

УДК 656.073-005

DOI 10.47049/2226-1893-2023-2-105-123

**ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕХАНІЗМУ  
ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОБРОБКИ СУДНА**

**О.В. Кириллова**

д.т.н., професор,

завідувач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»

**О.Р. Магамадов**

к.т.н., доцент, професор ОНМУ,

професор кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»

**В.Ю. Кириллова**

к.т.н., доцент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»

**Н.Л. Павлова**

к.т.н., доцент,

доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»

**Б.В. Шурін**

ст. викладач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»

*Одеський національний морський університет, Україна, Одеса*

***Анотація.** Вперше у транспортній науці запропоновано досліджувати в комплексі всі етапи оперативного управління процесом обробки судна (ПОС), що розглядається окремо. Встановлено, що кожному з указаних етапів відповідає відносно автономне завдання, яке пов'язано з реалізацією тієї чи іншої функції управління ПОС в режимах планування і регулювання з аналізом відповідно процесу завантаження/розвантаження судна в цілому або фрагментів цього процесу. Показано, що управління ПОС повинно починатися з узгодження умов обробки судна шляхом установаження договірної ставки диспачу або норми вантажних робіт. Для виконання цієї процедури розроблено методику «вторгування» величин згаданих показників в ймовірнісній постановці. Встановлено, що функцію планування ПОС доцільно здійснювати з використанням методів графоаналітичного моделювання, коли продуктивність технологічних ліній (ТЛ) не знижується при одночасній роботі двох і більше ліній на одному люці, і математичного моделювання, якщо ця умова не дотримується. Показано, що оперативний аналіз ходу обробки судна можливо виконувати з використанням суворого у формальному сенсі методу, а також із допомогою спрощеного методу, які викладено в статті. Запропоновано методику вироблення регулюючих впливів на ПОС, що ґрунтується на зіставленні кількості ТЛ, яка потрібна для закінчення обробки судна в строк залишкового сталійного часу, з технологічною межею концентрації ліній на судні й прийнятті адекватних керуючих рішень. Розроблено методику факторного аналізу результатів обробки судна з розглядом факторних та результативних показників ПОС. Викладено методику економічної оцінки підсумкових результатів обробки судна.*

***Ключові слова:** процес обробки судна, управління, планування, аналіз, регулювання, економічна ефективність, методи розв'язання завдань.*

UDC 656.073-005

DOI 10.47049/2226-1893-2023-2-105-123

**THEORETICAL-METHODICAL JUSTIFICATION  
OF THE MECHANISM OF OPERATIONAL MANAGEMENT  
THE PROCESSING OF SHIP**

**E. Kirillova**

Doctor of Technology, Professor,  
Head of a department «Port operation and cargo handling technology»

**A. Mahamadov**

PhD, Associate Professor, Professor of ONMU,  
Professor at the Department of «Port operation and cargo handling technology»

**V. Kirillova**

PhD, Associate Professor at the Department  
of « Fleet Operating and Technology of Sea Carriages»

**N. Pavlova**

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of «Port operation and cargo handling technology»

**B. Shurin**

Senior Lecturer at the Department of «Port operation and cargo handling technology»

*Odesa national maritime university, Ukraine, Odesa*

**Abstract.** *For the first time in transport science, it is proposed to investigate in a complex all the stages of operational management processing of ship (PS), which is considered separately. It has been established that each of the indicated stages corresponds to a relatively autonomous task, which is related to the implementation of one or another function of management of the PS in the planning and regulation modes with analysis, accordingly, of the process of loading/unloading the ship as a whole or its fragments. It is shown that the management of the PS should begin with the agreement of the conditions of handling the ship by establishing the contractual rate of the dispatch or the rate of cargo operations. To perform this procedure, a method of «bargain» the values of the mentioned indicators in a probabilistic setting has been developed. It has been established that it is expedient to implement the planning function of the PS using grapho-analytical modeling methods, when the productivity of technological lines (TL) does not decrease with the simultaneous operation of two or more lines on one hatch, and mathematical modeling, if this condition is not met. It is shown that the operational analysis of the ship's processing can be performed using a strict method in the formal sense, as well as with the help of a simplified method, which are outlined in the article. A method of producing regulatory influences on the PS is proposed, which is based on the comparison of the amount of TL, which is required to complete the processing of the ship during the remaining steel time, with the technological limit of the concentration of lines*

*on the ship and the adoption of adequate management decisions. A method of factor analysis of the results of ship processing has been developed, considering as factor indicators the loading of the ship, the number and productivity of TL and the level of organization of the PS, and as effective indicators – the duration of the processing of the vessel and port costs for the implementation of the PS. The methodology of the economic assessment of the final results of the ship's processing by means of port profit indicators and the economic efficiency of the implementation of the PS in the optimal setting is described.*

**Keywords:** *processing of ship, management, planning, analysis, regulation, economic efficiency, problem solving methods.*

**Вступ.** На задум виконати дане дослідження вплинув той факт, що в останній час відновилася актуальність проблеми автоматизації внутрішньо портового управління, яка відійшла в тінь у 1980-ті роки після припинення проектування типової автоматизованої системи управління портом (АСУ «Порт»). Відродження цієї проблеми проявилось у створенні сучасної АСУ «Порт» під назвою «Цифрова диспетчерська», проєкт якої створено в стивідорній компанії «Новотех-Термінал», що оперує в Одеському порту [1]. Ця система функціонує в інформаційно-довідковому режимі, тобто забезпечує реалізацію функцій оперативного обліку й контролю поточних і підсумкових значень показників процесів обробки суден і перевалювання вантажів. Надалі розвиток «Цифрової диспетчерської» логічно зв'язувати з автоматизацією виконання функцій оперативного прогнозування, планування, регулювання та аналізу на основі розробки відповідного наукового обґрунтування, чому присвячується пропонована стаття.

Зміст і структура даної розробки визначилися при підготовці публікацій [2; 3], у яких розглянуто усі важливі аспекти управління ПОС у системній постановці, тобто «від швартування суден до причалів до відшвартування їх від причалів». При цьому стала очевидною доцільність дослідження в комплексі всіх питань і адекватних їм завдань оперативного управління обробкою судна, що окремо розглядається, починаючи з визначення умов обробки судна й закінчуючи економічною оцінкою досягнутих результатів. Саме цією обставиною обумовлюється актуальність даного дослідження.

**Аналіз стану публікацій і постановка питання.** Відразу відзначимо, що тема, яка досліджується в даній статті, не фігурувала досі в транспортній літературі, внаслідок чого за станом на теперішній час відсутні публікації з розглядом її в загальній постановці. Таким же є стан і з публікаціями, в яких обмірковуються окремі завдання, що пов'язано з реалізацією функцій управління ПОС. Лише у випадку функції оперативного планування обробки судна є кілька публікацій, які аналізуються в єдності з методикою складання оперативного плану завантаження/розвантаження судна в п. 3 основних результатів даного дослідження.

Виходячи з вищевикладеного належить у якості **мети** пропонованої роботи розглядати створення науково-обґрунтованих основ забезпечення ефективного з точки зору порту управління обробкою судна шляхом постановки окремих завдань і розробки методик їх розв'язання.

**Основні результати дослідження.** У відповідності до мети даного дослідження розглянемо завдання, що пов'язано з реалізацією тієї чи іншої функції управління ПОС в режимах планування і регулювання в межах процесу завантаження/розвантаження судна в цілому або його фрагментів.

### 1. Зміст і логіка управління обробкою судна

**Постановка завдання.** Відомо, що управління виробничими процесами, до яких відноситься ПОС, виконується шляхом реалізації функцій управління – активних (планування – П, регулювання – Р) і пасивних (прогнозування – Г, обліку – О, контролю – К, аналізу – А) – з використанням інформації, що надходить у блок аналізу через блок прогнозування зі зовнішнього середовища й через блоки обліку й контролю з ПОС. Взаємозв'язок перерахованих функцій відбито нижче на рис. 1 у вигляді функціональної моделі управління ПОС, яка є розвитком аналогічної моделі, що опубліковано в [4].

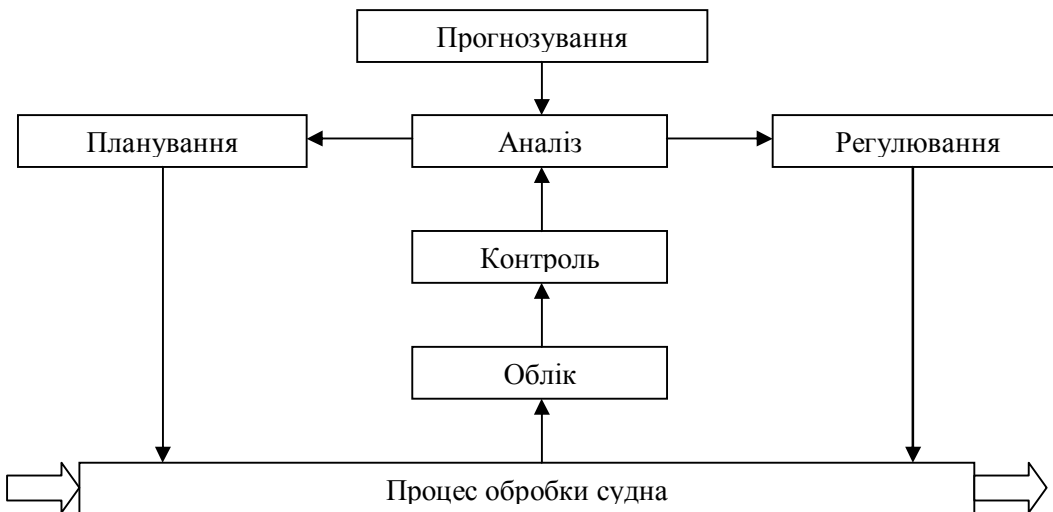


Рис. 1. Функціональна модель управління процесом обробки судна

Пропонована модель, на відміну від усіх інших варіантів схематичного зображення систем управління ПОС, включаючи модель з [5], відображує логіку співвідношення понять управління, планування і регулювання в їх загально-теоретичному тлумаченні. Завдяки цьому вона може розглядатися у якості механізму реалізації управління. Дійсно, планування, забезпечуючи постановку мети і способу її досягнення у процесі функціонування керованого об'єкту, має за відношенням до управління підпорядковане значення. Разом з цим, управління, ґрунтуючись на планомірності, виступає як інструмент реалізації цієї планомірності, виявляючись у формі регулювання. Точно так регулювання, забезпечуючи реалізацію планової мети, виступає в якості функціональної частини управління. Одночасно, розв'язуючи завдання, що передбачають визначення мети функціо-

нування керованого об'єкту й способу її досягнення, регулювання являє собою той же функціональний комплекс, що й управління, але на більш низькому рівні часової або просторової ієрархії управління.

У застосуванні до ПОС із викладеної теорії впливає, зокрема, що в якості рівнів цього процесу належить розглядати сам процес у цілому та його фрагменти, що виділяються як у часі, так і в просторі. За такою умовою реалізацію функції планування потрібно зв'язувати з ПОС у цілому, а функції регулювання – з його часовими або просторовими частинами. У відповідності з цим твердженням належить реалізувати механізм управління ПОС.

**Методика розв'язання завдання.** У загальному випадку управління ПОС здійснюється на основі визначених умов завантаження/розвантаження судна з використанням двокрокового алгоритму, на першому кроці якого складається оперативний план обробки судна (ОПОС), у відповідності з яким організовується ПОС. Надалі може, у принципі, багаторазово виконуватися другий крок у режимах або планування (ПОС-О/Г-К-А-П-ПОС), або регулювання (ПОС-О/Г-К-А-Р-ПОС).

У першому випадку ПОС розглядається завжди «в цілому», тобто на всьому інтервалі управління по всій сукупності суден і вантажів. В силу цього контур планування грає домінуючу роль в механізмі управління ПОС – в ньому визначається оптимальний план реалізації ПОС.

У контурі регулювання виробляються управлінські рішення стосовно фрагментів ПОС, які виділяються за різними ознаками: часовому (в середині інтервалу управління); структурному (окремі люки судна, види перевантажувальних ресурсів, номенклатурні групи вантажів тощо); організаційно-технологічному (варіанти та технологічні схеми перевантаження вантажів та обробки судна). У цьому випадку мета управління ПОС полягає у виробленні регулюючих впливів, що дозволяють мінімізувати (в ідеалі – усунути) виникаючу неузгодженість між плановим і фактичним (поточним) станами ПОС.

Звернемося до моделі управління ПОС, що аналізується і простежимо, як треба реагувати на інформацію, що обумовлює необхідність вироблення управляючих впливів на ПОС.

Припустимо, що в деякий «початковий» момент часу в блоці планування на основі наявної інформації про поточні значення параметрів ПОС і впливах зовнішнього середовища для певного періоду виробляється план, відповідно до якого організовується реалізація ПОС.

Припустимо далі, що в довільний момент часу виконується знімання (облік) інформації про стан ПОС. Ця інформація після опрацювання та узагальнення в блоках обліку і контролю надходить в блок аналізу, де аналізується у єдності з прогнозною інформацією. В результаті можуть мати місце такі випадки.

1. Реальний стан ПОС і прогноз його розвитку в межах інтервалу управління відповідає запланованому стану з урахуванням допустимих відхилень. У цьому випадку необхідність в кардинальних керуючих впливах, очевидно, відсутня, в силу чого ПОС повинен здійснюватися відповідно до раніше складеного плану.

2. Реальний стан ПОС не відповідає запланованому стану, тобто виникла неузгодженість між планом і поточними значеннями параметрів ПОС, яка пере-

вище допустиме відхилення. При такому результаті необхідно реагувати на ситуацію шляхом вироблення відповідних керуючих впливів на ПОС.

В обох випадках виконується корегування (оперативне регулювання) параметрів спочатку складеного ОПОС за схемою, що викладено в п.4 основних результатів даної статті.

## 2. Визначення умов обробки судна

**Постановка завдання.** Відомо, що в теперішній час ділові відносини між учасниками доставки вантажів будуються на договірній основі. При цьому серед низки договірних умов, що пов'язано з виконанням процесів перевалювання вантажів і обробки суден у портах, найбільш важливою є умова, що регламентує терміни реалізації вказаних процесів. Ця умова визначається показниками сталісного часу суден або норми вантажних робіт, які однаково актуальні насамперед для судовласників і портів.

Зауважимо, що як судовласники, так і порти зацікавлені і скороченні термінів перебування суден під обробкою за наступними причинами. Судновласники одержують можливість для економії стоянкових витрат їх суден і використання «порятованого» часу для збільшення їх прибутку за рахунок перевезення додаткового об'єму вантажів. Для портів вигода полягає в тому, що вивільняється час зайнятості їх причалів, протягом якого можливе освоєння певного об'єму вантажів і отримання за рахунок цього адекватного прибутку.

Питання про організацію прискореної обробки судна може виходити як від судовласника (через фрахтівника або вантажовласника), так і від порту. В обох випадках воно розв'язується, як правило, шляхом устанавлення договірної ставки диспачу, що перевищує звичайну ставку. Ця операція виконується за наступною методикою.

**Методика розв'язання завдання.** Процедура устанавлення договірної ставки диспачу виконується за наступною схемою:

1. Фіксується чартерна норма вантажних робіт ( $M$ ) і бажаний для судовласника час обробки судна ( $T$ );

2. Розраховується кількість ТЛ, при якій судно може бути оброблено у відповідності з його сталісним часом ( $n^0$ )

$$n^0 = \frac{Q}{M}, \quad (1)$$

де  $Q$  – завантаження судна.

3. Визначається кількість ТЛ, яка потрібна для обробки судна в бажаний для судовласника час ( $n$ )

$$n = \frac{Q}{k \cdot P \cdot M}, \quad (2)$$

де  $P$  – продуктивність ТЛ;

$k$  – коефіцієнт, що враховує зниження продуктивності ТЛ при їх спільній роботі на одному люці.

4. Потрібна кількість ТЛ ( $n$ ) зіставляється з межею концентрації ліній на судні ( $\bar{n}$ ). Очевидно, що судно може бути оброблено в терміни за заявкою судновласника лише у випадку, коли  $n \leq \bar{n}$ .

5. При дотриманні вказаної умови встановлюється додаткова кількість ТЛ для забезпечення прискореної обробки судна ( $\Delta n$ )

$$\Delta n = n - n^0. \quad (3)$$

Відзначимо, що у практиці дане завдання розв'язується за принципом уторгування, тобто послідовного зближення взаємних інтересів судновласників і портів на компромісній основі. Відповідно до цього принципу договірна ставка диспачу може встановлюватись у деякому діапазоні від мінімального до максимального значень, які знаходяться шляхом наступних міркувань.

Зрозуміло, що мінімальний рівень ставки диспачу цілком залежить від порту і повинен відповідати прибутку, який порт може отримати при використанні додаткової для судна, що розглядається кількості ТЛ на інших об'єктах вантажних робіт. Логічно також припустити, що її максимальний рівень буде обмежуватись судновласником виходячи з прибутковості судна. Звідси витікає, що прийнятна для обох сторін договірна ставка диспачу повинна знаходитися у межах

$$b_n \cdot \Delta n \leq d \leq f_c, \quad (4)$$

де  $d$  – договірна ставка диспачу;

$b_n$  – прибуток, що забезпечується однією ТЛ при використанні її на інших об'єктах вантажних робіт;

$f_c$  – прибуток (упущена вигода) судна.

У результаті «торгів» судновласника і порта договірна ставка диспачу може прийняти будь-яке значення на відрізку  $[b_n \cdot \Delta n; f_c]$ . У наслідок цього її правомірно розглядати в формальному сенсі як випадкову величину, найбільш вірогідне значення якої буде зміщено праворуч, тобто до максимального значення, якщо в прискоренні обробки судна зацікавлений судновласник або ліворуч, коли ініціалтором прийняття показника, що розглядається виступає порт. При цьому величина договірної ставки диспачу визначається у першому випадку за формулою

$$d = \frac{3b_n \cdot \Delta n + 2f_c}{5}, \quad (5)$$

а у другому випадку за формулою

$$d = \frac{2b_n \cdot \Delta n + 3f_c}{5}. \quad (6)$$

Вигідність встановлення договірної ставки диспачу як для судновласника, так і для порта розраховується за формулами

$$E_c = (f_c - d)(T^0 - T); \quad (7)$$

$$E_c = (d - b_n \cdot \Delta n)(T^0 - T). \quad (8)$$

На завершення зазначимо, що аналогічні по суті міркування використовуються й при обґрунтування договірної норми вантажних робіт, а також договірної акордної ставки (тарифу) на перевалювання вантажу.

### **3. Оперативне планування обробки судна**

**Постановка завдання.** Як визначалося вище, при характеристиці функціональної моделі управління ПОС, реалізація функції планування виконується з метою складання ОПОС як документа, в якому моделюється процес завантаження/розвантаження судна, «розрахунковий» у календарному часі з фіксацією планових показників ПОС, основними серед яких є:

- розрахункова тривалість обробки судна і його люків;
- послідовність і календарні терміни початку-закінчення обробки кожного люку судна;
- кількість ТЛ і способи їх розміщення на люках в процесі завантаження/розвантаження судна.

Разом із цим ОПОС можна трактувати й як план використання ТЛ, які виділяються для обробки судна, що розглядається.

Внаслідок вказаних умов складання ОПОС належить виконувати шляхом моделювання в часі разом процесів обробки люків судна й роботи ТЛ, що виконуються для цієї цілі.

Завдання по складанню ОПОС у найзагальнішій постановці можна сформулювати наступним чином: потрібно знайти такий план завантаження/розвантаження люків судна й роботи ТЛ, який би задовольняв обмеженням на вантажоперевалювальний процес і забезпечував ефективний з точки зору порту результат. Цю постановку завдання можна конкретизувати за різними ознаками шляхом формування визначених поєднань параметрів і характеристик люків судна, ТЛ та вантажів, що перевалюються.

**Методика розв'язання завдання.** Визначені особливості виконання ПОС обумовлюють правомірність використання різних підходів до розробки методів складання ОПОС, зокрема, графо-аналітичного (для одноваріантних завдань) і математичного моделювання (для багатоваріантних екстремальних завдань).

Графо-аналітичний метод формування ОПОС застосовується за умови, що перевалюється однорідний вантаж, кількість ТЛ залишається постійною від початку до закінчення обробки судна, а їх продуктивність не знижується при будь-якому варіанті їх закріплення за люками судна. Цей метод реалізується за допомогою наступного трикрокового алгоритму, який є узагальненням ідей, що висловлено в [6; 7].



На першому кроці алгоритму розраховується тривалість обробки судна за формулою

$$T = \frac{Q}{P \cdot n}. \quad (9)$$

Умовимось вважати, що час роботи усіх ТЛ є однаковим і дорівнюється тривалості обробки судна, тобто

$$t_j = T. \quad (10)$$

На другому кроці алгоритму визначається трудомісткість ( $\theta_i$ ) завантаження/розвантаження кожного люка судна з виразу

$$\theta_i = \frac{Q_i}{P}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (11)$$

Зауважимо, що трудомісткість обробки кожного люка за величиною відповідає тривалості завантаження/розвантаження його лише однією ТЛ.

На третьому кроці алгоритму моделюється процес обробки люків судна (і одночасно роботи ТЛ) шляхом послідовного закріплення ТЛ за люками та зіставлення величин  $t_j$  й  $\theta_i$  або їх залишкових значень  $\Delta t_j$  та  $\Delta \theta_i$ .

Пояснимо логіку виконання цієї операції. Візьмемо довільно якусь ТЛ і привласнимо їй шифр  $j$ . Закріпимо цю ТЛ за люком  $i$ , який виберемо також довільно та позначимо час зайнятості обраної ТЛ на обраному люці через  $t_{ij}$ . Легко бачити, що показник  $t_{ij}$  може приймати одне з наступних значень:

$$\left. \begin{array}{l} A. t_{ij} = t_j, \Delta \theta_i = 0; \\ B. t_{ij} = t_j, \Delta \theta_i > 0; \\ B. t_{ij} < t_j, \Delta \theta_i = 0. \end{array} \right\} \quad (12)$$

Випадок А означає, що  $j$ -та ТЛ використає весь резерв свого робочого часу та обробить  $i$ -й люк повністю. В цьому випадку  $j$ -та ТЛ разом з  $i$ -м люком з подальшого розгляду виключаються та відбувається перехід до  $(j+1)$ -ї ТЛ та  $(i+1)$ -го люка.

У випадку Б  $j$ -та ТЛ витратить весь резерв свого робочого часу на обробку  $i$ -го люка, але його завантаження/розвантаження не завершить.

Випадку В відповідає ситуація, коли  $j$ -та ТЛ обробляє  $i$ -й люк повністю, але використовує лише частину резерву свого робочого часу, а його залишок ( $\Delta t_j = t_j - \theta_i$ ) можливо використати для обробки інших люків.

Аналогічним чином моделюється робота решти ТЛ і обробка наступних люків. Ця процедура триває доти, поки не будуть розглянуті усі ТЛ і усі люки.

Математичне моделювання ОПОС застосовується у випадку композитного завантаження судна, постійної й змінної по робочих змінах кількості ТЛ і межі їх концентрації на люках, варіації продуктивності ТЛ у залежності від роду вантажів, можливості перевалювання їх за різними технологічними схемами, зниження продуктивності ТЛ при сумісній роботі двох і більше ліній на одному люці.

Відзначимо, що спроби врахувати в моделі усі перелічені умови призводять до її «нерозв'язувальних» конструкцій, які не піддаються розв'язуванню суворими в математичному сенсі методами (див., наприклад, [8]). Не приводить до позитивного результату й такий прийом, як заміна кількох умов, що кореспондують між собою, однією умовою або вибір «найбільш важливих» умов (див., наприклад, [8; 9]). Крім того, моделі з [8-10] не враховують можливість зниження продуктивності ТЛ при їх сумісній роботі на одному люці й, саме головне, не забезпечують отримання календарного плану обробки судна: за результатами їх реалізації ще необхідно сформулювати сіткову модель, визначити в ній критичний шлях і лише потім скласти ОПОС.

Тим часом у [10] міститься модель календарного планування ПОС, яка при постійній чисельності ТЛ для обробки судна має наступний вид:

$$R_c = \sum_{\alpha=1}^{\omega} C_{\alpha} X_{\alpha} \rightarrow \min; \quad (13)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{\omega} D_{i\alpha} X_{\alpha} = Q_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad (14)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{\omega} X_{\alpha} \leq T^0; \quad (15)$$

$$X_{\alpha} \geq 0; \quad \alpha = \overline{1, \omega}. \quad (16)$$

Позначенням в моделі (13)-(16) відповідають:

$R_c$  – витрати порту по завантаженню (розвантаженню) судна;

$\alpha$  – шифр (номер) розміщення ТЛ на судні ( $\alpha = \overline{1, \omega}$ );

$X_{\alpha}$  – проміжки часу, протягом яких використовується варіант  $\alpha$  розміщення ТЛ на судні (параметри управління моделі);

$C_{\alpha}$  – витрати порту за одиницю часу при обробці судна за варіантом  $\alpha$  розміщення ТЛ;

$D_{i\alpha}$  – інтенсивність обробки люків судна, яка визначається згідно з номерами варіантів розміщення ТЛ;

$Q_i$  – планове завантаження люка  $i$ ;

$T^0$  – сталійний час судна.

Модель (13)-(16) «читається» наступним чином: необхідно мінімізувати витрати порту (13), що адекватно максимізації його зиску, при обов'язковому дотриманні планового завантаження люків судна (14) і сталійного часу (15). Умовою (16) забезпечується невід'ємність змінних моделі, що впливає з їх економічного сенсу.

Відзначимо, що ключовим елементом моделі (13)-(16) є поняття варіанту розміщення ТЛ на судні, під яким мається на увазі будь-яке припустиме закріплення ТЛ за люками судна без зміни їх місцями на причалі з урахуванням межі концентрації ліній на люках.

Після складання повної множини допустимих варіантів розміщення ТЛ на судні розраховуються величини  $D_{i\alpha}$  та  $C_\alpha$  за такими формулами:

$$D_{i\alpha} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } n_{i\alpha} = 0; \\ P_i, & \text{якщо } n_{i\alpha} = 1; \\ P_i n_{i\alpha} k_{i\alpha}, & \text{якщо } 1 < n_{i\alpha} \leq r_i; \end{cases} \quad i = \overline{1, m}; \quad \alpha = \overline{1, \omega}; \quad (17)$$

$$C_\alpha = S_c \sum_{i=1}^m D_{i\alpha} \cdot \prod_{i=1}^m k_{i\alpha} \quad \alpha = \overline{1, \omega}, \quad (18)$$

де  $P_i$  – продуктивність ТЛ при обробці люка  $i$ ;

$n_{i\alpha}$  – кількість ТЛ, що одночасно працюють на люку  $i$  за варіантом  $\alpha$  розміщення ТЛ на судні;

$r_i$  – межа концентрації ТЛ на люку  $i$ ;

$k_{i\alpha}$  – коефіцієнт, що враховує зниження продуктивності ТЛ при спільній роботі двох і більше ліній на люці  $i$  за варіантом  $\alpha$  розміщення ТЛ.

В результаті реалізації моделі (13)-(16) знаходиться оптимальний план  $\{X_\alpha^0\}$ , компонентам якого відповідають відрізки часу, протягом кожного з яких розміщення ТЛ на судні залишається незмінним.

Легко бачити, що зазначеними відрізками часу охоплюються свого роду «смуги» ОПОС з постійним закріпленням ТЛ за люками судна. «Склеювання» таких «смуг» в певній послідовності дозволяє отримати календарний план обробки судна, який відповідає ОПОС в узагальненій формі. Від цієї форми здійснюється далі перехід до робочого варіанту ОПОС у вигляді документа, придатного до використання в реальних виробничих умовах.

### 3. Оперативний аналіз ходу обробки судна

**Постановка завдання.** Відомо, що суворо виконувати ОПОС, як і будь-які оперативні плани у сфері виробництва, практично неможливо внаслідок впливу на ПОС факторів різного походження. За такою умовою виникає необхідність у проведенні поточного аналізу з метою оцінки відповідності фактичних значень показників ОПОС їх плановим величинам. При цьому аналізу піддається насамперед показник тривалості обробки судна.

**Методика розв'язання завдання.** Викладене вище завдання можна вирішити з використанням двох підходів, першим з яких передбачається проведення аналізу поточних значень показників ОПОС у момент часу, що розглядається за методикою, що наведено в п.6 основних результатів даної статті. У цьому випадку з'ясовується, за рахунок яких факторів і в яких межах виникла невідповідність планового й фактичного значень показника тривалості обробки судна.

Разом із цим, для вирішення завдання, що розглядається, можна застосувати спрощений метод, який висловлено в [4], що до сих пір не втрачає своєї актуальності.

Сутність пропонованого методу полягає в наступному. За даними оперативної звітності на визначений момент часу фіксуються:

- залишкове завантаження судна –  $\Delta Q$ ;
- залишок сталійного часу судна –  $\Delta T^0$ ;
- припустиме відхилення тривалості обробки судна (в більший бік) –  $\Delta t$ ;
- кількість ТЛ у відповідності з раніше складеним ОПОС –  $n$ ;
- фактично досягнута середньозважена продуктивність ТЛ –  $\bar{P}$ .

З використанням перерахованих даних визначається час завершення обробки судна ( $\Delta T'$ ) за формулою

$$\Delta T' = \frac{\Delta Q}{\bar{P} \cdot n}, \quad (19)$$

якщо продуктивність ТЛ при їх сумісній роботі на одному люці не знижується.

У протилежному випадку формула (19) приймає вигляд

$$\Delta T' = \frac{\Delta Q}{k \cdot \bar{P} \cdot n}. \quad (20)$$

Робиться зіставлення відрізків часу  $\Delta T'$  і  $\Delta T$  з метою знаходження прогнозованого значення відхилення часу закінчення обробки судна  $\Delta t'$  за формулою

$$\Delta t' = \Delta T' - \Delta T. \quad (21)$$

Здійснюється порівняння прогнозованого й припустимого значень відхилень  $\Delta t'$  і  $\Delta t$ . При цьому можливі наступні випадки:  $\Delta t' \leq \Delta t$ ,  $\Delta t' > \Delta t$ . Очевидно, що у першому випадку можна користуватися раніше складеним ОПОС, вважаючи, що цей план і в подальшому буде «у середньому» порушуватися у тих же припустимих межах. Однак у другому випадку існуючий ОПОС втрачає свою актуальність та вимагає коректування (регулювання).

## 5. Оперативне регулювання обробки судна

**Постановка завдання.** Як відзначалося в п. 1 основних результатів даної статті і показано вище, необхідність у реалізації регулюючих впливів на ПОС виникає в тому випадку, якщо відхилення тривалості обробки судна перевищує її припустиме значення. З виразу (21) видно, що вказане відхилення за величиною може бути як позитивним, так і негативним. У першому випадку стає реальною погроза переходу судна на контрсталійний час, що означає для порта перспективу

появи економічного збитку у формі демереджу й репутаційних втрат у вигляді упущеної вигоди. У другому випадку у порту з'являється альтернатива: або продовжувати обробку судна у відповідності з існуючим ОПОС, коли це йому вигідно (наприклад, якщо дострокове завершення обробки судна стимулюється диспачем, чи то порту потрібно раніше звільнити причал), або зменшити кількість ТЛ на судні, що розглядається, з переводом ліній, що вивільняються, на інші об'єкти вантажних робіт. В обох випадках регулюючи впливи на ПОС виконуються за однаковою схемою, яка розглядається нижче.

**Методика розв'язання завдання.** Питання про відшукування регулюючих впливів на ПОС або відсутність такої необхідності, вирішується за схемою, ідея якої викладено в [4] й реалізується нижче. У відповідності з цією ідеєю необхідно зафіксувати показники, що вказано у п.4 основних результатів даної статті, після чого визначити кількість ТЛ ( $n'$ ), яка є потрібною для закінчення обробки судна в строк залишкового сталійного часу, за формулою

$$n' = \begin{cases} \frac{\Delta Q}{P \cdot \Delta T}, & \text{якщо } k=1; \\ \frac{\Delta Q}{k \cdot P \cdot \Delta T}, & \text{якщо } 0 < k < 1. \end{cases} \quad (22)$$

Далі, за умовою використання ТЛ у кількості  $n'$  потрібно скласти ОПОС за допомогою або графо-аналітичного методу при відсутності зниження продуктивності ТЛ ( $k=1$ ), або математичної моделі (13)-(16) при  $0 < k < 1$ .

При цьому можуть мати місце дві наступні ситуації.

Ситуації 1 відповідає умова, що потрібна чисельність ТЛ не перевищує технічну межу їх концентрації на судні. За такої умови, очевидно, вся шукана кількість ТЛ може повністю використовуватися для завершення обробки судна. Це означає, що завдання, яке розглядається, має розв'язання. Тоді зміст регулювання ПОС полягає в коректуванні ОПОС з метою отримання інформації, яка потрібна для управління кінцевим етапом обробки судна.

Ситуації 2 відповідає протилежна умова, яка поширюється на випадок, коли потрібна кількість ТЛ перевищує технічну межу їх концентрації на судні. Зрозуміло, що за такої умови завдання є нерозв'язним. Змістовно це означає, що в залишковий сталійний час завершити обробку судна неможливо. Внаслідок цього виникає необхідність орієнтуватися на мінімізацію контрсталійного часу, що може бути досягнуто при максимально можливому рівні концентрації ТЛ на судні. В цьому випадку зміст регулювання ПОС шляхом коректування ОПОС полягає в розрахунку максимальної кількості ТЛ для обробки судна і перескладанні ОПОС.

## 6. Оперативний аналіз результатів обробки судна

**Постановка завдання.** Сенс розв'язання даного завдання полягає в з'ясуванні поточних або підсумкових показників обробки судна. Ця процедура виконується, коли відомі поряд з плановими (індекс « $n$ ») також фактичні (індекс « $f$ »)

значення всіх показників ПОС, включаючи завантаження судна ( $Q_n, Q_\phi$ ); продуктивність ТЛ ( $P_n, P_\phi$ ), кількість ТЛ ( $n_n, n_\phi$ ), рівень організації процесу обробки судна, який оцінюється коефіцієнтом  $U \leq 1$  ( $U_n, U_\phi$ ), витрати щодо утримання ТЛ ( $C_n, C_\phi$ ), тривалість обробки судна ( $T_n, T_\phi$ ), витрати порту щодо завантаження/розвантаження судна ( $R_n, R_\phi$ ). При цьому два останні показники виступають в якості узагальнюючих оцінок ефективності обробки судна, що доцільно робити як з виробничої, так і з економічної точок зору – відповідно до тривалості завантаження (розвантаження) судна і величині витрат порту.

Виділені та інші згадувані вище показники пов'язуються між собою залежностями

$$\left. \begin{aligned} T_n &= Q_n / P_n n_n U_n; \\ T_\phi &= Q_\phi / P_\phi n_\phi U_\phi; \\ R_n &= C_n P_n n_n U_n T_n; \\ R_\phi &= C_\phi P_\phi n_\phi U_\phi T_\phi, \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

де  $U_n = 1$ , так як ОПОС є оптимальним планом.

У поняттях теорії аналізу показники тривалість ПОС і витрати порту є результативними (узагальнюючими) показниками, а параметри, від яких вони залежать, виступають в якості факторних показників (факторів).

**Методика розв'язання завдання.** Ця операція складається, з одної сторони, в зіставленні планового і фактичного значень результативних показників, а з іншого боку, в оцінці впливу на їх відхилення (позитивний або негативний приріст) факторних показників.

Величина відхилення показників – факторних ( $\Delta Q, \Delta P, \Delta n, \Delta U, \Delta C$ ) і результативних ( $\Delta T, \Delta R$ ) – визначаються як різниця між їхніми фактичними і плановими значеннями за формулами

$$\left. \begin{aligned} \Delta Q &= Q_\phi - Q_n; & \Delta P &= P_\phi - P_n; & \Delta n &= n_\phi - n_n; \\ \Delta U &= U_\phi - U_n; & \Delta C &= C_\phi - C_n; \\ \Delta T &= T_\phi - T_n; & \Delta R &= R_\phi - R_n; \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

У даній статті передбачається використання інтегрального методу аналізу, яким забезпечується оцінка впливу факторних показників на відхилення результативних показників за формулами, які характеризуються нижче.

Аналіз тривалості обробки судна починається з розрахунків за схемою, що передбачає виконання комплексу аналітичних і обчислювальних операцій, які пов'язані з розрахунком фактичних значень показників і величини частинних відхилень результативного показника ( $T$ ) і факторних показників ( $Q, P, n, U$ ), які фігурують у табл. 1.

Таблиця 1

Аналіз тривалості обробки судна

Показники	Позначення	Значення		Відхилення ( $\Delta$ )
		план	факт	
Завантаження судна, т	$Q$	$Q_n$	$Q_\phi$	$\Delta Q$
Продуктивність ТЛ, т/год.	$P$	$P_n$	$P_\phi$	$\Delta P$
Кількість ТЛ, од.	$n$	$n_n$	$n_\phi$	$\Delta n$
Коефіцієнт, що враховує рівень організації обробки судна	$U$	$U_n$	$U_\phi$	$\Delta U$
Тривалість обробки судна, год.	$T$	$T_n$	$T_\phi$	$\Delta T$

З використанням даних табл. 1 визначаються частинні відхилення показника тривалості обробки судна за факторами зі співвідношень

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_Q = \Delta Q \frac{T_\phi Q_n + T_n Q_\phi}{2Q_\phi Q_n}; \quad \Delta T_P = -\Delta P \frac{T_\phi P_n + T_n P_\phi}{2P_\phi P_n}; \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_n = -\Delta n \frac{T_\phi n_n + T_n n_\phi}{2n_\phi n_n}; \quad \Delta T_U = -\Delta U \frac{T_\phi U_n + T_n U_\phi}{2U_\phi U_n}; \end{aligned} \right\}$$

$$\Delta T = \Delta T_Q + \Delta T_P + \Delta T_n + \Delta T_U. \quad (26)$$

Аналіз витрат порту з обробки судна виконується за схемою, яка охарактеризована вище. Результати розрахунків зводяться в таблицю 2.

Таблиця 2

Аналіз витрат порту з обробки судна

Показники	Позначення	Значення		Відхилення ( $\Delta$ )
		план	факт	
Продуктивність ТЛ, т/год.	$P$	$P_n$	$P_\phi$	$\Delta P$
Кількість ТЛ, од.	$n$	$n_n$	$n_\phi$	$\Delta n$
Коефіцієнт, що враховує рівень організації обробки судна	$U$	$U_n$	$U_\phi$	$\Delta U$
Тривалість обробки судна, год.	$T$	$T_n$	$T_\phi$	$\Delta T$
Вартість утримання ТЛ, грн./год.	$C$	$C_n$	$C_\phi$	$\Delta C$
Витрати порту з обробки судна, грн.	$R$	$R_n$	$R_\phi$	$\Delta R$

За даними табл. 2 визначаються частинні відхилення показника витрат порту за факторами зі співвідношень

$$\left. \begin{aligned} \Delta R_p &= \Delta P \frac{R_\phi P_n + R_n P_\phi}{2P_\phi P_n}; & \Delta R_n &= \Delta n \frac{R_\phi n_n + R_n n_\phi}{2n_\phi n_n}; \\ \Delta R_U &= \Delta U \frac{R_\phi U_n + R_n U_\phi}{2U_\phi U_n}; & \Delta R_T &= \Delta T \frac{R_\phi T_n + R_n T_\phi}{2T_\phi T_n}; \\ \Delta R_C &= \Delta C \frac{R_\phi C_n + R_n C_\phi}{2C_\phi C_n}; \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

$$\Delta R = \Delta R_p + \Delta R_n + \Delta R_U + \Delta R_C + \Delta R_T. \quad (28)$$

За результатами виконаних розрахунків робляться висновки щодо позитивного (негативного) впливу на величину показників тривалості обробки судна й витрат порту кожного фактору окремо і поєднань факторів за знаком (позитивному, негативному).

### 7. Економічна оцінка результатів обробки судна

**Постановка завдання.** Як відомо, інтегральною оцінкою результатів будь-якого виду діяльності є прибуток, який у випадку ПОС складається з прибутків від реалізації процесів перевалювання вантажів та обробки судна. Разом з цим, показник прибутку грає ключову роль у розрахунку економічної ефективності заходів щодо удосконалення управління процесом, що розглядається. У застосуванні до ПОС останній показник формується за рахунок приведення в дію джерел ефективності, взаємозв'язок яких відображено нижче на рис. 2.

З наведеної схеми видно, що завдяки удосконаленню управління ПОС шляхом його оптимізації забезпечується вигода як для портів, так і для їх клієнтури, тобто вантажо- і судновласників. При цьому у портів, зокрема, з'являється можливість насамперед для вивільнення робочого часу перевантажувальних ресурсів, зменшення собівартості перевалювання вантажів, збільшення інтенсивності вантажних робіт. Реалізація цих джерел ефективності створює передумови для приросту вантажо- і суднопотоків, що сприяє збільшенню прибутку та конкурентоспроможності портів.

**Методика розв'язання завдання.** У відповідності з вищевикладеним укажемо, що показник прибутку порту ( $\Pi$ ) від обробки судна, що окремо розглядається, належить розрахувати за формулою

$$\Pi = (a - s) \cdot D \cdot T + d \cdot (T^0 - T), \quad (30)$$

де  $a$  – акордна ставка на перевалювання вантажу;  
 $s$  – собівартість вантажних робіт;  
 $D$  – інтенсивність обробки судна;  
 $d$  – ставка диспачу (демереджу);  
 $T^0$  і  $T$  – відповідно сталійний та стоянковий час судна.



Відзначимо, що у виразі (30) не відокремлено скорочення стоянкового часу судна за рахунок оптимізації ОПОС, а також не враховано витрати, які пов'язані з розробкою й впровадженням методики оптимізації обробки суден. Ці показники належить брати до уваги при визначенні економічної ефективності застосування вказаної методики за допомогою показника річного економічного ефекту ( $E$ ), що розраховується за формулою

$$E = \Delta\Pi - R, \quad (31)$$

де  $\Delta\Pi$  і  $R$  – відповідно річний приріст прибутку й витрат порту на розробку й впровадження методики оптимізації ОПОС.

У свою чергу, показники  $\Delta\Pi$  та  $R$  визначаються наступним чином:  $\Delta\Pi$  у середньозважених показниках – за наведеною нижче формулою (32), а  $R$  – за кошторисом, що складається підрозділом інформаційних технологій порту або науково-проектним закладом.

Отже,

$$\Delta\Pi = [(a-s) \cdot D \cdot N + d \cdot N'] \cdot \Delta T, \quad (32)$$

де  $\Delta T$  – величина скорочення стоянкового часу судна за рахунок оптимізації ОПОС;

$N$  – кількість оброблених суден;

$N'$  – кількість суден, що оброблено достроково з виплатою порту диспачу.

**Висновок.** Викладений вище комплекс питань є першою спробою теоретико-методичного обґрунтування механізму забезпечення оптимального оперативного управління обробкою судна, що розглядається окремо. Цю розробку визначає очевидна практична спрямованість і простота у використанні, що є її беззаперечною перевагою. Разом з цим, належить відзначити, що методична складова запропонованого механізму управління ПОС може бути розвинута й адаптована до конкретних умов функціонування того чи іншого порту. У такому сенсі мислиться удосконалення вказаного механізму в перспективі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Овсянников Ю. Цифровая диспетчерская – новое слово в управлении грузовыми работами и техникой // Судходство. 2019. № 10.
2. Кириллова О.В., Магамадов О.Р., Шурін Б.В. Зародження і розвиток внутрішньопортового оперативного управління // Вісник Одеського національного морського університету. 2021. Вип. 1(64).
3. Кириллова О.В., Магамадов О.Р., Кириллова В.Ю., Павлова Н.Л., Шурін Б.В. Системна оптимізація управління процесом обробки суден // Вісник Одеського національного морського університету. 2021. Вип. 3(66).

4. Магамадов А.Р. Оптимизация оперативного планирования работы порта. 1979.
5. Морозова І.В. Внутрішньопортове оперативне управління: Тексти лекцій. Одеса: ОНМУ, 2012
6. Сакович А.И. О рациональной расстановке перегрузочных машин при погрузке и разгрузке судов // Морской флот. 1948. № 7.
7. Татаренко Н.С. Методика определения стояночного времени судов, расстановки кранов и составления часовых графиков // Морской флот. 1952. № 4-5.
8. Поплавский Г.В. Оптимизация оперативного регулирования обработки судов в морском порту при сменно-суточном планировании: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19. Л., 1967.
9. Степанец А.В. Научные основы совершенствования управления обработкой транспортных средств в порту: Дис ... докт. техн. наук: 05.22.19. Л., 1988.
10. Магамадов А.Р. Система оптимального внутрипортового оперативного планирования (концепция ОИИМФ-ОНМУ) // Вісник Одеського національного морського університету. 2005. Вип.17.
11. Крук Ю.Ю. Методи адаптивного управління діяльністю оператора портового терміналу: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Одеса, 2017.

#### REFERENCES

1. Ovsyannikov, Y. (2019). Tsifrovaya dispatcher'skaya – novoye slovo v upravlenii gruzovymi robotami i tekhnikoю [Digital dispatching - a new word in the management of cargo operations and equipment]. Sudokhodstvo, 10 [in Russian].
2. Kyryllova, O.V. & Mahamadov, O.R. & Shurin, B.V.(2021) Zarodzhennya y rozvytok vnutrishn'oportovoho operatyvnoho upravlinnya [Origin and development of in-port operational management]. Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu, (1 (64)) [in Ukrainian].
3. Kyryllova O.V., Mahamadov O.R., Kyryllova V.Iu., Pavlova N.L., Shurin B.V.(2021) Systemna optymizatsiia upravlinnia protsesom obrobky suden [System optimization of ship handling process management] Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu, (3(66)) [in Ukrainian].
4. Mahamadov A.R.(1979) Optimizacziya operativnogo planirovaniya raboty` porta [Optimization of operational planning of the port] [in Russian].
5. Morozova I.V.(2012) Vnutrishnoportove operatyvne upravlinnia: Tekst lektzii. Odesa, ONMU. 2012 [Internal port operational management]. Odessa. ONMU [in Ukrainian].
6. Sakovich A.I.(1948) O raczional`noj rasstanovke peregruzochny`kh mashin pri pogruzke i razgruzke sudov [On the rational arrangement of reloading machines during loading and unloading ships]. Morskoj flot [in Russian].

7. *Tatarenko N.S. (1952) Metodika opredeleniya stoyanochnogo vremeni sudov, rasstanovki kranov i sostavleniya chasovykh grafikov [Methodology for determining the parking time of vessels, placing cranes and drawing up hourly schedules] // Morskoj flot [in Russian].*
8. *Poplavskiy, G.V. (1967). Optimizatsiya operativnogo regulirovaniya obrabotki sudov v morskoy portu pri smenno – sutochnom planirovanii [Optimization of operational regulation of processing of vessels in sea port at shift - daily planning]. Candidate's thesis. Leningrad: LIIVT [in Russian].*
9. *Stepanets, A.V. (1988). Nauchnyye osnovy sovershenstvovaniya upravleniya obrabotkoy transportnykh sredstv v portu [Scientific bases of perfection of management of processing of vehicles in port]. Doctor's thesis. Leningrad: LVIMU [in Russian].*
10. *Kruk, Y.Y. (2017). Metody adaptivnoho upravlinnya diyal'nisty operatora portovoho terminalu [Methods of adaptive management of the port terminal operator]. Candidate's thesis. Odesa [in Ukrainian].*
11. *Mahamadov A.R. (2005) Sistema optimal'nogo vnutriportovogo operativnogo planirovaniya (konceptziya OIMF-ONMU) [System of optimal intraport operational planning (concept of OISFE -ONMU)]. Vi`snik Odes`kogo naczional'nogo mors`kogo uni`versitetu. Vip.17. [in Russian].*

*Стаття надійшла до редакції 05.04.2023*

**Посилання на статтю: Кириллова О.В., Магамадов О.Р., Кириллова В.Ю., Павлова Н.Л., Шурін Б.В.** Теоретико-методичне обґрунтування механізму оперативного управління процесом обробки судна // Вісник Одеського національного морського університету: 36. наук. праць, 2023. № 2 (69). С. 105-123. DOI 10.47049/2226-1893-2023-2-105-123.

*Article received 05.04.2023*

**Reference a journalartic: Kirillova E., Mahamadov A., Kirillova V., Pavlova N., Shurin B.** Theoretical-methodical justification of the mechanism of operational management the processing of ship // Herald of the Odesa national maritime university: Coll. scient. works, 2023. № 2 (69). P. 105-123. DOI 10.47049/2226-1893-2023-2-105-123.