

**Проектирование и конструкция судов**

Научная статья  
УДК 629.5.081.32  
DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-2/13-25>

С.В. Антоненко, В.Г. Бугаев, Дам Ван Тунг, А.И. Мамонтов, А.А. Муратов,  
В.В. Новиков, Л.И. Чехранова

АНТОНЕНКО СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – д.т.н., профессор, [sergey.antonenko.43@mail.ru](mailto:sergey.antonenko.43@mail.ru),  
<https://orcid.org/0000-0001-8127-4625>

БУГАЕВ ВИКТОР ГРИГОРЬЕВИЧ – д.т.н., профессор, [bugaev.vg@dvfu.ru](mailto:bugaev.vg@dvfu.ru)

МАМОНТОВ АНДРЕЙ ИГОРЕВИЧ – к.т.н., доцент, [mamontov.ai@dvfu.ru](mailto:mamontov.ai@dvfu.ru)

НОВИКОВ ВАЛЕРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ – к.т.н., доцент, [leka230243@gmail.com](mailto:leka230243@gmail.com)

ЧЕХРАНОВА ЛИДИЯ ИГОРЕВНА – к.т.н., доцент, [chekhranova.li@dvfu.ru](mailto:chekhranova.li@dvfu.ru)

Политехнический институт

*Дальневосточный федеральный университет*

Владивосток, Россия

ДАМ ВАН ТУНГ – к.т.н., [damvantung@mail.ru](mailto:damvantung@mail.ru)

Кафедра управления промышленной инженерией, факультет морской инженерии

*Вьетнамский морской университет*

Хайфон, Вьетнам

МУРАТОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ – руководитель группы, [muratovaa@sskzvezda.ru](mailto:muratovaa@sskzvezda.ru)

Производственно-технический отдел

ССК «Звезда»

Большой Камень, Россия

## Исследование прочности батопорта сухого дока ССК «Звезда»

**Аннотация.** В процессе проектирования и строительства сухого дока для судостроительного комплекса в г. Большой Камень у российских специалистов возникли расхождения с проектантами из КНР по вопросам обеспечения прочности батопорта. В результате анализа проектной документации были выявлены конструктивные недостатки, в частности жесткие точки. К решению возникших вопросов были привлечены представители ДВФУ. В работе рассмотрены результаты оценки прочности батопорта. Предложены практические рекомендации.

Ввиду большого объема полученных материалов результаты исследования изложены в двух статьях. В этой статье приведены результаты предварительных расчетов (первого этапа). Расчету конструкции основной (центральной) части батопорта посвящена вторая статья.

*Ключевые слова:* сухой док, батопорт, прочность, устойчивость, вибрация, жесткие точки в конструкции

**Для цитирования:** Антоненко С.В., Бугаев В.Г., Дам Ван Тунг, Мамонтов А.И., Муратов А.А., Новиков В.В., Чехранова Л.И. Исследование прочности батопорта сухого дока ССК «Звезда» // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 2(55). С. 13–25.

### Введение

Судостроительный комплекс (ССК) «Звезда» в г. Большой Камень будет одним из крупнейших в России. Проектирование и строительство комплекса ведется при активном участии специалистов разных стран, которые выполняют проектные и строительные работы, поставляют оборудование, занимаются обучением персонала. В состав комплекса в декабре 2021 г. вошел уникальный для России сухой док (рис. 1 [15]). Вход в док закрывает батопорт длиной 114 м, имеющий в средней части форму перевернутой буквы «Т». В средней части батопорта (на длине 90 м) борта вертикальные, а ширина его «ножки» – 2,2 м; концевые участки длиной по 12 м имеют ширину 12 м, как и нижняя часть, в них размещаются цистерны жидкого балласта и основное оборудование (рис. 2) [14].

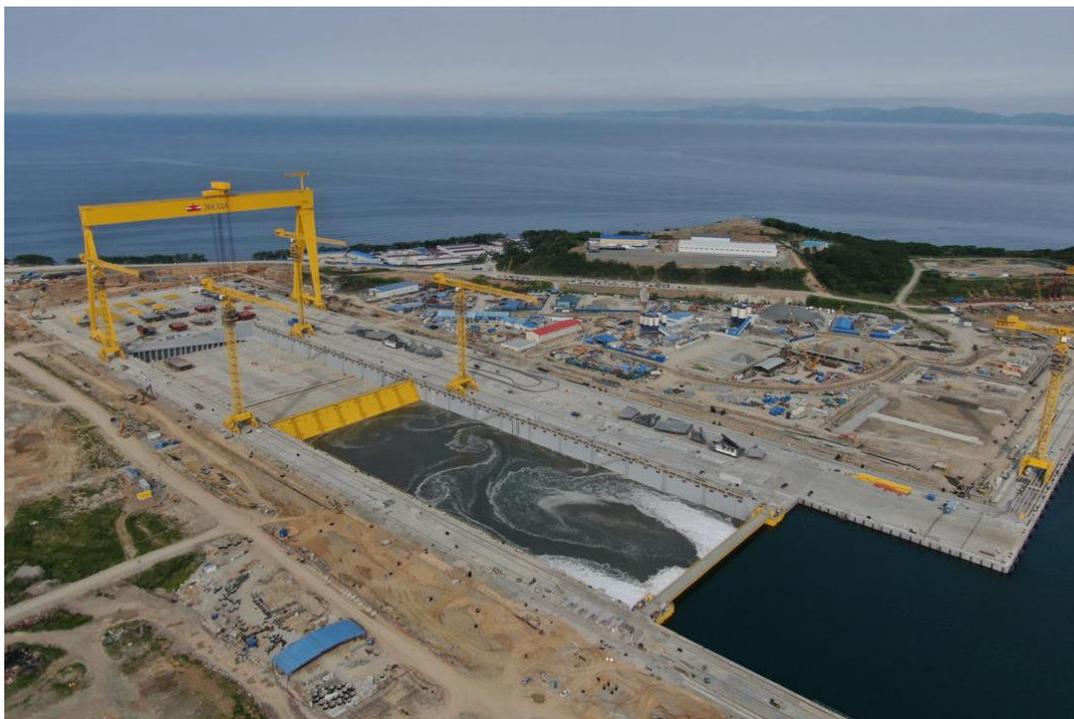


Рис. 1. Сухой док ССК «Звезда»

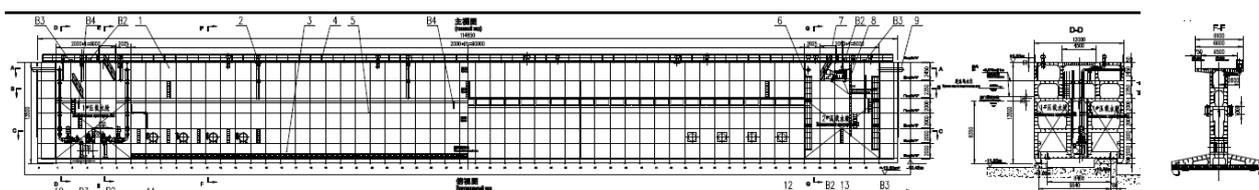


Рис. 2. Продольный разрез и поперечные сечения батопорта

В России до недавнего времени, пожалуй, только один батопорт сухого дока на судостроительном заводе «Залив» в Керчи по размерам (ширина дока 60 м) мог приблизиться к строящемуся батопорту. Однако в последние годы ситуация несколько изменилась. После потери в октябре 2018 г. плавучего дока ПД-50 грузоподъемностью 80 000 т, который обеспечивал ремонт кораблей Северного флота, были проведены работы по созданию в Мурманске большого сухого дока на базе двух имевшихся [2]. В январе 2022 г. на Северном машиностроительном предприятии, имеющем опыт постройки аналогичных изделий, начали изготовление батопорта длиной 77,5 м для этого дока (рис. 2, 3) [16, 19].

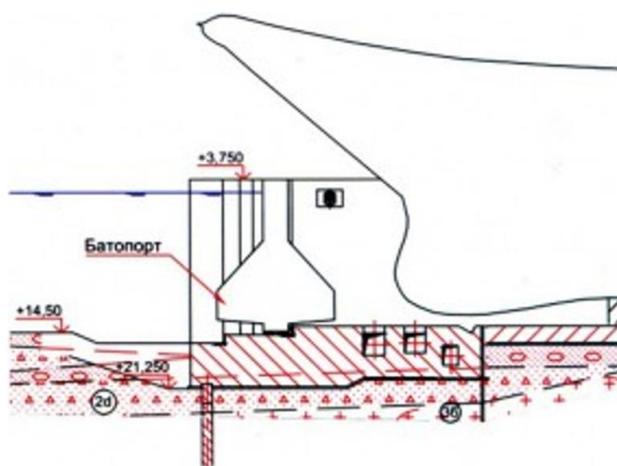


Рис. 3. Постановка корабля с нависанием носовой оконечности над батопортом дока [2]

С 2017 г. в пос. Белокаменка Мурманской области быстрыми темпами создается Центр строительства крупнотоннажных морских сооружений – мощный судостроительный комплекс, включающий два сухих дока длиной 400 м и шириной 175 м [18]. Первоначально доки отделялись от акватории временными грунтовыми перемычками, что не позволяло считать их полноценными доками (такое сооружение называется «судояма»). В результате реконструкции доки оборудуются железобетонными батопортами массой по 50 000 т. В феврале 2023 г. были проведены испытания одного из батопортов (рис. 4, 5).

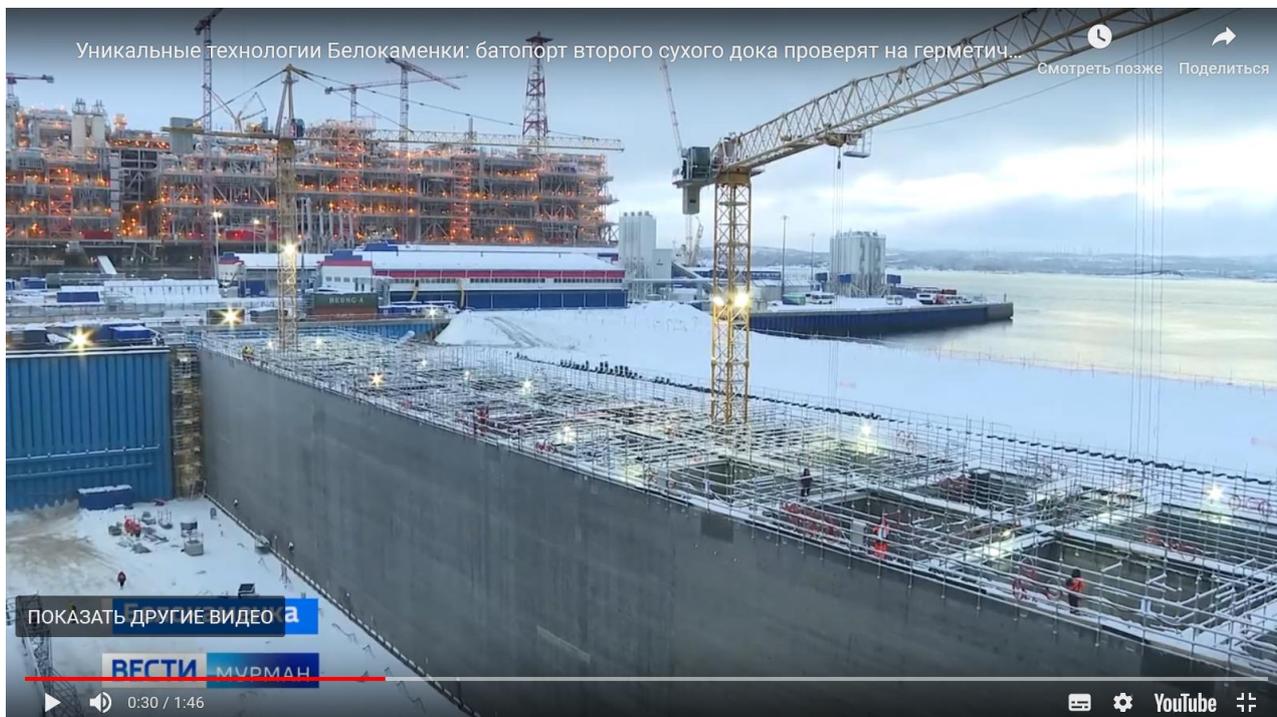


Рис. 4. Батопорт сухого дока в пос. Белокаменка (кадр видеофайла)  
<https://yandex.ru/video/preview/4341177721135369035>

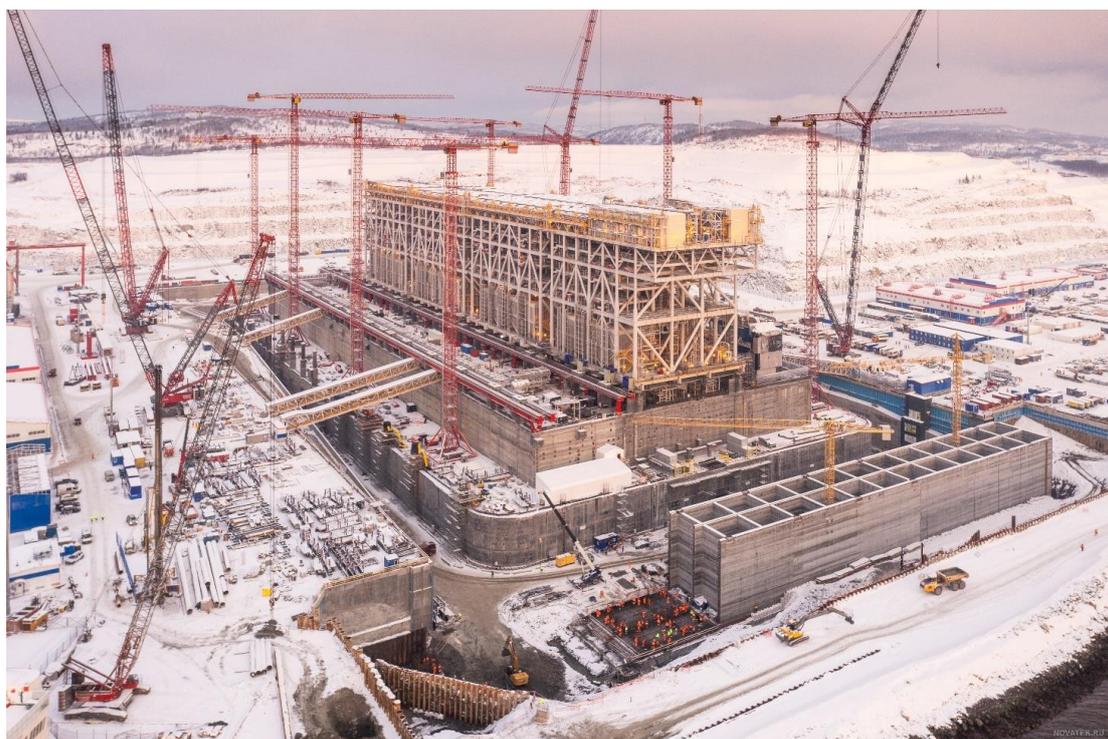


Рис. 5. Вид на строительную площадку в пос. Белокаменка [17]

Батопорт ССК «Звезда» значительно отличается от обоих мурманских батопортов. Проектирование и строительство батопорта осуществлялись китайскими специалистами (China Shipbuilding NDR Engineering Co., Ltd). Материал корпуса – конструкционная сталь EH36 с пределом текучести 355 МПа. Батопорт имеет продольную систему набора, шпация – 500–600 мм, шпация поперечного рамного набора – 2000 мм. Проектирование выполнялось с учетом требований JTS 144-1-2010 «Нормы нагрузок в строительстве портовых сооружений» и СВ/Т 8524-2011 «Нормы проектирования сухого дока». Расчеты прочности трехмерной модели половины батопорта выполнены методом конечных элементов, коэффициент запаса прочности для приведенных напряжений по Мизесу принимался равным 1,5.

Для России батопорт такой конструкции и таких размеров является уникальным. К решению вопроса об обеспечении остойчивости батопорта и его рациональной балластировке привлекались специалисты ДВФУ [1].

Масса конструкции батопорта значительно меньше его водоизмещения порожнем, что проектант счел условным увеличением плотности материала. Было рассмотрено четыре варианта нагрузки, складывающейся из гидростатического напора, собственного веса конструкции, наличия или отсутствия ледовой нагрузки; в одном из вариантов дополнительно был учтен автомобиль массой 18 т, находящийся на верхней палубе. Ввиду симметрии рассчитывалась половина батопорта: масса ее конструкции составляла 1300 т, масса твердого балласта, уложенного на днище на протяжении 45 м – 1200 т. Давление льда учитывалось приложением по горизонтальной линии нагрузки 3,03 т/м на всю длину батопорта.

Анализ проектной документации выявил ряд конструктивных недостатков, в частности наличие «жестких точек», в которых часто возникают трещины. Опасность жестких точек, с которыми связана высокая концентрация напряжений, для прочности судовых конструкций неоднократно отмечалась в специальной литературе [3–9, 13]. В нормативно-технических документах Российского морского регистра судоходства [10, 11] содержится требование: «При проектировании конструкций корпуса необходимо обеспечивать эффективное участие продольных и поперечных связей корпуса в восприятии эксплуатационных нагрузок. Связи должны быть устойчивыми; участки с высокой концентрацией напряжений (жесткие точки, ножевые опоры, разностенность, резкие изменения размеров связей и т.п.), а также места, где возможен слоистый разрыв, следует исключать с помощью конструктивно-технологических мероприятий» Кроме того, было признано целесообразным дополнить расчеты воздействия на батопорт ледовых нагрузок. Исходные данные для расчетов были предоставлены администрацией ССК «Звезда», а также кафедрой гидротехники, теории зданий и сооружений ДВФУ.

С учетом изложенного цель работы заключалась в исследовании надежности конструкции батопорта, в рамках которого решались задачи оценки прочности (в первую очередь – местной; особое внимание было уделено днищевой части в районе выявленных жестких точек), устойчивости флоров как пластин сложной формы, а также проверки возможности возникновения сильной вибрации.

Работа осложнялась тем, что задание на ее выполнение было выдано, когда батопорт уже строился. Поэтому она осуществлялась поэтапно: вначале оперативно выполнялись расчеты, связанные с оценкой опасности жестких точек, затем был проделан более детальный анализ.

### **Общие положения**

Батопорт в рабочем положении опирается на устои нижней и поперечными вертикальными кромками, перекрывая поступление воды в камеру дока. Он удерживается на месте давлением забортной воды. Под действием этого давления батопорт изгибается, испытывая общий продольный изгиб. В грубом приближении оценку напряжений от давления воды можно выполнить, используя схему соответствующим образом закрепленной балки-полоски единичной ширины; в качестве ширины удобно принять размер практической поперечной шпации, равный

2,0 м. Нижний конец балки жестко заделан (поскольку балка статически определимая, нет необходимости рассматривать возможность упругой заделки), верхний – совершенно свободен.

Но для суждения о достаточной прочности батопорта необходимо более детальное исследование, включающее и общую прочность его, и местную прочность характерных узлов с учетом концентрации напряжений в них. В ходе выполнения работ было решено дополнительно оценить опасность потери устойчивости пластин, а также вибрации конструкций. С учетом сложной формы конструкции нижней части батопорта применялись преимущественно численные методы с ограниченным использованием аналитических расчетов.

В предлагаемом исследовании было использовано несколько моделей батопорта: 1) балочная модель, проанализированная по обычной инженерной методике; 2) 3D-модель узла, содержащего наиболее характерные жесткие точки, а именно нижней части батопорта трапециевидной формы (между палубами G – днище и F – платформа, расположенная на 2 м выше днища); 3) 3D-модель половины батопорта, в принципе аналогична той, которую использовал проектант (эта модель рассматривается во второй статье).

Первая, балочная, модель позволяет получить общее представление о нагруженности конструкции; с помощью второй выполнена упрощенная оперативная оценка концентрации напряжений в районе жестких точек и сделаны расчеты устойчивости и колебаний; третья модель использовалась для сопоставления с результатами проектных расчетов [14].

Наибольшие сомнения вызывает конструкция флоров, неподкрепленные окончания книц на которых образуют жесткие точки (рис. 6). В это пространство между палубами F и G на всем протяжении средней части батопорта длиной 90 м укладывается твердый балласт общей массой 2400 т.



**Рис. 6. Формирование нижней части батопорта, май 2019 г.  
(здесь и далее фото А.А. Муратова)**

### **Расчет по упрощенным моделям**

Такие модели позволяют быстро получить результат, оценив влияние каждого из факторов, суммируя их действие, что сложнее сделать конечноэлементным расчетом.

Отношение длины батопорта к его высоте  $\sim 10$ , что позволяет в первом приближении считать его длинной пластиной, жестко заделанной по нижней кромке, свободно опертой по боковым кромкам и имеющей свободную (незакрепленную) верхнюю кромку. Такую пластину можно заменить балкой-полоской [12], жестко заделанной в нижнем сечении и нагруженной гидростатической нагрузкой, распределенной по треугольному закону. Силы собственного веса вызывают сжатие этой балки, напряжения от сжатия незначительны – примерно 5 МПа. При максимальном уровне воды давление на уровне палубы F, выше которой

батопорт в средней части имеет постоянную ширину 2,2 м, а ниже расширяется до 12 м, соответствует 8,15 м водяного столба. Несложный расчет показывает, что напряжения в заделке на палубе F от гидростатической нагрузки составляют 19 МПа. Напряжения от ледовой нагрузки, величина которой взята из проектного расчета, а точка приложения находится на уровне верхней палубы, что идет в запас, еще меньше – 5 МПа. Эти результаты позволяют утверждать, что напряжения, вызванные общим изгибом батопорта, не представляют опасности для его прочности.

Изгиб батопорта как балки сопровождается изгибом его шпангоутов под давлением воды. В первом приближении можно рассматривать шпангоуты как однопролетные балки, жестко заделанные на палубах, так как в каждом пролете они прогибаются в одну и ту же сторону. Наиболее нагруженным является пролет между палубами E и F. Нормальные напряжения в свободном пояске шпангоута составляют 14 МПа, касательные в его стенке – 15 МПа. Эти напряжения имеют тот же порядок, что и напряжения от общего изгиба батопорта, и также не представляют опасности.

Напряжения от изгиба флоров с ошибкой в безопасную сторону можно оценить по схеме свободно опертой по концам балки, загруженной равномерно распределенной нагрузкой от веса балласта, приходящегося на одну шпацию. Приняв в запас прочности, что изгибающий момент от твердого балласта воспринимается только поперечными балками, имеющими тавровый профиль, получаем напряжения в расчетном сечении 193 МПа. Это уже сопоставимо с допускаемой величиной (216,5 МПа). Правда, здесь не учтена нагрузка от веса батопорта, что приводит к ошибке уже в опасную сторону.

Таким образом, предварительная оценка прочности показала, что основную роль играют силы веса батопорта с оборудованием и постоянным балластом. Конструкция батопорта значительно отличается от конструкций корпусов судов, поэтому целесообразно использование более точных моделей.

### Исследование прочности флора

Как было отмечено, наиболее характерные жесткие точки имелись на флорах. Поскольку заключение о необходимости изменения конструкции или допустимости оставления ее в неизменном виде требовалось дать в кратчайший срок, причем простые модели не позволяли дать обоснованное заключение, была создана трехмерная модель узла флора для одного борта (рис. 7, 8). Ее размер в направлении продольной оси батопорта составил одну практическую шпацию (2,0 м). К узлу прикладывалась гидростатическая нагрузка. Для выявления концентрации напряжений кроме нагрузки, симметричной относительно флора, рассматривался вариант с несимметричной нагрузкой (по одну сторону от флора). Дополнительно анализировалась модель, содержащая подкрепления в виде ребер, проходящих по концам книц (рис. 9, 10).

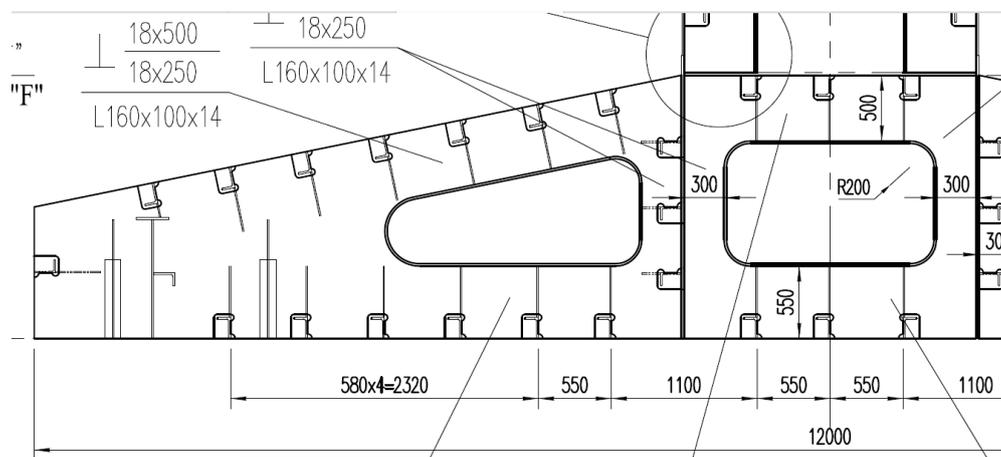


Рис. 7. Конструкция флора с жесткими точками



Рис. 8. Конструкция флора, вид изнутри

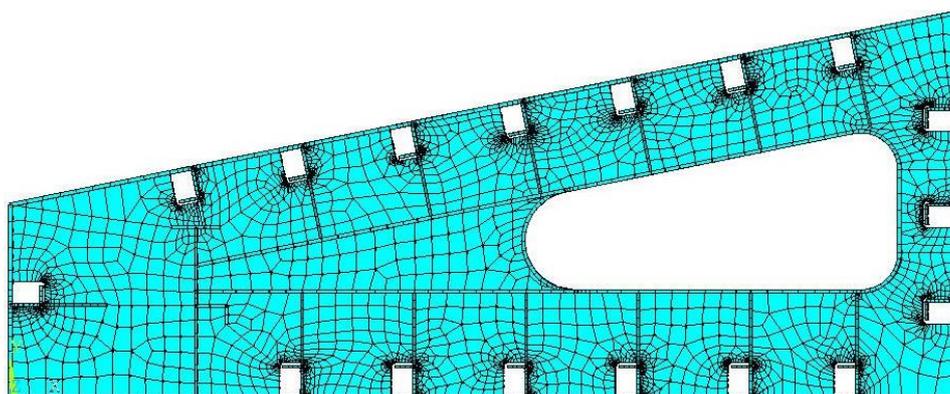


Рис. 9. Конечно-элементная модель флора с расчетной сеткой

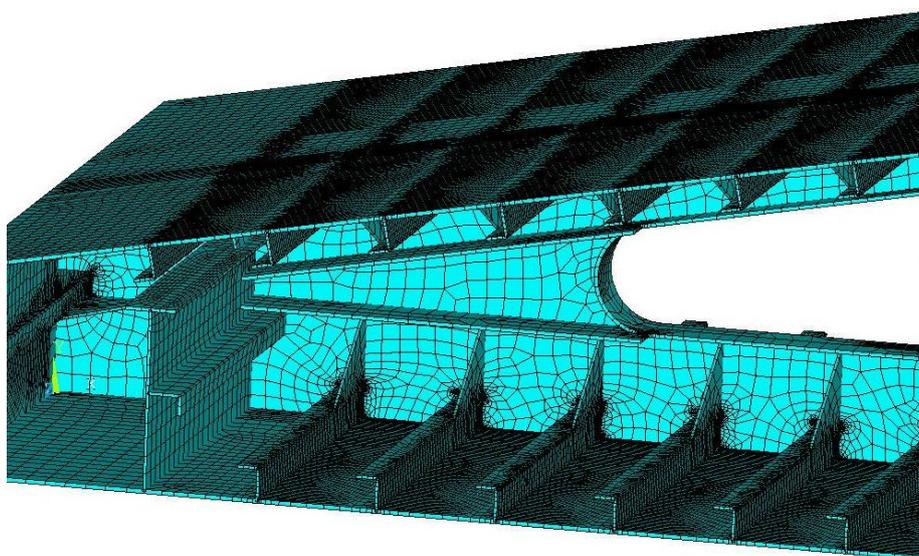


Рис. 10. Конечно-элементная модель флора в аксонометрии

Как и следовало ожидать, при действии симметричной гидростатической нагрузки существенной концентрации напряжений у концов книц не отмечалось (рис. 11). В случае несимметричной нагрузки концентрация напряжений проявляется сильнее (рис. 12).

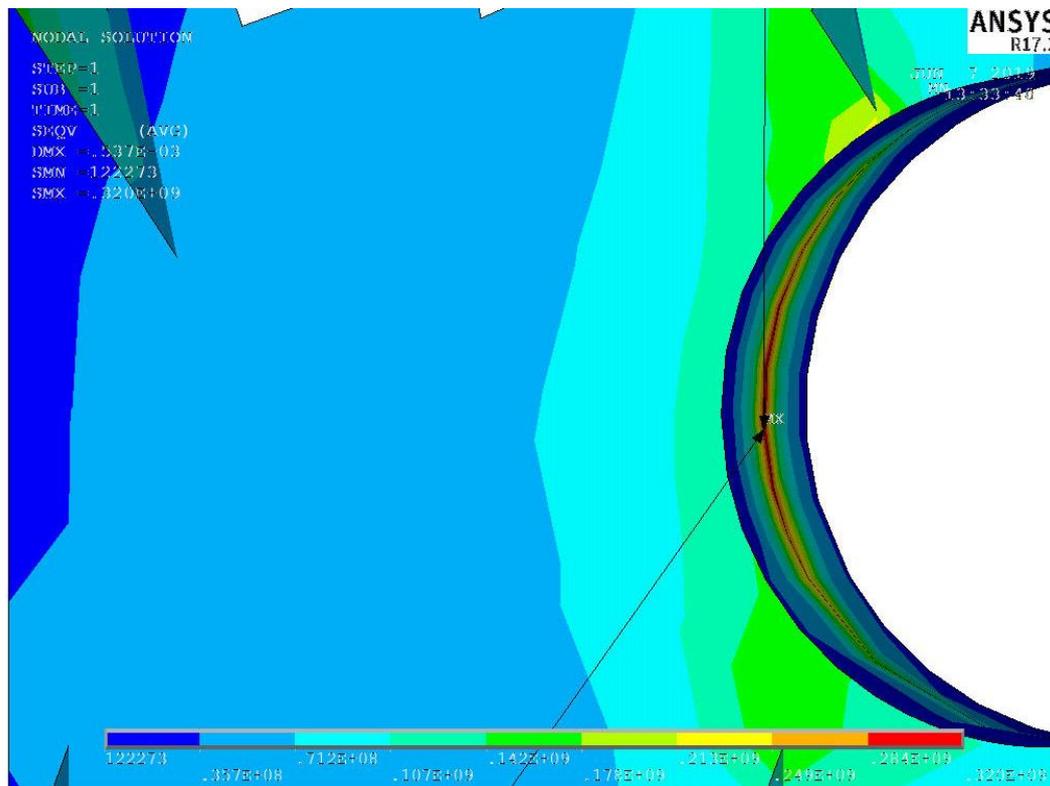


Рис. 11. Поле напряжений в районе выреза и книц при симметричной нагрузке

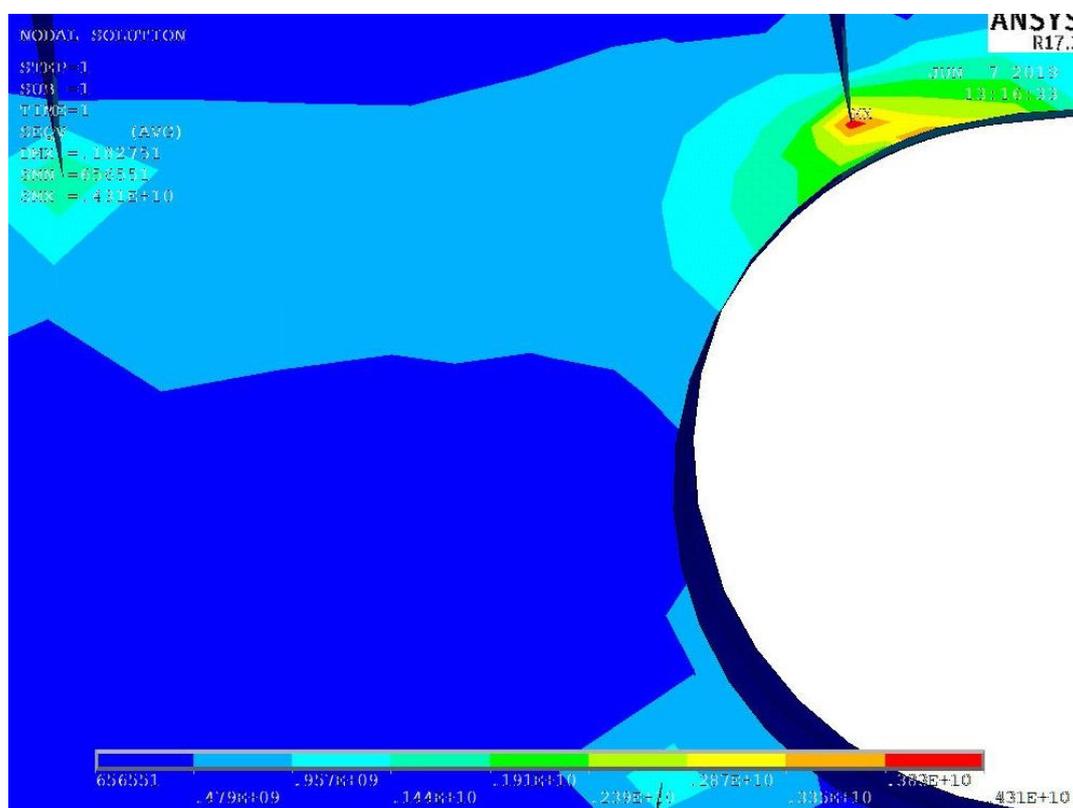


Рис. 12. Концентрация напряжений при несимметричной нагрузке

Принятая проектантом конструкция анализируемого узла, который условно можно считать двойным дном, имеет очевидные конструктивные недостатки. Балки продольного набора палубы F установлены нормально к настилу, в результате кницы палуб F и G лежат в разных плоскостях, а концы их никак не связаны, что и привело к появлению жестких точек. Расчеты показали, что при действии гидростатической нагрузки это не должно привести к опасным последствиям, что возможно при изгибе пластин флоров. Такой изгиб может быть вызван, по крайней мере, двумя причинами: 1) местной вибрацией, способной привести к образованию усталостных трещин; 2) потере устойчивости сжатых пластин.

### Исследование вибрации и устойчивости флора

Вибрационные повреждения пластин могут возникать вследствие совпадения частот возмущающих сил от работающих механизмов и собственных частот колебаний конструкций [10, 11]. Механизмы сосредоточены в оконечностях батопорта. Другой возможный источник вибрации – нестационарные колебания в потоке воды при заполнении камеры дока, оценить которые затруднительно. Характерной частоте вращения 1500 об/мин соответствуют частота 25 Гц и круговая частота 157 с<sup>-1</sup>. Для конечно-элементной модели флора выполнен расчет шести низших собственных частот в программе ANSYS. Исходя из реальных условий опирания батопорта в рабочем состоянии торцевая грань была закреплена от линейных перемещений, также исключались вертикальные перемещения внутренней (ближайшей к ДП) продольной переборки.

Расчет частоты и формы 1-го тона свободных колебаний конструкции показал, что собственные частоты лежат в довольно узком диапазоне – от 32 до 40 Гц (рис. 13). Это нехарактерно для простых элементов в виде балок или пластин, но в данном случае, надо полагать, связано со сложным пространственным видом узла. Учитывая условность принятой расчетной схемы и связанные с этим возможные погрешности, нельзя исключать вероятность возникновения резонансных колебаний конструкции.

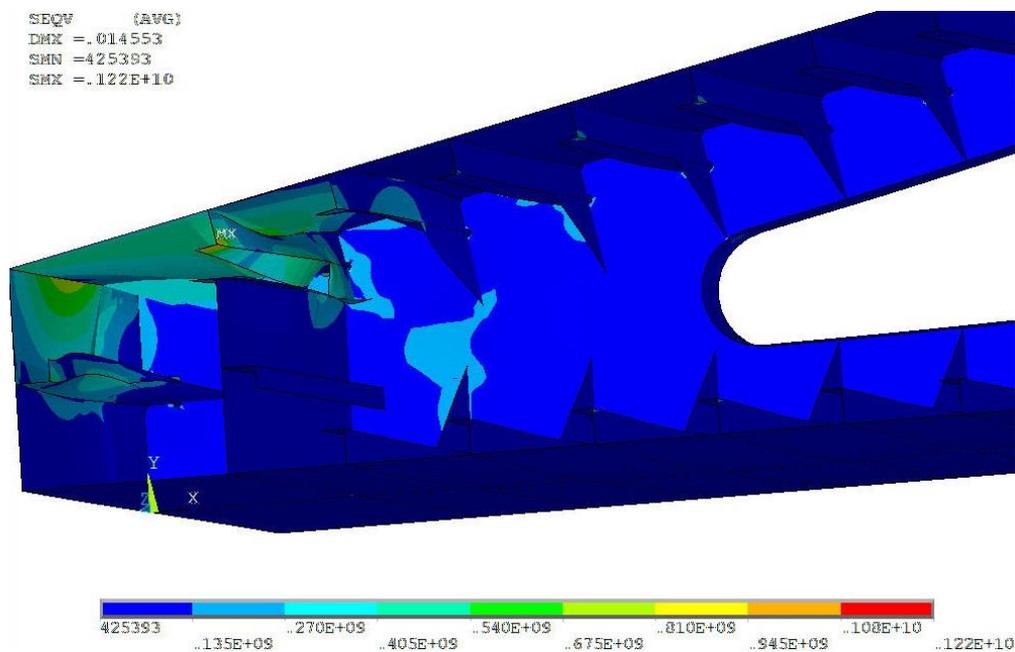
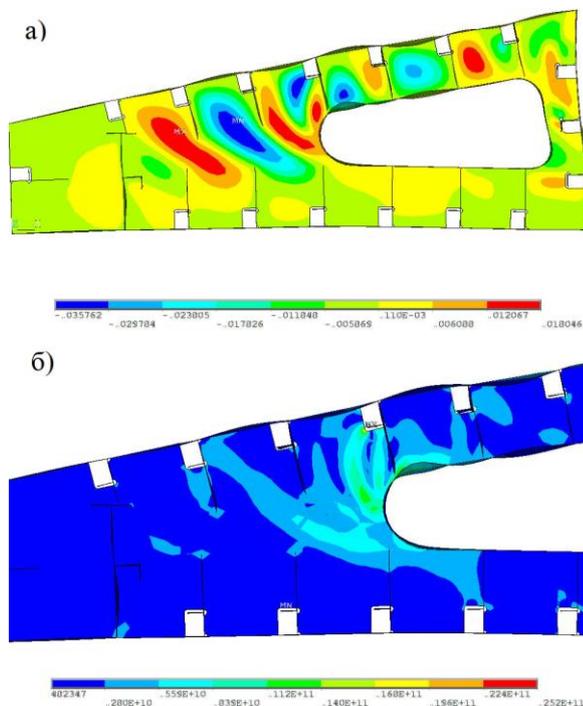


Рис. 13. Результат расчета 1-го тона свободных колебаний

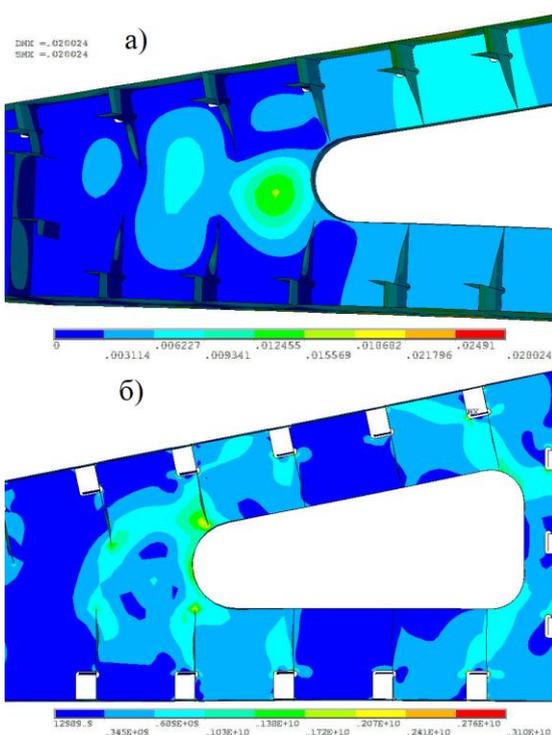
Для этой же модели были выполнены расчеты устойчивости сжатых элементов. Рассматривались левый и правый борта батопорта, один из которых (правый) в рабочем положении обращен в сторону моря и подвергается гидростатическому давлению, а другой свободен от этой нагрузки. Учитывался коррозионный износ, который влияет на устойчивость значительно сильнее, чем на прочность.

Показаны поле перемещений в направлении, нормальном к плоскости флора, в момент потери устойчивости, там же отмечаются деформации поясков (рис.14 а) и поле напряжений по Мизесу (рис. 14 б). Нетрудно заметить, что из-за сложной формы пластин потеря устойчивости также происходит по сложной форме, местами отличающейся от традиционных представлений: перемещения одного знака находятся в поле двух соседних пластин, а не одной.



**Рис. 14. Поля перемещений (а) и напряжений (б) при потере устойчивости левой части флора**

Аналогичным образом представлены результаты расчета для правой части (рис. 15).



**Рис. 15. Поля перемещений (а) и напряжений (б) при потере устойчивости правой части флора**

Расчеты показали, что при нормальных эксплуатационных нагрузках потери устойчивости конструкций двойного дна не происходит.

### Заключение

В статье приведены результаты исследования эксплуатационной надежности уникального для России батопорта сухого судостроительного дока, проведенного российскими специалистами и сотрудниками Дальневосточного федерального университета, привлеченными в качестве независимых экспертов. Выполнена оценка общей и местной прочности конструкции батопорта, характеристик устойчивости и вибрации. Дано предварительное заключение о приемлемости конструктивных решений, принятых проектантом.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Антоненко С.В., Китаев М.В., Муратов А.А., Вигнеш Р., Сузов О.Э. Вопросы обеспечения остойчивости батопорта сухого дока ССК «Звезда» // Морские интеллектуальные технологии. 2020. Т. 1, № 3(49). С. 48–54. DOI 10.37220/МИТ.2020.49.3.006
2. Дунаев А.А., Назаров А.А. Варианты реконструкции сухих доков СРЗ № 35 // Вестник технологии судостроения и судоремонта. 2016. № 24. С. 64–70.
3. Иванов Н.А., Новиков В.В. Некоторые вопросы проектирования судовых конструкций с жесткими точками // Науч.-техн. сб. / Регистр СССР. Ленинград: Транспорт, 1981. Вып. 10. С. 86–94.
4. Казанов Г.Т., Новиков В.В., Турмов Г.П. Концентрация напряжений и другие особенности напряженного состояния судовых корпусных конструкций. Владивосток: ДВФУ, 2014. 178 с.
5. Матохин Г.В., Молоков К.А., Новиков В.В., Герман А.П. Математическая модель определения эксплуатационного ресурса судовых конструкций // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2020. № 1(42). С. 59–67. DOI 10.24866/2227-6858/2020-1-6
6. Молоков К.А., Новиков В.В., Васильченко Н.П. Оценка выносливости элементов конструкций с микротрещинами и остаточными сварочными напряжениями // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2018. № 3(36). С. 22–36. DOI 10.5281/zenodo.1408222
7. Новиков В.В., Турмов Г.П., Сузов О.Э., Герман А.П., Молоков К.А., Китаев М.В. Повреждения и расчетный анализ прочности корабельных конструкций. Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2020. 266 с.
8. Петинов С.В. Основы инженерных расчетов усталости судовых конструкций. Ленинград: Судостроение, 1990. 224 с.
9. Барабанов Н.В., Иванов Н.А., Новиков В.В., Шемендюк Г.П. Повреждения и пути совершенствования судовых конструкций. Ленинград: Судостроение, 1989. 256 с.
10. Приложения к методическим рекомендациям по техническому наблюдению за ремонтом морских судов. НД № 2-039901-005. Санкт-Петербург: РМРС, 2016. 222 с.
11. Приложения к методическим рекомендациям по техническому наблюдению за ремонтом морских судов. НД № 2-039901-005. Санкт-Петербург: РМРС, 2020. 451 с.
12. Бойцов Г.В., Палий О.М., Постнов В.А., Чувиковский В.С. Справочник по строительной механике корабля. В 3 томах. Т. 2. Пластины. Теория упругости, пластичности и ползучести. Численные методы. Ленинград: Судостроение, 1982. 464 с.
13. Турмов Г.П., Казанов Г.Т., Новиков В.В. Концентрация напряжений судовых корпусных конструкций: монография. Саарбрюккен: Lambert Academic Publishing, 2015. 212 с.
14. Конструктивные чертежи батопорта. 01.NDRI-DG-001-Rev.04. China Shipbuilding NDRI Engineering Co., Ltd., 2018. 197 с.
15. ССК «Звезда» получил заключение о соответствии сухого дока техническим требованиям // mediaпалуба. URL: <https://paluba.media/news/16323> (дата обращения: 05.04.2023)
16. Авдеев О. 35-й СРЗ в Мурманске будет модернизирован для ремонта «Адмирала Кузнецова». URL: <https://s30124060231.mirtesen.ru/blog/43414561010/35-y-SRZ-v-Murmanske-budet-modernizirovan-dlya-remonta-%C2%ABAdmirala> (дата обращения: 26.04.2023).
17. В Белокаменке батопорт второго сухого дока ЦСКМС проверят на прочность.

- URL: [https://vk.com/wall-184888396\\_28391](https://vk.com/wall-184888396_28391) (дата обращения: 26.04.2023).
18. Игнатъева А. В Центре строительства крупнотоннажных морских сооружений НОВАТЭКа готовят к испытаниям на герметичность батопорт второго сухого дока. URL: <https://neftegaz.ru/news/Suda-i-sudostroenie/769529-v-tsentre-stroitelstva-krupnotonnazhnykh-morskikh-sooruzheniy-novateka-gotovyat-k-ispytaniyam-na-ger/> (дата обращения: 26.04.2023).
19. «Севмаш» начал изготовление батопорта нового сухого дока для «Адмирала Кузнецова». URL: <https://topwar.ru/191316-sevmash-nachal-izgotovlenie-batoporta-novogo-suhogo-doka-dlja-admirala-kuznecova.html> (дата обращения: 26.04.2023).

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2023. N 2/55

*Ship design and construction*

[www.dvfu.ru/en/vestnikis](http://www.dvfu.ru/en/vestnikis)

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-2/13-25>

Antonenko S., Bugaev V., Dam Van Tung, Mamontov A., Muratov A., Novikov V., Chekhranova L.

SERGEY V. ANTONENKO, Doctor of Engineering Sciences, Professor,

[sergey.antonenko.43@mail.ru](mailto:sergey.antonenko.43@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8127-4625>

VIKTOR V. BUGAEV, Doctor of Engineering Sciences, Professor, [bugaev.vg@dvfu.ru](mailto:bugaev.vg@dvfu.ru)

ANDREY I. MAMONTOV, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, [mamontov.ai@dvfu.ru](mailto:mamontov.ai@dvfu.ru)

VALERII V. NOVIKOV, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, [leka230243@gmail.com](mailto:leka230243@gmail.com)

LIDIA I. CHEKHRANOVA, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, [chekhranova.li@dvfu.ru](mailto:chekhranova.li@dvfu.ru)

*Far Eastern Federal University*

Vladivostok, Russia

DAM VAN TUNG, Candidate of Engineering Sciences, Department Industrial Engineering Management, Faculty of Marine Engineering, [damvantung@mail.ru](mailto:damvantung@mail.ru)

*Vietnam Maritime University*

Haiphong, Vietnam

ALEXANDR A. MURATOV, Team Leader of production and technical department, [muratovaa@sskzvezda.ru](mailto:muratovaa@sskzvezda.ru)

*Shipbuilding complex "Zvezda"*

Bolshoi Kamen, Russia

### **Investigation of the strength of the dry dock gate of the SSK Zvezda**

**Abstract.** During the design and construction of a dry dock for the shipbuilding complex in Bolshoy Kamen, Russian specialists had disagreements with designers from China on the issues of ensuring the strength of the dock gate. As a result of the analysis of the project documentation, design flaws were identified, in particular, hard points. FEFU representatives were involved in solving the issues that arose. The paper considers the results of assessing the strength of the dock gate. Practical recommendations are offered.

Due to the large volume of materials received, the results of the study are presented in two articles. This work is the first of them. The second article is devoted to the calculation of the design of the main (central) part of the dock gate.

*Keywords:* dry dock, dock gate, strength, stability, vibration, rigid points in the structure

**For citation:** Antonenko S., Bugaev V., Dam Van Tung, Mamontov A., Muratov A., Novikov V., Chekhranova L. Investigation of the strength of the dry dock gate of the SSK Zvezda. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2023;(2):13-25. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflict of interests.

## REFERENCES

1. Antonenko S., Kitaev M., Muratov A., Vignesh R., Surov O. Stability assessment of "Zvezda" Shipbuilding Complex dry dock gate. *Marine Intellectual Technologies*. 2020;1(49):48–54. (In Russ.). DOI 10.37220/MIT.2020.49.3.006
2. Dunaev A.A., Nazarov A.A. Variants for the reconstruction of dry docks at ship repair plant. No. 35. *Bulletin of shipbuilding and ship repair technology*. 2016;(24):64-70. (In Russ.).
3. Ivanov N., Novikov V. Some aspects of the design of ship structures with rigid points. *Scientific and technical collection. Register of the USSR*. Leningrad, 1981;(10):86–94. (In Russ.).
4. Kazanov G., Novikov V., Turmov G. Stress concentration and other features of the stress state of ship hull structures. Vladivostok, Far Eastern Federal University, 2014. 178 p. (In Russ.).
5. Matokhin G., Molokov K., Novikov V., German A. Mathematical model for determining the operational life of ship structures. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2020;(1):59-67. (In Russ.). DOI 10.24866/2227-6858/2020-1-6
6. Molokov K., Novikov V., Vasilchenko N. Estimating the endurance of structural elements with microcracks and residual welding stresses. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2018;(3):22-36. (In Russ.). DOI 10.5281/zenodo.1408222
7. Novikov V., Turmov G., Surov O., German A., Molokov K., Kitaev M. Damage and design analysis of the strength of ship structures. Vladivostok, Far Eastern Federal University, 2020. 266 p. (In Russ.).
8. Petinov S. Fundamentals of engineering calculations of fatigue of ship structures. Leningrad, Shipbuilding, 1990. 224 p. (In Russ.).
9. Barabanov N., Ivanov N., Novikov V., Shemendyuk G. Damage, and ways to improve ship structures. Leningrad, Shipbuilding, 1989. 256 p. (In Russ.).
10. Applications to methodological recommendations for technical supervision during the repair of sea-going vessels. ND 2-039901-005. Saint Petersburg, Russian Maritime Register of Shipping, 2016. 222 p. (In Russ.).
11. Applications to methodological recommendations for technical supervision during the repair of sea-going vessels. ND 2-039901-005. Saint Petersburg, Russian Maritime Register of Shipping, 2020. 451 p. (In Russ.).
12. Boytsov G., Pali O., Postnov V., Chuvikovskii V. Handbook of Ship Structural Mechanics. In 3 vol. Vol. 2. Plates. Theory of elasticity, plasticity, and creep. Numerical Methods. Leningrad, Shipbuilding, 1982. 464 p. (In Russ.).
13. Turmov G., Kazanov G., Novikov V. Stress concentration of ship hull structures. Saarbrücken, Lambert Academic Publishing, 2015. 212 p. (In Russ.).
14. Structural drawings of the dry dock gate. 01.NDRI-DG-001-Rev.04. China Shipbuilding NDRI Engineering Co., Ltd. 2018. 197 p.
15. Zvezda shipbuilding complex received a conclusion on the compliance of the dry dock with technical requirements. URL: <https://paluba.media/news/16323> – 05.04.2023. (In Russ.).
16. Avdeev O. The 35th Shipyard in Murmansk will be modernized to repair the "Admiral Kuznetsov". URL: <https://s30124060231.mirtesen.ru/blog/43414561010/35-y-SRZ-v-Murmanske-budet-modernizirovan-dlya-remonta-%C2%ABAdmirala> – 26.04.2023. (In Russ.).
17. In Belokamenka, the dock gate of the second dry dock of the Center for the Construction of Large-tonnage Offshore Structures (TsSKMS) will be tested for strength. URL: [https://vk.com/wall-184888396\\_28391](https://vk.com/wall-184888396_28391) – 26.04.2023. (In Russ.).
18. Ignatieva A. NOVATEK's Center for the Construction of Large-tonnage Offshore Structures is preparing of the second dry dock's batoport for leak testing. URL: <https://neftegaz.ru/news/Suda-i-sudostroenie/769529-v-tsentre-stroitelstva-krupnotonnazhnykh-morskikh-sooruzheniy-novateka-gotovyat-k-ispytaniyam-na-ger/> – 26.04.2023. (In Russ.).
19. "Sevmash" began manufacturing a gate of a new dry dock for the "Admiral Kuznetsov". URL: <https://topwar.ru/191316-sevmash-nachal-izgotovlenie-batoporta-novogo-suhogo-doka-dlja-admirala-kuznecova.html> – 26.04.2023. (In Russ.).