

УДК 627.019

DOI: 10.31653/2306-5761.33.2022.122-127

## THE OPERABILITY OF THE BOTTOM COVER OF SHIPS ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ДНИЩОВИХ ПЕРЕКРИТТІВ СУДЕН

V. Siriachenko, PhD, associate professor

В.Ф. Сіряченко, к.т.н., доцент

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

### ABSTRACT

*The calculation of any ship's floor can be performed in two ways: within the elastic deformations or by assuming the plasticity of the structure. In the first case, the dangerous condition is the moment of occurrence of dangerous stress at one point of the structure, and in the second - the occurrence of plastic hinges in the support cross-sections. It is known that the assessment of the state of the structure by stress at one point does not give a complete picture of the strength reserves of the structure as a whole, the second approach gives a more objective picture of the possibilities of the structure and will allow in the future to assess factors such as etc.*

*Methods of elastic calculation are well-developed today, there are programs based on the finite element method (FEM). The second approach to the problem is still insufficiently mastered. The paper shows that the features of the topology of the structure, calculated in different ways, differently assess its load-bearing capacity. The approximately uniform design of the elastic region, designed according to the rules of the register or the calculation method, is uneven in the limit state, and this is reflected in the assessment of the condition of the worn vessel. Pre-studies have shown that factors such as the length of the vessel, the length of the hold, the total bending stress have different effects on the load-bearing capacity of the structure. In modern normative documents, the main attention is paid to the study of conditional stresses from operating loads, and limit stresses are normalized only for a limited list of structures. This list should be expanded. Of course, this will require further research into the assignment of allowable stresses.*

**Keywords:** violation of the shape and integrity of the structure, cracks of tired or fragile nature, plastic hinges (sliding or rotary hinges), ultimate load, uniform construction of the elastic region, uneven structure in the ultimate state, bottom overlaps of dry cargo vessel.

### Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Небезпечним станом конструкції є порушення її форми та цілісності, так звана «відмова» конструкції. Відмови перешкоджають нормальній експлуатації та вимагають ремонту конструкції. Спотворення форми відбувається внаслідок появи залишкових деформацій або втрати стійкості при одноразовому або багаторазовому навантаженні, коли навантаження, що діють, перевищать деяке граничне значення [1,2]. Порушення цілісності конструкції відбувається при появі тріщин втомної або крихкої природи. У першому випадку відбувається вичерпання втомного ресурсу в зонах концентрації напруг (при різкій зміні форми перерізу балок, у зоні вирізів та дефектів конструкції або дефектів зварних швів) при знакозмінних навантаженнях, у другому випадку – при низьких температурах та ударному характері навантажень. Втомні тріщини можуть ініціювати крихкі тріщини [3].

Працездатність конструкцій судна залежить від ймовірності появи відмов. Конструкція розраховується у припущенні пружної роботи всіх її елементів у межах закону Гука або поза межами пружності, але допускається поява пластичних деформацій у вузлах, так звані пластичні шарніри (зсувні або шарніри обертання).

У цих вузлах зникають опорні реакції та моменти. Конструкція продовжує працювати в пружній зоні, але напруги збільшуються, несуча здатність падає і подальша експлуатація конструкції може призвести до фатальних наслідків. Такий стан конструкції називається граничним станом або вичерпанням здатності, що несе.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**

Алгоритми пружної роботи конструкції в даний час розроблені досить докладно, є потужні програми на основі метода кінцевого елемента, що дозволяють в принципі розрахувати будь-яку складну конструкцію та визначити напругу та деформацію в кожній точці. Однак, напруги в точці не характеризують міцність усієї конструкції і дають неправильне уявлення про її запас міцності. Розрахунки по граничним навантаженням краще відображають фізику явища, але, як правило, за сучасними запереченнями відіграють допоміжну роль, хоча вони простіші і наочніші, але менш розроблені, особливо в частині напруг, що допускаються [4,]. Результати розрахунків зазначеними способами не завжди збігаються і це позначається в оцінці стану зношеного судна. Приблизно рівномічна конструкція пружної області, спроектована за правилами реєстру або розрахунковим методом, виявляється нерівномірною в граничному стані.

У сучасних нормативних документах основна увага приділяється контролю умовних напруг від експлуатаційного навантаження, а граничне навантаження нормується для обмеженого переліку конструкцій, наприклад, бортів у середній частині судна, конструкцій країв.

Поведінка конструкції поза пружності залежить від характеру навантаження оскільки гранична міцність конструкції різна при циклічному навантаженні, коли відбувається накопичення пластичних деформацій, і монотонної. На працездатність конструкцій впливають різні фактори: тріщиностійкість, корозія, граничні умови та ін, [5,6]. Граничні значення перерізувальних сил у зсувному шарнірі та в шарнірах обертання у флорах були отримані в роботі [4].

### **Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів**

Результати розрахунків зазначеними способами не завжди збігаються і це позначається в оцінці стану зношеного судна. Приблизно рівномічна конструкція пружної області, спроектована за правилами реєстру або розрахунковим методом, виявляється нерівномірною в граничному стані [7].

Для перевірки останнього затвердження за правилами реєстру було спроектовано днищові перекриття трьох суховантажних суден завдовжки 120, 160 та 200 м, з урахуванням добавок на корозійне зношування. Товщина зв'язків визначалася для нового судна та через 12 та 24 роки експлуатації ( $T = 0,12,24$ ). Для флорів, вертикального кіля і стрингерів були обчислені величини граничних навантажень з урахуванням корозії та напруги від загального вигину для повздовжніх зв'язків. Граничні значення перерізувальних сил у зсувному шарнірі

$$N_0 = 0,1 f_c \varphi_N \tau_T,$$

де  $f_c$  – площа стінки в опорном перерізі,  $\varphi_N = 2 \frac{\tau_{гр}}{1 + \tau_{гр}^2}$  – редуційний коефіцієнт,

$$\tau_T = 0,57 \sigma_T \text{ – межа плинності при зсуві,}$$

$$\overline{\tau_{гр}} = \frac{\tau_{гр}}{\tau_T}.$$

Граничні значення перерізувальних сил повздовжніх зв'язків

$$N_{гр} = N_0 \sqrt{1 - \sigma_1^2}, \quad \sigma_1 = \frac{\sigma_1^{гр}}{\sigma_T} \quad \sigma_1^{гр} \text{ – значення напруги загального згибу.}$$

Граничне значення згинального моменту у шарнірі обертання визначалося за формулою

$$M_o = W_{\tau}^{\text{пп}} \sigma_{\tau} ,$$

де  $W_{\tau}^{\text{пп}}$  – наведений пластичний момент опору з урахуванням редукування пояска, що відчуває плоский напружений стан.

Граничне навантаження на днище переkritтя визначалася для двох схем руйнування: шарніри зсуву по всьому опорному контуру; шарніри зсуву у повздовжніх зв'язках та шарніри обертання у флорах.

У першому випадку граничне навантаження дорівнює:

$$P_{\text{гр1}} = 2 \frac{N_{\text{фл}}^{\text{оп}}}{al} + 2 \frac{N_{\text{к}}^{\text{оп}}}{aln} + 4 \frac{\sum_i N_{\text{стр}i}^{\text{оп}}}{aln},$$

де  $N_{\text{фл}}^{\text{оп}}$ ,  $N_{\text{к}}^{\text{оп}}$ ,  $N_{\text{стр}i}^{\text{оп}}$  – граничні значення перерізувальних сил на флорах, киле і стрингерах, а – відстань проміж флорами,  $L_1$  – довжина трюма, n – кількість флорів.

В таб. 1, 2 та рис.1, 2 дається граничне навантаження на днище в залежності від віку судна, довжини трюму з урахуванням корозії та напруги від загального вигину для двох схем руйнування днища.

Таблиця 1. Граничне навантаження на днище в залежності від віку судна, довжини трюму з урахуванням корозії та напруги від загального вигину для першої схеми руйнування днища

$L_1$ , м	Т, лет	$N_{\text{фл}}^{\text{оп}}$ , кн	$N_{\text{к}}^{\text{оп}}$ кн	$N_{\text{стр}}^{\text{оп}}$ кн	$P_{\text{гр1}}$ кпа
16,8	0	2251	4056	3043	207,3
	12	1801	3570	2579	172,7
	24	1321	3094	2127	137,7
24,0	0	2251	4395	3718	181,2
	12	1801	3900	3239	152,5
	24	1321	3416	2772	123,2
28,8	0	2251	4733	4226	173,2
	12	1801	4231	3735	146,6
	24	1321	3738	3256	119,4

Таблиця 2. Граничне навантаження на днище в залежності від віку судна, довжини трюму з урахуванням корозії та напруги від загального вигину для другої схеми руйнування днища

$L_1$ , м	Т, лет	$M_o$ , кн м	$N_{\text{к}}^{\text{оп}}$ кн м	$N_{\text{стр}}^{\text{оп}}$ кн м	$P_{\text{гр2}}$ кпа
16,8	0	9492	4056	3043	174,5
	12	7886	3570	2579	147,5
	24	6381	3094	2127	122,0
24,0	0	9492	4395	3718	158,2
	12	7886	3900	3239	133,9
	24	6381	3416	2772	111,0
28,8	0	9492	4733	4226	153,1
	12	7886	4231	3735	129,8
	24	6381	3738	3256	107,8

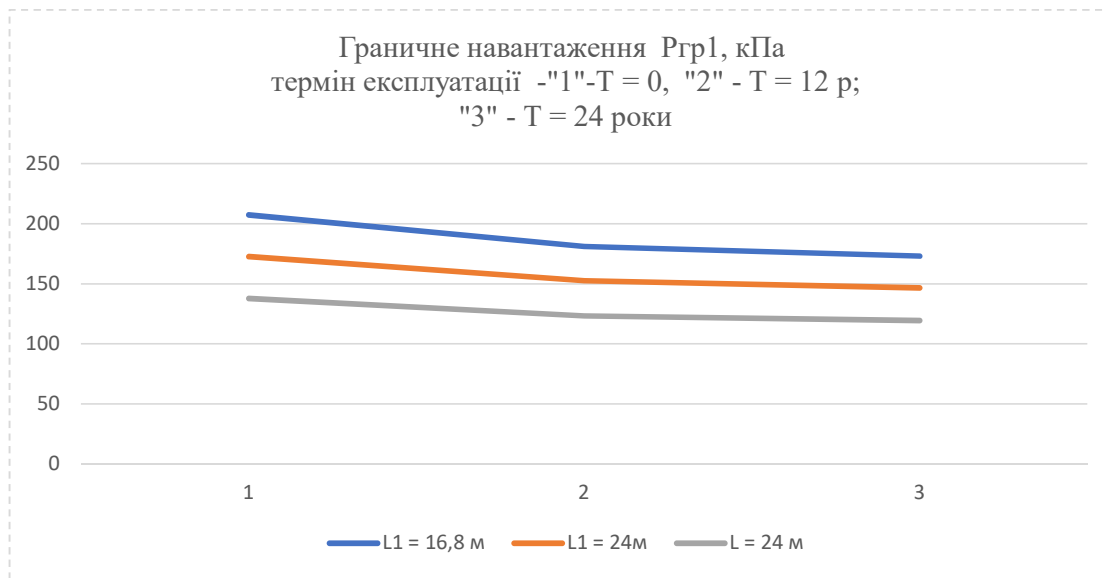


Рис.1. Граничне навантаження при шарнірах зсуву по всьому опорному контуру

$$\text{В другому випадку } P_{гр2} = \frac{8}{al^2} (M_{фл}^{оп} + M_{фл}^{пр}) + \frac{4}{aln} (N_{к}^{оп} + 2 \sum_i N_{стри}^{оп} 2 \frac{c_i}{l_i}),$$

де  $M_{фл}^{оп}$ ,  $M_{фл}^{пр}$  – граничні моменти на опорі та в прольоті флора,  $M_{фл}^{оп} = M_{фл}^{пр} = M_0$ ,  $c_i$  – відстань проміж стрингерами.

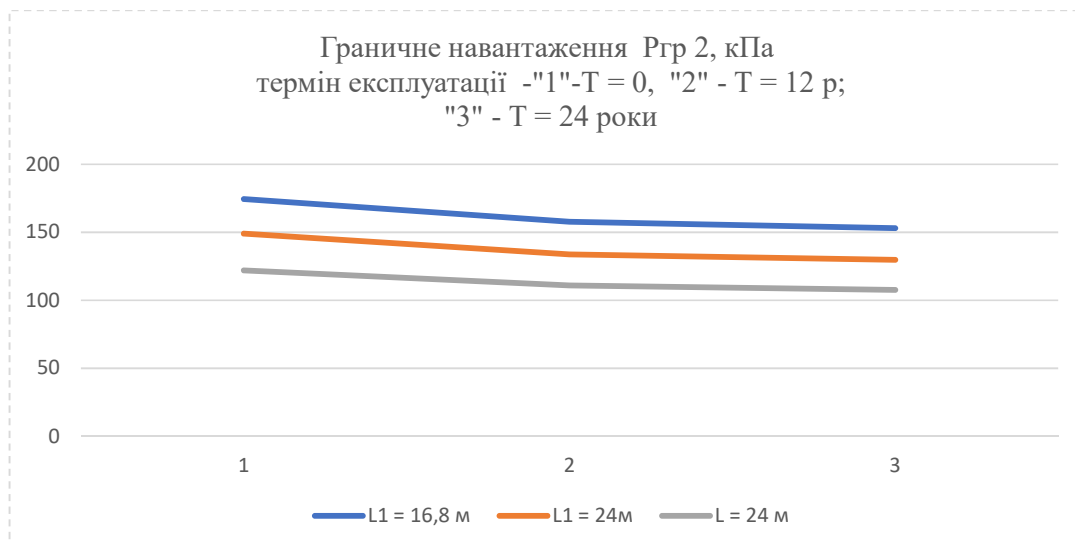


Рис.2. Граничне навантаження при шарнірах зсуву у повздовжніх зв'язках та шарнірах обертання у флорах

### Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

Встановлено такі особливості роботи днищових конструкцій.

1. Зі збільшенням довжини перекриття його несуча здатність падає за рахунок зменшення граничного навантаження повздовжніх зв'язків. При цьому товщина флор не залежить від довжини перекриття.

2. Розрахункові механізми руйнування залежить від довжини судна. Для довгих суден розрахунковою є схема руйнування зі зсувними шарнірами на опорах повздовжніх зв'язків та

шарніри обертання на флорах, для коротких суден – зсувні шарніри на опорах повздовжніх зв'язків та флорах.

3. Рівномірний знос зв'язків по-різному позначається на ступені вичерпання несучої здатності судів різних довжин. Для довгих суден вичерпання несучої здатності може відбуватися раніше середнього терміну експлуатації 20–25 років. Тому для довгих суден має сенс переглянути систему заходів із захисту конструкцій від корозії.

5. Розміри поздовжньої шпациї не позначаються на величині граничного навантаження для існуючих довжин трюмів, так як визначальним для вертикального кіля і стрінгера є шарнір зсуву на поперечній переборці.

4. Несуча здатність днищових перекриттів істотно залежить від напруги загального вигину. Збільшення напруги в результаті втрати стійкості зв'язків судна, наприклад для  $L = 120$  м і поперечної системи набору може становити 40%, а при повздовжній – 15–20%. Ця обставина не враховується у формулі МАКО.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Козляков В. В. Об использовании метода предельных нагрузок при проектировании конструкций корпусов газозовов / Труды НКИ. Строительная механика корабля. – Николаев, 1981. Вып. 175. – С. 38–49.
2. Короткин Я. И. Вопросы прочности морских транспортных судов. – Л., Судостроение, 1965. – 387 с.
3. Liu, B., Soares, C. G. (2020). Ultimate strength assessment of ship hull structures subjected to cyclic bending moments. *Ocean Engineering*, (215), 107685, ISSN 0029-8018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107685>
4. Козляков В. В. Оценка местной прочности судовых пластин, балок и перекрытий. Методические указания. – Одесса, 1987. – 78 с.
5. Nguyen, C. T., Oterkus, S. (2020). Investigating the effect of brittle crack propagation on the strength of ship structures by using peridynamics. *Ocean Engineering*, (209), 107472, ISSN 0029-8018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107472>
6. Babazadeh, A., Khedmati, M. R. (2018). Ultimate strength of cracked ship structural elements and systems: A review. *Engineering Failure Analysis*, (89), 242-257, ISSN 1350-6307, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.03.003>
7. Сіряченко В. Ф., Власенко, Є. А. Несуча здатність люкових кришок / Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції, Інновації в суднобудуванні та океанотехніці, Миколаїв: 2019, 448 с. Режим доступу: <https://nuos.edu.ua/nauka/konferencii/konferencii-2019-roku/h-mizhnarodna-naukovo-tehnichna-konferenciya-innovacii-v-sudnobuduvanni-ta-oceanotehnici/> (переглянуто 2022-02-16)

## REFERENCES

1. Kozlyakov V. V. Ob ispolzovanii metoda predelnykh nagruzok pri proektirovanii konstruksiy korpusov gazozovov / Trudy NKI. Stroitel'naya mekhanika korablya. – Nikolaev, 1981. Vyp. 175. – S. 38–49. [in Russian]
2. Korotkin Ya. I. Voprosy prochnosti morskikh transportnykh sudov. – L., Sudostroenie, 1965. – 387 s. 6. [in Russian]
3. Liu, B., Soares, C. G. (2020). Ultimate strength assessment of ship hull structures subjected to cyclic bending moments. *Ocean Engineering*, (215), 107685, ISSN 0029-8018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107685>

4. Kozlyakov V. V. Otsenka mestnoy prochnosti sudovykh plastin, balok i perekrytiy. Metodicheskie ukazaniya. – Odessa, 1987. – 78 s. [in Russian]
5. Nguyen, C. T., Oterkus, S. (2020). Investigating the effect of brittle crack propagation on the strength of ship structures by using peridynamics. *Ocean Engineering*, (209), 107472, ISSN 0029-8018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107472>
6. Babazadeh, A., Khedmati, M. R. (2018). Ultimate strength of cracked ship structural elements and systems: A review. *Engineering Failure Analysis*, (89), 242-257, ISSN 1350-6307, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.03.003>
7. Siriachenko V. F., Vlasenko, Ye.A. Nesucha zdatnist liukovykh kryshok / Materialy Kh mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi, Mykolaiv: 2019, 448 s. Available at: <https://nuos.edu.ua/nauka/konferencii/konferencii-2019-roku/h-mizhnarodna-naukovo-tehnichna-konferenciya-innovacii-v-sudnobuduvanni-ta-okeanotehnici/> (viewed on 2022-02-16). [in Ukrainian]