реакции в зависимостях
Table 1. Reaction force and moment in dependencies

Имя зависимости	Сила реакции		Реактивный момент	
	Величина	Компонент (X,Y,Z)	Величина	Компонент (X,Y,Z)
Зависимость фиксации: 1	21664,1Н	-17,7752Н	431,053Нм	-431,053Нм
		21664,1Н		0Нм
		0Н		0Нм
Зависимость фиксации: 2	31292Н	0Н	263,24Нм	263,24Нм
		31292Н		0Нм
		0Н		0Нм

Таблица 2. Результаты полученных анализов
Table 2. Analysis results

Имя	Минимальная	Максимальная
1	2	3
Объем	1,0698E+10 мм ³	
Масса	83444,6 кг	
Напряжение по Мизесу	0,000000047 МПа	9,24 МПа
Первое основное напряжение	-2,11 МПа	0,29 МПа
Третье основное напряжение	-10,44 МПа	0,019 МПа
Смещение	0 мм	0,0018 мм
Коэфф. запаса прочности	15 бр	15 бр
Напряжение XX	-2,56 МПа	0,045 МПа

Окончание таблицы 2

1	2	3
Напряжение XY	-3,79 МПа	3,79 МПа
Напряжение XZ	-0,23 МПа	0,21 МПа
Напряжение YY	-8,68 МПа	0,042 МПа
Напряжение YZ	-3,59 МПа	3,67 МПа
Напряжение ZZ	-2,89 МПа	0,029 МПа
Смещение по оси X	-0,00067 мм	0,00065 мм
Смещение по оси Y	-0,0018 мм	0,000073 мм
Смещение по оси Z	-0,00042 мм	0,000123 мм
Эквивалентная деформация	0,00000000000021 бр	0,0000402 бр
1-я основная деформация	-0,00000000141 бр	0,0000156 бр
3-я основная деформация	-0,00004691 бр	0,00000000575 р
Деформация XX	-0,00000349 бр	0,00000405 бр
Деформация XY	-0,00002327 бр	0,0000233 бр
Деформация XZ	-0,00000142 р	0,00000128 бр
Деформация YY	-0,00003609 р	0,000000116 бр
Деформация YZ	-0,00002208 бр	0,0000226 бр
Деформация ZZ	-0,00000303 бр	0,0000027 бр

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что модификация оснастки, предложенная в источнике [5], проходит по всем прочностным критериям и является актуальной.

2. Данная оснастка повысит не только точность сборки секций судна, но и скорость, а также снизит трудоемкость ее изготовления, что экономически выгоднее, чем каждый раз изготавливать сборочно-сварочный стенд под определенную секцию судна.

3. С целью оптимизации корпусной конструкции необходимы специализированная оснастка и 3D-моделирование для обеспечения минимального напряженного состояния в соединениях и повышения срока эксплуатации корпусных конструкций.

4. Предлагаемая оснастка довольно удобна для серийного выпуска судов, так как с помощью информационных технологий можно поставить на поток изготовления серийные конструкции с низким уровнем напряжений в узлах.

Список источников

1. Галкин В. А. Справочник по сборочно-сварочной оснастке цехов верфи. Ленинград: Судостроение, 1983. 304 с.
2. Иванов А. П., Долгина И. Н. Методика и результаты исследования технологических операций сварки при изготовлении секций корпусов судов // Известия Калининградского государственного технического университета. 2011. № 21. С. 157–163.

3. Кузьминов С. А. Сварочные деформации судовых корпусных конструкций. Ленинград: Судостроение, 1974. 286 с.
4. Мацкевич В. Д. Сборка и сварка корпусов судов. Ленинград: Судостроение, 1968. 402 с.
5. Гришин П. Р., Дятченко С. В., Шевелёва С. И. Совершенствование сборочно-сварочной оснастки для изготовления секций судов // Известия Калининградского государственного технического университета. 2018. № 49. С. 252–264.

References

1. Galkin V. A. *Spravochnik po sborochno-svarochnoy osnastke tsekhov verfi* [Handbook of assembly and welding equipment for shipyard workshops]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1983, 268 p.
2. Ivanov A. P., Dolgina I. N. Metodika i rezul'taty issledovaniya tekhnologicheskikh operatsiy svarki pri izgotovlenii sektsiy korpusov sudov [Methodology and results of the study of technological operations of welding in the manufacture of ship hull sections]. *Izvestiya KGTU*, 2011, no. 21, pp. 157–163.
3. Kuzminov S. A. *Svarochnye deformatsii sudovykh korpusnykh konstruktsiy* [Welding deformations of ship hull structures]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1974, 286 p.
4. Matskevich V. D. *Sborka i svarka korpusov sudov* [Assembly and welding of ship hulls]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1968, 402 p.
5. Grishin P. R., Dyatchenko S. V., Shevelyova S. I. Sovershenstvovanie sborochno-svarochnoy osnastki dlya izgotovleniya sektsiy sudov [Improvement of assembly and welding equipment for the manufacture of ship sections]. *Izvestiya KGTU*, 2018, no. 49, pp. 252–264.

Информация об авторах

П. Р. Гришин – руководитель студенческого конструкторского бюро машиностроения Института высоких технологий БФУ им. И. Канта, аспирант кафедры кораблестроения

С. В. Дятченко – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой кораблестроения

Е. И. Сергеев – магистр кафедры кораблестроения

Information about the authors

P. R. Grishin – Head of the Student Design Bureau of Mechanical Engineering of the Institute of High Technologies of Immanuel Kant Baltic Federal University, graduate student of the Department of Shipbuilding

S. V. Dyatchenko – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Shipbuilding

E. I. Sergeev – Master degree student of the Department of Shipbuilding

Статья поступила в редакцию 23.03.2022; одобрена после рецензирования 13.04.2022; принята к публикации 15.07.2022

The article was submitted 23.03.2022; approved after reviewing 13.04.2022; accepted for publication 15.07.2022