

MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING THE VALUES OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF A TANKER'S SEAGOING CONDITION AFTER LOADING

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУ ЗНАЧЕНЬ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРЕХІДНОГО СТАНУ ТАНКЕРА ПІСЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ

V. M. Nazarenko, PhD student, V. D. Savchuk, PhD, professor

В. М. Назаренко, аспірант, В. Д. Савчук, к.т.н., професор

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

ABSTRACT

Transportation of oil cargoes by the world tanker fleet takes place in various climatic zones with significant fluctuations in ambient temperature. When the temperature of the oil cargo increases, its volume will increase, which may lead to increasing the risks of the cargo spilling onto the ship's deck. International conventions and codes that regulate the transportation of crude oil and petroleum products allow the use of only 98% of the cargo capacity of the tanker, the remaining 2% is called the safety factor, i.e. the margin of volume for the unforeseen expansion of the cargo when sailing in different climatic zones. From the other hand, the intensity of cargo operations during the transportation of various types of cargo, including oil cargo, has led to an increase in the role of the "human factor" in ship's energetic system. Reducing the number of ship crews leads to the accumulation of fatigue, distraction of the attention of ship operators (masters) in the process of increasing the intensity of carrying out cargo operations on the ship. A significant share of tanker fleet accidents occurs as a result of loss of control over the volume of bulk cargo that is accepted in each tank of the vessel. The operator's lack of accurate information about the state of each tank's filling at the current moment of time leads to the risk of overflowing of a separate tank, which, in turn, can cause the spillage of bulk cargo, for example, petroleum products on the ship's deck and on the water surface of the port's water area. The relevance of these problems determines the direction of this research. For constant dynamic monitoring of the tanker parameters' conformity during loading operations, considering parameters that maximally satisfy the requirements of maritime safety and taking into account all restrictions, such as the maximum permissible volumes of oil cargo in tanks, the current study proposes to use a mathematical model and create a system for automatic control of tanker loading.

Keywords: oil cargo, tanker, level gauges, safety factor, loading control, mathematical model.

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

Танкерним флотом виконуються перевезення наливних вантажів у різних кліматичних зонах при значних коливаннях температури навколишнього середовища. При підвищенні температури наливного вантажу, буде збільшуватися його об'єм, внаслідок чого виникає ризик виливання вантажу на палубу судна. Міжнародними конвенціями та кодексами, які регламентують перевезення сирої нафти та нафтопродуктів, дозволяється використовувати тільки 98% вантажомісткості танкера, залишок 2% – називається коефіцієнтом безпеки, тобто запас об'єму для непередбаченого розширення вантажу при

плаванні у різних кліматичних зонах.

В цьому контексті, слід відзначити, що екіпаж судна не повинен починати завантаження судна, якщо у капітана немає повної інформації про вантаж і його властивості.

Відповідальність за надання відомостей про вантаж та їх достовірність несе відправник вантажу. При виконанні завантаження танкера старший помічник капітана відповідає за послідовність виконання всіх етапів вантажних операцій, а вахтові помічники повинні постійно контролювати рівень наповнення кожного танка з урахуванням ваги, температури вантажу, його об'єму та маси.

Водночас скорочення чисельності екіпажів суден, інтенсивність проведення вантажних операцій при транспортуванні різних видів наливних вантажів, призводить до зростання ролі «людського фактору» в судових ергатичних системах – у судових операторів (судноводіїв) накопичується втомленість, може виникати розсіювання уваги і, як наслідок, втрата контролю за об'ємом наливного вантажу, який приймається в кожен танк судна. Відсутність у оператора точної інформації про стан заповнення кожного танка на даний момент часу призводить до виникнення ризику переповнення окремого танка, що, в свою чергу, може стати причиною виливу наливного вантажу, наприклад, нафтопродукту на палубу судна та на водну поверхню акваторії порту. Актуальність зазначених проблем зумовлює напрямок даного дослідження.

Слід відзначити, що контроль за рівнем наливного вантажу у режимі реального часу може здійснюватися з використанням різних моделей вимірювачів рівня наливного вантажу: поплавкових, пневматичних, ультразвукових, магнітострикційних, мікрохвильових та інших. В цьому контексті, для постійного динамічного контролю відповідності параметрів танкера під час виконання завантаження і параметрів, які максимально задовольняють вимогам безпеки мореплавання і враховують всі обмеження, такі як максимально допустимі об'єми наливного вантажу у танках, представляється доцільним побудувати модель системи, яка дозволила би автоматизувати контроль вантажних операцій танкера та прогнозування його морехідних якостей після завантаження.

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

Перевезення сирої нафти та нафтопродуктів, вимоги щодо оснащення суден, які перевозять наливні вантажі регламентуються Міжнародними конвенціями та кодексами [1, 2, 3]. В роботі [4] описані рейсові спостереження завантаження танкера «JO PROVEL» при одночасному перевезенні чотирьох сортів нафтопродуктів. Технологічні особливості транспортування наливних хімічних вантажів представлено в публікації [5]. В публікаціях [6, 7] представлено аналіз використання різних типів датчиків та вимірювачів рівня рідини. В матеріалі [8] описано лазерний вимірювач рівня рідин, а в роботі [9] наведена інформація щодо використання лазерних вимірювачів для сипучих вантажів. Радари та радарні хвильопровідні рівнеміри відображені в публікації [10]. Пропозиції щодо автоматизації контролю вантажних операцій танкера викладені в матеріалі [11]. В статті [12] описана система автоматичного контролю вантажних операцій танкера. Аналіз технологічної карти процесу завантаження танкера наливними вантажами представлено в публікації [13], а система інформаційного забезпечення контролю завантаження танкера наливними вантажами описана в матеріалі [14].

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою цієї статті є розробка алгоритмів в рамках моделі системи автоматичного контролю вантажних операцій танкера і прогнозування його морехідних якостей після завантаження, яка може бути використана в якості доповнення існуючих вантажних програм.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Реалізація математичної моделі автоматизації процесу контролю завантаження танкера спирається на виконання алгоритмів, що представлені на рис. 1 та 2.

На рис. 1 показано, що контролюються два параметри:

- тиск в маніфолдах P_{mj} для j -го маніфолду;
- тиск в танках P_{ti} для i -го танку.

Схема автоматичного контролю полягає в тому, що на комп'ютер подаються від датчиків поточні значення означених параметрів і порівнюються із їх заданими величинами, які також встановлені на комп'ютері, причому кінцевий рівень взливу в кожному із танків η_{*i} має відповідати вантажному плану завантаження, а граничний тиск P_{m*j} і P_{t*i} завдається максимально можливим значенням (Рис. 1).

Поточне значення тиску в маніфолдах $P_{mj}(t)$ порівнюється з граничним значенням P_{m*j} , тобто перевіряється справедливність нерівності:

$$P_{m*j} \geq P_{mj}(t) \quad (1)$$

Аналітичні вирази умов алгоритму:

$$Y_j \rightarrow P_{m*j} \geq P_{mj}(t), \quad B_j \rightarrow P_{t*i} \geq P_{ti}(t), \quad (2)$$

$$YM \rightarrow \gamma_{m1}(t) \vee \gamma_{m2}(t) \vee \dots \vee \gamma_{ms-1}(t) \vee \gamma_{ms}(t), \quad (3)$$

$$BM \rightarrow \gamma_{t1}(t) \vee \gamma_{t2}(t) \vee \dots \vee \gamma_{tq-1}(t) \vee \gamma_{tq}(t). \quad (4)$$

Результати перевірки нерівності характеризуються булевою змінною $\gamma_{mj}(t)$, яка може приймати два значення: 1, якщо нерівність справедлива і 0 - в протилежному випадку. Таким чином, формально змінну $\gamma_{mj}(t)$ можливо записати наступним чином:

$$\gamma_{mj}(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } P_{m*j} \geq P_{mj}(t) \\ 0, & \text{if } P_{m*j} < P_{mj}(t) \end{cases} \quad (5)$$

Таким же чином проводиться порівняння поточного значення тиску в кожному із танків $P_{ti}(t)$ з граничним значенням P_{t*i} і перевіряється чи дійсна нерівність:

$$P_{t*i} \geq P_{ti}(t). \quad (6)$$

Булева змінна $\gamma_{ti}(t)$ характеризує справедливність перевірки цієї нерівності і, як і в попередньому випадку, може приймати два значення: 1, якщо нерівність справедлива і 0 - в протилежному випадку.

Тому змінну $\gamma_{ti}(t)$ можливо формалізувати таким чином:

$$\gamma_{ti}(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } P_{t*i} \geq P_{ti}(t) \\ 0, & \text{if } P_{t*i} < P_{ti}(t) \end{cases} \quad (7)$$

Система контролю визначає поточне значення булевих змінних $\gamma_{mj}(t)$ і $\gamma_{ti}(t)$. По значенням змінних $\gamma_{mj}(t)$ визначається параметр Y_m згідно з формулою:

$$Y_m = \gamma_{m1}(t) \vee \gamma_{m2}(t) \vee \dots \vee \gamma_{ms-1}(t) \vee \gamma_{ms}(t), \quad (8)$$

де s - кількість змінних $\gamma_{mj}(t)$.

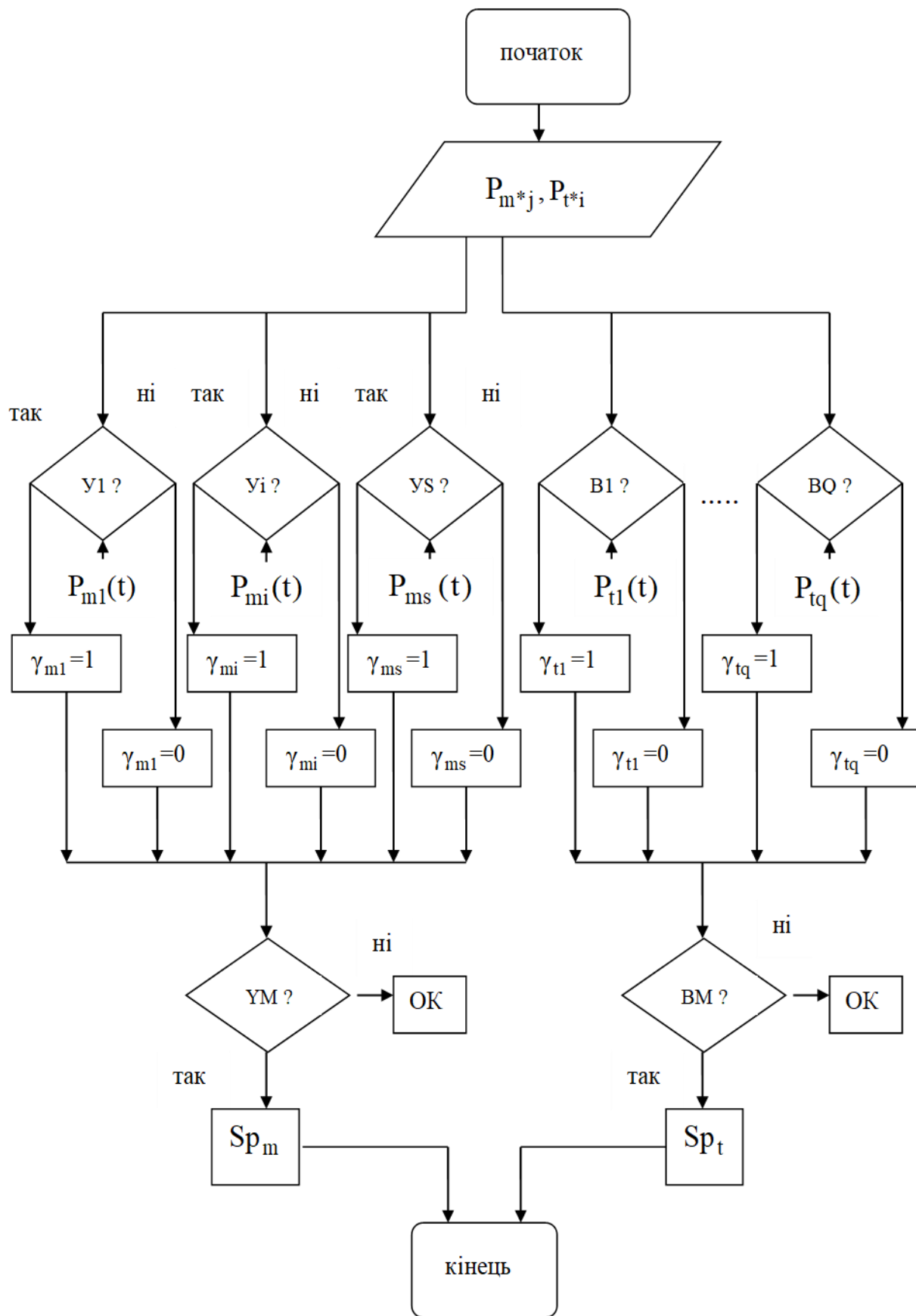


Рис. 1. Алгоритм контролю тиску в маніфолдах і танках

Параметр Y_m приймає значення 1, якщо хоча б одна із змінних $\gamma_{mj}(t)$ має значення 1, а $Y_m = 0$, в разі рівності 0 всіх змінних $\gamma_{mj}(t)$. Таким чином, параметр Y_m характеризує стан тиску в маніфолдах. В момент часу, коли параметр $Y_m = 1$, формується візуальне та звукове сповіщення Sp_m = "Граничне значення тиску в маніфолді r ", причому r - порядковий номер маніфолду, для якого $\gamma_{mj}(t) = 1$.

По поточним значенням булевих змінних $\gamma_{ti}(t)$ тиску в танках знаходиться параметр Y_t по наступному співвідношенню:

$$Y_t = \gamma_{t1}(t) \vee \gamma_{t2}(t) \vee \dots \vee \gamma_{tq-1}(t) \vee \gamma_{tq}(t), \quad (9)$$

де q - кількість змінних $\gamma_{ti}(t)$.

Якщо хоча б одна із змінних $\gamma_{ti}(t)$ має значення 1, то параметр Y_t приймає значення 1, а в разі рівності 0 всіх змінних $\gamma_{ti}(t)$ має місце рівність $Y_t = 0$. Якщо параметр $Y_t = 1$, то формується візуальне та звукове сповіщення Sp_t = "Граничне значення тиску в танкові s ", де s - порядковий номер танку, для якого $\gamma_{ti}(t) = 1$.

Контроль рівня вливу в танках η_i потрібний для визначення 95% і 98% наповнення кожного із танків. Знаючи об'єм кожного із танків, проводиться розрахунок об'єму його 95% і 98% наповнення, відповідно V_{95i} і V_{98i} . Відповідний датчик вимірює поточне значення вливу в танку η_i , по величині якого з урахуванням диференту судна d визначається відповідний об'єм заповненого танку V_i . З цією метою для кожного із танків в комп'ютерній програмі має бути приведена таблиця залежності його заповненого об'єму V_i від вливу η_i і диференту судна d , тобто $V_i = f(\eta_i, d)$. Визначений об'єм V_i танку порівнюється із значеннями V_{95i} і V_{98i} P_{m*j} , тобто перевіряється справедливість нерівностей:

$$\begin{aligned} V_{95i} &> V_i(t) > 0, \\ V_{98i} &> V_i(t) > V_{95i}, \\ V_{98i} &\geq V_i(t). \end{aligned} \quad (10)$$

Результати перевірки приведених нерівностей характеризуються зміною $\gamma_{\eta i}(t)$, яка може приймати значення: 0, якщо справедлива перша нерівність; 1, якщо дійсна друга нерівність; і 3, коли справедлива третя нерівність.

Таким чином, зміну $\gamma_{\eta i}(t)$ формально можливо записати наступним чином:

$$\gamma_{\eta i}(t) = \begin{cases} 0, & \text{if } 0 < V_i(t) < V_{95i} \\ 1, & \text{if } V_{95i} < V_i(t) < V_{98i} \\ 2, & \text{if } V_i(t) \leq V_{98i} \end{cases}. \quad (11)$$

Параметр Y_{η} формується по поточним значенням змінних $\gamma_{\eta i}(t)$, які залежать від вливу η_i і диференту судна d , причому якщо одна із змінних відрізняється від 0, то параметр Y_{η} приймає її значення.

Якщо одна із змінних $\gamma_{\eta i}(t)$ має значення 1, то параметр Y_{η} приймає значення 1, коли одна із змінних $\gamma_{\eta i}(t)$ має значення 2, то $Y_{\eta} = 2$, а в разі рівності 0 всіх змінних має місце

рівність $Y_{\eta} = 0$. Коли параметр $Y_{\eta} = 1$, то формується візуальне та звукове сповіщення Sp_{η_1} = "Танк с має 95% наповнення", де s - порядковий номер танку, для якого $\gamma_{\eta_i}(t) = 1$. Якщо параметр $Y_{\eta} = 2$, тоді виробляється сповіщення Sp_{η_2} = "Танк с має 98% наповнення".

Надалі вважається, що лише одна із змінних, що аналізуються, може відрізнитись від 0. Одночасно дві і більше змінних не можуть мати значення відмінне від 0. Таким чином проводиться контроль параметрів P_{mj} і P_{ti} по значенням відповідних датчиків.

В разі, якщо різниця між поточним та завданим значеннями одного із перерахованих параметрів досягає граничної величини, то система контролю подає сигнал оператору, який виконує коригуючу дію.

Далі розглянемо алгоритм математичної моделі системи автоматизованого контролю завантаження танкера для прогнозування значень основних характеристик морехідного стану судна: перерізуючої сили, згинаючого моменту, початкової метацентричної висоти і диференту. Алгоритм контролю прогнозованих характеристик морехідності судна представлено на Рис. 2.

В даному режимі, перш за все, слід завдати інтервал часу прогнозу Δt_p . По його значенню необхідно визначити об'єм нафтопродукту W_{cpi} в кожному із танків на момент часу кінця інтервалу прогнозу Δt_p . Приріст нафтопродукту в танку за інтервал часу прогнозу Δt_p позначимо через ΔW_{cpi} .

Очевидно, справедливі співвідношення:

$$W_{cpi} = W_{ci} + \Delta W_{cpi}, \quad (12)$$

$$\Delta W_{cpi} = \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}, \quad (13)$$

де W_{ci} - об'єм вантажу в кожному танку; $\frac{dW_{ci}}{dt}$ - швидкість наповнення нафтопродуктом i -го танку.

Так як поточне значення об'єму нафтопродукту у танку W_{ci} є функцією f_{ci} впливу η_i і диференту d , тобто $W_{ci} = f_{ci}(\eta_i, d)$, то прогнозований об'єм W_{cpi} визначається за допомогою наступної формули:

$$W_{cpi} = f_{ci}(\eta_i, d) + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}. \quad (14)$$

Для визначення прогнозованих параметрів потрібно розрахувати відповідну величину водотоннажності D_p та статичних моментів M_{xp} і M_{zp} . Вираз для водотоннажності D_p набуває наступного вигляду:

$$D_p = \sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} + W_0 + W_3 + W_b, \quad (15)$$

де ρ_i - густина нафтопродукту; W_0, W_3, W_b - вага відповідно порожнього судна, запасів і баласту; N - число вантажних танків.

Очевидно, статичні моменти M_{xp} і M_{zp} виражаються наступним чином:

$$M_{zp} = W_0 Z_{g0} + M_{z3} + \sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} Z_{ghi} + \sum_{i=1}^{N_{tb}} W_{bi} Z_{gbi}, \quad (16)$$

де Z_{g0}, Z_{ghi}, Z_{gbi} - аплікати центра тяжіння відповідно порожнього судна, вантажних танків і баластних танків; M_{z3} - статичний момент запасів по вісі Z ; N_{tb} - число баластних танків.

$$M_{xp} = W_0 X_{g0} + M_{x3} + \sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} X_{ghi} + \sum_{i=1}^{N_{tb}} W_{bi} X_{gbi}, \quad (17)$$

де X_{g0}, X_{ghi}, X_{gbi} - абсциси центра тяжіння відповідно порожнього судна, вантажних танків і баластних танків; M_{x3} - статичний момент запасів по вісі X .

З допомогою одержаних виразів розраховуються прогнозовані значення диференту d_p , початкової метацентричної висоти h_p , та значень основних характеристик морехідного стану судна, тобто перерізуючої сили SF_{ip} і згинаючого моменту BM_{ip} .

Значення диференту d_p має наступний вигляд:

$$d_p = D_p (x_{gp} - x_{cp}) / \overline{M}_p, \quad (18)$$

де x_{gp} і x_{cp} - відповідно прогнозовані значення абсциси центру тяжіння судна і абсциси його центру величини; \overline{M}_p - момент, диферентуючий судно на 1 см.

Величина x_{gp} розраховується за допомогою виразу $x_{gp} = M_{xp} / D_p$, тобто:

$$x_{gp} = \frac{W_0 X_{g0} + M_{x3} + \sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} X_{ghi} + \sum_{i=1}^{N_{tb}} W_{bi} X_{gbi}}{\sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} + W_0 + W_3 + W_b} \quad (19)$$

Абсциса центру величини x_{cp} , в свою чергу, являється функцією середнього осідання, тобто водотоннажності D_p і щільності заборотної води, якщо представити залежність x_{cp} від вхідних змінних.

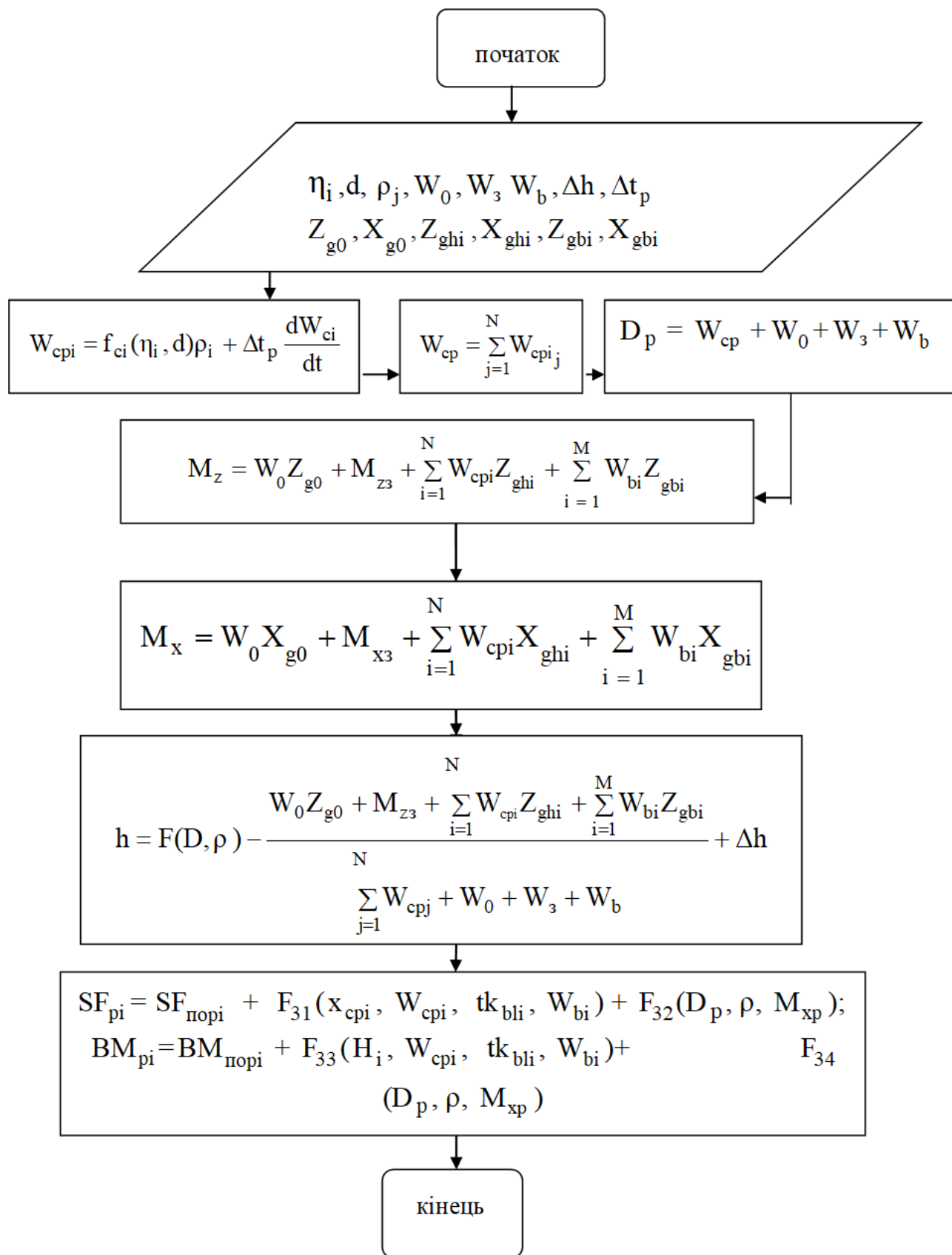


Рис. 2. Алгоритм контролю прогнозованих характеристик морехідності судна

Тому,

$$x_{cp} = F_{12} \left(\sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} + W_0 + W_3 + W_b, \right). \quad (20)$$

В суднових вантажних документах ця залежність представлена в табличному вигляді.

Величина моменту, який диферентує судно на 1 см, \overline{M}_p , як і x_{cp} , також являється функцією водотоннажності D_p і щільності забортної води, тобто:

$$\overline{M}_p = F_{13} \left(\sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} + W_0 + W_3 + W_b, \right). \quad (21)$$

Таким чином, прогнозоване значення диференту d_p :

$$d_p = \frac{\sum_{i=1}^N \left[\sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} \right] \{x_{gp} - x_{cp}\}}{F_{13} \left[\sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} + W_0 + W_3 + W_b, \rho \right]}. \quad (22)$$

Приведемо аналітичний вираз для розрахунку прогнозованого значення початкової метацентричної висоти h_p :

$$h_p = F \left[\sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} + W_0 + W_3 + W_b, \rho \right] + \Delta h - \frac{W_0 Z_{g0} + M_{z3} + \left[\sum_{i=1}^N \{f_{ci}(\eta_i, d)\rho_i + \Delta t_p \frac{dW_{ci}}{dt}\} + W_0 + W_3 + W_b \right] Z_{ghi} + \sum_{i=1}^{N_{tb}} W_{bi} Z_{gbi}}{\sum_{j=1}^N f_{cj}(\eta_j, d)\rho_j + W_0 + W_3 + W_b}, \quad (23)$$

де Δh - поправки до метацентричної висоти за вільні поверхні.

Прогнозовані значення перерізуючої сили SF_{ip} і згинаючого моменту BM_{ip} оцінюються за допомогою виразів:

$$SF_{ip} = SF_{порі} + F_{31}(x_{cp}, W_{cip}, tk_{bli}, W_{bi}) + F_{32}(D_p, M_{xp}); \quad (24)$$

$$BM_{ip} = BM_{порі} + F_{33}(H_i, W_{cip}, tk_{bli}, W_{bi}) + F_{34}(D_p, M_{xp}), \quad (25)$$

в яких враховуються приріст нафтопродукту ΔW_{cpi} в і-му танкові за інтервал часу прогнозу Δt_p при розрахунку прогнозованих значень величин x_{cp} , W_{cip} , D_p , M_{xp} .

Висновки та перспектива подальшої роботи по даному напрямку

В даній роботі запропоновано алгоритми для реалізації математичної моделі системи автоматичного контролю процесу проведення вантажних операцій танкера і прогнозування його морехідних якостей після завантаження. Актуальність даної роботи зумовлена

необхідністю зниження ризиків переповнення окремого танка, що, в свою чергу, може стати причиною виливу наливного вантажу, наприклад, нафтопродукту на палубу судна та на водну поверхню акваторії порту. Оцінка ефективності запропонованих алгоритмів, а також їх верифікація, зокрема засобами імітаційного моделювання, є предметом подальших досліджень. Їх реалізація в рамках моделі зазначеної системи, у вигляді доповнення до вантажної програми танкера, у поєднанні з використанням, наприклад, лазерних далекомірів з метою визначення рівня поверхні наливного вантажу в танках, на різних етапах їх заповнення, дозволить здійснювати постійний динамічний контроль виконання технологічного процесу завантаження судна, що, в свою чергу, може підвищити ефективність розрахунку його морехідних якостей, забезпечить безпеку мореплавання та збереження навколишнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT). [Online]. Available: <http://www.marinedocs.co.uk/wp-content/uploads/2017/09/iscgott-5TH-EDITION.pdf>
2. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS 78/78). [Online]. Available: <http://www.marinedocs.co.uk/wp-content/uploads/2016/10/SOLASS%20Consolidated%20Edition%202014.pdf>
3. International Maritime Dangerous Goods Code (SMDG Code). [Online]. Available: [http://asp.mot.gov.il/media/com_form2_content/documents/c3/a830/t27MSC%20406\(96\).pdf](http://asp.mot.gov.il/media/com_form2_content/documents/c3/a830/t27MSC%20406(96).pdf)
4. V. D. Savchuk, V. M. Nazarenko, "Transportation of four types of petroleum products one tanker «JO PROVEL»,» in *Abstracts of the 5th International scientific and practical conference "Modern science: innovation and prospects"* (February 6-8, 2022), SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2022. Pp 166-171. [Online]. Available: <http://sci-conf.com.ua>
5. V. D. Savchuk, D. I. Krat "Transportation of chemical cargo by chemical tanker," in *Abstracts of the 9th International scientific and practical conference "European scientific discussions"* (July 18-20, 2021), Poteredellaragione Editore, Rome, Italy. 2021. Pp 112-118. [Online]. Available: <http://sci-conf.com.ua>
6. Description of types of sensors, liquid level meters. [Online]. Available: <https://schemy.ru/info/lazernyj-datchik-urovnja-zhidkosti/> [Access date: 05/10/2022].
7. Description of types of sensors, liquid level meters. [Online]. Available: https://www.testrite.com.ua/aliconic_probes.html?gclid=Cj0KCQjwyYKUBhDJARIsAMj9lkEKp3cZLAWJf41zC_UGwFDy9l1pum4ZcpXluZIU4GYR6GliirLYyuIaAlBHEALwwcB [Access date: 10.05.2022].
8. Device for a laser liquid meter. [Online]. Available: <https://findpatent.ru/patent/212/2125246.html> [Access date: 11.05.2022].
9. Laser meters for bulk cargoes. [Online]. Available: <http://www.skpcorp.ru/izmerenie-i-signalizatsiya-urovnya-zhidkikh-i-sypuchikh-sred/lazernye-urovnyemery> [Access date: 10.05.2022].
10. Radar and radar waveguide level gauges. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=gmvtfteTVguI> [Access date: 05/10/2022].
11. В. М. Назаренко, В. Д. Савчук, "Автоматизація контролю вантажних операцій танкера," в *Матеріалах науково-технічної конференції «Судноводіння. морські перевезення та технології»* (NAVIGATION, SHIPPING AND TECHNOLOGY – NST-2022), 17-18 листопада 2022 р. Одеса, НУ «ОМА», 2022, С. 154-158.
12. V. M. Nazarenko, V. D. Savchuk, "System of automated control of tanker cargo operation," *Shipping & Navigation*, vol. 33, pp. 85-93, 2022, DOI: 10.31653/2306-5761.33.2022.87-95.

13. V. M. Nazarenko, V. D. Savchuck, "Technological flowchart of the tanker loading process with oil cargo," in *Abstracts of the 11th International scientific and practical conference "Progressive research in the modern world"*, (July 20-22, 2023) BoScience Publesher, Boston, USA. 2023. Pp. 45-53 [Online]. Available: <http://sci-conf.com.ua>
14. Пат. 152855. Україна. МПК (2023.01), B63B 25/00, B65G 67/60, (2006.01). Система інформаційного забезпечення контролю завантаження танкера наливними вантажами / Назаренко В.М., Савчук В.Д.: заявник і патентовласник Національний університет «Одеська морська академія». - № у 2022 03242; заявл. 30.08.22; опубл. 19.04.23. Бюл. № 16.

REFERENCES

1. International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT). [Online]. Available: <http://www.marinedocs.co.uk/wp-content/uploads/2017/09/iscgott-5TH-EDITION.pdf>
2. International Convention for the Safety of Live at Sea (SOLAS 784/78). [Online]. Available: <http://www.marinedocs.co.uk/wp-content/uploads/2016/10/SOLASS%20Consolidated%20Edition%202014.pdf>
3. International Maritime Dangerous Goods Code (SMDG Code). [Online]. Available: [http://asp.mot.gov.il/media/com_form2_content/document/c3/a830/t27MSC%20406\(96\).pdf](http://asp.mot.gov.il/media/com_form2_content/document/c3/a830/t27MSC%20406(96).pdf)
4. V. D. Savchuk, V. M. Nazarenko, "Transportation of four types of petroleum products one tanker «JO PROVEL»,", in *Abstracts of the 5th International scientific and practical conference "Modern science: innovation and prospects"* (February 6-8, 2022), SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2022. Pp 166-171. [Online]. Available: <http://sci-conf.com.ua>
5. V. D. Savchuk, D. I. Krat "Transportation of chemical cargo by chemical tanker," in *Abstracts of the 9th International scientific and practical conference "European scientific discussions"* (July 18-20, 2021), Poteredellaragione Editore, Rome, Italy. 2021. Pp 112-118. [Online]. Available: <http://sci-conf.com.ua>
6. Description of types of sensors, liquid level meters. [Online]. Available: <https://schemy.ru/info/lazernyj-datchik-urovnja-zhidkosti/> [Access date: 05/10/2022].
7. Description of types of sensors, liquid level meters. [Online]. Available: https://www.testrite.com.ua/aliconic_probes.html?gclid=Cj0KCQjwyYKUBhDJARIsAMj9lkEKp3cZLAWJf41zC_UGwFDy9l1pum4ZcpXluZIU4GYR6GliirlYyuIaAlBHEALw_wcB [Access date: 10.05.2022].
8. Device for a laser liquid meter. [Online]. Available: <https://findpatent.ru/patent/212/2125246.html> [Access date: 11.05.2022].
9. Laser meters for bulk cargoes. [Online]. Available: <http://www.skpcorp.ru/izmerenie-i-signalizatsiya-urovnya-zhidkikh-i-sypuchikh-sred/lazernye-urovnmery> [Access date: 10.05.2022].
10. Radar and radar waveguide level gauges. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=gmvtfTVguI> [Access date: 05/10/2022].
11. V. M. Nazarenko, V. D. Savchuck, "Avtomatyizatsiia kontroliu vantazhnykh operatsii tankera," v Materialah naukovykh i tekhnichnykh konferentsii «Sudnovodinnia. morskii perevezennia ta tekhnolohii» (NAVIGATION, SHIPPING AND TECHNOLOGY – NST-2022), 17-18 lystopada 2022 r. Odesa, NU «OMA», 2022, S. 154-158.
12. V. M. Nazarenko, V. D. Savchuck, "System of automated control of tanker cargo operation," *Shipping & Navigation*, vol. 33, pp. 85-93, 2022, DOI: 10.31653/2306-5761.33.2022.87-95.
13. V. M. Nazarenko, V. D. Savchuck, "Technological flowchart of the tanker loading process with

- oil cargo,” in *Abstracts of the 11th International scientific and practical conference “Progressive research in the modern world”*, (July 20-22, 2023) BoScience Publesher, Boston, USA. 2023. Pp. 45-53 [Online]. Available: <http://sci-conf.com.ua>
14. Pat. № 152855. Ukraina. MPK (2023.01), V63V 25/00, B65G 67/60, (2006.01). Systema informatsiinoho zabezpechennia kontroliu zavantazhennia tankera nalyvnymy vantazhamy / Nazarenko V. M., Savchuck V. D.- Publikatsiia vidomostei 19.04.2023, Biul. № 16.