

УДК 629.565.2:539.4

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi66.145>

Расчетные модели прочности плавучих доков на основе метода конечных элементов

А.А. Миронов¹

Д.Ю. Титко¹

¹*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Рассмотрены особенности моделирования общей прочности плавучих доков с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Выполнен сравнительный анализ балочных и трехмерных моделей с учетом взаимодействия дока с судном. Для решения проблемы снижения трудоемкости создания и размера конечно-элементной модели предложено использовать элементы объемного ортотропного тела для моделирования главных поперечных связей понтона. Гидростатическое упругое основание дока моделируется элементами пружин. Модель докового опорного устройства включает элементы пружин и зазора. Судно рассматривается в рамках модели эквивалентного бруса. Получены результаты о таких эффектах, как перераспределение сил поддержания из-за деформации дока, неполное включение башен в общий продольный изгиб дока, влияние жесткости судна не только на продольный, но и на поперечный изгиб дока.

Ключевые слова: общая продольная прочность, общая поперечная прочность, система док - судно, доковое опорное устройство, конечно-элементная модель.

Design models of strength of floating docks based on the finite element method

Anatoliy A. Mironov¹

Dmitriy Y. Titko¹

¹*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The features of modeling the total strength of floating docks using the finite element method (FEM) are considered. Comparative analysis of beam and three-dimensional models has been carried out taking into account the interaction of the dock with the ship. To solve the problem of reducing the complexity and size of the finite element model, it is proposed to use the elements of a three-dimensional orthotropic body to model the main cross-links of the pontoon. The hydrostatic elastic base of the dock is modeled by spring elements. The dock support model includes spring and clearance elements. The vessel is considered within the framework of the equivalent bar model. Results have been obtained on such effects as the redistribution of support forces due to deformation of the dock, incomplete inclusion of towers in the general buckling of the dock, the effect of the rigidity of the vessel not only on the longitudinal, but also on the transverse bending of the dock.

Keywords: total longitudinal strength, total shear strength, dock - ship system, dock support device, finite element model.

Введение

Судоподъем с использованием плавучих доков является сложной технологической операцией, требующей комплексного решения проблем плавучести, устойчивости и прочности. Анализ опыта эксплуатации доков показывает, что аварии, вызванные нарушением, прежде всего, их общей прочности приводят к тяжелым последствиям, связанным с большими экономическими потерями, в связи с чем совершенствование моделей и методов расчета прочности доков остается актуальным [1] - [3].

Наиболее простая расчетная модель общей продольной и поперечной прочности дока положена в основу требований Российских морского и речного регистров судоходства. В рамках данных требований используется модель эквивалентного бруса и эффекты взаимодействия дока с судном не рассматриваются.

Основные положения модели общей продольной прочности дока с учетом его взаимодействия с судном через доковое опорное устройство (ДОУ) разработаны выдающимися советскими учеными-кораблестроителями, среди которых следует отметить Курдюмова А.А., Козлякова В.В., Диковича Л.В., Архангородского А.Г. и др. Обзор работ в данном направлении представлен в монографиях [4], [5]. В рамках предложенного подхода система док – ДОУ – судно приводится к расчетной модели балки на упругом основании и изгибающие моменты для дока и судна в первом приближении пропорциональны их жесткости:

$$M_d = \frac{I_d}{I_d + I_c} M_0 - \Delta M, \quad M_c = \frac{I_c}{I_d + I_c} M_0 + \Delta M, \quad (1)$$

где M_d, M_c - изгибающие моменты в сечении дока и судна;

I_d, I_c - моменты инерции сечений дока и судна;

M_0 - изгибающий момент при рассмотрении судна в качестве нагрузки для дока;

ΔM - дополнительный изгибающий момент, определяющий перераспределение нагрузки, связанное с упругой податливостью системы док – ДОУ - судно.

Эффективным методом решения задачи об упругом взаимодействии дока с судном через ДОУ, как это было показано в [5], является метод конечных элементов (МКЭ). В рамках концепции эквивалентного бруса использовались балочные элементы для дока и судна, стержневые элементы для ДОУ, гидростатическое упругое основание учитывалось в элементах дока.

Естественным развитием расчетной схемы дока является переход к трехмерным моделям. Одним из вариантов такого развития служит использование трехмерных балочных элементов [6]. В рамках таких моделей не учитывается сложное напряженное состояние обшивки, настилов, переборок, что привело в настоящее время к использованию элементов пластин и оболочек.

В целом ряде работ, как правило, зарубежных авторов, трехмерное моделирование конструкции дока сочетается с рассмотрением судна в качестве нагрузки без учета его работы в составе системы док – ДОУ – судно. В этом случае, как правило, решаются специальные вопросы, такие как: действие волновых нагрузок [7], [8], анализ различных вариантов загрузки [9], особенности работы передаточных доков [10]. Альтернативным вариантом является использование трехмерных моделей для судна при заданных опорных реакциях ДОУ [11].

Трехмерное моделирование конструкции дока с учетом его упругого взаимодействия с судном выполнено в работах [2],[12], где для судна в рамках концепции эквивалентного бруса использована модель в виде коробчатой балки.

Особенностью всех вышеперечисленных работ является использование для описания сил поддержания заданной нагрузки в виде гидростатического давления,

что помимо определенных сложностей при задании граничных условий, требует предварительной удифферентовки дока и не позволяет учесть перераспределение сил поддержания, связанное с общей деформацией дока.

Проблемы трехмерного моделирования системы док – ДОУ – судно рассмотрены в работах [13], [14], где указывается на большую трудоемкость создания моделей и необходимость использования процедуры редуцирования для снижения размера разрешающей системы уравнений МКЭ. Снизить размер результирующей системы уравнений равновесия позволяет использование метода суперэлементов, обзор по которому представлен в [15], а также метода модуль-элементов [16]. Ограничение на использование данных методов связано с нелинейностью деформирования отдельных связей корпуса.

Практика судоподъема показывает на необходимость создания компактных расчетных моделей, позволяющих проводить оперативный анализ вариантов докования судов [2], [17], возможность учета эксплуатационных повреждений конструкций дока, прежде всего коррозионного износа и остаточных деформаций связей [6]. Проблема создания расчетных моделей, не требующих больших вычислительных ресурсов, связана и с разработкой автоматизированных систем управления доковыми операциями [14].

Расчетные модели

Одно из направлений решения проблемы создания оперативных расчетных моделей системы док – ДОУ – судно может быть связано с учетом особенностей работы отдельных конструкций в составе корпуса и использования для них различных критериев прочности. Прежде всего, это касается разделения задач общей и местной прочности, последние из которых решаются с использованием простых расчетных схем. Общая прочность дока нормируется по суммарным напряжениям от общего изгиба дока и понтона, определяемым в рамках эквивалентного сечения без учета локальной концентрации напряжений.

Апробированным подходом для построения модели общей продольной прочности является использование элементов оболочки для описания обшивки, настилов, продольных переборок, главных продольных связей понтона, толщины которых определяются с учетом площади поперечных сечений продольного набора. Общее число конечных элементов такой модели оказывается небольшим.

Более сложной задачей является построение компактной модели общей поперечной прочности понтона, для обеспечения которой, как правило, используется поперечная система набора и большое число главных поперечных связей. Учет поперечного набора включением площади сечений балок в толщину настила и обшивки приводит к необходимости использования ортотропных элементов оболочки, используемых одновременно и для моделирования общей продольной прочности понтона. В качестве альтернативного подхода для моделирования большого числа главных поперечных связей предлагается использовать переход от дискретной к континуальной модели объемной ортотропной среды, удовлетворяющей соотношению между модулями продольной упругости и коэффициентами Пуассона в ортогональных направлениях в виде $E_i \nu_{ij} = E_j \nu_{ji}$, ($i, j = 1 \dots 3$). Принимая для

осей x_1 продольное, x_2 поперечное и x_3 вертикальное направления получим $E_1 = 0$, $E_2 = Es/b$, $E_3 = E_2$, $\nu_{12} = \nu_{21} = \nu_{13} = \nu_{31} = 0$, $\nu_{23} = \nu_{32} = \nu$, где E и ν - модуль продольной упругости и коэффициент Пуассона стали корпуса, s и b - толщина и шпация главных поперечных связей понтона. После получения из решения

системы уравнения равновесия перемещений узлов конечно-элементной модели вычисление напряжений выполняется со значением модулей $E_2 = E_3 = E$.

Упругое взаимодействие дока с судном через ДОУ моделируется элементами пружин, которые при необходимости введения начальных зазоров могут быть дополнены элементами зазора (gap).

Граничные условия для дока могут формулироваться в различных вариантах. Наиболее часто используется смешанный вариант, в рамках которого силовая часть задается в виде гидростатического давления. Такой подход не в полной мере отражает физическую сторону задачи, а именно - наличие гидростатического упругого основания, приводящего к перераспределению сил поддержания в процессе деформирования дока. Упругое основание может моделироваться в двух вариантах. В наиболее строгой постановке необходимо использовать в подводной части дока элементы оболочки, матрицы жесткости которых построены с учетом энергии деформации основания, как это было сделано для элементов балочной модели в работе [5]. Во втором варианте упругое основание может моделироваться элементами пружин, что приводит к зависимости решения от степени дискретизации основания. Последнее в свою очередь определяется соотношением жесткостей основания и конструкции, которое в рамках балочной модели характеризуется безразмерным параметром:

$$u = l^4 \sqrt{\frac{k}{4EI}},$$

где k - жесткость упругого основания;
 l, I - длина и момент инерции балки.

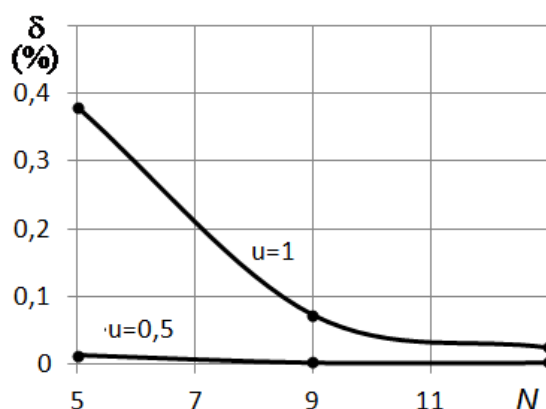


Рис. 1 Зависимость ошибки вычисления максимального изгибающего момента от числа пружин, моделирующих упругое основание балки

На рис. 1 представлена зависимость ошибки δ вычисления максимального изгибающего момента в балке, нагруженной сосредоточенной силой, в зависимости от числа пружин N , моделирующих упругое основание в диапазоне значений параметра u , характерном для главных поперечных связей понтонов металлических доков. Анализ результатов показывает, что главные поперечные связи понтонов являются жесткими по отношению к гидростатическому основанию, которое в этом случае может моделироваться малым числом пружин.

При решении проблемы прочности дока докуемые суда естественно моделировать в рамках концепции эквивалентного бруса балочными элементами. На рис. 2

представлена 3D модель ¼ части системы док-ДОУ-судно, построенная с учетом высказанных предложений. Дискретизация модели соответствует варианту, при котором увеличение числа элементов в 2 раза привело к изменению максимальных напряжений, не превышающем 10%.

В модели приняты следующие основные параметры: для дока $L_{\text{д}} \times B_{\text{д}} \times H_{\text{д}} = 275 \times 63,3 \times 22,65$ м, $I_{\text{д}} = 283$ м⁴;
для судна $L_{\text{с}} = 220$ м, $I_{\text{с}} = 400$ м⁴, $G_{\text{с}} = 40000$ т.

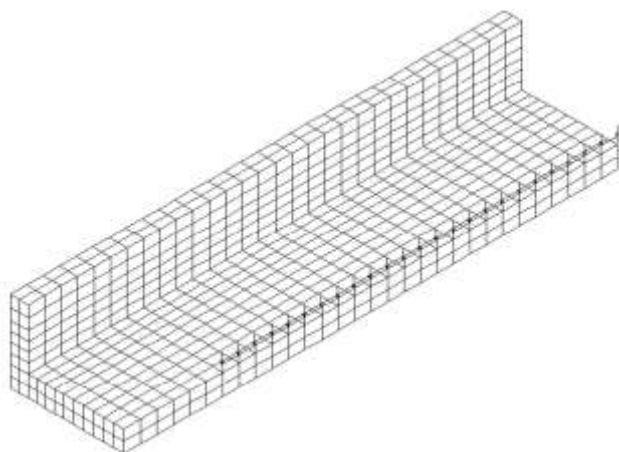


Рис. 2 Конечно-элементная 3D модель ¼ части системы док-ДОУ-судно

Результаты

Использование трехмерной модели дока позволяет выявить ряд особенностей работы его конструкции и выполнить сравнительный анализ различных расчетных схем. В таблице 1 представлены результаты расчетов напряжений от общего продольного изгиба, действующих в миделевом сечении в настиле топ-палубы и обшивке днища понтона, полученные по различным расчетным моделям. Расчетная схема Регистра судоходства не учитывает жесткость судна и изменение сил поддержания, связанное с деформацией дока. В рамках МКЭ использованы предложенная модель (рис. 2) и балочная модель, построенные в вариантах с учетом и без учета жесткости судна и его взаимодействия через ДОУ с доком и включающие гидростатическое упругое основание.

Таблица 1

Напряжения общего продольного изгиба при использовании различных расчетных моделей

Расчетная модель	Без учета жесткости судна		С учетом жесткости судна		Отношение напряжений
	Напряжения в палубе (МПа)	Напряжения в днище (МПа)	Напряжения в палубе (МПа)	Напряжения в днище (МПа)	
Регистр судоходства	149,8	66,4	-	-	-
Балочная	131,3	58,2	58,1	25,8	0,442
Трехмерная	119,7	61,7	54,5	34,2	0,455

Анализ результатов, представленных в табл. 1, позволяет выявить ряд эффектов, связанных с деформированием дока. Проявляются существенное влияние перераспределения сил поддержания из-за деформации дока и неполное вовлечение башен в общий продольный изгиб, приводящий к более низким по сравнению с балочной моделью напряжениям в топ палубе и соответственно к более высоким в обшивке днища понтона. Учет жесткости судна приводит к снижению действующих напряжений, отношение которых к напряжениям, определенным без такого учета приведены в последнем столбце табл. 1. В первом приближении данное отношение, как это следует из зависимостей (1), пропорционально отношению $I_D / (I_D + I_C)$, которое в нашем случае равно значению 0,414. Эффект отклонения распределения суммарного изгибающего момента между доком и судном от прямо пропорционального отношению I_D / I_C связан с дополнительным моментом ΔM , который в свою очередь зависит от погонного значения приведенного коэффициента жесткости ДООУ k , в составе которого может быть учтена и жесткость днищевых перекрытий судна. На рис. 3 представлена зависимость влияния коэффициента k на отношение действительного изгибающего момента на миделе дока M_D , полученного на основе балочной модели, к его значению \tilde{M}_D , вычисленному по зависимости (1) без учета ΔM , из которого следует, что с увеличением значения k распределение суммарного изгибающего момента между доком и судном стремится к отношению I_D / I_C .

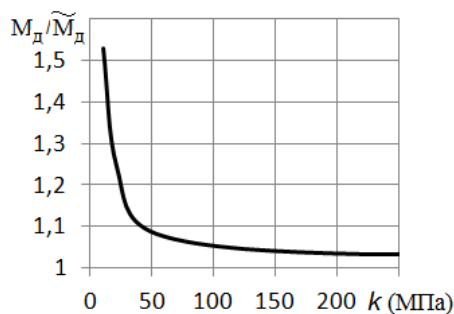


Рис. 3. Отношение изгибающего момента на миделе дока к его значению в первом приближении в зависимости от коэффициента жесткости ДООУ

Неполное вовлечение башен в общий продольный изгиб дока зависит от отношения его размерений L_D / B_D . На рис. 4 в зависимости от L_D / B_D представлены отношения максимальных напряжений в топ палубе и обшивке днища понтона, вычисленных по 3D модели, к значениям, полученным с использованием балочной модели. Представленные результаты характеризуют отклонение расчетной модели дока от модели эквивалентного бруса, которое может зависеть не только от отношения L_D / B_D , но и от отношения L_D / L_C .

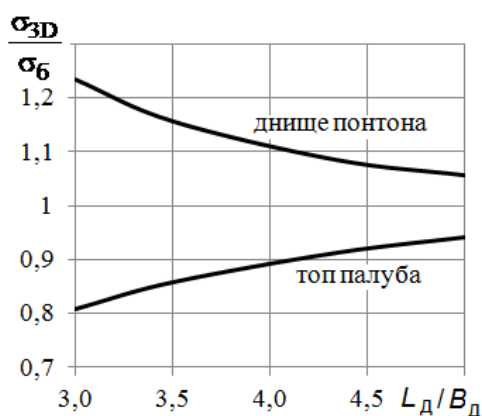


Рис. 4. Отношение напряжений, полученных по 3D модели и модели балки, в зависимости от отношения размеров дока

Влияние на изгибающие моменты эффекта перераспределения сил поддержания из-за деформации дока демонстрирует рис. 5, где представлено отношение максимальных моментов, полученных по модели балки на упругом основании и модели Регистра, в зависимости от отношения варьируемого момента инерции сечения дока к его значению, принятому в базовом примере.

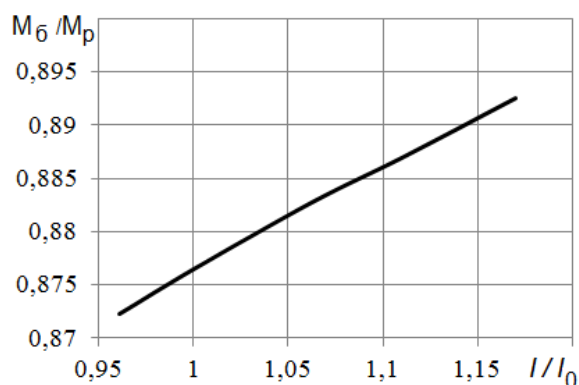


Рис. 5 Отношения значений изгибающего момента, вычисленных с учетом и без учета перераспределения сил поддержания, в зависимости от варьирования момента инерции сечения дока

Выполнение расчетов поперечной прочности понтона с использованием различных моделей позволило выявить влияние на их результаты учета жесткости доуемого судна. На рис. 6 в зависимости от L_6/B_6 приведены значения коэффициента снижения напряжений в главных поперечных связях понтона k_σ , равного отношению максимальных напряжений, вычисленных с учетом и без учета жесткости судна. Полученные результаты показывают, что учет жесткости судна приводит к снижению не только напряжений от общего продольного изгиба дока, но и напряжений общего поперечного изгиба понтона, хотя эффект проявляется в существенно меньшей степени.

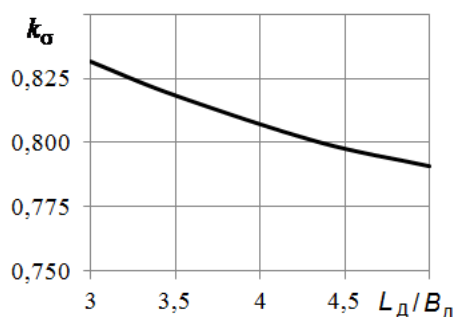


Рис. 6 Коэффициент отношения напряжений в главных поперечных связях понтона, полученных с учетом и без учета жесткости докуемого судна, в зависимости от отношения размерений дока

Заключение

Результаты выполненного исследования показывают возможность построения эффективных компактных расчетных 3D-моделей плавучих доков для оперативного анализа их общей продольной и поперечной прочности. Особенностью таких моделей является использование элементов ортотропных пластин для описания обшивки и настилов, подкрепленных ребрами жесткости, объемных элементов ортотропной среды для моделирования главных поперечных связей понтона, элементов пружин для описания гидроупругого основания, что исключает дополнительную операцию удифферентовки дока, а также введение в расчетную схему моделей докуемого судна и ДОУ.

Анализ полученных результатов показывает, что по сравнению с расчетной схемой Регистра имеются дополнительные запасы как продольной, так и поперечной прочности, связанные с учетом жесткости докуемого судна и перераспределением сил поддержания из-за деформации дока. В тоже время показано, что имеется эффект неполного вовлечения башен в общий продольный изгиб дока, что снижает его прочность.

В рамках рассмотренной модели дока дополнительно может быть выполнен анализ скручивания его корпуса и учет влияния начального зазора в системе ДОУ.

Литература

1. Смирнов А.Г. Анализ причин аварий плавучих доков / А.Г. Смирнов // Судостроение. – 2001. – № 3. – С. 45–47.
2. Антоненко С.В. Обеспечение эксплуатационной надёжности плавучих доков / С.В. Антоненко, Е.В. Линник, Н.Ю. Голобокова, Ю.Г. Рыбалкин // Морские интеллектуальные технологии. – 2013. – Спецвыпуск № 2. – С.4–8.
3. Кулеш В. А. Проблемы и пути решения вопросов оценки технического состояния плавучих доков / В.А. Кулеш, Ю.Ф. Литвинов // Исследования по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта. – Владивосток: ДВГТУ, 1993. – С. 71–79.
4. Металлические плавучие доки / М.А. Ловягин, В.М. Корсаков, Я.Б. Каганер и др. Под общ. ред. М. А. Ловягина. – Л.: Судостроение, 1964. 336 с.
5. Козляков В. В. Проектирование доковых опорных устройств / В.В. Козляков, Г.Н. Финкель, И.Я. Хархурим. – Л.: Судостроение, 1973. 176 с.
6. Кулеш В.А. Разработка норм износа для плавучего дока с учетом эксплуатационных ограничений / В.А. Кулеш, Д.В. Немкин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 3 (37) – С. 128–136.
7. Burlacu E. Strength investigation of a small size floating dock unit by 3D-FEM models in head design waves / E. Burlacu, L. Domnisoru // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 400 (2018). – Article 082006. <https://doi:10.1088/1757-899X/400/8/082006>.

8. Burlacu E. On the global strength analysis of preliminary design for several floating dock types / E. Burlacu, L. Domnisoru // *Mechanical Testing and Diagnosis*. – 2019. – Vol. 1. – Pp. 5–16. <https://doi.org/10.35219/mtd.2019.1.01>.
9. Structural Safety Assessment of a Floating Dock during Docking Operation / M. El-Maadawy, M. M. Moustafa, H. S. El-Kilani and Adel A. Tawfeek // *Port-said engineering research journal*. – 2018. – Vol. 22. – №. 2. – Pp. 32–39.
10. Study on simulation experiment of the force of floating dock during off-loading based on ANSYS / Guan Guan, Xiaole Yang, Qu Yang, Changwei Peng // *Proceedings of the 2018 International Conference on Mathematics, Modelling, Simulation and Algorithms (MMSA 2018)*. – 2018. – Vol. 159. – Pp. 69–73. <https://doi.org/10.2991/mmsa-18.2018.16>.
11. Cheol-Ho Ryu Parametric study for assessment of reaction forces on ship docking supports / Cheol-Ho Ryu, Sung-Chan Kim, Jang-Hyun Lee // *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*. – 2013. – Vol. 19. – №. 3. – Pp. 290-301. <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2013.19.3.290>
12. Линник Е. В. Расчет трехсекционного плавучего дока как пространственной пластинчатой конструкции / Е.В. Линник, С.В. Антоненко // *Судостроение*. – 2011. - № 1. – С. 52 – 56.
13. Сутырин В.И. Проектирование доковых опорных устройств с применением методов конденсации / В.И. Сутырин // *Судостроение*. – 1989. – № 10. – С. 40–44.
14. Сутырин В.И. Концепция подсистемы инженерного анализа для информационной системы управления доковыми операциями / В.И. Сутырин // *Известия КГТУ*. – 2019. – № 52. – С. 169–176.
15. Метод суперэлементов в расчетах инженерных сооружений / В.А. Постнов, С.А. Дмитриев, Б.К. Елтышев, А.А. Родионов. – Л.: Судостроение, 1979. 287 с.
16. Постнов В.А. Метод модуль-элементов в расчетах судовых конструкций / В.А. Постнов, Н.А. Тарануха. – Л.: Судостроение, 1990. 320 с.
17. Антоненко С.В. Некоторые проблемы докования крупных кораблей в плавучих доках и опыт их решения / С.В. Антоненко // *Вестник инженерной школы ДВФУ*. – 2015. - № 4 (25). – С. 148 – 160.

References

1. Smirnov A.G. “Analiz prichin avarij plavuchih dokov” *Sudostroenie* 3 (2001): 45–47.
2. Antonenko S.V., Linnik E.V., Golobokova N.Ju., Rybalkin Ju.G. “Obespechenie jekspluatacionnoj nadjozhnosti plavuchih dokov” *Morskie intellektual'nye tehnologii* 2 *Specvypusk* (2013): 4–8.
3. Kulesh V.A., Litvinov Ju.F. “Problemy i puti reshenija voprosov ocenki tehničeskogo sostojanija plavuchih dokov” *Issledovanija po voprosam povyshenija jeffektivnosti sudostroenija i sudoremonta. Vladivostok: DVGTU*, 1993: 71–79.
4. Lovjagin M.A., Korsakov V.M., Kaganer Ja.B. i dr. *Pod obshh. red. Lovjagina M. A. Metallicheskie plavuchie doki*. L.: Sudostroenie, 1964.
5. Kozljakov V.V., Finkel' G.N., Harhurim I.Ja. *Proektirovanie dokovyh opornyh ustrojstv*. L.: Sudostroenie, 1973.
6. Kulesh V.A., Nemkin D.V., “Razrabotka norm iznosa dlja plavuchego doka s uchetom jekspluatacionnyh ogranichenij” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova* 3 (2016): 128–136.
7. Burlacu E., Domnisoru L. “Strength investigation of a small size floating dock unit by 3D-FEM models in head design waves” *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 400 (2018), Article 082006. <https://doi:10.1088/1757-899X/400/8/082006>.
8. Burlacu E., Domnisoru L. “On the global strength analysis of preliminary design for several floating dock types” *Mechanical Testing and Diagnosis* 1 (2019): 5–16. <https://doi.org/10.35219/mtd.2019.1.01>.
9. El-Maadawy M., Moustafa M. M., El-Kilani H. S., Adel A. “Tawfeek Structural Safety Assessment of a Floating Dock during Docking Operation” *Port-said engineering research journal* 22.2 (2018): 32–39.
10. Guan Guan, Xiaole Yang, Qu Yang, Changwei Peng “Study on simulation experiment of the force of floating dock during off-loading based on ANSYS” *Proceedings of the 2018*

- International Conference on Mathematics, Modelling, Simulation and Algorithms (MMSA 2018) 159 (2018): 69–73. <https://doi.org/10.2991/mmsa-18.2018.16>.
11. Cheol-Ho Ryu, Sung-Chan Kim, Jang-Hyun Lee “Parametric study for assessment of reaction forces on ship docking supports” *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety* 19.3 (2013): 290-301. <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2013.19.3.290>
 12. Linnik E. V., Antonenko S.V. “Raschet trehsekcionnogo plavuchego doka kak prostranstvennoj plastinchatoj konstrukcii” *Sudostroenie* 1 (2011): 52 – 56.
 13. Sutyurin V.I. “Proektirovanie dokovyh opornyh ustrojstv s primeneniem metodov kondensacii” *Sudostroenie* 10 (1989): 40–44.
 14. Sutyurin V.I. “Konceptija podsistemy inzhenerenogo analiza dlja informacionnoj sistemy upravlenija dokovymi operacijami” *Izvestija KGTU* 52 (2019): 169–176.
 15. Postnov V.A., Dmitriev S.A., Eltyshev B.K., Rodionov A.A. *Metod superjelementov v raschetah inzhenernyhsooruzhenij*. L.: Sudostroenie, 1979.
 16. Postnov V.A., Taranuha N.A. *Metod modul'-jelementov v raschetah sudovyh konstrukcij*. L.: Sudostroenie, 1990.
 17. Antonenko S.V. “Nekotorye problemy dokovanija krupnyh korablej v plavuchih dokah i opyt ih reshenija” *Vestnik inzhenernoj shkoly DVFU* 4 (2015): 148 – 160.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Миронов Анатолий Алексеевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры аэро-гидродинамики, прочности машин и сопротивления материалов, Нижегородский технический университет им. Р.Е. Алексеева» (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева») 603950, г. Н. Новгород, ул. Минина, д. 24, e-mail: miran56@mail.ru

Anatoliy A. Mironov Dr. Sc., Associate Professor, Professor at the Department of Aero hydrodynamics machine strength and strength of materials, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, 24 Minina st, Nizhny Novgorod, 603950

Титко Дмитрий Юрьевич, магистр, инженер кафедры аэро-гидродинамики, прочности машин и сопротивления материалов, Нижегородский технический университет им. Р.Е. Алексеева» (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева») 603950, г. Н. Новгород, ул. Минина, д. 24, e-mail: dima-tiko@yandex.ru

Dmitriy Y. Titko, Master, Engineer at the Department of Aero hydrodynamics machine strength and strength of materials, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, 24 Minina st, Nizhny Novgorod, 603950

Статья поступила в редакцию 27.12.2020; опубликована онлайн 23.03.2021.
Received 27.12.2020; published online 23.03.2021.