

**СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА**

**SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ECOLOGICAL SAFETY
OF THE SHIP**

УДК 629.5.015.4

DOI: 10.37890/jwt.vi81.550

**Применение имитационно-графического метода для
расчётного моделирования характеристик поперечного
сечения фундаментов из установленных на кильсоны с
деформированными стенками тавровых балок**

П. А. Бимберков

ORCID: 0000-0003-4303-8570

С. В. Викулов

ORCID: 0000-0003-4589-6704

А. О. Токарев

ORCID: 0000-0002-2841-3689

*Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск,
Россия*

Аннотация. В качестве объекта исследования принята составная балка из существующей на судне тавровой балки – кильсона, с деформированной в пределах нормативных значений стенкой и надставляемая на её свободный поясок дополнительной тавровой балки, позволяющая сформировать балку фундамента при модернизации судна. Задачей является получение геометрических характеристик поперечного сечения такой балки. Вначале приводятся аналитические выражения для деформированной тавровой балки с моделированием стенки в одном случае в виде ломанной, а в другом случае в виде недеформированной балки высотой деформированной и добавочного вертикального элемента остаточной площади по сравнению с исходной недеформированной балкой и высотой, равной высоте деформации стенки. Для обоих вариантов моделирования удобно получать исходную информацию по деформации стенки балки посредством фиксации максимальных стрелок отклонения от нормального положения по обе стороны стенки и высоты такой деформации на модернизируемом судне. На основе данных выражений далее получены аналитические выражения для геометрических параметров поперечного сечения формируемой балки фундамента. Получены значения моментов сопротивления и инерции площади поперечного сечения образуемой балки, позволяющие в дальнейшем произвести расчёты изгибной прочности и жёсткости, а также частот собственных колебаний, обеспечивающих возможность оценки вибрации. У надставляемой тавровой балки принята как сплошная, так и перфорированная стенка.

Ключевые слова: модернизация судна, фундамент, деформированная стенка балки, составная балка, имитационно-графический метод, геометрические параметры сечения, жёсткость составной балки, период собственных колебаний.

Application of the simulation-graphic method for the computational modeling of the cross-section characteristics of foundations made of T-beams installed on keelsons with deformed walls

Pavel A. Bimberekov

ORCID: 0000-0003-4303-8570

Stanislav V. Vikulov

ORCID: 0000-0003-4589-6704

Alexander O. Tokarev

ORCID: 0000-0002-2841-3689

Siberian State University of Water Transport Novgorod, Novosibirsk, Russia

Abstract. The object of the study is a composite beam made of an existing T-beam on a vessel - a keelson, with a web deformed within the standard values and an additional T-beam added to its free flange, which allows forming a foundation beam during the modernization of the vessel. The task is to obtain the geometric characteristics of the cross-section of such a beam. First, analytical expressions are given for a deformed T-beam with modeling of the wall in one case as a broken line, and in the other case as an undeformed beam with a height of the deformed and additional vertical element of the residual area compared to the original undeformed beam and a height equal to the height of the wall deformation. For both modeling options, it is convenient to obtain initial information on the beam wall deformation by fixing the maximum arrows of deviation from the normal position on both sides of the wall and the height of such deformation on the modernized vessel. Based on these expressions, analytical expressions are then obtained for the geometric parameters of the cross-section of the formed foundation beam. The values of the moments of resistance and inertia of the cross-sectional area of the formed beam are obtained, which allow further calculations of the bending strength and rigidity, as well as the frequencies of natural vibrations, which provide the possibility of assessing vibration. The extended T-beam is adopted as having both a solid and a perforated wall.

Keywords: ship modernization, foundation, deformed beam wall, composite beam, simulation-graphic method, geometric parameters of the section, composite beam rigidity, natural oscillation period.

Введение

При модернизации судов может быть целесообразна установка тавровых балок фундаментной рамы на существующие кильсоны, стенки которых имеют выпучины и кромочные деформации в допускаемых нормативами пределах. Полная замена кильсонов кроме дополнительных материальных и трудовых затрат может быть ограничена нахождением судов на плаву или во льдах, где практически невозможно вести сварочные работы по креплению стенок набора к обшивке. Поэтому оценка прочности получаемых наращенных балок актуальная задача. Основным геометрическим параметром изгибающей прочности балок является получаемый из момента инерции момент сопротивления площади их поперечного сечения. Одновременно отметим суждение работы [1], что задачи по снижению вибрации необходимо решать как при проектировании судов, так и при их строительстве, ремонте и модернизации. Для оценки вибрации определяется период и частота собственных колебаний балок. Важнейшим параметром для определения частоты собственных колебаний балок является их жёсткость [2-4], определяемая как сила, вызывающая единичный прогиб. Основной характеристикой жёсткости балки является момент инерции площади её поперечного сечения. Таким образом, для расчётной оценки характеристик прочности и вибрации используются геометрические характеристики поперечного сечения. Для расчётного определения фактических

геометрических характеристик получаемых фундаментов, образованных из существующих тавровых с деформированной стенкой и надстроенных тавровых балок, возможно использовать подход работ [5-9]. Предложенные в [5-9] варианты моделирования геометрических параметров поперечного сечения тавровых судовых балок с присоединённым пояском обшивки с деформированной стенкой позволяет получить искомые значения с точностью не менее 98% от истинного значения. Вполне очевидно, что при корректном добавлении к модели поперечного сечения деформированной тавровой балки на свободный пояс модели недеформированной тавровой балки погрешность результата возрасти не может.

На рис.1,2 схематично представлены варианты установки балок фундамента на кильсоны с деформированными стенками. Стенки тавровых балок фундамента могут быть как сплошными, так и перфорированными, с круглыми, овальными и прямоугольными отверстиями.

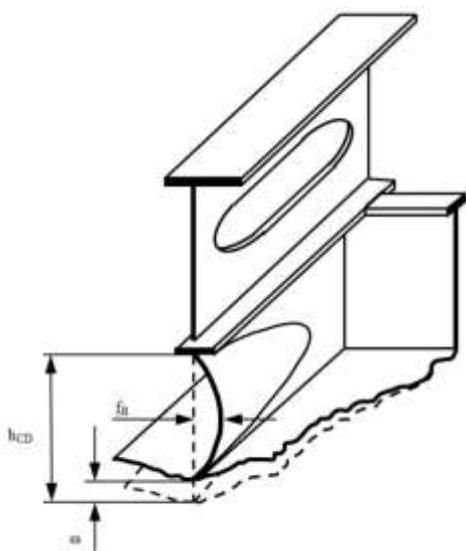


Рис.1. Установка дополнительной тавровой балки на свободный пояс тавровой балки с выпучиной стенки

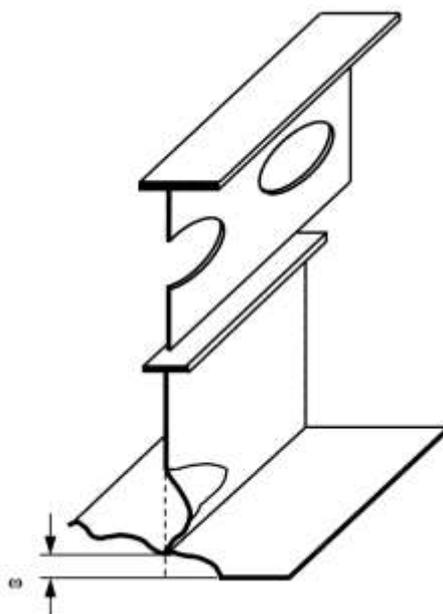


Рис.2. Установка дополнительной тавровой балки на свободный пояс тавровой балки с кромочной деформацией стенки

Фиксация точной формы деформации стенок существующих кильсонов возможна путём её подробного сканирования, однако для практических целей желательно производить оценку деформационных отклонений стенки кильсона лишь в отдельных точках. Такими точками могут быть точки максимального выпучивания или кромочной деформации, что приведёт к получению расчётной имитационной модели в виде ломанной. Ранее аналитические выражения такого моделирования нами не представлялись, поэтому ниже первоначально рассмотрим модели неповреждённой (рис.3) и повреждённой (с деформированной стенкой) (рис.4) тавровых балок.

На рис.3(1) изображено поперечное сечение тавровой рамной балки с присоединённым пояском обшивки с недеформированной стенкой. Составные её элементы: стенка 1, высотой h_c , толщиной t_c и площадью f ; полка 2, площадью f_1 ; присоединённый пояс обшивки 3, площадью f_2 . Высота взятого изолированного таврового профиля площадью f_1+f имеет значение $h_{пр}$. Общая высота поперечного сечения профиля составляет $h_{об}$.

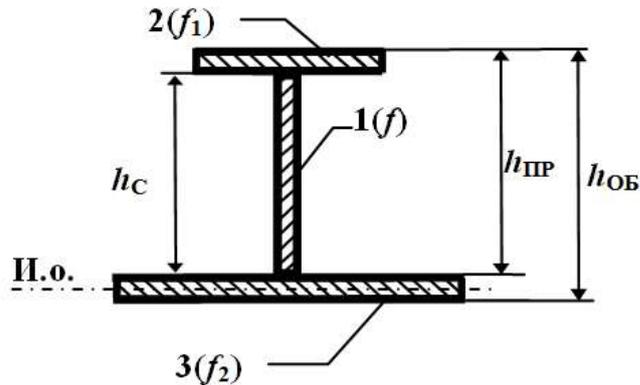


Рис. 3. Поперечное сечение не деформированной рамной тавровой балки с присоединённым пояском обшивки (И.о. – исходная ось при начале расчёта геометрических параметров поперечного сечения, выбрана традиционно посередине толщины присоединённого пояса обшивки)

На рисунке 4 представлено поперечное сечение деформированной рамной тавровой балки. Вид повреждения стенки - кромочная деформация. Взаимное расположение присоединённого пояса обшивки со стенкой исходной недеформированной конструкции указано пунктирными линиями. Варианты его моделирования с использованием имитационно-графического метода даны на рис.4б...4д. Стенка деформированного поперечного сечения 12, рис. 4а, имеет деформационное повреждение на высоту h_B от исходного положения присоединённого пояса обшивки высотой s от нового положения обшивки со стрелкой кромочной деформации (выпучивания) f_B (рис. 4а, в) при стрелке вмятины ω в месте крепления стенки к обшивке. Первичная модель деформированной стенки 12 дана на рис. 4б ломаной 13. Вторичная модель деформированной стенки является составной с приведённой формой прямолинейной стенки 14 (рис. 4в), вместе с ломанной 15 с центром тяжести от Оси 2 Ц_л, толщиной t_L имитирующей зону деформации, согласно первичной форме 13 (рис. 4б). В свою очередь 15 моделируется по вариантам (см рис. 4г), и 17 (см рис. 4д). Вариант 16 ломанной составлен из двух сторон прямоугольного треугольника: катета в плоскости деформированной обшивки размером f_B ; гипотенузы a .

Отметим, что вариант моделирования стенки деформированной балки по варианту рис.4в с использованием вместо элемента 15 элемент 17 заметно упрощает модель. Значение фактической высоты деформированной стенки балки $h_{CD}=h_C-\omega$ и протяжённость деформации s по высоте балки легко оценить посредством обмера.

Цель статьи: получить расчётные выражения для геометрических характеристик поперечного сечения фундамента, составленного из существующей тавровой балки с деформированной стенкой и дополнительной тавровой балки, для обеспечения возможности дальнейшей оценки их прочности и вибрации.

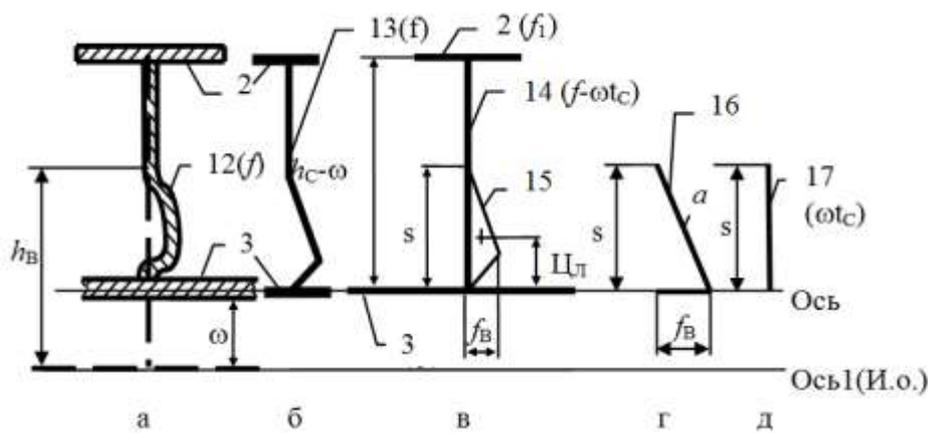


Рис. 4. Поперечное сечение деформированной рамной тавровой балки с присоединённым пояском обшивки при кромочной деформации её стенки (а) и ряд последовательных вариантов его моделирования (б, в) и моделирования его частей (г, д) (рисунок принят из [4] с сохранением нумерации элементов источника)

Методы

Для построения аналитических выражений исследуемой составной балки первоначально произведём построение аналитических моделей по оговоренным выше наиболее целесообразным, на наш взгляд, представлением поперечного сечения деформированной стенки балки в виде ломанной и недеформированной балки с фактической высотой стенки и добавочной стенки 17 по рис.4д. Первым этапом станет формирование аналитических зависимостей для деформированной балки, а вторым для составной балки из деформированной существующей и недеформированной, добавляемой к первой на свободный пояс.

Результаты

Для иллюстрации возьмём результаты деформаций стенок тавровых балок, полученных в результате модельного эксперимента с малыми жестяными моделями согласно техническому решению [10] из источников [6-9], рис.5.

Длину ломаной, L , моделирующей форму поперечного сечения балки (частный случай рис.4б) и состоящую из n элементов определим очевидной зависимостью

$$L = \sum_{i=1}^n \sqrt{(z_i - z_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}, \quad (1)$$

где z_i – значение аппликаты дальнего от обшивки конца элемента ломанной (причём $z_0 = 0$); y_i – значение расстояния по горизонтали от места крепления балки у обшивки до положения дальнего от обшивки конца элемента ломаной.

Используя (1) имеем соответственно значение площади, F_L , и центра тяжести, z_C , моделирующей ломаной:

$$F_{L1} = Lt_c = t_c \sum_{i=1}^n \sqrt{(z_i - z_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}, \quad (2)$$

$$z_{C1} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(z_i - z_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} [z_{i-1} + 0,5(z_i - z_{i-1})]}{Lt_c}. \quad (3)$$

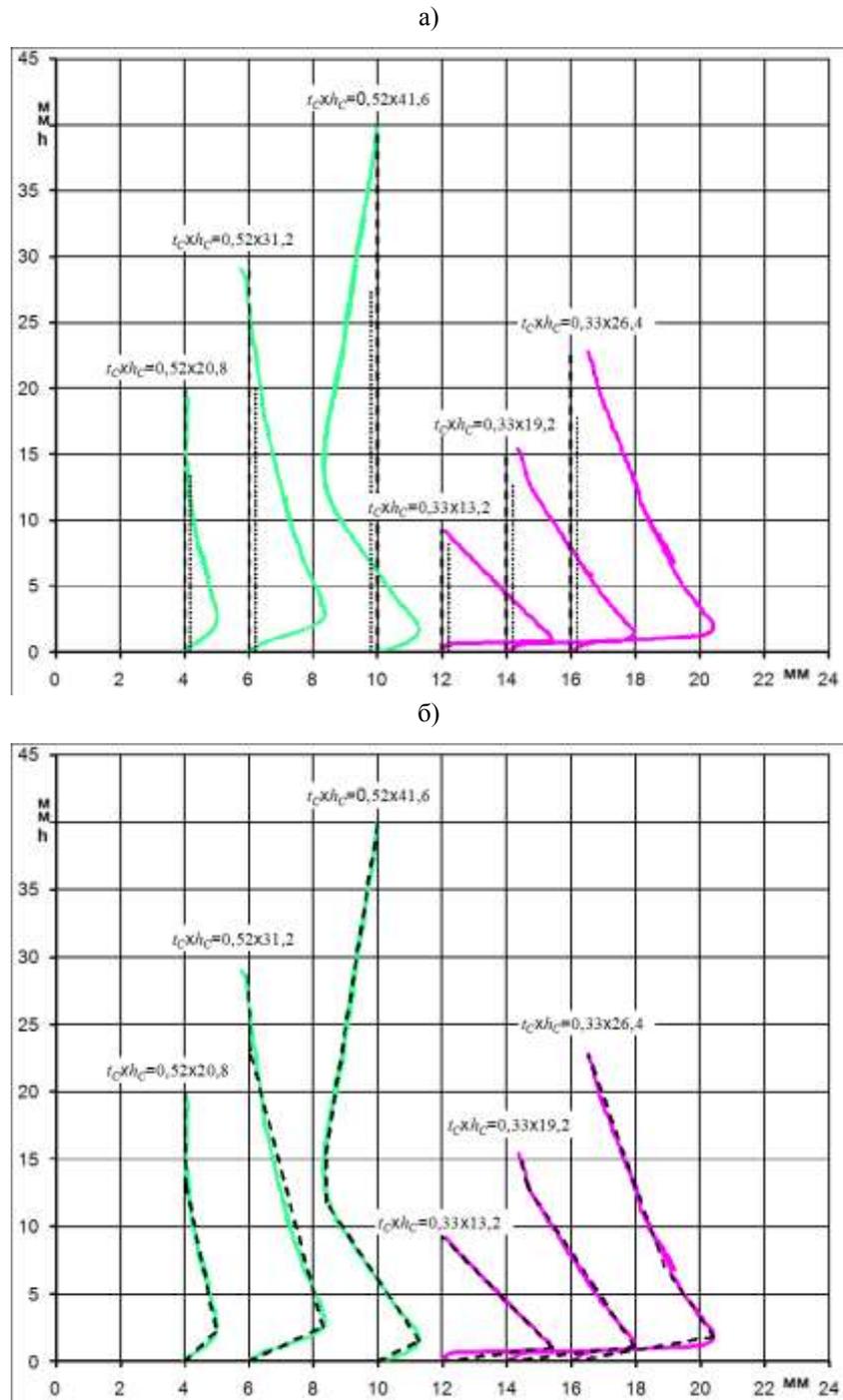


Рис. 5. Иллюстрация моделирования сечения деформированных стенок тавровых балок (шкала абсцисс – условное расположение места крепления стенок к обшивке с шагом в 2,0 мм; шкала ординат – высота измерения от обшивки h , мм): а) в виде ломаной (пунктирная линии); б) недеформированной стенкой фактической высоты деформированной балки (пунктирная линии) и дополнительным элементом стенки (точечная линия)

Основываясь на (2), (3) дадим значение собственного момента инерции поперечного сечения моделирующей ломаной, I_L , выражением

$$I_{L1} = t_c \sum_{i=1}^n \sqrt{(z_i - z_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} [z_{i-1} + 0.5(z_i - z_{i-1})]^2 + \frac{t_c}{12} \sum_{i=1}^n \sqrt{(z_i - z_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} (z_i - z_{i-1})^2 - z_{c1}^2 F_{L1}. \quad (4)$$

Для двутаврового профиля с деформированной стенкой, моделируемой ломаной по (1) получим соответственно значения положения центра тяжести от Оси2 (рис.2), z_{c01} , и значение собственных моментов инерции, I_{F1} , и сопротивления, W_{F1} , пренебрегая за малостью собственными моментами инерции площади поясков, по зависимостям:

$$z_{c01} = \frac{f_1(0.5t_2 + z_n + 0.5t_1) + F_L(0.5t_2 + z_{c1}) + f_2(0)}{f_1 + F_L + f_2}, \quad (5)$$

$$I_{F1} = f_1(0.5t_2 + z_n + 0.5t_1)^2 + F_L(0.5t_2 + z_{c1})^2 + I_L - (f_1 + F_L + f_2)z_{c01}^2, \quad (6)$$

$$W_{F1} = I_{F1} / (0.5t_2 + z_n + t_1 - z_{c0}), \quad (7)$$

где $z_n = \sum_{i=1}^n z_i$ - общая высота участков ломаной, равная высоте деформированной стенки балки.

Для реализации подобного моделирования по варианту рис.4д получены аналогично следующие выражения, учитывая, что площадь дополнительной пластины к имитационному профилю с прямолинейной стенкой с толщиной исходной балки имеет значение ωt_c . При этом высота пластины может быть задана значением $0. kh_{CD}$, тогда её толщина примет значение $t_{II} = \omega t_c / (0. kh_{CD})$.

$$z_{c2} = \frac{0.5h_{CD}^2 t_c + \omega t_c 0. kh_{CD} / 2}{F_{L2}}. \quad (8)$$

$$I_{L2} = \frac{h_{CD}^3 t_c}{4} + \frac{h_{CD}^3 t_c}{12} + \frac{\omega t_c (0. kh_{CD})^2}{4} + \frac{\omega t_c (0. kh_{CD})^2}{12} - z_{c2}^2 F_{L2}. \quad (9)$$

$$z_{c02} = \frac{f_1(0.5t_2 + h_{CD} + 0.5t_1) + F_{L2}(0.5t_2 + z_{c2}) + f_2(0)}{f_1 + F_{L2} + f_2}, \quad (10)$$

$$I_{F2} = f_1(0.5t_2 + h_{CD} + 0.5t_1)^2 + F_{L2}(0.5t_2 + z_{c2})^2 + I_{L2} - (f_1 + F_{L2} + f_2)z_{c02}^2. \quad (11)$$

$$\text{где } F_{L2} = h_{CD} t_c + (0. kh_{CD}) t_{II} = f,$$

$$W_{F2} = I_{F2} / (0.5t_2 + h_{CD} + t_1 - z_{c02}). \quad (12)$$

Дополнительная, устанавливаемая на свободный поясok кильсона тавровая балка имеет поперечное сечение согласно рис.1 в случае сплошной стенки или в местах перемычек между вырезами. В месте нахождения вырезов из стенки удаляется часть высотой $0. k_6 h_c$, (где $0. k_6$ - доля выреза от высоты стенки добавляемой балки). Будем считать в первом приближении, что вырезы расположены посередине высоты стенки h_{CD} (добавлен подстрочный индекс Д). Тогда соответственно для добавляемой балки в месте перемычки и выреза имеем значения её геометрических параметров площади поперечного сечения, отсчитываемой от нижней фибры стенки (13) и момента инерции (14) пренебрегая собственными моментами инерции площади поясков, имеем:

$$z_{c0D} = \frac{f_{1D}(h_{CD} + 0.5t_{1D}) + f_D 0.5h_{CD}}{f_{1D} + f_D} \text{ и} \quad (13)$$

$$z_{c0D} = \frac{f_{1D}(h_{CD} + 0.5t_{1D}) + f_D(1 - 0. k_B)0.5h_{CD}}{f_{1D} + f_D(1 - 0. k_B)}$$

$$I_{FD} = f_{1D}(0.5t_{1D} + h_{CD})^2 + f_D(0.5h_{CD})^2 + \frac{f_D h_{CD}^2}{12} - (f_{1D} + f_D)z_{c0D}^2 \text{ и}$$

$$I_{FD} = f_{1D}(0.5t_{1D} + h_{CD})^2 + f_D(1 - 0. k_B)(0.5h_{CD})^2 + \frac{f_D h_{CD}^2}{12}(1 - 0. k_B^3) - [f_{1D} + f_D(1 - 0. k_B)]z_{c0D}^2 \quad (14)$$

Тогда для поперечного сечения всей надставленной балки (принимая за j номер варианта моделирования деформированной балки), получим:

$$I_{F\Sigma} = I_{FD} + (f_{1D} + f_D)(z_{c0D} + t_1 + h_{CD} + 0.5t_2)^2 + I_{Fj} + (f_1 + F_{Lj} + f_2)z_{c0j}^2 - [(f_{1D} + f_D) + (f_1 + F_{Lj} + f_2)]z_{c0\Sigma}^2, \quad (15)$$

где

$$z_{c0\Sigma} = \frac{(f_{1D} + f_D)(0.5t_2 + h_{CD} + t_1 + z_{c0D}) + (f_1 + F_{Lj})(0.5t_2 + z_{c0j})}{(f_{1D} + f_D) + (f_1 + F_{Lj} + f_2)}.$$

Откуда имеем момент сопротивления надставленной балки

$$W_{F\Sigma} = I_{F\Sigma} / (0.5t_2 + h_{CD} + t_1 + h_{CD} + t_{1D} - z_{c0\Sigma}), \quad (16)$$

Получив момент инерции поперечного сечения по выражению (20) легко определить частоту собственных колебаний по выражению, см. в частности [3], для добавления тавровых балок со сплошной стенкой или с непрерывным вырезом в стенке

$$f_{CT} = \frac{(\pi n)^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI_{F\Sigma}}{m}}. \quad (17)$$

где n – тона колебаний (чаще интерес представляют колебания первого тона) балки;

l - длина балки;

E - модуль Юнга;

$I_{F\Sigma}$ - момент инерции площади поперечного сечения балки;

m - погонная масса балки.

Для случая перфорированной стенки дополнительной балки возможно применить подход статьи [11], где берётся в расчёт осреднённый момент инерции между сечением в перемычке и вырезе. Такой подход, как оценено [11] даёт удовлетворительную точность получаемого результата.

Заключение

Получены аналитические выражения для геометрических параметров площади поперечных сечений тавровых балок с деформированной стенкой и балок под фундамента, полученных путём установки дополнительных тавровых балок на

свободные пояски существующих тавровых балок с деформированными стенками в виде выпучин и кромочных деформаций, не превышающих нормативные значения. На взгляд авторов изложенный материал статьи входит в направления исследований смежных научных специальностей 2.5.19, 2.5.20. В дальнейшем предполагается сопоставить результаты моделирования настоящей статьи с результатами расчётов МКЭ при определении частот собственных колебаний рассматриваемых составных балок.

Список литературы

1. Викулов, С.В. Теоретическое исследование стабилизатора вибрации с обратной связью по интегралу смещения для электрического оборудования / С.В. Викулов, А.Н. Спиридонова, Ю.И. Матвеев, М.Ю. Храмов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2023. № 2. С. 74-81. doi.org/10.24143/2073-1574-2023-2-74-81.
2. Справочник по строительной механике корабля. Том II. / Под. общ. ред. Шиманского Ю.А. – Судпромгиз, 1958. – 528 с.
3. Строительная механика и прочность корабля: учеб. для кораблестроит. спец. вузов / Ю. Н. Ипатовцев, Я. И. Короткин. – Л.: Судостроение, 1991. – 228 с.
4. Справочник по строительной механике корабля: в 3 т. / Под ред. Паляя О.М. – Л: Судостроение. - 1982. – Т. 3. – 318 с.
5. Пат. №2376563 Российская Федерация, МПК G01 M 10/00. Способ моделирования конструкций: №2007101405/28; заявл. 15.01.2007; опубл. 20.12.2009, бюл. №35 / Бимбереков П.А.
6. Бимбереков, П.А. Исследование проблемы моделирования геометрических параметров деформированных узлов корпусных конструкций / П.А. Бимбереков, Е.Г. Бурмистров // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2022. Т. 14. № 3. С. 417-429. doi.org/10.21821/2309-5180-2022-14-3-417-429.
7. Parameters Modeling of Deformed Components of Hull Structures / Bimberekov P., Burmistrov E. В сборнике: International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. Switzerland, 2022. С. 1120-1132. DOI:10.1007/978-3-030-96380-4_123.
8. Бимбереков, П.А. Исследование повреждаемости, методики освидетельствования и дефектации судовых корпусных конструкций судов внутреннего и смешанного плавания / П.А. Бимбереков. – Новосибирск, НГАВТ, 2007. – 420 с.
9. Бимбереков, П.А. Определение и нормирование величины деформаций стенок тавровых балок по значению прогиба судовой обшивки в месте крепления набора / П.А. Бимбереков // Морской Вестник, 2008. №1 – С.93-95.
10. Пат. №31650 Российская Федерация, МПК G01 M 10/00. Образцы для модельных испытаний конструкций: №2003100105/20; заявл. 04.01.2003; опубл. 20.08.2003, бюл. №23. / Бимбереков П.А.
11. Притыкин, А.И. Анализ частот колебаний балок с регулярно расположенными вырезами / А.И. Притыкин // Морские интеллектуальные технологии, 2021. № 4-4 (54). - С. 22-28. doi . org / 10.37220/ MIT .2021.54.4.002.

References

1. Vikulov, S.V. Teoreticheskoe issledovanie stabilizatora vibratsii s obratnoi svyaz'yu po integralu smeshcheniya dlya ehlektricheskogo oborudovaniya / S.V. Vikulov, A.N. Spiridonova, YU.I. Matveev, M.YU. Khramov // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2023. № 2. Vikulov S. V., Spiridonova A. N., Matveev Yu. I., Khramov M. Yu. Theoretical study of vibration stabilizer with feedback on displacement integral for power equipment. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies. 2023. №2. Pp. 74-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-2-74-81>. EDN FWXYLQ.
2. Spravochnik po stroitel'noi mekhanike korablya. Tom II. / Pod. obshch. red. Shimanskogo YU.A. – Sudpromgiz, 1958. – 528 s.

3. Stroitel'naya mekhanika i prochnost' korablya: ucheb. dlya korablestroit. spets. vuzov / YU. N. Ipatovtsev, YA. I. Korotkin. – L.: Sudostroenie, 1991. – 228 p.
4. Spravochnik po stroitel'noj mekhanike korablia [Manual on Structural mechanics of ship]. V.3. /Under edit. of O.M. Paliy. Shipbuilding. 1982. 318 p.
5. Bimberekov, P.A.: Structural modeling method. Patent Russia 2376563 (2009). <https://www1.fips.ru/iiss/>
6. Bimberekov, P.A., Burmistrov, E.G. STUDYING THE PROBLEM OF GEOMETRIC PARAMETERS SIMULATION OF HULL STRUCTURES DEFORMED UNITS. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2022;14(3):417-429. (In Russ.) <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2022-14-3-417-429>
7. Parameters Modeling of Deformed Components of Hull Structures / Bimberekov P., Burmistrov E. В сборнике: International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. Switzerland, 2022. С. 1120-1132. DOI:10.1007/978-3-030-96380-4_123.
8. Bimberekov, P.A. Issledovanie povrezhdaemosti, metodiki osvidetel'stvovaniya i defektatsii sudovykh korpusnykh konstruksii sudov vnutrennego i smeshannogo plavaniya / P.A. Bimberekov. – Novosibirsk, NGAVT, 2007. – 420 p.
9. Bimberekov, P.A. Opredelenie i normirovanie velichiny deformatsii stenok tavrovyykh balok po znacheniyu progiba sudovoi obshivki v meste krepleniya nabora / P.A. Bimberekov / Morskoy Vestnik, 2008. №1 – Pp.93-95.
10. Pat. №31650 Rossiiskaya Federatsiya, MPK G01 M 10/00. Obraztsy dlya model'nykh ispytaniy konstruksii: №2003100105/20; zayavl. 04.01.2003; opubl. 20.08.2003, byul. №23. / Bimberekov P.A.
11. Pritykin, A.I. Analysis of vibration of beams with regularly located openings /Marine intellectual technologies № 4 part 4, 2021. – Pp. 22-27.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бимбереков Павел Александрович, д.т.н., доцент, профессор кафедры Теории корабля, судостроения и технологии материалов, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина 33, e-mail: bimbererkov@yandex.ru

Pavel A. Bimberekov, Dr. Sci.(Eng), Associate professor, Professor of the Department of Theories of Ships, Shipbuilding and Materials Technology, Siberian State University of Water Transport (SSUWT), 630099, Novosibirsk, Schetinkina St. 33, e-mail: bimbererkov@yandex.ru

Викюлов Станислав Викторович, д.т.н., доцент, профессор кафедры Физики, химии и инженерной графики, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина 33, e-mail: vikulov-51@mail.ru

Stanislav V. Vikulov, Dr. Sci.(Eng), Associate professor, Head of the Department of Physics, Chemistry and Engineering Graphics, Siberian State University of Water Transport (SSUWT), 630099, Novosibirsk, Schetinkina St. 33, e-mail: vikulov-51@mail.ru

Токарев Александр Олегович, д.т.н., доцент, профессор кафедры Теории корабля, судостроения и технологии материалов, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина 33, e-mail: tao51@yandex.ru

Alexander O. Tokarev, Dr. Sci.(Eng), Associate professor, Professor of the Department of Theories of Ships, Shipbuilding and Materials Technology, Siberian State University of Water Transport (SSUWT), 630099, Novosibirsk, Schetinkina St. 33, e-mail: bimbererkov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.10.2024; опубликована онлайн 20.12.2024.
Received 20.10.2024; published online 20.12.2024.