

DOI 10.15589/jnn20160304

УДК 629.5.015.4

K68

**ABOUT SHIP HULLS STRENGTH
DURING THE LIFTING ON THE SHORT SLIPWAY****О ПРОЧНОСТИ КОРПУСА СУДОВ
ПРИ ПОДЪЕМЕ НА КОРОТКОМ СЛИПЕ****Leontii I. Korostylov**

leontyy.korostilyov@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-4370-3270

Yevhen Yu. Diadiura

yevgen.diadiura@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-6527-8041

Dmytro Yu. Litvinenko

litvinen@inbox.ru

ORCID: 0000-0003-2948-8698

Yaroslav Ol. Martychenko

grapua@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3027-5115

Л. И. Коростылёв,

д-р техн. наук, проф.

Е. Ю. Дядюра,

зав. лаб.

Д. Ю. Литвиненко,

асп.

Я. О. Мартыченко,

студ.

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv**Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев*

Abstract. The suggestion to take from the water barge hulls of NBL-90 project by using of the slipway of the ship-building and repair yard «Nibulon» has been discussed. The ship hull mounted on the launching dollies has significant overhanging parts with 19,5 m. length considering from the latter launching dolly. The overall length and total weight of the ship hull is 90 m. and 900 t. correspondingly. The goal of the research is to carry out local strength and buckling analysis of thin-walled bottom structures of the barge hull in the region of the closest to the bow and the stern launching dollies. The engineer's beam theory was used for assessment of stresses in webs of floors taking into account the influence of attached plating with large width. The buckling analysis of web structural elements of floors with cutouts was performed according to the guiding document GD 5.1037-80. It has been shown by analysis of actual buckling load safety factors that the stability condition is not satisfied. The disregarding of that fact may lead to the buckling of webs of floors with subsequent plastic deformation of ship bottom structures. The developed approach to the solution of the problem may be used for assessing the possibility of failure during the moving of vessels of combined river-sea navigation types with significant overhanging parts from the water.

Keywords: slipway; launching dollies; web of floor; critical buckling stress; safety factor for buckling.

Аннотация. Рассмотрен вариант подъема корпуса баржи проекта NBL-90 со значительными свисающими частями на спуско-подъемном слипе судостроительно-судоремонтного завода «Нибулон». Проведена оценка местной прочности и устойчивости тонкостенных элементов днищевых конструкций корпуса в сечениях крайних тележек спуско-подъемного устройства слипа. Результаты расчетов указывают на невозможность безопасного выполнения данной операции при подъемной массе рассмотренного варианта.

Ключевые слова: спуско-подъемный слип; косяковые тележки; стенка флора; эйлеровы напряжения; коэффициент запаса устойчивости.

Анотація. Розглянуто варіант підйому корпусу баржі проекту NBL-90 зі значними звисаючими частинами на спуско-підйомному сліпі суднобудівно-судноремонтного заводу «Нибулон». Проведено оцінку місцевої міцності й стійкості тонкостінних елементів днищевих конструкцій корпусу в перерізах крайніх візків спуско-підйомного устаткування слипу. Результати розрахунків вказують на неможливість безпечного виконання даної операції при підйомній масі розглянутого варіанту.

Ключові слова: спуско-підйомний слип; косякові візки; стінка флора; ейлерові напруження; коефіцієнт запасу стійкості.

REFERENCES

- [1] Suslov V. P., Kochanov Yu. P., Spikhtarenko V. N. *Stroitel'naya mekhanika korablya i osnovy teorii uprugosti* [Ship structural mechanics and fundamentals of theory of elasticity]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1972. 720 p.
- [2] *Rukovodyashchiy document RD 5.1037-80. Nabor sudovoy. Vyrezy v nabore. Normy i pravila proektirovaniya* [Guidance document RD 5.1037-80. Ship framing. Cutouts in ship framing. Codes and rules of structural design]. 64 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В процессе эксплуатационного периода судов возникает необходимость их подъема для выполнения различных ремонтных работ. Такие операции всегда являются ответственными, особенно для судов со значительными свисающими частями.

Операции подъема корпусов со свисающими частями практически реализуется с использованием коротких плавучих доков, а также слипов малой длины. В каждом конкретном случае необходимо производить оценку прочности, чтобы осуществить подъем судна без аварийных ситуаций. Учитывая, что корпуса судов смешанного плавания относительно гибкие, необходимо в обязательном порядке оценить не только их общую, но и местную прочность, особенно в районе свеса. Наиболее опасными могут быть ситуации, когда не обеспечивается местная прочность и устойчивость элементов днищевых конструкций. Поэтому при подъеме судов с большими свисающими частями необходимо в первую очередь давать оценку местной прочности и устойчивости тонкостенных элементов днищевых корпусных конструкций на давления, возникающие при такой операции.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ — оценка местной прочности и устойчивости тонкостенных элементов днищевых конструкций корпуса баржи проекта NBL-90 в предположении ее подъема с большими свисающими частями на слипе судостроительно-судоремонтного завода «Нибулон».

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Исходными данными для выполнения указанных расчетов являются уровни давлений от шести косяковых тележек, возникающих при подъеме баржи про-

екта NBL-90 длиной $L = 90$ м на спуско-подъемном слипе, длина которого составляет 51 м. При симметричном расположении корпуса относительно спуско-подъемного устройства свисающие части в носу и корме будут длиной 19,5 м. Расчетная схема корпуса как балки, лежащей на разрывном упругом основании, представлена на рис. 1.

Учитывая конструктивные особенности корпуса баржи, можно полагать, что исследуемая балка имеет постоянную по длине изгибную жесткость EI с моментом инерции площади сечения I . Материал корпуса — сталь 3 с пределом текучести $\sigma_T = 235$ МПа и модулем упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа. Корпус баржи порожнем с люковыми закрытиями имеет массу $P = 900$ т с практически равномерным ее распределением по длине судна.

Верхняя деревянная часть косяковых тележек слипа, состоящая из верхнего слоя — сосны и нижнего — дуба при толщинах каждого слоя $t = 0,2$ м, создает равномерное упругое основание по ширине косяковых тележек $s = 2,5$ м.

Очевидно, наибольшее давление на корпус будет у крайних тележек (носовой и кормовой). При этом по их ширине давление может существенно меняться с максимальной величиной на краях тележек в нос и в корму.

Определение давлений на корпус (реакций упругого основания) выполнено методом конечных элементов с использованием расчетного комплекса. По ширине косяковой тележки корпус судна представлялся совокупностью 20-ти конечных элементов, матрица жесткости которых учитывает изгибные и сдвиговые деформации. Коэффициент жесткости упругого

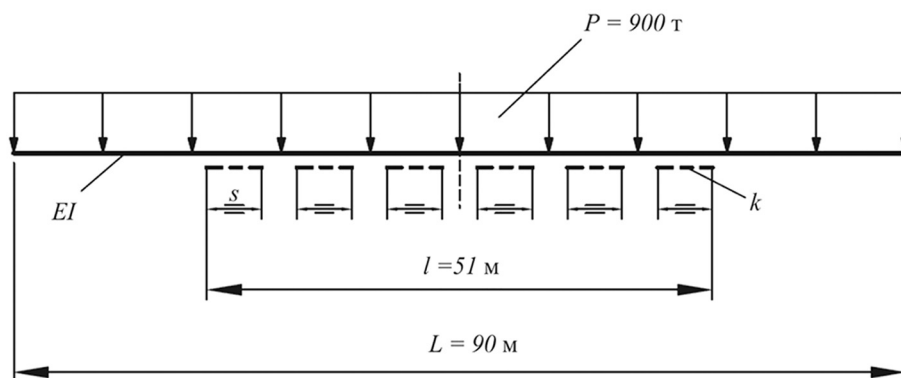


Рис. 1. Расчетная схема корпуса как балки, лежащей на разрывном упругом основании

основания k принимался равным $1,3 \cdot 10^6$ кН/м и $1,4 \cdot 10^6$ кН/м, что соответствует справочным данным по механическим характеристикам сосны и дуба.

На рис. 2 изображено распределение погонной интенсивности реакции r по ширине крайней тележки при двух значениях погонного коэффициента жесткости k . Как показывают результаты расчета, по ширине тележек интенсивность реакций изменяется почти в два раза.

Суммарная реакция на крайних косяковых тележках составляет 380,24 и 383,7 т при погонном коэффициенте жесткости основания k , равном соответственно $1,3 \cdot 10^6$ и $1,4 \cdot 10^6$ кН/м. Так как эти реакции практически близки по величине, то при расчете устойчивости стенок флоров в районе крайних тележек принята величина $Q = 390$ т.

Для нахождения напряжений в стенках флоров использована техническая теория изгиба балок с широкими присоединенными поясками [1], ширину которых берем по существующим в строительной механике корабля рекомендациям. Поперечное сечение такой балки и результаты расчета геометрических характеристик (положение нейтральной оси e , момента инерции площади поперечного сечения I , минимального момента сопротивления W_{min} и площади поперечного сечения стенки флора ω) представлены на рис. 3.

Расчет устойчивости стенки флоров необходимо производить с учетом одновременного действия нормальных σ и касательных τ напряжений в отдельных его элементах. Эти напряжения определяются через соответствующие значения изгибающего момента и перерезывающей силы в конкретных сечениях флора.

Исходя из того, что установление уровня заделки в концевых сечениях флора у двойного борта является сложной задачей и требует специального расчета, рассмотрены два крайних случая: свободное (шар-

нирное) опирание и жесткая заделка на жесткой опоре. Расчетные схемы для этих случаев изображены на рис. 4. Там же показаны эпюры перерезывающих сил N и изгибающих моментов M вдоль флора.

Результаты расчетов перерезывающих сил и изгибающих моментов в сечениях стенки флора, где устроены центрально расположенные вырезы больших размеров (на рис. 4 отмечены « $\times$ » и обозначены цифрами), при действии распределенной нагрузки q представлены в таблице 1.

Максимальные нормальные σ_{max} и средние касательные τ напряжения в сечениях флора определены по формулам $\sigma_{max} = M/W_{min}$; $\tau = N/\omega$ и обозначены в таблице 2.

Анализ представленных в таблице 2 напряжений σ_{max} и τ показывает, что в обеих расчетных схемах значения одного из них превышают соответствующий предел текучести материала $\sigma_T = 235$ МПа и $\tau_T = 0,57 \sigma_T$ во всех рассматриваемых сечениях флора.

Оценка устойчивости элементов стенки флора, в которых устроены вырезы, выполнена согласно отраслевому руководящему документу РД 5.1037-80 [2]. Расчетная схема для нахождения фактического коэффициента устойчивости η_ϕ при двухкомпонентном напряженном состоянии в стенке флора изображена на рис. 5.

Определение коэффициента устойчивости выполнено для всех элементов стенки, имеющих вырезы. В таблице 3 представлены результаты расчета эйлеровых касательных напряжений τ_ϕ и фактического коэффициента устойчивости $\eta_\phi = \tau_\phi/\tau$ для отмеченных на рис. 4 элементов стенки. При этом эйлеровы напряжения при однокомпонентном нагружении стенки с вырезом вычислялись по формулам:

$$\tau_\phi = 100 \left(\frac{100S}{H} \right)^2 (1 - \lambda) \text{ МПа};$$

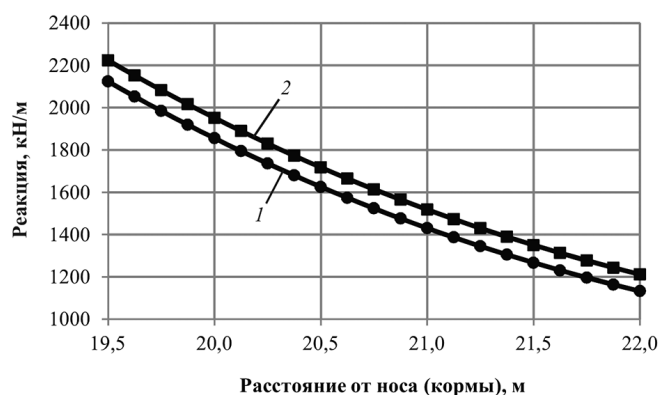


Рис. 2. Распределение интенсивности реакции по ширине крайних тележек:

1 — при коэффициенте жесткости $k = 1,3 \cdot 10^6$ кН/м; 2 — при $k = 1,4 \cdot 10^6$ кН/м

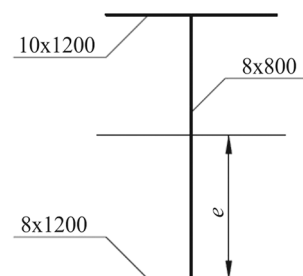


Рис. 3. Поперечное сечение флора и его геометрические характеристики:

$e = 0,44$ м; $I = 9,44 \cdot 10^{-3}$ м⁴; $W_{min} = 2,49 \cdot 10^{-2}$ м³; $\omega = 6,40 \cdot 10^{-3}$ м²

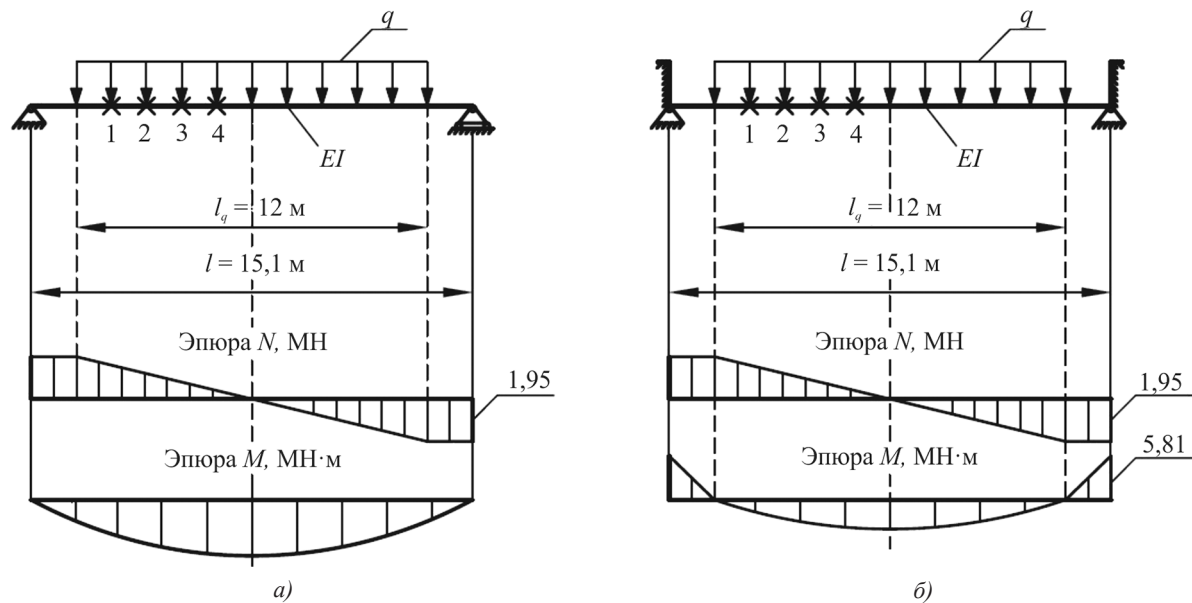


Рис. 4. Расчетные схемы флора и эпюры перерезывающей силы N и изгибающего момента M :

а) шарнирное опирание; б) жесткая заделка

Таблица 1. Абсолютные значения величин перерезывающих сил N (МН) и изгибающих моментов M (МН·м) в сечениях флора

Расчетная схема	Сечения флора							
	1		2		3		4	
	M	N	M	N	M	N	M	N
Рис. 4, а	4,65	1,66	6,40	1,27	8,16	0,68	8,74	0,3
Рис. 4, б	1,17	1,66	0,59	1,27	2,34	0,68	2,93	0,3

Таблица 2. Максимальные нормальные $\sigma_{\max}$ (МПа) и касательные τ (МПа) напряжения в сечениях флора

Расчетная схема	Сечения флора							
	1		2		3		4	
	$\sigma_{\max}$	τ	$\sigma_{\max}$	τ	$\sigma_{\max}$	τ	$\sigma_{\max}$	τ
Рис. 4, а	187	259	257	198	327	107	351	46
Рис. 4, б	47	259	24	198	94	107	118	46

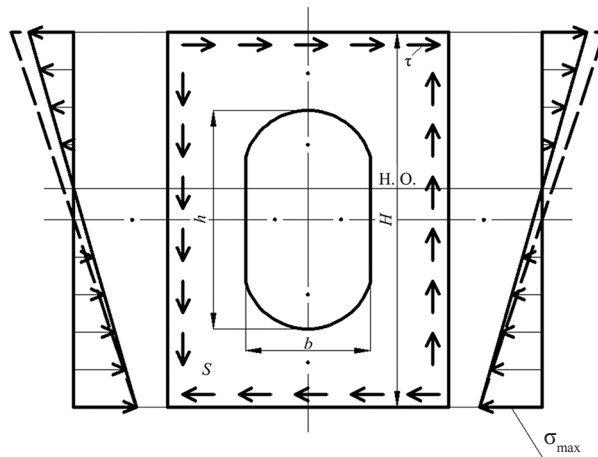


Рис. 5. Расчетная схема элемента стенки флора с вырезом

$$\sigma_{\sigma} = 500 \left(\frac{100S}{H} \right)^2 (1 - \lambda) \text{ МПа,}$$

где S — толщина стенки флора, а $\lambda = h/H$ — относительный параметр выреза.

Согласно РД 5.1037-80 условие достаточной устойчивости для тонкостенных элементов балок с вырезами имеет вид:

$$\eta_{\phi} \geq [\eta] = 1,5,$$

где $[\eta]$ — нормативный коэффициент запаса устойчивости.

Анализ результатов расчета коэффициентов η_{ϕ} , представленных в таблице 3, показывает, что условие устойчивости не выполняется для всех элемен-

Таблица 3. Эйлеровы напряжения τ_z и фактический коэффициент устойчивости η_ϕ в элементах стенки флора

Расчетные величины		Сечения флора (элементы стенки), рис. 4			
		1	2	3	4
λ		0,375	0,5	0,625	0,625
τ_z° , МПа		62,5	50	37,5	37,5
σ_z° , МПа		312,5	250	187,5	187,5
τ_z , МПа	Рис. 4, а	54,6	39,7	23,1	14,7
	Рис. 4, б	60,3	48,8	31,5	24,6
η_ϕ	Рис. 4, а	0,21	0,2	0,22	0,32
	Рис. 4, б	0,23	0,25	0,29	0,53

тов стенки флора как при условии его шарнирного опирания (рис. 4, а), так и при жесткой заделке (рис. 4, б). С учетом же отступления от закона Гука критические касательные напряжения $\tau_{кр}$ будут меньше эйлеровых τ_z и, естественно, фактический коэффициент устойчивости окажется несколько меньшим, чем представлено в таблице 3. Таким образом, при расчетном давлении на флоры крайних косяковых тележек $Q = 390$ т произойдет потеря устойчивости стенки флора с последующими пластическими деформациями днища.

ВЫВОДЫ. 1. Подъем баржи проекта NBL-90 массой 900 тонн на коротком слипе судостроительно-судоремонтного завода «Нибулон» невозможен из-

за потери устойчивости стенками флоров в районе крайних косяковых тележек от суммарного давления 390 тонн.

2. Уменьшение суммарного давления на флоры в районе крайних тележек возможно при подъеме баржи массой 780 тонн без люковых закрытий. Однако и в этом случае необходимо произвести оценку устойчивости стенок флоров с вырезами.

3. Для более существенного снижения давления на флоры необходимо уменьшить длины свисающих частей корпуса баржи или практически их исключить путем установки дополнительных тележек, увеличивая длину спуско-подъемного устройства слипа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Сулов, В. П. Строительная механика корабля и основы теории упругости [Текст] / В. П. Сулов, Ю. П. Кочанов, В. Н. Спихтаренко. — Л. : Судостроение, 1972. — 720 с.
- [2] Руководящий документ РД 5.1037-80. Набор судовой. Вырезы в наборе. Нормы и правила проектирования [Текст]. — 64 с.

© Л. И. Коростильов, Є. Ю. Дядюра, Д. Ю. Литвиненко, Я. О. Мартиченко

Надійшла до редколегії 18.07.2016

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК

д-р техн. наук, проф. Ю. М. Коробанов