Проектирование и конструкции судов

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-2-3>
УДК 623.812:629.5.017.1

С.В. Антоненко, А.В. Маслова, В.В. Савченко, И.В. Сапега

АНТОНЕНКО СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – д.т.н., профессор, SPIN: 5426-7248,
ORCID: orcid.org/0000-0001-8127-4625, ResearcherID: V-2382-2017, ScopusID: 16023982100,
e-mail: sergey.antonenko.43@mail.ru

МАСЛОВА АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА – студентка, e-mail: nastenka.maslova@mail.ru

САВЧЕНКО ВЛАДЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА – студентка, e-mail: dusya-10@mail.ru

САПЕГА ИРИНА ВАСИЛЬЕВНА – студентка, e-mail: irina-s-75@mail.ru

Дальневосточный федеральный университет
Владивосток, Россия

Особенности поведения передаточного плавучего дока

Аннотация: В составе судостроительного комплекса «Звезда» в г. Большой Камень имеется транспортно-передаточный док «Вымпел» грузоподъемностью 40000 т, предназначенный для спуска на воду с горизонтального стапеля крупнотоннажных судов и элементов морских платформ. Он построен в КНР и является крупнейшим в России доком такого типа, опыта эксплуатации таких сооружений в стране практически нет. Ввиду больших размеров, отсутствия непрерывных по всей длине башен док обладает значительной гибкостью, которая может оказывать существенное влияние на напряженно-деформированное состояние системы док–судно при проведении доковой операции. Док является безопорным, что приводит к дополнительным сложностям. В работе рассматриваются некоторые вопросы статики, динамики и прочности дока при спуске на воду крупнотоннажного танкера. Использовались традиционные методы теории и строительной механики корабля, а также трехмерное моделирование конструкции дока. Показано, что вследствие большой гибкости применение этих методов при оценке поведения дока может привести к неточным результатам. Рассмотрены также некоторые вопросы, связанные с технологией проведения доковой операции. Для повышения безопасности выполнения доковых операций в дальнейшем желательно проведение экспериментальных (натурных) исследований.

Ключевые слова: передаточный плавучий док, судостроительный комплекс «Звезда», напряженно-деформированное состояние, статика дока.

Введение

В г. Большой Камень строится один из наиболее крупных в России судостроительных комплексов (ССК) «Звезда». В его составе уже функционируют блок корпусных производств, открытый тяжелый достроечный стапель с транспортно-передаточным доком (рис. 1), строится огромный сухой док.

Транспортно-передаточный док (ТПД) грузоподъемностью 40000 т – крупнейший подобный док в России – предназначен для спуска на воду с горизонтального стапеля крупнотоннажных судов и элементов морских платформ. Первоначальный проект дока был разработан ЦКБ «Монолит» в композитном варианте (железобетонный понтон и стальные башни). На его основе китайская компания Shanghai Merchant Ship Design & Research Institute спроек-

тировала стальной док. Строительством занималась китайская фирма Qingdao Beihai Shipbuilding Heavy Industry Co., Ltd. (BSIC).

Рис. 1. Открытый достроечный тяжелый стапель с транспортно-передаточным доком [11].

Передаточные доки традиционной конструкции, предназначенные для продольной накатки судов, имеют две непрерывные по всей длине башни и проницаемую эстакаду с рельсовыми путями [6]. Примером такого дока может служить док «Сакура» (рис. 2), работающий в составе комплекса для длительного хранения реакторных отсеков атомных подводных лодок и других радиационно опасных объектов [1]. У рассматриваемого же дока отсутствует эстакада, а вместо двух непрерывных башен он имеет четыре башни, расположенные по углам стапель-палубы, чтобы обеспечить возможность поперечной накатки платформ, ширина которых значительно больше ширины спускаемых судов.

Рис. 2. Транспортно-передаточный док «Сакура» (фото С.В. Антоненко)

Ранее на Выборгском судостроительном заводе был построен транспортный понтон-плавдок (полупогружная баржа) «Атлант» [2, 4, 5] с четырьмя короткими башнями по углам. Баржа, спроектированная ООО «Дизайн Группа РИКОШЕТ», может использоваться в качестве транспортного понтона и спускового плавдока [10]. Главные размерения «Атланта»: длина наибольшая – 130 м, ширина по стапель-палубе – 35 м, высота борта – 7,3 м. «Атлант» способен доковать суда массой до 8600 т и перевозить грузы до 10000 т. Прежняя наливная док-камера позволяла спускать на воду суда шириной до 18 м. Новое сооружение используется для накатки корпусных конструкций массой до 5000 т и спуска судов на воду. Теперь в Выборге будут строиться суда длиной до 150 м и шириной до 32 м. В 2014 г. с помощью «Атланта» был спущен на воду головной ледокол «Владивосток» пр. 21900М (рис. 3).

Рис. 3. «Атлант» с ледоколом [5].

С увеличением размеров морских сооружений растет их гибкость. Например, допускаемая стрелка прогиба плавучего ремонтного дока ПД-41 грузоподъемностью 80000 т составляет 400 мм, при этом он имеет высокие башни. У рассматриваемого передаточного дока башен нет, и он может получить прогиб до 1 м.

Передаточные доки при проведении доковых операций часто опираются на жесткие опоры, расположенные как на передаточном причале, так и в море. Это избавляет от необходимости точно выдерживать балластировку в процессе накатки судопоезда на док. Док «Вымпел» не имеет опор, поскольку может швартоваться к передаточному причалу как носом, так и бортом. Следовательно, дифференцирующий момент при продольной накатке, как и кренящий момент при поперечной накатке, должны оперативно компенсироваться перебалластировкой дока. Чтобы нагрузка от тележек судопоезда прикладывалась к доку постепенно, рельсовые пути передаточного причала не переходят непосредственно в рельсовые пути на стапель-палубе дока, а соединение производится с помощью промежуточных звеньев – переходных мостиков (балок) длиной по 5 м. За время перемещения судопоезда по мостикам из балластных отсеков дока должно быть удалено количество балласта, соответствующее изменению нагрузки на док от судопоезда, и, при необходимости, принят балласт, обеспечивающий точную удифферентовку. За посадкой дока в ходе доковой операции следит автоматика, но тем не менее скорость движения судопоезда должна быть согласована с производительностью балластных насосов. При появлении дифферента судопоезд может начать неконтролируемое движение, способное перерасти в серьезную аварию.

В судостроении при изучении мореходных, прочностных и ряда других качеств традиционно используются определенные подходы. Так, в теории корабля судно считается абсолютно жестким, его форма однозначно задана теоретическим чертежом. В строительной механике корабля при определении действующих нагрузок морское судно также обычно считается абсолютно жестким. Но, например, для судов с отношением длины к высоте борта, большим 25, изгибающие моменты следует определять с учетом гибкости корпуса [7, с. 470]. Заметное уменьшение расчетного момента вследствие перераспределения сил поддержания, вызванного изгибом корпуса подобных судов, отмечается в [3, с. 302].

Для углубленного понимания особенностей работы ТПД «Вымпел», длина которого в 23 раза больше высоты понтона, нам было необходимо проанализировать его поведение в ходе доковой операции, что и составило цель данной статьи. В данной работе рассматривается только продольная накатка судна, по своим характеристикам соответствующего строящейся серии танкеров типа «Афрамакс».

Основные характеристики ТПД «Вымпел» и судна

Длина дока по стапель-палубе – 280 м.

Ширина по стапель-палубе – 62 м.

Ширина между внутренними стенками башен – 52 м.

Длина каждой башни / ее водоизмещающей части – 85,1 / 75,2 м.

Высота понтона – 12 м.

Высота башен от ОЛ – 29 м.

Осадка при наибольшем погружении – 26 м.

Проектная грузоподъемность – 40000 т.

Время всплытия – 210 мин.

Материал корпуса – низколегированная сталь с пределом текучести 355 МПа.

Количество водонепроницаемых поперечных переборок – 6.

Водоизмещение дока порожнем – 42000 т.

Понтон дока набран по смешанной системе, продольная шпация составляет 500 мм, поперечная – 800 мм, рамный поперечный набор установлен через 2,4 м.

Количество балластных отсеков – 40.

Танкеры типа «Афрамакс», согласно принятой классификации, – это суда дедвейтом от 80 до 120 тыс. т, они обычно имеют скорость около 15 уз при мощности примерно 15 МВт.

В работе приняты следующие характеристики судна:

Длина между перпендикулярами – 241 м.

Ширина – 44 м.

Высота борта на миделе – 21,1 м.

Осадка проектная – 14 м.

Фирменных данных по судну в нашем распоряжении не имелось, проектная документация конфиденциальная, поэтому недостающие сведения приходилось получать из других источников или определять расчетным путем. В их число входят водоизмещение и координаты центра тяжести (ЦТ) судна порожнем, гидростатические элементы, характеристики эквивалентного бруса и др.

Краткие сведения о технологии проведения доковой операции

Корпус судна доводится до заданной степени готовности на открытом достроечном тяжелом стапеле. Стапель и док оборудованы рельсовыми путями, по которым перемещаются гидравлические тележки. Док швартуется носом к передаточному причалу так, чтобы совместились их рельсовые пути. При этом в балластных отсеках дока находится балласт (забортная вода), обеспечивающий необходимую осадку, отсутствие крена и дифферента. Под стоящее на

стапеле судно подводится судопоезд, гидродомкраты пересаживают судно со строительных опор на тележки судопоезда, который после этого может начинать движение к доку.

Напомним, что док не имеет опор и, следовательно, может свободно перемещаться в вертикальном направлении. Как только первые тележки окажутся на стапель-палубе дока, он под действием приложенных со стороны тележек реакций получит дифферент. Чтобы избежать мгновенного приложения нагрузки к доку и появления недопустимого дифферента, между передаточным причалом и доком в специальных нишах укладываются переходные балки длиной 5 м. Пока первые (и все последующие) тележки судопоезда передвигаются по балкам, производится перебалластировка дока: из отсеков в носовой части дока, к которой прикладываются реакции тележек, откачивается соответствующее количество балласта; при необходимости принимается балласт в кормовые отсеки.

Когда судно займет заданное положение на доке, плунжеры гидродомкратов тележек опускаются, пересаживая судно на заранее подготовленное доковое опорное устройство. Док буксирами отводится на котлован погружения, принимает балласт, погружаясь до требуемой осадки. Судно всплывает и переводится к достроечной набережной, а док буксируется на штатное место стоянки.

Оценка влияния гибкости дока

Рассмотрим гипотетический случай, когда тележки судопоезда переходят с передаточного причала непосредственно на док, переходные балки отсутствуют. Док представим в виде балки постоянного сечения. Увеличением его жесткости в связи с наличием башен и, наоборот, уменьшением жесткости из-за уменьшения толщин в оконечностях пренебрегаем. В этом случае к носовой торцевой переборке дока будет приложена сосредоточенная сила, величина которой зависит от количества тележек в одном сечении и расчетной нагрузки на одну тележку. Примем, что эта сила составляет $P = 10$ МН, предполагая, что нагрузку создают две пары тележек грузоподъемностью по 500 т каждая.

Док получает дифферент, который нетрудно определить по метacentрической формуле остойчивости (1)

$$\psi = \frac{M_d}{DH}, \quad (1)$$

где ψ – угол дифферента; M_d – дифферентующий момент; D – водоизмещение дока; H – продольная метacentрическая высота. Для удобства будем считать, что водоизмещение – это масса дока в тоннах, соответственно дифферентующий момент измеряется в тонно-метрах.

Как известно, $H = z_c + R - z_g$, а $R = I_f/V$, где z_c – аппликата центра величины (ЦВ) дока, R – продольный метacentрический радиус, z_g – аппликата ЦТ дока. Здесь I_f – момент инерции площади ватерлинии дока относительно центральной поперечной оси, а V – объемное водоизмещение дока.

$$I_f = \frac{L^3 B}{12} = 1,134 \cdot 10^8 \text{ м}^4; \quad (2)$$

здесь L и B – длина и ширина понтона дока.

При определении H необходимо учесть свободные поверхности в балластных отсеках дока. Согласно расчету, их суммарный момент инерции составляет $\Delta I_f = 2,3 \cdot 10^6 \text{ м}^4$, а исправленный $I_f = 1,111 \cdot 10^8 \text{ м}^4$. Таким образом, поправка к H на влияние свободных поверхностей составляет около 2%. Еще меньшее влияние оказывают водоизмещение дока и возвышение ЦТ. Поскольку данный расчет имеет оценочный характер, после несложных преобразований можно определить, что увеличение осадки дока носом от приложения в торцевом сечении нагрузки $P = 1000$ т составит (3)

$$\Delta T_n = \frac{4P}{\rho L B} = \frac{4 \cdot 1000}{1,025 \cdot 280 \cdot 62} = 0,225 \text{ м}. \quad (3)$$

Осадка кормой уменьшится на половину этой величины.

Изгиб дока под действием сосредоточенной нагрузки $P = 10$ МН проще всего оценить, используя решение для призматической полубесконечной балки, имеющей изгибную жесткость EI и лежащей на упругом основании постоянной жесткости $k = \rho g B$. Момент инерции поперечного сечения дока, согласно проектной документации, составляет $186,7 \text{ м}^4$. Деформации сдвига не учитываем – предварительный анализ показал, что их роль невелика. Для возможности использования решения требуется выполнить условие (4) [8, с. 197]:

$$L \geq (3-4)\sqrt[4]{EI/k}. \quad (4)$$

$$L \geq (3-4)\sqrt[4]{2 \cdot 10^8 \cdot 186,7 / 623} = (3-4) \cdot 88,0 = (264 - 352) \text{ м}.$$

Условие можно считать выполненным. Тогда уравнение упругой линии дока будет иметь вид (5) [8, с. 196]:

$$w = \frac{P}{2\alpha^3 EI} \cdot W_0(\alpha x), \quad (5)$$

где $\alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} = 8,04 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}; \quad (6)$

$$W_0(\alpha x) = e^{-\alpha x} \cos \alpha x. \quad (7)$$

На рис. 4,а показаны линии изменения осадок дока (в мм) согласно расчету стандартным методом статики корабля (красная прямая) и для балки на упругом основании (синяя линия); нос дока и передаточный причал расположены слева. По оси абсцисс здесь и далее указаны расстояния от носа дока. На рис. 4,б приведены в безразмерном виде эпюры изгибающих моментов M и перерезывающих сил N по расчету балки на упругом основании.

Рис. 4. Решение для полубесконечной балки:
а – погружение / всплытие; б – изгибающие моменты M и перерезывающие силы N .
Здесь и далее рисунки авторов.

Как можно видеть, на свободном кормовом конце балки изгибающие моменты и перерезывающие силы отличны от нуля, погрешности составляют 10–15%. Более точное решение получается для балки конечной длины. Выражение для упругой линии записывается в виде (8):

$$w = \frac{P}{2\sqrt{2}\alpha^3 EI} W_0(\alpha x) + C_0 V_0(\alpha x) + C_1 V_1(\alpha x) + C_2 V_2(\alpha x) + C_3 V_3(\alpha x), \quad (8)$$

где, согласно формулам (6) и (7), $\alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}; W_0(\alpha x) = e^{-\alpha x} \cos \alpha x;$

$V_i(\alpha x)$ – функции Пузыревского (9):

$$V_0(\alpha x) = \operatorname{ch} \alpha x \cdot \cos \alpha x;$$

$$V_1(\alpha x) = (\operatorname{ch} \alpha x \cdot \sin \alpha x + \operatorname{sh} \alpha x \cdot \cos \alpha x) / \sqrt{2};$$

$$V_2(\alpha x) = \operatorname{sh} \alpha x \cdot \sin \alpha x;$$

$$V_1(\alpha x) = (\operatorname{ch} \alpha x \cdot \sin \alpha x - \operatorname{sh} \alpha x \cdot \cos \alpha x) / \sqrt{2}. \quad (9)$$

После подстановки граничных условий (отсутствие изгибающего момента и перерезывающей силы на свободном конце дока) выясняется, что $C_2 = C_3 = 0$.

Сравнение решений для упругой линии дока показано на рис. 5, на котором графики рис. 4,а дополнены кривой для балки конечной длины.

Рис. 5. Вертикальные перемещения сечений дока.

В соответствии с этим решением учет упругости корпуса дока увеличивает перемещение торцевого носового сечения от приложенной в этом сечении сосредоточенной силы на 21%. Полученное расхождение достаточно велико. Однако с точки зрения безопасности проведения доковой операции кроме величины уступа между передаточным причалом и доком важен угол уклона стапель-палубы. При традиционном решении это есть угол дифферента дока, который в нашем примере составляет $1,204 \cdot 10^{-3}$, т.е. 1,204 мм/м. По данным Дальневосточного центра судостроения и судоремонта, допускаемый угол уклона составляет 1 мм на 2 м, т.е. 0,5 мм/м (при эксплуатации — 1,0 мм/м). Кривая зависимости угла поворота (обусловленного изгибом дока, в мм/м) от продольной координаты показана на рис. 6.

Рис. 6. Эпюра углов поворота (уклонов стапель-палубы).

Максимальный расчетный уклон составил 2,148 мм/м, что почти вдвое (на 78%) превышает величину, найденную без учета гибкости дока.

Такой уклон недопустим, но при эксплуатации, как отмечалось выше, нагрузка от тележек судопоезда прикладывается к доку постепенно. К моменту выхода тележек с переход-

ных балок на стапель-палубу дока из его носовых отсеков будет удалено определенное количество балласта, а в кормовые отсеки, наоборот, будет необходимо принять балласт так, чтобы не изменились ни средняя осадка, ни дифферент дока. Чтобы выполнить условия равновесия, вес балласта, который нужно откачать из носовых балластных отсеков, должен составить 1,087Р, а принимаемого в кормовые отсеки – 0,087Р. Более реалистичная схема нагружения дока показана на рис. 7.

Рис. 7. Схема нагрузки на док.

Для решения задачи изгиба дока в этом случае требуется просуммировать уже полученную функцию прогибов от действия сосредоточенной силы (8) и функции для балки длиной l , загруженной равномерно распределённой нагрузкой на расстоянии c от свободного конца балки. Уравнение упругой линии от распределенной нагрузки Q при $x < c$ имеет вид

$$w = w(0) \cdot V_0(\alpha x) + \frac{\theta(0)}{\sqrt{2\alpha}} \cdot V_1(\alpha x),$$

а при $x > c$

$$w = \frac{q}{k} \{1 - V_0[\alpha(x - c)]\} + w(0) \cdot V_0(\alpha x) + \frac{\theta(0)}{\sqrt{2\alpha}} \cdot V_1(\alpha x), \quad (10)$$

где α рассчитывается по формуле (6), а $V_i(\alpha x)$ – по формулам (9). Вид полученной упругой линии (мм) изображен на рис. 8, где сплошная линия соответствует нагрузке по рис. 7, а штриховая – без учета балласта, принятого в кормовые отсеки.

Рис. 8. Изгиб дока от реакций тележек и балласта.

Угол поворота в носовом сечении близок к 0,4 мм/м и не превышает допускаемого.

Оценка динамических эффектов

Приведенные выше решения предполагают, что нагрузка к доку прикладывается статически (квазистатически). Но длина переходных балок невелика, так что нагрузка от очередной группы тележек, расположенных в одном поперечном сечении, изменится от нуля до полной величины в течение короткого времени. В результате процесс приложения нагрузки может оказаться динамическим. Это будет в том случае, если время движения судопоезда по переходным балкам и собственный период колебаний дока будут отличаться менее чем в 3 раза. Колебания могут быть трех типов: 1) вертикальная качка; 2) килевая качка; 3) вертикальные изгибные колебания первого тона. Рассмотрим каждый вид по отдельности.

Вертикальная качка. Собственный период [9]:

$$T_{\zeta} = 2\pi \sqrt{\frac{D + \mu_{33}}{\rho g S}}, \quad (11)$$

где D – водоизмещение дока; μ_{33} – присоединенная масса при вертикальных колебаниях; $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$ – плотность морской воды; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; S – площадь ватерлинии, м^2 . При осадке у передаточного причала 8,9 м водоизмещение дока составит $D = 158000 \text{ т}$. Присоединенная масса $\mu_{33} = 280000 \text{ т}$. В итоге получаем $T_{\zeta} = 9,96 \text{ с}$.

Килевая качка. Собственный период

$$T_{\psi} = 2\pi \sqrt{\frac{I_y + \mu_{55}}{\rho g I_f}}, \quad (12)$$

где I_y – момент инерции массы дока относительно центральной поперечной оси; μ_{55} – присоединенная масса (момент инерции) при килевой качке; I_f – момент инерции площади ватерлинии относительно центральной поперечной оси. Считая массу дока и присоединенную массу равномерно распределенными по длине, для получения момента инерции достаточно умножить их на $L^2/12$. В связи с тем что числитель и знаменатель в формуле изменились по сравнению с предыдущей формулой в равное количество раз, период качки не изменился. Как известно, у морских судов периоды вертикальной и килевой качки также близки друг к другу.

Общая вибрация. Порядок расчета периода первого тона общей вибрации корпуса судна изложен в [6], а в [3, с. 186–187] приведен численный пример, поэтому мы не останавливаемся на деталях расчета, ограничившись результатом. Получен период 10,11 с. Разница в периодах вибрации и качки оказалась в пределах погрешности расчетов. Из теории колебаний известно, что в случае, когда период постепенного приложения нагрузки совпадает с периодом свободных колебаний, коэффициент динамичности (КД) составляет 2,0. Если же время нарастания нагрузки превышает собственный период в 3 раза и более, КД оказывается не более 1,10.

Согласно заводской технологической инструкции, скорость движения судопоезда не должна превышать в начальной стадии накатки на док 1,0 м/мин, а после преодоления тележками расстояния по стапель-палубе 30 м может быть увеличена до 1,8 м/мин. При длине переходных балок 5,0 м время движения тележек по балкам будет не менее 170 с, что исключает возникновение рассмотренных динамических эффектов.

Моделирование конструкции дока

В настоящее время при решении сложных инженерных задач широко применяется трехмерное моделирование объектов техники. Для обеспечения возможности выполнения расчетов напряженно-деформированного состояния (НДС) дока при проведении различных

операций авторами разработана его трехмерная модель (рис. 9) в среде SolidWorks. Сечение в плоскости мидель-шпангоута изображено на рис. 10.

Рис. 9. 3D-модель дока.

Рис. 10. 3D-модель дока: поперечное сечение понтона дока.

Модель позволяет рассчитывать НДС дока при приложении к нему эксплуатационных нагрузок. В качестве иллюстрации на рис. 11 показаны в увеличенном масштабе деформации корпуса дока, загруженного нагрузкой от веса стоящего в нем судна и опирающегося на жесткие опоры. В перспективе предполагается рассмотрение более реалистичных вариантов. Следует отметить, что ввиду большой размерности задачи проведение детальных расчетов ограничивается возможностями имеющейся компьютерной техники.

Рис. 11. Деформации дока под нагрузкой.

Заключение

В предлагаемой работе рассмотрены некоторые особенности расчетов поведения транспортно-передаточного дока «Вымпел», обусловленные его большими размерами и отсутствием непрерывных башен. Показано, что гибкость конструкции приводит к тому, что в начальной

стадии накатки судопоезда вертикальное перемещение торцевого сечения и еще в большей мере – угол его поворота оказываются значительно больше, чем рассчитанные традиционными методами статики корабля. Связанное с этим увеличение уклона рельсовых путей на стапель-палубе может оказать негативное влияние на безопасность проведения доковой операции.

Выполнена оценка возможности возникновения динамических эффектов в начальной стадии накатки: появления продольной качки и общей вибрации дока. Установлено, что собственный период вертикальной и килевой качки дока и период первого тона свободных колебаний его корпуса практически одинаковы и составляют приблизительно 10 с. Благодаря наличию переходных мостиков (балок) между передаточным причалом и доком, время движения судопоезда по которым не менее 3 мин, указанные динамические эффекты исключены.

Составлена трехмерная модель конструкции дока в программном комплексе SolidWorks, позволяющая выполнять расчеты его напряженно-деформированного состояния при действии эксплуатационных нагрузок.

Основные результаты работы могут быть использованы в практике работы судостроительного комплекса «Звезда».

Перспективы развития исследований связаны, с одной стороны, с анализом особенностей поперечной накатки объектов на док, с другой – с более детальным изучением вопросов прочности при выполнении доковых операций.

Вклад авторов в статью: С.В. Антоненко – формулировка задач исследования, общее руководство, подготовка текста статьи; А.В. Маслова – решение задач прочности, составление трехмерной модели и расчет; В.В. Савченко – решение задач статики, составление трехмерной модели и расчет; И.В. Сапега – подбор документации по доку и информационных материалов, решение вопросов с администрацией дока, технология работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоненко С.В. Некоторые вопросы обеспечения безопасности работы транспортно-передаточного плавучего дока // *Materiály X mezinárodní vědecko-praktická conference “Aplikované vědecké novinky-2014”*, 27 červenců – 05 srpna [27.07–05.08] 2014 roku. Díl 19. Technické vědy. Praha, Publishing House *Education and Science s.r.o.*, p. 61–67.
2. Головной ледокол «Владивосток» пр. 21900М спущен на воду // *Судостроение*. 2014. № 3. С. 8–9.
3. Давыдов В.В., Маттес Н.В. Динамические расчеты прочности судовых конструкций. Л.: Судостроение, 1974. 336 с.
4. Ледокол строится на «Атланте» // *Судостроение*. 2013. № 4. С. 72.
5. Наливная док-камера (НДК) и полупогружная баржа.
URL: <http://vyborgshipyard.ru/ru/articles/proizvodstvennye-moshchnosti-vyborgskogo-sudostroitel'nogo-zavoda> (дата обращения: 05.03.2020).
6. Смирнов А.Г. Использование плавучих доков для спуска судов на воду и подъема с воды на берег // *Морской вестник*. 2018. № 4. С. 43–48.
7. Справочник по строительной механике корабля / под общ. ред. Ю.А. Шиманского: в 3-х т. Т. 3. Л.: Судпромгиз, 1960. 800 с.
8. Справочник по строительной механике корабля / Г.В. Бойцов, О.М. Палий, В.А. Постнов, В.С. Чувиковский: в 3-х т. Т. 1. Общие понятия. Стержни. Стержневые системы и перекрытия. Л.: Судостроение, 1982. 376 с.
9. Справочник по теории корабля: в 3-х т. Т. 2. Статика судов. Качка судов / под ред. Я.И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985. 440 с.
10. Толстогузов С.В., Шадров А.В. Опыт сотрудничества проектно-конструкторского бюро и верфи в единой информационной среде FORAN V70 // *Судостроение*. 2013. № 2. С. 37–41.
11. Уникальный плавучий док грузоподъемностью 40 тысяч тонн доставлен на верфь «Звезда».
URL: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/191799/> (дата обращения: 05.03.2020).

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-2-3>

Antonenko S., Maslova A., Savchenko V., Sapega I.

SERGEY ANTONENKO, Doctor of Engineering Sciences, Professor,
ORCID: orcid.org/0000-0001-8127-4625, ResearcherID: V-2382-2017, ScopusID: 16023982100,
e-mail: sergey.antonenko.43@mail.ru
ANASTASIYA MASLOVA, Student, e-mail: nastenka.maslova@mail.ru
VLADLENA SAVCHENKO, e-mail: dusya-10@mail.ru
IRINA SAPEGA, Student, e-mail: irina-s-75@mail.ru
Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russia

Features of the behavior of the floating transfer dock

Abstract: As a part of *Zvezda Shipbuilding Complex* in the town of Bolshoi Kamen there is floating transfer dock *Vympel* with cargo capacity of 40,000 tons, purposed for putting afloat large-sized marine vessels and elements of drilling platforms from a slipway. It was built in China, and is the largest dock of this kind in Russia; any in-service experience of such facilities in our country is practically absent. In the view of its large size and absence of continuous beams along its entire length, this dock is of a considerable flexibility which can significantly affect the stress-strain state of dock-vessel system during dock operations. The fact that this dock is unsupported leads to additional complexities. The paper deals with some issues of statics, dynamics and strength of the dock when putting afloat a supertanker-type vessel. Traditional methods of theoretical and structural engineering of maritime vessels and three-dimensional modeling of the dock structure were used. It is evident that due to increased flexibility of the dock application of these methods in evaluation of dock behavior can result in inaccurate results. Some issues relevant to the technology of carrying out docking operations are considered as well. In order to improve safety of docking operations further experimental (full-scale) studies are desirable.

Keywords: floating transfer dock, shipbuilding complex *Zvezda*, stress-strain state, dock statics.

REFERENCES

1. Antonenko S.V. Some issues of ensuring the safety of the work of a transport and transfer floating dock. Materiály X mezinárodní vědecko-praktická conference *Aplikované vědecké novinky-2014*, 27 červenců–05 srpna [07.27–05.08] 2014 roku. Díl 19. Technické vědy. Praha, Publishing House Education and Science s.r.o, p. 61–67.
2. The lead icebreaker *Vladivostok* of project 21900M was launched. *Shipbuilding*. 2014(3):8–9.
3. Davydov V.V., Mattes N.V. Dynamic calculations of the strength of ship structures. L., *Shipbuilding*, 1974, 336 p.
4. An icebreaker is being built on the *Atlanta*. *Shipbuilding*. 2013(4):72.
5. Bulk docking chamber (NDK) and semi-submersible barge. URL: <http://vyborgshipyard.ru/ru/articles/proizvodstvennye-moshchnosti-vyborgskogo-sudostroitel'nogo-zavoda> – 03/05/2020.
6. Smirnov A.G. The use of floating docks for launching ships and lifting from water to shore. *Sea Messenger*. 2018(4):43–48.
7. Handbook of structural mechanics of the ship. Vol. 3. L., Sudpromgiz, 1960, 800 p.
8. Handbook of structural mechanics of the ship. G.V. Boytsov, O.M. Paly, V.A. Postnov, Chuvikovskiy V.S. Vol. 1. General concepts. The rods. Rod systems and ceilings. L., *Shipbuilding*, 1982, 376 p.
9. Handbook of ship theory. Vol. 2. Statics of ships. Pumping ships. L., *Shipbuilding*, 1985, 440 p.
10. Tolstoguzov S.V., Shadrov A.V. Experience in cooperation between a design bureau and a shipyard in a single information environment FORAN V70. *Shipbuilding*. 2013(2):37–41.
11. A unique floating dock with a carrying capacity of 40 thousand tons was delivered to the *Zvezda* shipyard. URL: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/191799/> – 03/05/2020.