

УДК 624.012.45

DOI 10.47049/2226-1893-2023-4-78-86

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КЕСОННИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕКРИТТІВ

Н.О. Яременко

*к.т.н., доцент кафедри «Машинознавство і інженерна механіка»
ORCID ID: 0000-0002-8510-4938*

В.В. Олійников

к.т.н., доцент кафедри «Машинознавство і інженерна механіка»

І.О. Біла

*ст. викладач кафедри «Машинознавство і інженерна механіка»
ORCID ID: 0009-0009-8876-8444*

М.А. Орлов

ст. викладач кафедри «Машинознавство і інженерна механіка»

В.А. Яременко

ст. викладач кафедри «Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання»

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

Анотація. Кесонне перекриття з ребрами у двох напрямках забезпечує можливість ефективного конструктивного рішення одночасно із вільним архітектурним плануванням багатофункціонального призначення. Рельєф густоребристої стелі не вимагає штукатурки і включається в архітектурний інтер'єр.

В даній статті розглянуті кесонні залізобетонні перекриття. При цьому за допомогою комп'ютерної програми виконаний порівняльний аналіз напружено-деформованого стану кесонних залізобетонних перекриттів у пружній стадії роботи та за наявності тріщин. Під час розрахунку враховується фізична нелінійність. Характеристики досліджуваної моделі дано у статті. Комп'ютерна програма, взята для розрахунку, чисельно реалізує завдання розрахунку залізобетонних ростверків на основі просторової розрахункової схеми з урахуванням фізичної нелінійності. Програма реалізує розрахункове завдання, зобов'язане повністю враховувати просторовий характер роботи залізобетонних конструкцій, пошкодження елементів конструкцій, і навіть враховувати нелінійний характер деформування матеріалів.

Визначено, як змінюється зусилля, прогини та згинальні моменти в перекриттях. Проведений порівняльний аналіз отриманих результатів. Кінцеві дані наведені у вигляді графіків.

Ключові слова: Кесонне перекриття, напружено-деформований стан, зусилля, колона, пружній розрахунок, тріщиноутворення

UDC 624.012.45

DOI 10.47049/2226-1893-2023-4-78-86

**ANALYSIS OF THE STRESSED - DEFORMED STATE
CAISSON REINFORCED CONCRETE FLOORS**

N.O. Yaremenko

*PhD, Associate Professor at the Department «Machine Science
and Engineering Mechanics»*

ORCID ID: 0000-0002-8510-4938

V.V. Oleyhikov

*PhD, Associate Professor at the Department «Machine Science
and Engineering Mechanics»*

I.O. Bila

Senior lecturer at the Department «Machine Science and Engineering Mechanics»

ORCID ID: 0009-0009-8876-8444

M.A. Orlov

Senior lecturer at the Department «Machine Science and Engineering Mechanics»

V.A. Yaremenko

*Senior lecturer at the Department «Lifting and transport machines
and engineering of port technological equipment»*

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

Abstract. *A caisson ceiling with ribs in two directions provides the possibility of an effective constructive solution at the same time as a free architectural planning of multifunctional purpose. The relief of the thick-ribbed ceiling does not require plastering and is included in the architectural interior.*

This article deals with caisson reinforced concrete floors. At the same time, with the help of a computer program, a comparative analysis of the stress-strain state of caisson reinforced concrete floors in the elastic stage of operation and in the presence of cracks was performed. Physical nonlinearity is taken into account during the calculation. The characteristics of the studied model are given in the article. The computer program taken for calculation numerically implements the task of calculating reinforced concrete gratings based on a spatial calculation scheme taking into account physical nonlinearity. The program implements a calculation task that must fully take into account the spatial nature of the work of reinforced concrete structures, damage to structural elements, and even take into account the non-linear nature of deformation of materials.

It is determined how the forces, deflections and bending moments in the overlaps change. A comparative analysis of the obtained results was carried out. A comparative analysis of the obtained results was carried out. The final data are presented in the form of graphs.

Keywords: *coffered ceiling, stress-strain state, forces, column, elastic calculation, cracking.*

Постановка проблеми. Кесонне перекриття з ребрами у двох напрямках забезпечує можливість ефективного конструктивного рішення одночасно із вільним архітектурним плануванням багатофункціонального призначення. Рельєф густоребристої стелі не вимагає штукатурки і включається в архітектурний інтер'єр. Ребра утворюють квадратні клітини з осьовими відстанями 60-120 см (рис. 1) [1]-[3].

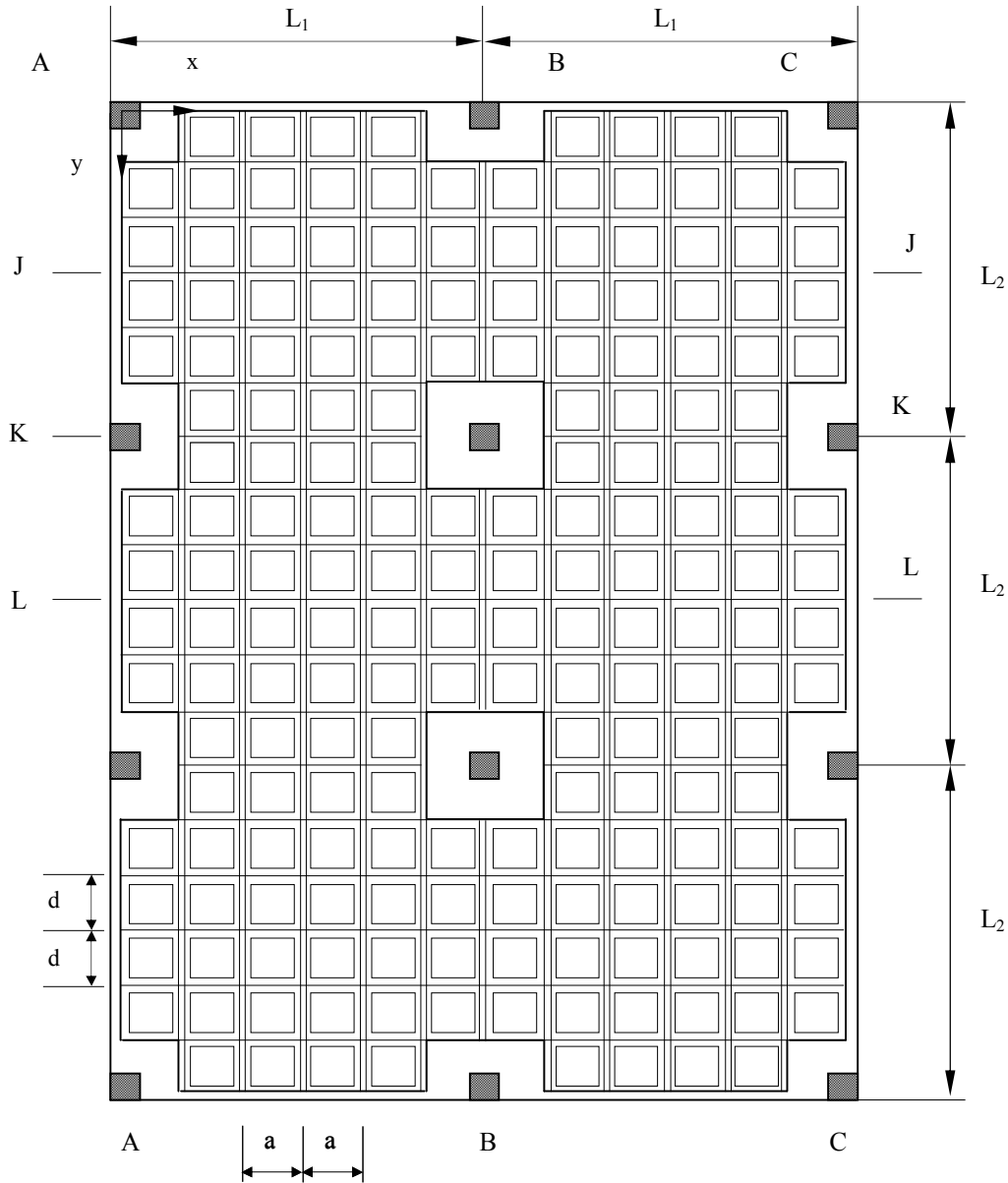


Рис. 1. План перекриття

Зазвичай інвентарну опалубку виготовляють із пластмаси (поліпропілена та ін.). Вона зручна для перестановки та багаторазового використання.

Ширина ребра у нижнього краю 12-15 см. До верхнього краю ребро поширюється до 20-25 см і плавно переходить у плиту кесона. Товщина плити зазвичай 4-10 см. Загальна висота кесонного перекриття не менше ніж $L/30$, де L – найбільша відстань між колонами. При корисному навантаженні до 4 кН/м^2 загальна висота знаходиться в межах $(1/25-1/28) L$. Осьова відстань між колонами зазвичай 4,8-12 м. Для різних відстаней використовують кесони з відповідною висотою ребра. Висота ребра може бути 20; 25; 30 і 40 см (рис. 2, табл. 1).

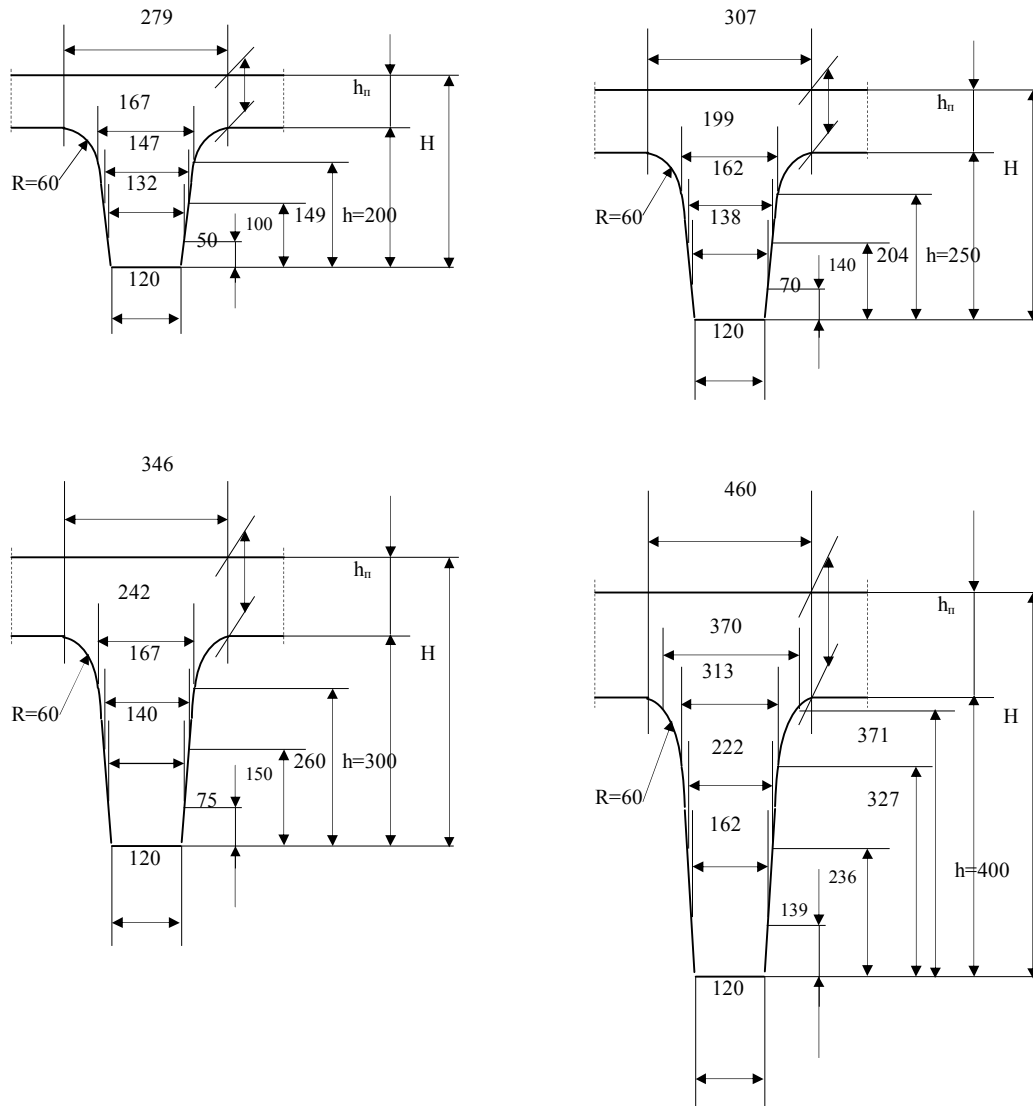


Рис. 2. Типи кесона

Таблиця 1

Параметри кесонних перекриттів

Тип кесона h, см	Мінімальна товщина плити h _п , см	Проліт L, м		
		при тимчасовому навантаженні v, кН/м ²		
		4	6	8
20	4	6,0	5,4	4,8
25	5	7,2	6,6	6,0
30	6	8,4	7,8	7,2
40	8	12,0	10,0	8

При конструюванні кесона в зоні розташування колони влаштовують приховану капітель товщиною, що дорівнює загальній висоті кесонного перекриття.

У зоні капітелі замість пластмасової опалубної форми ставлять горизонтальну пластину. Розміри капітелі залежать від відстані між колонами, навантаження та висоти перерізу перекриття. Вона призначена для сприйняття зрізу в околиці колони, де виникає максимальна поперечна сила. Також забезпечує сприйняття негативного згинального моменту в надколонній смузі, що створює стиск у нижній зоні перерізу.

Прихована капітель забезпечує умови для конструктивного армування ребер хомутами, і навіть відмову від постачання хомутів. Вказівки на мінімальні розміри капітелей для кесонів розміром 80 см наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Розміри капітелей для кесонів

Відстань між колонами L, м	Мінімальна кількість вузлів на одну капітель
$L \leq 4,8$	≤ 8
$4,8 < L \leq 7,2$	8-12
$7,2 < L \leq 9,6$	12-16
$9,6 < L \leq 12$	16-20
$12 < L \leq 14$	20-24

Мінімальний переріз залізобетонних колон – 30x30 см, але не менше за L/15. Можливе також використання сталевих колон, але тоді капітелі застосовуються хрестоподібні сталеві консолі, приварені до колони.

Головна перевага таких конструкцій полягає в їхній просторовій роботі, що забезпечує економію бетону та арматури.

Еквівалентна середня товщина бетону, вкладеного в кесонне перекриття в середньому на 45 % менше, порівняно з гладкою плитою завтовшки, що дорівнює висоті кесона.

Мета статті полягає в вивченні напружено-деформованого стану кесонних залізобетонних перекриттів. Розглянуто напружено-деформованого стану кесонних залізобетонних перекриттів у пружній стадії роботи та за наявності тріщин.

Викладення основного матеріалу. Аналіз напружено-деформованого стану з урахуванням нелінійності виконаний за допомогою програми RUSZT-KESSON [4], що дозволяє розраховувати перехресні системи кесонних перекриттів. Жорсткість перерізу перекриття на ділянках без тріщин визначається за формулою

$$B^* = E_b J_{red} \cdot v(t), \quad v(t) = \frac{k}{1 + k\varphi}, \quad (1)$$

де $E_b J_{red}$ – жорсткість наведеного суцільного перерізу елемента, $k = 0,85$ – коефіцієнт, що враховує вплив непружних деформацій бетону при короткочасному застосуванні навантаження, φ – характеристика повзучості бетону. Жорсткість перерізів перекриття на ділянках з тріщинами визначається за формулою

$$B_g^* = E_b A_b h_0^2 \sqrt{\mu \alpha_E} \frac{0,225}{1 + 0,225\varphi}. \quad (2)$$

Зазначимо, що формулу (2) запропоновано професором Прокоповичем І.С. [5-6]. Опір перекриття кручення не враховується, оскільки моменти, що крутять, в перехресних системах на порядок менше, ніж згинальні [7].

а. Параметри досліджуваної нижче перехресної системи: m – кількість поперечних балок 17 шт., n – кількість поздовжніх балок 13 шт., d – відстань між поперечними балками 0,8 м, а відстань між поздовжніми балками – 0,8 м. $L_1=L_2=4,8$ м.

в. Параметри перерізів: h – висота поздовжніх та поперечних балок 0,3 м, b – ширина стінки поздовжніх та поперечних балок 0,15 м, h_f – висота полиці поздовжніх балок 0,05 м, b_f – ширина полиці 0,3 м, A_s, A'_s – площа перерізів нижньої та верхньої арматури 2,26 см², a_s, a'_s – захисний шар нижньої та верхньої арматури 0,015 м.

с. Характеристики матеріалів: E_b – початковий модуль пружності бетону, 26500 МПа, R_b – опір бетону стиску 15 МПа, R_{bt} – опір бетону розтягу 1,4 МПа, E_s – модуль пружності арматури 209000 МПа, R_s – опір арматури розтягу 335 МПа,

д. Повне навантаження – 10 кН/м².

Згинальний момент, що сприймається перетином при утворенні тріщин $M_{crc} = 6,27$ кНм. Граничний згинальний момент $M_u = 49,7$ кНм.

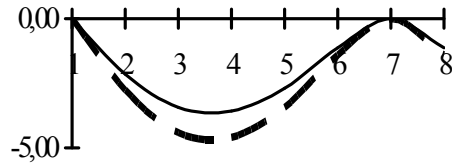
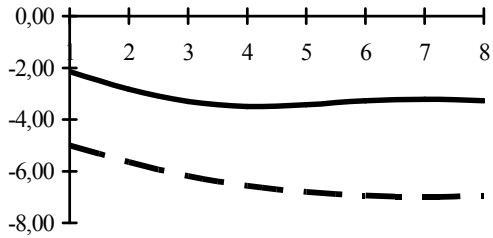
Епюри прогинів, згинальних моментів та поперечних сил для кількох перерізів перекриття наведені на рис. 3. Суцільні лінії – «пружний» розрахунок (ітерація 0). Пунктирні лінії – розрахунок із урахуванням тріщин (ітерація 5).

Зазначимо сплески згинальних моментів і поперечних сил, що виникають на околиці середніх колон. Їх величина більша за величину відповідних зусиль у нерозрізній балці, що імітує надколонну смугу перекриття.

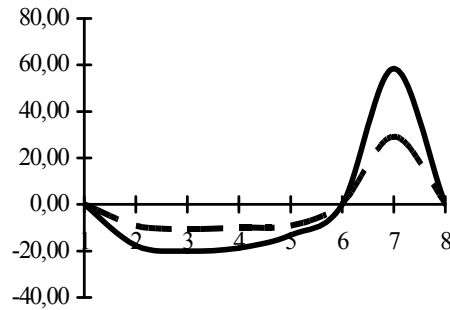
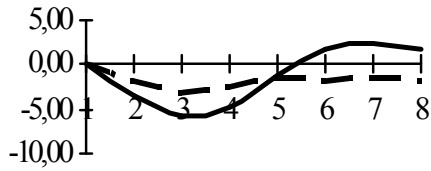
Переріз J-J

Переріз К-К

Прогини, мм



Моменти M_y , кНм



Поперечні сили Q_y , кН

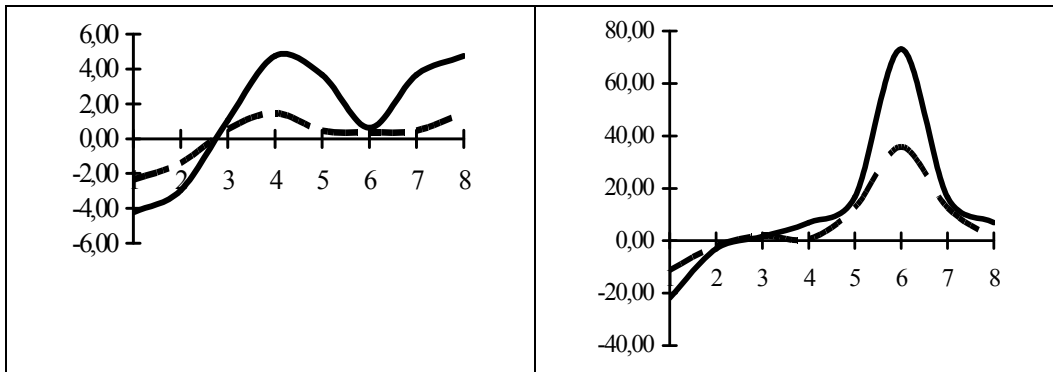


Рис. 3. Епюри прогинів, згинальних моментів та поперечних сил

Висновки. Навколо середніх колон має місце концентрація зусиль. Тріщиноутворення призводить до збільшення прогинів та зменшення згинальних моментів та поперечних сил (приблизно вдвічі). Падіння зусиль у надколонній смузі поздовжнього ряду колон значно менше (близько 20 %) ніж у смугах поперечних перерізів перекриття.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Димитров Б. *Стоманобетонні конструкції*. – *Софія: Техніка*, 1987. – 286 с.
2. Маноїлов Л., Ігнатієв Н., Димитров Б. *И др. Исследование кессонных перекрытий*. – *Софія, Годшиник на ВІАС, том XXXI, СВИТЪК ІХ, Стоманобетонні конструкції, 1983-1984*. – С. 9-22.
3. Марков Т., Ігнатієв Н., Димитров Б. *И др. Экспериментальные исследования кессонных перекрытий под длительной нагрузкой*. – *Софія, Годшиник на ВІАС, том XXXI, СВИТЪК ІХ, Стоманобетонні конструкції, 1983-1984*. – С. 23-29.
4. Філін О.В., Яременко Е.А., Яременко Н.А. *Напряженно-деформированное состояние предварительно напряженных пролетных строений железобетонных мостов*. *Ровно, Ресурсоэкономные материалы, конструкции, здания и сооружения, Выпуск 12, 2005*. – С. 330-338.
5. Прокопович І.Е., Зедгенідзе В.А. *Прикладная теория ползучести*. – *М.: Стройиздат, 1980*. – 240 с.
6. Прокопович І.Е., Щербаков Е.Н., Штейнберг М.В., Завалин В.А. *Практические рекомендации по расчету потерь предварительного напряжения и перемещений железобетонных пролетных строений мостов*. *М.: Транспортное строительство, № 7, 1978*. С.10-14.
7. Яременко Н.А. *О расчете балочных ростверков методом перемещений // Одесса. Вестник ОНМУ. Вып. 16, 2005*. – с.173-188.

REFERENCES

1. Dimitrov B. *Stomanoconcrete structures*. – *Sofia, «Technique», 1987*. – 286 p.
2. Manoilov L., Ignatiev N., Dimitrov B. *et al. Study of coffered ceilings*. – *Sofia, Yearbook at VIAS, volume XXXI, SVITK IX, Stomanobetonna designs, 1983-1984*. – P. 9-22.
3. Markov T., Ignatiev N., Dimitrov B. *et al. Experimental studies of caisson floors under long-term load*. – *Sofia, Yearbook at VIAS, volume XXXI, SVITK IX, Stomanobetonna designs, 1983-1984*. – P. 23-29.
4. Filin O.V., Yaremenko E.A., Yaremenko N.A. *Stress-strain state of prestressed spans of reinforced concrete bridges*. *Rivne, Resource-saving materials, structures, buildings and structures, Issue 12, 2005*. – P. 330-338.
5. Prokopovich I.E., Zedgenidze V.A. *Applied theory of creep*. – *M.: Stroyizdat, 1980*. – 240 p.

6. *Prokopovich I.E., Shcherbakov E.N., Steinberg M.V., Zavalin V.A. Practical recommendations for calculating prestress losses and displacements of reinforced concrete bridge superstructures. M.: Transport construction, No. 7, 1978. P. 10-14.*
7. *Yaremenko N.A. On the calculation of beam grillages using the displacement method // Odessa, Bulletin of ONMU. Issue 16, 2005. – P. 173-188.*

Стаття надійшла до редакції 15.11.2023

Посилання на статтю: Яременко Н.О., Олійников В.В., Біла І.О., Орлов М.А., Яременко В.А. Аналіз напружено-деформованого стану кесонних залізобетонних перекриттів// Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2023. № 4. С. 78-86. DOI 10.47049/2226-1893-2023-4- 78-86.

Article received 15.11.2023

Reference to the article: Yaremenko N.O., Oleynikov V.V., Bila I.O., Orlov M.A., Yaremenko V.A. Analysis of the stressed-deformed statecaisson reinforced concrete floors // Herald of Odesa National Maritime University: Coll. scient. works. 2023. № 4. P. 78-86. DOI 10.47049/2226-1893-2023-4-78-86.