

СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА

SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ECOLOGICAL SAFETY OF THE SHIP

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi78.407

Модульная конструкция баржи-площадки

С.Н. Гирин

ORCID: 0009-0001-3741-8502

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

Аннотация. В работе излагается решение задачи создания конструкции баржи-площадки класса «М-СП 3,5» Российского Классификационного Общества (РКО), предназначенной для изготовления вне судостроительно-судоремонтного предприятия на подготовленной площадке вблизи водоема. Сборка корпуса должна осуществляться из отдельных частей (модулей), которые изготавливаются в условиях судостроительного производства и доставляются к месту сборки автомобильным или железнодорожным транспортом. В процессе сборки не должна использоваться сварка. Предложено собирать корпус баржи из плоских секций размером 12,00×2,40 м и дробных размеров; при сборке использовать болтовые соединения. Рассмотрен пример конструкции баржи определенных размеров. Расчет общей прочности корпуса, собранного из отдельных секций с помощью болтовых соединений, выполнен с использованием программного комплекса «ANSYS». Показано, что прочность корпуса и болтов обеспечена на нагрузку, регламентируемую Правилами РКО. Использование болтовых соединений при формировании корпуса затрудняет обеспечение его непроницаемости, в связи с этим плавучесть и непотопляемость баржи предлагается обеспечивать с помощью вкладных гибких емкостей, накаченных воздухом. Проектирование и производство таких емкостей в настоящее время осуществляется рядом фирм в Российской Федерации.

Ключевые слова: Баржа-площадка, секционная сборка, болтовые соединения, прочность, гибкие воздушные емкости, непотопляемость.

Modular design of the barge platform

Stanislav N. Girin

ORCID: 0009-0001-3741-8502

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper presents the solution of the problem of creating the barge-platform design of the "M-SP 3.5" class of the Russian Classification Society (RCS), intended for manufacturing outside the shipbuilding and ship-repair enterprise on the prepared site near the water body. Hull assembly should be made of separate parts (modules), which are manufactured in the conditions of shipbuilding production and delivered to the place of assembly by automobile or railway transport. Welding should not be used in the assembly process. It is suggested to assemble the barge hull from flat sections of 12,00×2,40 m and fractional sizes; bolted joints should be used during assembly. An example of barge construction of specific dimensions is considered. Calculation of the overall strength of the

hull assembled from individual sections by means of bolted joints is performed using the ANSYS program complex. It is shown that the strength of the hull and bolts is ensured for the load regulated by the Rules of RCS. The use of bolted joints in forming the hull makes it difficult to ensure its impermeability, in this connection the buoyancy and unsinkability of the barge is proposed to be ensured by means of flexible tanks filled with air. Design and production of such tanks is currently carried out by a number of companies in the Russian Federation.

Keywords: barge-platform, sectional assembly, bolted connections, strength, flexible air tanks, unsinkability.

Введение

Разработка конструкции баржи была выполнена в Волжском Государственном университете водного транспорта по заказу ООО «НПФ «Политехника». В соответствии с техническим заданием баржа должна иметь грузоподъемность порядка 1000 т и эксплуатироваться на устьевых участках сибирских магистральных рек. Очевидно, что такому требованию отвечает класс «М-СП 3,5» Российского Классификационного Общества (РКО) с ледовым усилением [1].

Основная особенность технического задания состояла в том, что конструкция баржи должна позволять ее сборку на воде или на подготовленном участке берега водоема, т.е. вне судостроительно-судоремонтного завода. Сборка должна осуществляться из отдельных модулей без использования сварки (или при минимальном ее использовании). Изготовление модулей может выполняться в условиях судостроительного производства, а их доставка к месту сборки должна осуществляться с возможностью применения автомобильного (рис.1) или железнодорожного транспорта, т.е. габариты модулей не должны превышать габариты 40 футовых контейнеров.

При разработке технического задания Заказчик ориентировался на имеющуюся в открытом доступе информацию ряда зарубежных фирм по созданию аналогичной, как ему казалось, продукции. Так на рис.2 показаны примеры реализации различных плавучих сооружений из отдельных модулей, а на рис.3 показаны характеристики размерного ряда модулей, выпускаемых фирмой «Innofloat». Как видно из этих рисунков, модули представляют собой прямоугольные или со «срезанной» оконечностью понтоны, обладающие плавучестью, т.е. каждый модуль герметичен.

Формирование конструкции из отдельных понтонов осуществляется на воде с использованием различного рода замковых соединений. На рис.3 схематично показана конструкция такого соединения. Для увеличения общей прочности конструкции модули в ней могут размещаться особым образом, как это показано на рис. 4.

Следует отметить, что подобного рода конструкции применяются и в отечественной практике. Так на рис.5 показан общий вид платформы, предназначенной для разведочного бурения на мелководных морских участках, спроектированной в ЦПКБ «Стапель» почти 15 лет тому назад. Корпус платформы собран из отдельных модулей, схема сборки показана на рис.6. В настоящее время проектированием и постройкой плавучих сооружений модульного типа в нашей стране занимается целый ряд фирм.

Одной из основных проблем при создании плавучих сооружений, состоящих из отдельных частей (модулей), является проблема обеспечения прочности соединений этих частей. Технологии «жесткого» соединения на плаву отдельных частей корпуса впервые достаточно подробно рассмотрены в монографии [2]. Очевидно, что такое соединение не применимо в условиях рассматриваемой нами задачи.

Соединение отдельных модулей платформы ЦПКБ «Стапель» осуществлялось с помощью замков типа «ласточкин хвост». Исследования [3], [4], выполненные с

участием автора, показали, что предложенные первоначально разработчиками размеры замковых соединений не обеспечивали требуемой прочности, кроме того, такой тип замковых соединений достаточно трудоемок при сборке. Интересные предложения по созданию модульных плавучих сооружений содержатся в патентах [5], [6].

В настоящей работе рассматривается предложенная автором конструкция баржи, собираемая из отдельных плоскостных секций с помощью болтовых соединений. Размеры секций позволяют транспортировать их любым видом транспорта к месту сборки. Непотопляемость корпуса при этом обеспечивается гибкими вкладными емкостями, наполненными воздухом. Основное внимание уделяется вопросам прочности болтовых соединений. Автору не известны работы, в которых рассматривались аналогичные конструкции.



Рис. 1. Погрузка модуля на автомобильный транспорт

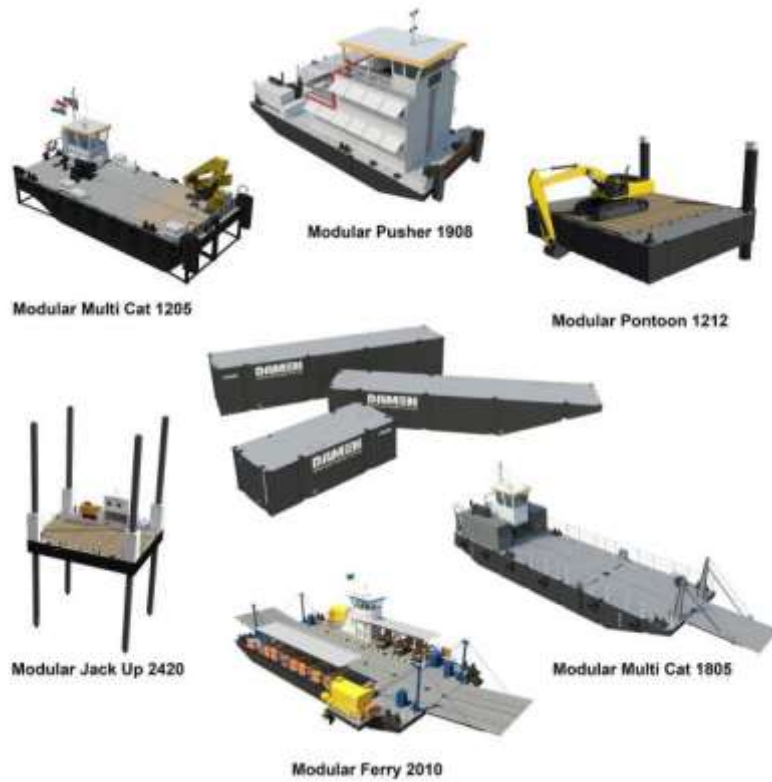


Рис. 2. Примеры реализации модульных конструкций плавучих объектов

		L (m)	B (m)	H (m)	W (m ²)	Deck capacity (m ³ /m ²)
	LD 20 HC	6.06	2.44	2.80	8.00	10
	LD 40 WC	12.19	2.44	2.80	14.40	10
	LD 20 ST	6.06	2.44	2.59	6.00	10
	LD 40 ST	12.19	2.44	2.59	11.40	10
	LD 20 HA	6.06	2.44	1.43	5.30	10
	LD 40 HA	12.19	2.44	1.43	9.70	10
	HD 20 HC	6.06	2.44	2.80	10.30	10
	HD 40 HC	12.19	2.44	2.80	17.00	10
	HD 20 ST	6.06	2.44	2.59	9.60	10
	HD 40 ST	12.19	2.44	2.59	16.80	10

Specify size and deck capacity in request.

Interface between pontoon and truck axle transportation



Modular pontoon connection system

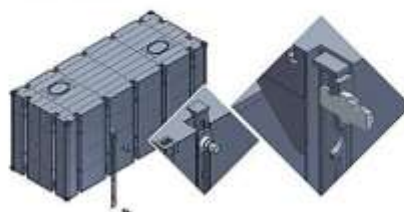


Рис. 3. Размерный ряд модулей фирмы Innofloat



Рис. 4. Компоновка из отдельных модулей платформы для добычи гравия



Рис. 5. Общий вид платформы для разведочного бурения фирмы «Стапель»

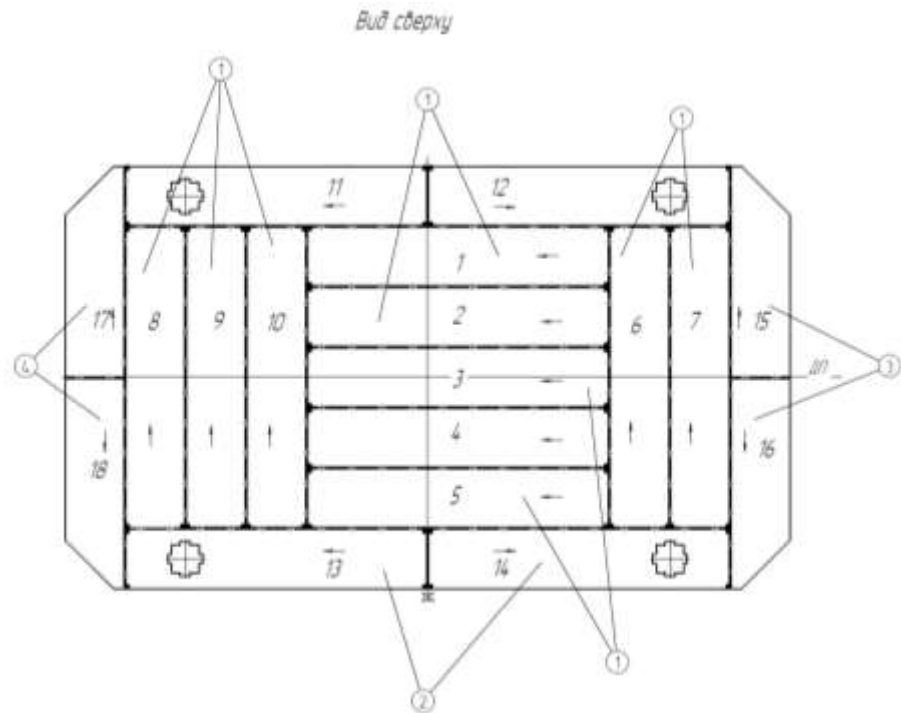


Рис. 6. Схема расположения модулей платформы фирмы «Стапель»

1. Решение задачи

С учетом поставленной задачи было принято решение осуществлять сборку баржи из отдельных плоскостных секций и четырех объемных блоков. Базовым размером плоскостных секций является $12,00 \times 2,40$ м. Используются также секции с дробными размерами. Из таких секций можно собирать, в принципе, баржи с разными размерениями. Ниже показан пример баржи, имеющей следующие размерения:

- длина габаритная – 56,80 м;
- длина расчетная – 55,00 м;
- ширина габаритная – 15,14 м;
- ширина расчетная – 15,10 м;
- высота борта – 3,60 м.

Схема общего расположения баржи показана на рис.7.

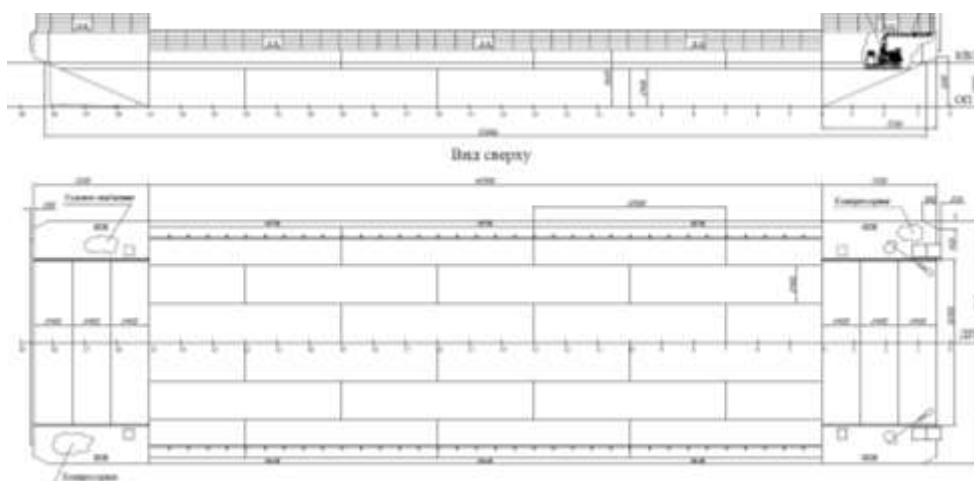


Рис.7. Схема общего расположения баржи

Поскольку в техническом задании была исключена сварка на месте формирования конструкции баржи из отдельных модулей, было принято решение использовать болтовые соединения. Такой вид соединений тонкостенных конструкций широко применяется в строительстве и мостостроении, способы их расчета достаточно подробно описаны в справочнике [7]. Задача обеспечения прочности корпуса судна с использованием болтовых соединений является нетривиальной и ее решение возможно только с использованием программных комплексов, реализующих метод конечных элементов. В настоящей работе использован программный комплекс «ANSYS», в котором имеется возможность расчета болтовых соединений с предварительным натяжением. В этом комплексе применяются также соединения элементов с помощью, так называемых, фиксирующих контактов. Эти контакты могут быть жесткими или подвижными. В данном случае использованы жесткие контакты по заданной площади поверхности конструкции. В результате расчета по каждому контакту выдается информация по 6 векторам сил и моментов, которые возникают в них в результате взаимодействия элементов конструкции; в данном случае – в результате совместной деформации секций в составе конструкции. Располагая этой информацией, можно на следующем этапе расчета определить необходимое количество болтов и их прочностные характеристики, а также отработать конструкцию болтовых соединений.

На рис.8 показана конструктивная схема плоскостной секции основных размеров. Прямоугольниками на равном наборе по границам секции показаны прямоугольные площадки, по которым при сборке секций устанавливаются фиксирующие контакты, имитирующие болтовые соединения.

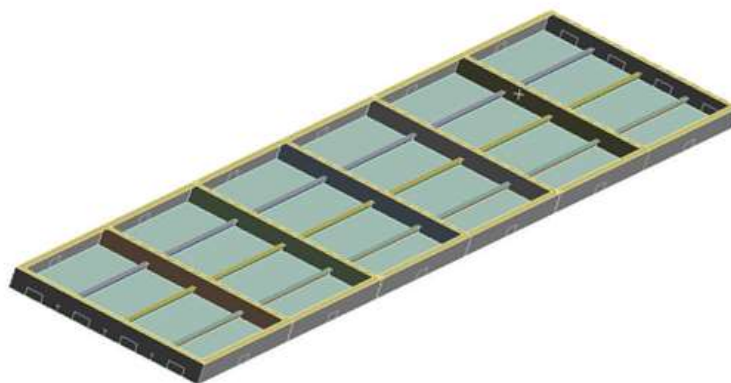


Рис. 8. Конструктивная схема плоскостной секции днища

Для расчета общей прочности корпуса баржи в «ANSYS» рассматривается цилиндрическая часть корпуса длиной 42,00 м. На рис. 9 Показана схема сборки секций палубы и днища, на которой точками условно показаны болтовые соединения.

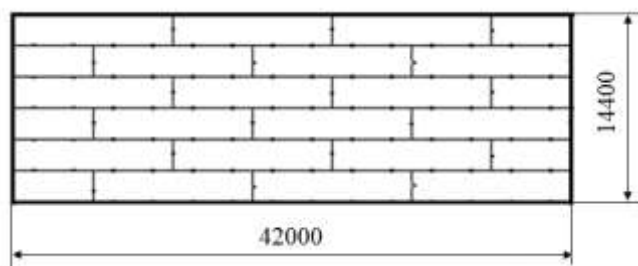


Рис. 9. Схема соединения секций палубы и днища в средней части корпуса

На рис.10 показана схема расположения продольных и поперечных ферм в цилиндрической части корпуса.

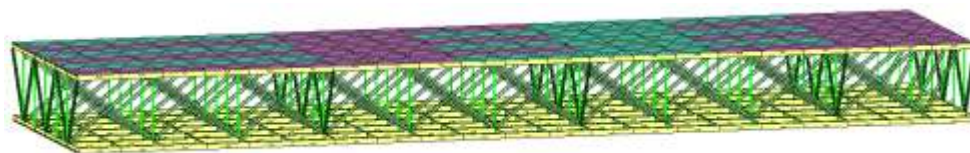


Рис. 10. Схема расположения ферм в цилиндрической части корпуса

При построении конечно-элементной схемы конструкции использовались элементы оболочечного типа при описании секций и элементы стержня при описании ферменных конструкций. Нагружение конструкции поперечной нагрузкой осуществлялось таким образом, чтобы в средней части возник расчетный изгибающий момент, величина которого регламентируется Правилами РКО.

На рис.11 показана деформация модели, а на рис.12 – поля нормальных напряжений в палубе. Как следует из этих рисунков, напряжения не превышают величины 141 МПа, регламентируемой Правилами РКО. Это свидетельствует о достаточной общей прочности корпуса.

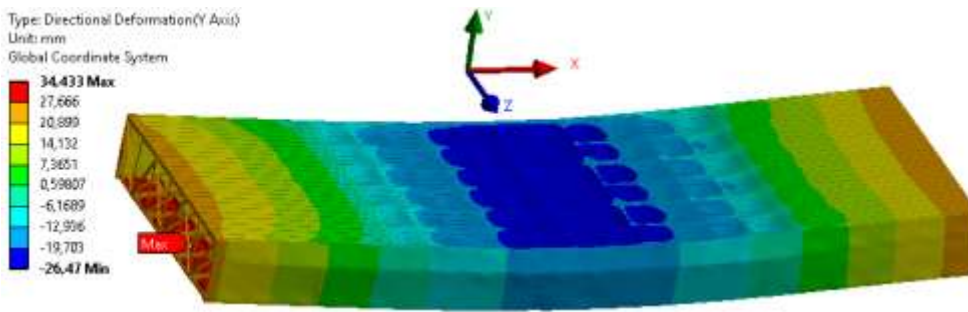


Рис. 11. Общая деформация модели корпуса судна

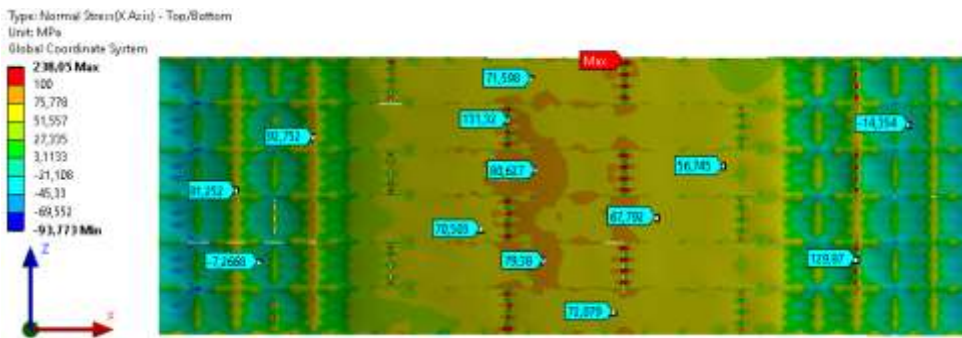


Рис. 12. Поля нормальных напряжений в палубе

Болтовые соединения осуществляются с использованием высокопрочных болтов с предварительным натяжением. На рис.13 показана схема болтового соединения поперечных кромок на участке между продольными ребрами, а на рис.14 – схема соединения продольных кромок секций. Выше было указано, что на первом этапе расчета конструкции вычисляются усилия в контактах, а затем на эти усилия рассчитываются болтовые соединения. На рис.15 показаны напряжения в элементах конструкции корпуса, а на рис.16 – напряжения в болтах при нагружении корпуса.

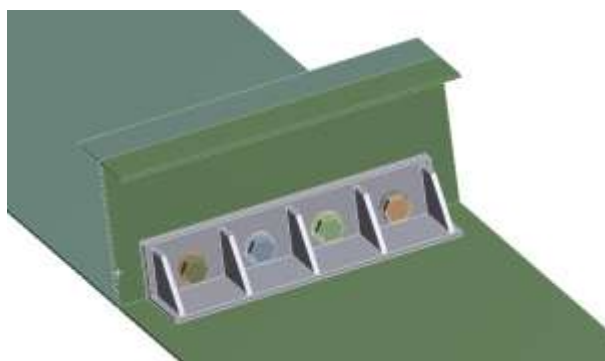


Рис. 13. Болтовое соединение поперечных кромок секций

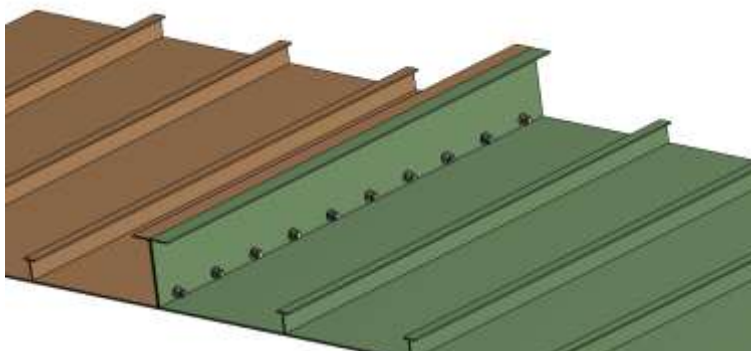


Рис. 14. Схема болтового соединения продольных кромок секций днища (палубы)

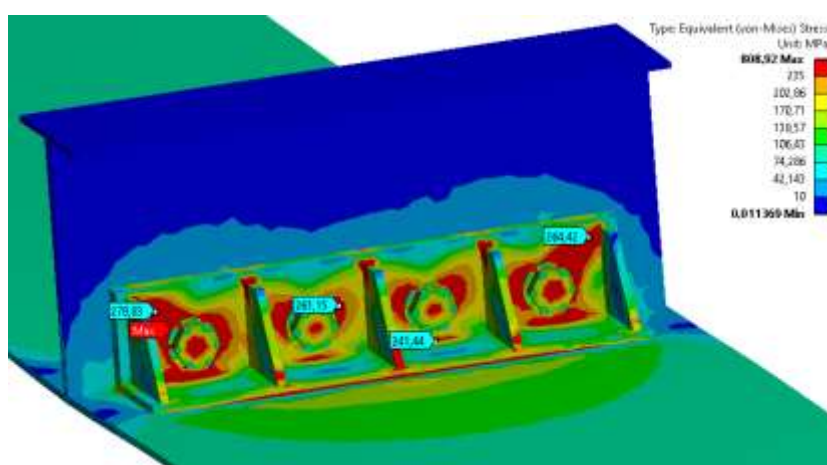


Рис. 15. Поля напряжений в узле соединения от усилий в контакте при деформации корпуса судна, МПа

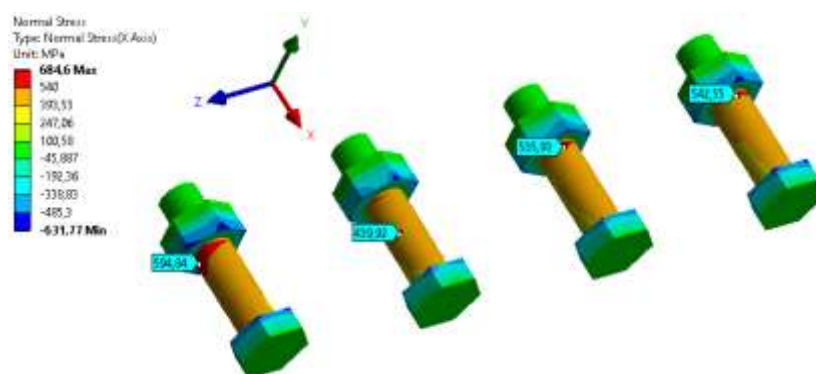


Рис. 16. Поля напряжений σ_x в болтах от усилий в контакте при деформации корпуса судна, МПа

Таким образом, в результате выполненных расчетов показано, что с использованием болтовых соединений можно обеспечить общую прочность корпуса баржи, однако очевидно, что в этом случае весьма проблематично обеспечить водонепроницаемость корпуса и, следовательно, его плавучесть. Эту проблему предлагается решать с использованием вкладных гибких емкостей, которые накачиваются воздухом. Схема размещения емкостей показана на рис.17.

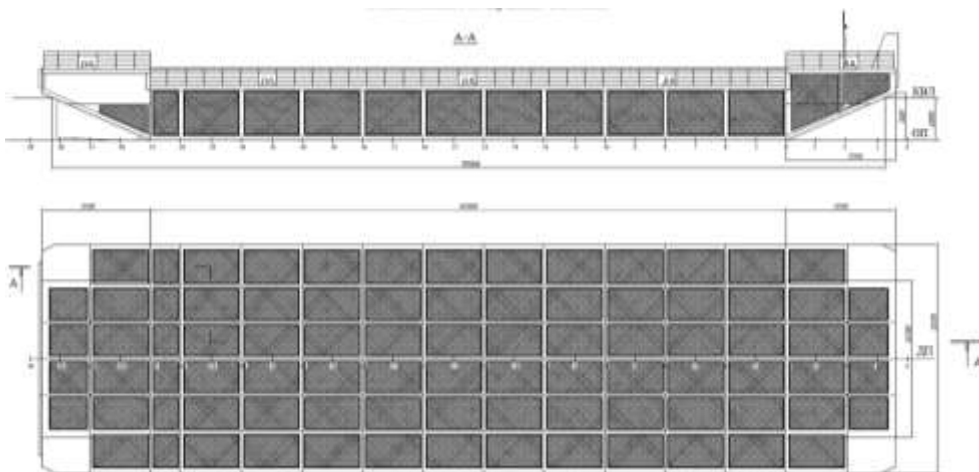


Рис. 17. Схема размещения воздушных емкостей в корпусе судна

В нашей стране имеется ряд фирм, которые изготавливают гибкие емкости, предназначенные для транспортировки и хранения различных жидкостей. Большой опыт в изготовлении и эксплуатации таких емкостей имеет фирма ООО «НПФ «Политехника», которая, как указано выше, является заказчиком рассматриваемого проекта. Изделия фирмы защищены рядом патентов [8]. Имеется положительный более 20 лет опыт эксплуатации продукции фирмы, используемой в качестве хранилищ топлива в условиях Крайнего Севера [9], [10]. На рис. 23 показан производственный участок фирмы, на котором осуществляется контроль непроницаемости емкостей. Фирма способна проектировать и изготавливать емкости произвольной формы и размеров под заданные цели.



Рис.18. Участок контроля непроницаемости емкостей

Заключение

В данной статье приводится решение задачи разработки конструкции сухогрузной баржи – площадки, предназначенной для эксплуатации на реках Сибири, включая устьевые участки, а также прибрежные морские участки, изготовление которой основано на модульном принципе. Предполагается, что элементы корпусной конструкции (модули) могут изготавливаться на судостроительных заводах, после чего транспортироваться железнодорожным и автомобильным транспортом к месту сборки вне судостроительных предприятий. Это позволит в достаточно короткие сроки изготавливать необходимое число барж. По информации Заказчика и соисполнителя настоящего проекта – ООО «НПФ «Политехника» имеется необходимость строительства нескольких десятков таких барж.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом имеется опыт строительства судов, основанных на модульном принципе, однако, по имеющимся у нас сведениям, все они предназначены для эксплуатации в условиях отсутствия волновых нагрузок. Волновые нагрузки могут быть достаточно велики, и замковые соединения отдельных модулей не способны обеспечить общую прочность конструкции судна.

В настоящем проекте отдельные секции (модули), из которых формируется корпус, собираются с использованием высокопрочных болтов, которые широко применяются в строительстве и мостостроении. Однако методика расчета прочности таких соединений в судостроении отсутствует, кроме того, такие соединения не обеспечивают водонепроницаемость конструкции. Решению этих двух проблем уделено особое внимание в настоящем проекте.

Задача обеспечения общей прочности корпуса судна решается методом конечных элементов с использованием программного комплекса «ANSYS». В этой задаче определяется необходимое число болтов в поперечных и продольных сочленениях плоскостных секций, а также их диаметры и усилия предварительной затяжки. Показано, что с использованием болтового соединения можно обеспечить общую прочность корпуса судна.

Задача обеспечения непотопляемости решается установкой внутри корпуса гибких емкостей, наполненных воздухом под необходимым давлением. ООО «НПФ «Политехника» имеет большой опыт изготовления гибких емкостей для перевозки и хранения различных жидких грузов, включая нефтесодержащие грузы. Десятилетия использования таких емкостей для хранения топлива в условиях Крайнего Севера подтверждают надежность конструкций емкостей и материалов для их изготовления. Фирма располагает собственным производством для изготовления таких емкостей и имеет возможность их изготовления для нужд настоящего проекта.

Задача организации технологического процесса сборки корпуса судна из отдельных модулей и его спуска при отсутствии стапеля или дока, в принципе, не является новой. В настоящее время имеется много примеров организации такого производства в нашей стране и за рубежом [11], [12].

По мнению автора, предложенная конструкция обладает не только новизной, но и практической значимостью, поскольку позволяет организовать судостроительное производство на площадках, технически не подготовленных к постройке судов традиционной конструкции.

Благодарности

Автор выражает признательность сотрудникам ФГБОУ ВО «ВГУВТ», принимавшим активное участие в разработке проекта: Бурмистрову Е.Г., Булычевой Г.С., Гордлееву С.Д., Фальмонову Е.В., Шабале А.Г., а также сотруднику ООО НПФ «Политехника» Барышеву И.Г.

Список литературы

1. Российское Классификационное Общество. Правила классификации и постройки судов. Москва 2019.
2. Дурмашкин С.Ш. и др. Постройка судов из частей, раздельно спущенных на воду. Л.: Судостроение, 1974. – 320 с.
3. Гирин С.Н. и др. Модельные испытания морской малогабаритной самоподъемной платформы. // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2010. – Вып. 28. – с.146–159.
4. Гирин С.Н., Пряничников К.Н. Проблемы прочности модульной самоподъемной платформы для разведочного бурения.// Труды 14-го международного научно-промышленного форума «Великие реки» Материалы научно-методической конференции проф.-препод. состава, асп., специалистов и студ. «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек» Том 1. – Н. Новгород: изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012. – с.253–256.
5. Абрамов Д.М., Барышев И.Г., Бушмелев В.В., Катаки Р.Д. Гибридное модульное плавсредство на базе сборно-разборных блок-модулей. Патент на изобретение RU 2746626 С1, 19.04.2021. Заявка №2021101643 от 26.01.2021.
6. Барышев И.Г. и др. Модульное плавсредство на базе блок-модулей плавучести с демпферным механизмом сопряжения отдельных блоков. Патент на изобретение RU 2776803 С1, 26.07.2022. Заявка №2021138548 от 23.12.2021.
7. Металлические конструкции. В 3 т. Т.1. Общая часть. (Справочник проектировщика). / Под общ. ред. В.В. Кузнецова – М.: изд-во АСВ, 1998. –576 с.
8. Рыбаков Д.Н. и др. Мобильный эластичный резервуар для нефтепродуктов. Патент на изобретение RU 2304553 С1, 20.08.2007. Заявка №2006111348/11 от 07.04.2006.
9. Барышев И.Г. Мобильные полевые склады горючего – эластичные резервуары. Высокоэффективные технологии ТЭК. Бурение и нефть 2013 №9 с. 58-60.
10. Барышев И.Г. Арктические парки нефти и горючего на базе эластичных резервуаров ПЭР-Н. Эластичные резервуары – удивительные возможности объемного хранения. Бурение и нефть 2014 №1 с. 48-52.
11. Цветкова Н.М., Бурмистров Е.Г. Основные аспекты совершенствования технологии изготовления крупногабаритных стальных конструкций на АО «Зеленодольский завод им. А.М. Горького» / Н.М. Цветкова, Е.Г. Бурмистров // В сборнике: Труды 19-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2018». Труды международного научно-промышленного форума. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов. 2018.
12. Рыжов Д.В., Бурмистров Е.Г. Разработка метода сращивания корабельных суперблоков на плавучесть / Д.В. Рыжов, Е.Г. Бурмистров // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2018. №54. С. 43-47.

References

1. Rossijskoe Klassifikacionnoe Obshhestvo. Pravila klassifikacii i postrojki sudov. Moskva 2019.
2. Durmashkin S.Sh. i dr. Postrojka sudov iz chastej, razdel'no spushchennyh na vo-du. L.: Sudostroenie, 1974. – 320 s.
3. Girin S.N. i dr. Model'nye ispytaniya morskoy malogabaritnoj samopod"emnoj platformy.// Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. – N. Novgorod: Izd-vo FGOU VPO «VGAVT», 2010. – Vyp. 28. – s.146–159.
4. Girin S.N., Pryanichnikov K.N. Problemy prochnosti modul'noj samopod"emnoj platformy dlya razvedochnogo bureniya.// Trudy 14-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki» Materialy nauchno-metodicheskoy konferencii prof.-prepod. sostava, asp., specialistov i stud. «Problemy ispol'zovaniya i innovaci-onnogo razvitiya vnutrennih vodnyh putej v bassejnah velikih rek» Tom 1. – N. Novgo-rod: izd-vo FBOU VPO «VGAVT», 2012. – s.253–256.
5. Abramov D.M., Baryshev I.G., Bushmelev V.V., Kataki R.D. Gibridnoe modul'noe plavsredstvo na baze sborno-razbornyh blok-modulej. Patent na izobretenie RU 2746626 S1, 19.04.2021. Zayavka №2021101643 ot 26.01.2021.

6. Baryshev I.G. i dr. Modul'noe plavсредство na baze blok-modulej plavuchesti s dempfernym mekhanizmom sopryazheniya otdel'nyh blokov. Patent na izobretenie RU 2776803 S1, 26.07.2022. Zayavka №2021138548 ot 23.12.2021.
7. Metallicheskie konstrukcii. V 3 t. T.1. Obshchaya chast'. (Spravochnik proektirov-shchika). / Pod obshch. red. V.V. Kuznecova – M.: izd-vo ASV, 1998. –576 s.
8. Rybakov D.N. i dr. Mobil'nyj elastichnyj rezervuar dlya nefteproduktov. Pa-tent na izobretenie RU 2304553 S1, 20.08.2007. Zayavka №2006111348/11 ot 07.04.2006.
9. Baryshev I.G. Mobil'nye polevye sklady goryuchego – elastichnye rezervuary. Vysokoeffektivnye tekhnologii TEK. Burenie i nef't' 2013 №9 s. 58-60.
10. Baryshev I.G. Arkticheskie parki nef'ti i goryuchego na baze elastichnyh rezervuarov PER-N. Elastichnye rezervuary – udivitel'nye vozmozhnosti ob"emnogo hrane-niya. Burenie i nef't' 2014 №1 s. 48-52.
11. Cvetkova N.M., Burmistrov E.G. Osnovnye aspekty sovershenstvovaniya tekhnologii izgotovleniya krupnogabaritnyh stal'nyh konstrukcij na AO «Zelenodol'skij zavod im. A.M. Gor'kogo» / N.M. Cvetkova, E.G. Burmistrov // V sbornike: Trudy 19-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki-2018». Trudy mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma. Materialy nauchno-metodicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, specialistov i studentov. 2018.
12. Ryzhov D.V., Burmistrov E.G. Razrabotka metoda srashchivaniya korabel'nyh su-perblokov na plavu / D.V. Ryzhov, E.G. Burmistrov // Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. 2018. №54. S. 43-47.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гирин Станислав Николаевич, к.т.н., профессор, профессор кафедры теории конструирования инженерных сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: girin.sn@vsuwt.ru

Stanislav N. Girin, Ph.D. in Engineering Science, Professor, Professor of the Department of Theory of Engineering Constructions, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: girin.sn@vsuwt.ru

Статья поступила в редакцию 26.09.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.
Received 26.09.2023; published online 20.03.2024.