

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.128.72:539.4

ИССЛЕДОВАНИЕ УЧАСТИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ КОРПУСА КОМПОЗИТНОГО ДОКА В ВОСПРИЯТИИ УСИЛИЙ ОТ ОБЩЕГО ИЗГИБА

Алексенко В.Л.,

Херсонский государственный морской институт,

Коростылев Л.И.,

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев

Рассматриваются вопросы формирования эквивалентного бруса для композитных доков с разрезными понтонами. Анализируются результаты определения редуцированных коэффициентов настила стапель-палубы и обшивки днища дока с концевыми понтонами проекта 17750.

Ключевые слова: композитные плавучие доки, общая прочность, напряженно-деформированное состояние (НДС).

Введение. Строительство композитных доков с разрезными понтонами позволяет унифицировать процесс изготовления железобетонных понтонов с последующим соединением их выше строительной ватерлинии для формирования дока необходимой грузоподъемности. Упрощение технологии (исключение стыковки в кессоне) усложняет решение задачи обеспечения прочности. Так, например, центральный понтон дока и концевые понтоны аналогичны надстройкам (перевернутым) и к их расчету применима соответствующая теория [1]. Такой подход требует надлежащего конструктивного оформления концов понтонов в местах разрезки, т.е. срезания их под некоторым углом, что, с одной стороны, приведет к потере части плавучести – одного из главных качеств дока, с другой, усложнит технологию изготовления.

Постановка задачи. Необходимо найти компромиссное решение, позволяющее в наибольшей степени удовлетворить требованиям прочности и технологичности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- исследовать влияние конструктивных особенностей дока на величину внешних сил в условиях эксплуатации и при перегоне;
- разработать методику расчета внешних сил при общем продольном изгибе на перегоне;
- исследовать напряженно-деформированное состояние и дать рекомендации по конструктивному оформлению узлов в районе разрезки понтонов;
- разработать специфические принципы формирования эквивалентного бруса (поперечного сечения), учитывающие конструктивные

особенности, направленные на включение разрезных понтонов в общий изгиб и особенности работы бетона при растяжении-сжатии.

Цель исследований. В данной статье рассматриваются наиболее важные вопросы последней из упомянутых задач – вовлечения в общий продольный изгиб настила стапель-палубы и обшивки днища.

Результаты исследований. *Взаимодействие элементов конструкции композитного дока с концевыми понтонами при общем изгибе.*

На рисунке 1 изображена схема взаимодействия основных продольных вертикальных и горизонтальных связей корпуса дока при восприятии усилий от общего изгиба. Для удобства, диаметральной и миделевым сечениями выделена 1/4 часть корпуса, а башня и понтон условно отделены друг от друга.

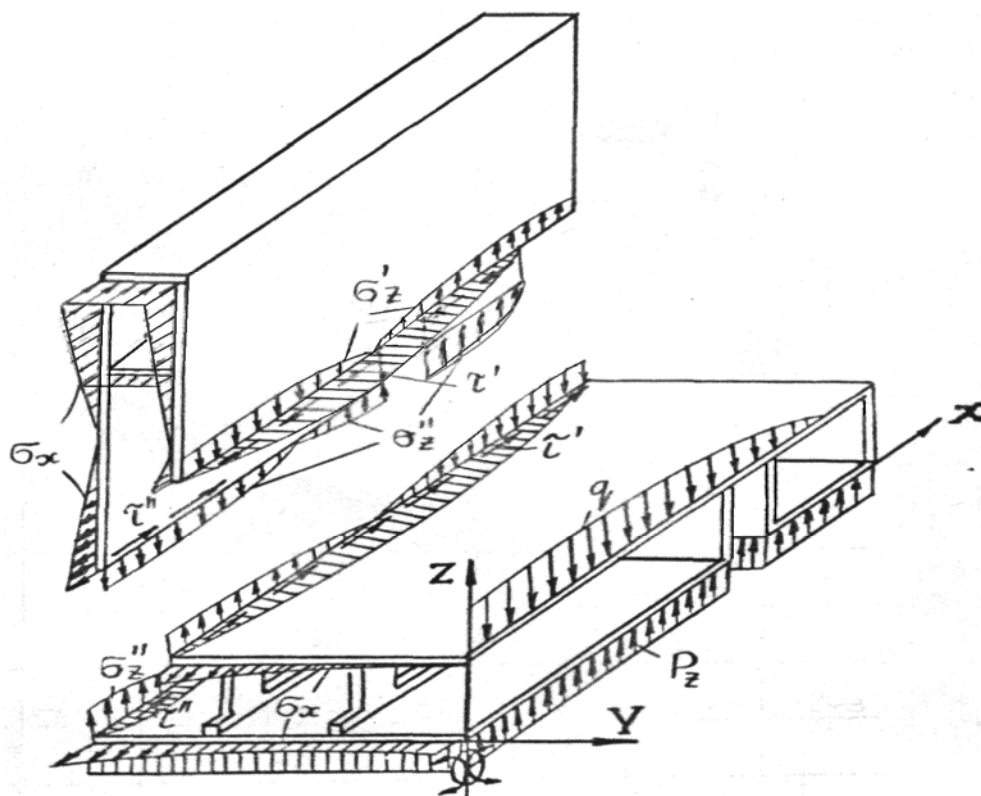


Рисунок 1. Схема взаимодействия основных конструктивных элементов дока с концевыми понтонами при общем изгибе

При эксплуатации изгиб, в основном, обусловлен действием нагрузок: q – от веса докуемого судна (на рис. 1 приложена по килевой дорожке); p_z – вертикальной составляющей гидростатического давления (силы поддержания). Эти усилия через понтон, вызывая его поперечный изгиб, передаются напряжениями σ_z' и σ_z'' к внутреннему (ВБ) и наружному (НБ) бортам соответственно, вызывая изгиб бортов.

Совместная работа бортов и горизонтальных связей (днище, палуба) обуславливает появление по линиям их соединения касательных усилий взаимодействия. Соответствующие этим усилиям касательные напряжения τ' (по линии соединения стапель-палубы и внутреннего борта) и τ'' (по линии

соединения днища и наружного борта) обеспечивают при изгибе равенство линейных деформаций по линиям стыка.

Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) дока при общем изгибе по уточненной расчетной схеме свидетельствует о том, что изгиб башен на участках, не имеющих особенностей (разрезы, вырезы, концевые сечения), с приемлемой точностью описывается балочной теорией. Однако степень вовлечения в общий изгиб продольных горизонтальных элементов неравномерна и имеет тенденцию к снижению по мере удаления от НБ и ВБ (рис. 1). При расчете на изгиб корпусов судов в рамках балочной теории это обстоятельство учитывается путем редуцирования площадей указанных связей [1, 2].

Методика расчета присоединенных поясков стапель-палубы и обшивки днища понтона дока. Учитывая конструктивное оформление [3-6] и характер вовлечения в общий изгиб, рассмотренный выше, для стапель-палубы и обшивки днища принимается единая расчетная схема: прямоугольная конструктивно-ортотропная пластина, нагруженная по линиям соединения с бортами (башнями) касательными усилиями (рис. 2).

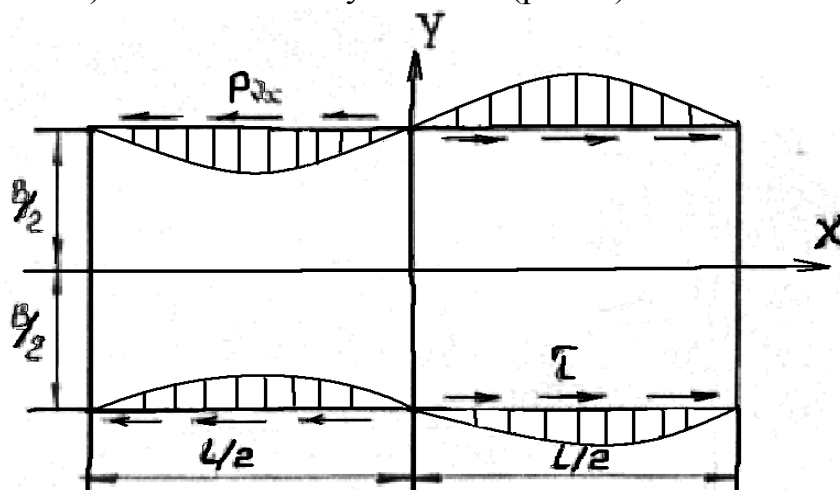


Рисунок 2. Расчетная схема стапель-палубы и днища понтона в задаче определения ширины присоединенного пояска

Поскольку геометрические характеристики поперечных сечений дока меняются мало и рассматриваемые элементы лежат на постоянных расстояниях от нейтральной оси, закон распределения касательных напряжений следует закону перерезывающих сил. Точнее этот закон может быть установлен с использованием предложенной авторами методики [7]. Однако следует учитывать, что редуциционные коэффициенты относительно малочувствительны к указанному закону [2]. По соображениям симметрии для вычисления ширины присоединенных поясков представляется возможным взамен пластины, изображенной на рисунке 2, рассматривать ее

четвертую часть, но уже с граничными условиями, представленными на рисунке 3.

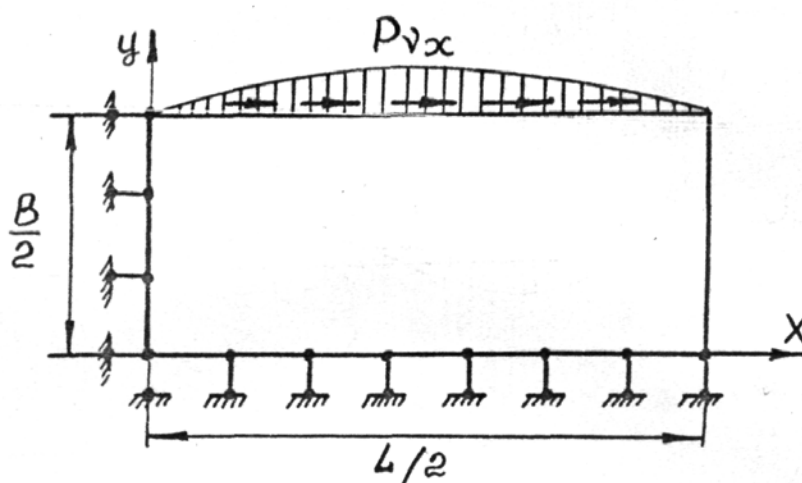


Рисунок 3. Расчетная схема

Множество элементарных связей (шарнирных стерженьков), наложенных в сечениях $x = 0$ и $y = 0$, обеспечивают выполнение имеющих в этом случае место зависимостей $u(0, y) = 0$ и $v(x, 0) = 0$. Влияние жесткости транцевой переборки (h – ее высота) учитывается введением в расчетную схему (рис. 4) усилий взаимодействия p_{vy} .

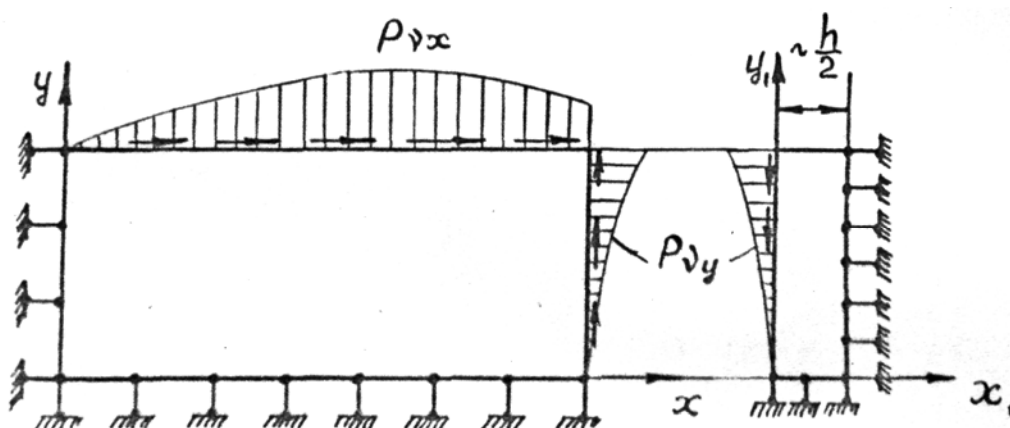


Рисунок 4. Расчетная схема, позволяющая учесть жесткость транца

Для расчёта прямоугольной конструктивно-ортотропной пластины в рамках принятой расчетной схемы наиболее эффективен и прост в реализации конечно-разностный метод решения дифференциального уравнения, описывающего её напряженно-деформированное состояние.

Краткие теоретические предпосылки, сводная таблица конечно-разностных операторов, сведение задачи к алгебре, использование в граничных условиях рамной аналогии и программная реализация алгоритма приведены в [7]. После того, как параметры НДС определены во всех

узловых точках, ширина присоединенного пояска в любом сечении определяется по формуле:

$$S = \frac{\int_a^b \sigma_x dy}{\sigma_{xk}} = \frac{\Delta y}{\sigma_{xk}} \left[\frac{\sigma_{x1} + \sigma_{xn}}{2} + \sum_{i=2}^{i=n-1} \sigma_{xi} \right] \quad (1)$$

где σ_{xi} – продольное нормальное напряжение в i -ом узле сетки данного сечения; σ_{xk} – то же на контуре ($\sigma_{xk} = \sigma_{xn}$); Δy – шаг сетки по направлению оси Y .

Результаты расчётов ширины присоединенного пояска стальной палубы и обшивки днища. Расчёты выполнены применительно к конструкциям композитного дока с концевыми понтонами проекта 17750. Учитывая несущественное отличие в армировании стальной палубы и обшивки днища в продольном и поперечном направлениях, материал при расчетах принимался изотропным. Взаимодействие с транцами не учитывалось. Рассматривались три варианта передачи усилий от бортов к стальной палубе и днищу.

Способ 1. Касательные напряжения меняются по закону изменения поперечных сил при доковании судна длиной 160 м [8].

Способ 2. Касательные напряжения меняются по линейному закону.

Способ 3. То же по синусоидальному закону.

Таблица 1. Результаты расчёта редуцированного коэффициента $\psi = s/L$

| Отстояние сечения от миделя в долях от L | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Способ 1, $\psi = s / V_{сп}$, $\gamma = V_{сп} / L = 0,174$ | 0,87 | 0,90 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Способ 2, $\psi = s / V_{сп}$, $\gamma = V_{сп} / L = 0,174$ | 0,842 | 0,941 | 0,937 | 0,918 | 0,806 |
| Способ 3, $\psi = s / B$, $\gamma = B / L_{ц} = 0,312$ | 0,751 | 0,770 | 0,853 | 1,0 | 1,0 |
| Способ 3, $\psi = s / L_{к}$, $\gamma = B / L_{к} = 2,44$ | 0,1306 | 0,1314 | 0,1342 | 0,1405 | 0,1579 |

Примечание. Здесь для дока проекта 17750: $L=180$ м, $L_{ц}=141$ м, $L_{к}=18$ м, $B=44$ м, $V_{сп}=31,4$ м.

Выводы и рекомендации.

Анализ НДС прямоугольных пластин, нагруженных согласно схеме на рисунке 2, показал известную тенденцию [2] к уменьшению вовлеченности в деформации по мере удаления от нагруженных кромок для области, прилегающей к сечению $x = 0$. Ширина присоединенного пояска оказывается при этом слабо связанной с формой нагрузки [2] и зависит преимущественно от параметра удлиненности $\gamma = B / L$.

В периферийных областях пластин (ближе к свободным от нагрузки кромкам $x = \pm L/2$), ширина присоединенных поясков зависит как от γ , так и от формы нагрузки.

При синусоидальной нагрузке ширина присоединенных поясков имеет тенденцию к росту по мере удаления от миделевого сечения. При нагрузках с возрастанием интенсивности от сечения $x = 0$ к сечениям $x = \pm L/2$ – к уменьшению (табл. 1).

На практике усилия взаимодействия между бортами и горизонтальными продольными связями корпуса дока меняются по закону близкому к синусоидальному.

Поэтому при проверке прочности сечений дока между миделем и транцами следует принимать, по крайней мере, то же значение редуцированного коэффициента, что и на миделе.

Если армирование стапель-палубы и днища выполнено в продольном и поперечном направлениях с близкими коэффициентами армирования, то редуцированные коэффициенты могут быть взяты согласно [2, стр. 141, табл. 6.3], как для изотропного материала.

При существенно разных коэффициентах армирования следует выполнить специальный расчет по методике, предложенной в данной работе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Короткин Я.И., Ростовцев Д.М., Сивере Н.Л. Прочность корабля. – Л.: Судостроение, 1974. – 432 с.
2. Строительная механика корабля и теория упругости: учеб. для вузов. – в 2 т. – Л.: Судостроение, 1987.
- Т. 1. Постнов В.А., Суслов В.П. Теория упругости и численные методы решения задач строительной механики корабля. – 228 с.
3. Конструкция и прочность железобетонных судов / [Синцов Г.М., Либов Ю.А., Антипов В.А., Лакин Е.И.]. – Л.: Судостроение, 1969. – 384 с.
4. Слуцкий Н.Г. Оптимизация железобетонных конструкций понтона композитного плавучего дока // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 4(427). – С. 78-83.
5. Коростылёв Л.И., Клименков С.Ю., Слуцкий Н.Г. Расчёт прочности железобетонных конструкций понтона композитного плавучего дока методом конечных элементов // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 5(428). – С. 3-8.
6. Правила постройки корпусов судов и плавучих сооружений. Регістр судноплавства України. – К.: Регістр судноплавства України, 2007. – 120 с.
7. Отчёт о научно-исследовательской работе «Исследование прочности корпуса композитного дока с концевыми понтонами при эксплуатации и перегоне» (заключительный), № гос. рег. 01890035234. – Николаев, НКИ, 1989. – 234 с.
8. Расчет общей прочности дока при эксплуатации. 17750-ОП-002. – Херсон: ЦКБ «Изумруд», 1987.

Алексенко В.Л., Коростильов Л.І. ДОСЛІДЖЕННЯ УЧАСТІ ПОДОВЖНИХ ЗВ'ЯЗКІВ КОРПУСУ КОМПОЗИТНОГО ДОКА У СПРИЙНЯТТІ ЗУСИЛЬ ВІД ЗАГАЛЬНОГО ВИГИНУ

Розглядаються питання формування еквівалентного бруса для композитних доків із розрізними понтонами. Аналізуються результати визначення редуційних коефіцієнтів настилу стапель-палуби та обшивки днища доку з кінцевими понтонами проекту 17750.

Ключові слова: композитні плавучі доки, загальна міцність, напружено-деформований стан.

Aleksenko V.L., Korostylyov L.I. RESEARCH OF PARTICIPATION OF LONGITUDINAL BRACES OF THE COMPOSITE DOCK HULL IN PERCEPTION OF EFFORTS FROM THE OVER-ALL BENDING

Some problems of formation of the equivalent girder for composite docks with cutting pontoons are considered. The results of determination of reduction factors of the pontoon deck flooring and plating of the dock bottom with trailer pontoons of the project 17750 are analyzed.

Key words: composite docks, general durability, stressedly-deformed stage.