

*Мельник О.В.*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ СУДНОВИХ ОПЕРАЦІЙ

*У статті розглянуто застосування системного підходу до аналізу безпеки експлуатації технічних засобів при проведенні суднових операцій. При дослідженні безпеки проведення суднових операцій виділено три групи показників: показники якості технічної системи (готовність до експлуатації), урахування зовнішніх факторів (природні умови, метеорологічні дані), та якість експлуатації, яка залежить від підготовки технічного персоналу. Для вирішення задачі оцінки ризику та безпеки експлуатації технічних засобів при проведенні суднових операцій запропоновано декілька основних принципів, в основі яких запропоновано математичні моделі готовності до експлуатації технічних засобів системи суднових операцій з урахуванням їх випадкових і невизначених параметрів. Було отримано функцію готовності, яка є комплексним показником надійності, оскільки залежить від показників безвідмовності та показників відновлюваності технічної системи. Запропоновано допоміжні заходи по забезпеченню експлуатаційної надійності, які дозволять понизити рівень ризиків, що дозволить запобігати аваріям при проведенні суднових операцій.*

**Ключові слова:** безпека, суднові операції, технічні засоби, готовність, безвідмовність, , технічний стан, ймовірність безвідмовної роботи, засіб водного транспорту, експлуатаційна надійність.

**Постановка проблеми.** Безпека проведення суднових операцій - один із основних факторів безаварійної роботи суден на водному транспорті. Готовність до експлуатації технічних систем забезпечується експлуатаційною надійністю технічних засобів проведення суднових операцій. Отже, дослідження готовності до експлуатації систем методом математичного моделювання, є одним з головних завдань забезпечення надійності як безпекової складової проведення суднових операцій.

**Аналіз останніх досліджень.** Питаннями забезпечення експлуатаційної надійності технічних засобів присвячено роботи авторів В.С.Канарчука, С.К.Полянського, М.М. Дмитрієва. Але недостатньо уваги приділялось дослідженню готовності до експлуатації технічних засобів системи суднових операцій.

**Мета дослідження.** У статті запропоновано математичну модель аналізу експлуатаційної надійності технічних засобів при проведенні суднових операцій, яка дозволяє враховувати їхню структуру, оцінити вплив умов експлуатації, ефективність дій обслуговуючого персоналу при відновленні втраченої працездатності.

**Основні результати дослідження.** Застосування системного підходу до аналізу безпеки експлуатації технічних засобів при проведенні суднових операцій передбачає вибір сукупності показників якості елементів систем та формулювання критеріїв ефективності та безпеки функціонування системи в реальних умовах (з урахуванням усіх аспектів: технічного, економічного, екологічного, соціального) [1].

На рис. 1 надана схема формування безпеки функціонування технічної системи.

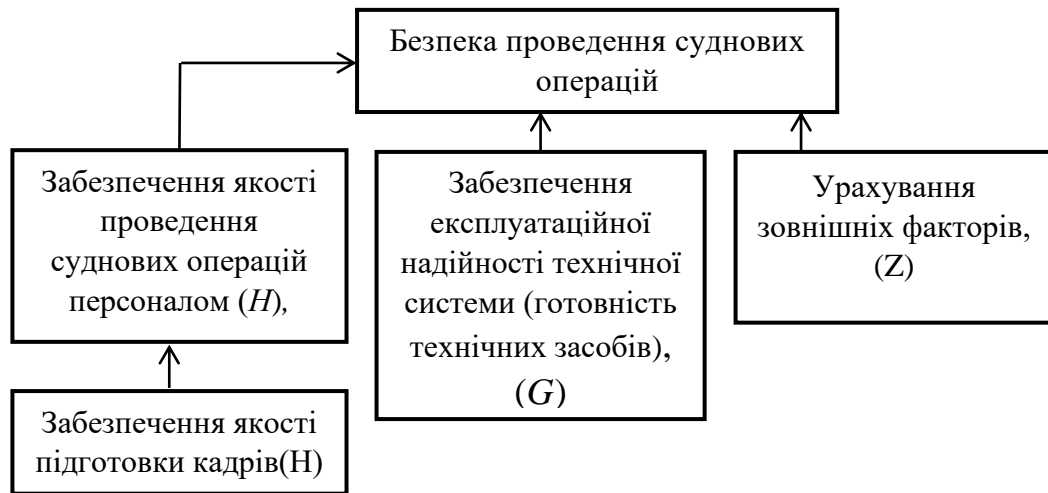


Рисунок 1– Схема формування безпеки проведення суднових операцій

Отже, при дослідженні безпеки проведення суднових операцій слід виділити три групи показників: показники якості технічної системи (готовність до експлуатації) ( $G$ ), урахування зовнішніх факторів (природні умови, метеорологічні дані) ( $Z$ ), та якість експлуатації, яка залежить від підготовки технічного персоналу ( $H$ ). При цьому формалізований вираз критерія безпеки, аналогічно до критерію ефективності роботи [5], може бути представлено функціоналом безпеки  $B$ , який має наступний вигляд:

$$B = B[L(Z, G, H), C(G, H)], \quad (1)$$

де  $L(Z, G, H)$  – рівень безпеки системи, оцінений за критеріями прийнятного ризику;  $C(G, H)$  – витрати на забезпечення прийнятного рівня безпеки.

В якості підтвердження даної залежності (1) може виступати функціонал ефективності у вигляді

$$E = E(Z, G, H) \geq E^{\text{доп}}, \quad (2)$$

де  $E^{\text{доп}}$  - мінімально допустиме значення функціоналу ефективності.

В якості критерію безпеки використовуються приведені витрати, що враховують витрати на всіх стадіях існування системи, то цільовою функцією системи має бути вираз, що описує мінімізацію збільшення витрат для забезпечення безпеки системи прийнятного рівня для фіксованих характеристик зовнішніх умов, тобто:

$$\min \Delta B = \min \frac{C(G, H)}{L(G, H)}. \quad (3)$$

при забезпеченні умови (1). Отже, завдання дослідження проблеми підвищення експлуатаційної безпеки системи зводиться до аналізу впливів на  $\Delta B$  збільшень  $\Delta G$  показників якості окремих елементів системи, що входять в множину  $G$ .

Для вирішення задачі оцінки ризику та безпеки експлуатації технічних засобів при проведенні суднових операцій можна виділити декілька основних принципів.

По-перше, процес проведення суднових операцій слід розглядати як систему, що складається з взаємозалежних технологічних ланок, до складу яких входять технічні засоби, задіяні в операції та існуючі зв'язки між ними.

По-друге, необхідно розробити набір моделей системи з урахуванням їх випадкових і невизначених параметрів і, що дуже важливо, систему реалізації цих моделей, що дозволяє за допомогою ряду формалізованих або неформалізованих процедур довести рішення до

кінцевого результату.

По-третє, слід розробити певну систему критеріїв оцінки стану системи, що дозволяє порівнювати можливі сценарії розвитку подій і приймати найбільш оптимальні рішення.

По-четверте, необхідно створення системи інформаційного забезпечення завдань, що виникають на всіх етапах існування об'єкта. І, нарешті, по-п'яте, створення системи прийняття рішень в процесі експлуатації об'єкта.

Природньо, що в основу такого роду досліджень закладається система моделей, які прогнозують стан об'єкта та його підсистем, вибір яких є ключовим моментом, що визначає достовірність отриманих результатів. При цьому використовуються не тільки наявні моделі обладнання, зовнішніх впливів, але і в разі необхідності створюються нові моделі, необхідні для завершення комплексного опису системи [2]. Всі використовувані методи прогнозування поведінки системи можна розділити на три основні групи:

- побудова моделей, тобто спеціальних об'єктів, що відтворюють істотні риси досліджуваних процесів за допомогою фізичного, математичного. та інших видів моделювання;

- використання експертних оцінок, які акумулюють досвід спеціалістів в даній області і використовують здатність людини робити прогнози на основі наявної інформації про поточний стан системи і характер розвитку її аналогів;

- екстраполяція результатів, отриманих в результаті статистичної обробки наявних даних по існуючим об'єктам.

Сукупність технічних засобів при проведенні судових операцій як об'єкт експлуатації є складною технічною системою, що складається з конструктивно оформлених елементів з різним рівнем надійності [3]. У процесі функціонування технічних засобів відбуваються зміни їх характеристик, параметрів, процеси старіння матеріалів, збої та відмови. Іншими словами, зміна станів технічної системи у часі, які умовно можна поділити на працездатні та непрацездатні (стани відмови). Працездатні стани характеризуються значеннями визначальних параметрів системи, що задовольняють вимоги технічної документації [4]. Крім цього, до працездатних станів можна відносити стани часткової працездатності, тобто при яких відбулося погіршення параметрів до рівня близького до гранично допустимого, але не перевищує його, або при яких після відмови основного елемента відбувається перехід на резервний елемент, при цьому спостерігається часткове витрачання ресурсу, але не виникає порушення працездатності всієї системи. Таким чином, технічна система може перебувати в кількох працездатних станах, кожен з яких характеризується своєю ефективністю, тобто ступенем пристосованості системи для виконання поставленої експлуатаційної задачі.

Зміна станів технічної системи визначається впливом зовнішнього середовища, процесом виникнення нештатних ситуацій, викликаних відмовами системи в цілому або її окремих частин, та керованим процесом проведення відновлювальних робіт, під якими розуміємо довільне, цілеспрямоване, передбачене заздалегідь або вимушене, несподіване втручання технічного персоналу у роботу всієї системи чи її окремих частин. Під це визначення підпадають зовнішні огляди, капітальний ремонт і навіть заміна технічної системи на нову, ідентичну.

Вплив зовнішнього середовища та процес виникнення нештатних ситуацій носять випадковий характер і не можуть бути визначені та передбачені однозначно, тому не можна заздалегідь знати, як розвиватиметься процес експлуатації у майбутньому. Отже, для адекватного аналізу надійності технічних засобів доцільно використати модель випадкового процесу [5]. Аналіз причин відмов технічних засобів при проведенні судових операцій показав, що в реальних умовах функціонування відмови технічних засобів визначаються відмовами елементів, що відбуваються як внаслідок впливу зовнішніх несприятливих факторів, так і внаслідок процесів старіння та зносу, що призводять до поступового зниження основних параметрів системи. Виходячи з цього, слід розглядати зміну показників надійності при спільному прояві раптових і поступових відмов. У цьому полягає неоднорідність випадкового процесу зміни станів технічної системи у часі.

Зміна станів технічної системи в часі визначається також цілеспрямованим (керованим) процесом проведення відновлювальних робіт, тобто процесом технічного обслуговування, який носить суб'єктивний характер (людина приймає рішення про те, коли і які відновлювальні роботи необхідно проводити), хоч і базується на об'єктивній інформації про стан системи. Приймаючи рішення про проведення тієї чи іншої відновлювальної роботи, терміни її початку та реалізуючи це рішення, технічна система переходить в новий стан. Функціонування технічних засобів даної суднової операції у часі має циклічний характер і після закінчення кожного циклу ситуація, яка може привести або не призвести до відмови, відновлюється. Основною кількісною характеристикою безвідмовної роботи прийнято вважати ймовірність безвідмовної роботи на заданому інтервалі часу, тобто ймовірність того, що напрацювання до першої відмови  $\xi_1$  перевищує величину  $t$  [6].

Ймовірність безвідмовної роботи елемента на проміжку часу від 0 до  $t$  можна записати у вигляді функції надійності:

$$P(t) = P\{\xi_1 \geq t\} = 1 - F_1(t), \quad (4)$$

де  $\xi_1$  – випадкова величина, що характеризує напрацювання елемента до першої відмови за певний проміжок часу;

$\xi_1(i)$  – реалізація випадкової величини  $\xi_1$  для  $i$ -го елемента системи;

$F_1(t) = P\{\xi_1 < t\}$  – функція розподілу часу до першої відмови;

Відповідний статистичний показник (точкова оцінка) ймовірності безвідмовної роботи визначається як відношення числа елементів, що безвідмовно працювали до моменту часу  $t$ , до загального числа елементів, що працювали в початковий (нульовий) момент часу:

$$P^*(t) = \frac{N(t)}{N(0)} \quad (5)$$

$n(t)$  – число елементів, що відмовили на момент часу  $t$ ;  $N(t)$  – число працюючих елементів на момент часу  $t$ .  $N(0)$  – число працюючих елементів в початковий (нульовий) момент часу

Оскільки відмова кожного з технічних засобів є випадковою незалежною подією, то ймовірність безвідмовної роботи технічної системи в цілому визначатиметься як добуток відповідних ймовірностей:

$$P(t) = \prod_{i=1}^3 P_i(t), \quad (6)$$

де  $P_i(t)$  ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента,

$P_1(t), P_2(t), P_3(t)$  – ймовірність того, що за час  $t$  працюватиме безвідмовно 1-й, 2-й або 3-й елемент відповідно.

$P_0, P_1, P_2, P_3$ , – ймовірності того, що за час не відмовить жодний елемент ( $P_0$ ), відмовить 1 або 2, або 3 елементи відповідно.

Для моделювання функції розподілу відмов ТЗ використаємо експоненційний розподіл з параметром  $\lambda$ : [7].

$$F_1(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, \\ 1 - e^{-\lambda t}, & t \geq 0. \end{cases} \quad (7)$$

Параметр  $\lambda$  визначає інтенсивність відмов і статистично може бути оцінений як величина обернена до середнього часу безвідмовної роботи.

З формули (1) маємо, що ймовірність відмови на проміжку часу від 0 до  $t$ :

$$Q(t) = P\{\xi_1 < t\} = 1 - P(t) \quad (8)$$

З ймовірнісних міркувань розрахуємо частоту відмов ТЗ в залежності від часу  $t$  як функцію щільності розподілу ймовірностей відмов:

$$a(t) = \frac{dQ(t)}{dt} \quad (9)$$

Відповідно інтенсивність відмов технічних засобів в залежності від часу  $t$  визначимо наступним чином:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} \quad (10)$$

Відновлюваний об'єкт впродовж усього терміну служби може відмовити багато разів. Після кожної відмови робиться відновлення працездатності шляхом заміни елементів, що

відмовили, регулювання, ремонту, і об'єкт знову включається в роботу. Тому необхідно дослідити процес функціонування технічних засобів в період відновлення.

Моделювання процесу функціонування з врахуванням часу на відновлення. Процес функціонування відновлюваного об'єкта можна уявити послідовність випадкових інтервалів безвідмовної роботи ( $\xi_k$ ) та просто ( $\theta_k$ ).

Для покращення процесу організації і планування суднових операцій запропоновано використовувати відносний коефіцієнт часу відновлення технічних засобів бункерування  $k_i$ , використання якого дозволить визначити ймовірність безвідмовної роботи та попередити аварійні ситуації.

$$Q(t) = 1 - P(t) - \int_0^t \lambda(\tau) \cdot p(t - \tau) d\tau \quad (11)$$

Ймовірність того, що технічні засоби були відновлені і після того працювали деякий час можна визначити наступним чином:

$$Q(t) = 1 - P(t) - \sum_{k=1}^N \lambda(\tau_k) \cdot \Delta\tau \cdot p(t - \tau_k). \quad (12)$$

Визначимо функцію готовності  $G(t)$  – ймовірність того, що в довільний момент часу  $t$  система буде знаходитись в робочому стані.

Розділимо інтервал  $(0, t)$  на  $N$  неперекривних інтервалів довжиною  $\Delta\tau$ . Нехай  $C_k$  – це подія, яка полягає в тому, що технічна система була відновлена на інтервал  $i \Delta\tau$  і працювала безвідмовно в інтервалі  $(t - \tau_k - \Delta\tau_k)$ .

Ймовірність цієї події дорівнює  $\lambda(\tau_k) \cdot \Delta\tau \cdot p(t - \tau_k)$ , де  $\lambda(\tau_k)$  – параметр потоку відмов.

Використовуючи формулу повної ймовірності, отримуємо наступний вираз функції готовності:

$$G(t) = P(t) + \sum_{k=1}^N \lambda(\tau_k) \cdot \Delta\tau \cdot p(t - \tau_k). \quad (13)$$

Виконавши граничний перехід за умови  $\max_k \Delta\tau_k \rightarrow 0$ , отримаємо

$$G(t) = P(t) + \int_0^t \lambda(\tau) \cdot p(t - \tau) d\tau. \quad (14)$$

Функція готовності є комплексним показником надійності, оскільки залежить від показників безвідмовності та показників відновлюваності технічної системи [8].

Відповідно до обраної моделі аналізу експлуатаційної надійності як кількісний показник надійності виберемо коефіцієнт готовності ( $KГ$ ) — ймовірність того, що об'єкт опиниться у працездатному стані в довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачається (профілактика чи технічне обслуговування). Коефіцієнт готовності є комплексним показником надійності, який характеризує безвідмовність та ремонтпридатність одночасно, та рекомендований для оцінки експлуатаційної надійності обладнання при виконанні суднових операцій. Для кількісної оцінки ймовірності реалізації станів складається система  $m$  звичайних лінійних диференціальних рівнянь Колмагорова-Чепмена першого порядку [9].

Таким чином, запропонована математична модель аналізу експлуатаційної надійності дозволяє враховувати структуру технічних засобів, що розглядаються, оцінити вплив умов експлуатації, ефективність дій обслуговуючого персоналу при відновленні втраченої працездатності.

Частоту виникнення аварійної ситуації при проведенні суднових операцій необхідно визначати, виходячи з конкретних умов. Необхідний рівень експлуатаційної надійності устаткування досягається як за рахунок забезпечення необхідної базової надійності в процесі проектування та виготовлення, так і експлуатації устаткування.

Процес забезпечення експлуатаційної надійності, зв'язаний з усуненням слабких місць, характеризується її підвищенням і послідовним збільшенням міжремонтних періодів устаткування. При цьому кожен черговий період розраховують, виходячи з аналізу надійності за минулий час експлуатації.

При розрахунку чергового міжремонтного періоду  $T_P$  задаються необхідною ймовірністю безвідмовної роботи устаткування  $P_{TP}$  до початку чергового ремонту. Ця ймовірність повинна

складати 0,8-0,85 у залежності від важливості устаткування в забезпеченні технологічного процесу. На підставі статистичних даних про відмовлення устаткування за попередній період експлуатації  $t_1$  установлюють закон розподілу й оцінюють вид функції інтенсивності відмовлень  $\lambda(f)$ . Тоді імовірність безвідмовної роботи устаткування до моменту початку чергового ремонту можна представити у виді [10]:

$$P(t_1 + T_p) = \exp \left[ - \int_0^{t_1 + T_p} \lambda(t) dt \right] \quad (15)$$

З огляду на те, що  $P(t_1 + T_p) = P(t_1)P(T_p/t_1) = P_{TP}$ , а також приймаючи допущення, що надійність устаткування після останнього ремонту перед планованим залишається такий же, як якби устаткування не відмовило, тобто  $P(t_1) = I$ , то одержимо:

$$P(T_p/t_1) = \exp \left[ - \int_{t_1}^{t_1 + T_p} \lambda(t) dt \right] \quad (16)$$

Вираження  $P(T_p/t_1) = P_{TP}$ , тому що імовірність безвідмовної роботи устаткування  $P_{TP}$  до початку чергового ремонту - це умовна імовірність безвідмовної роботи устаткування за умови, що по події періоду  $t_1$  відмовлення не наступило, тобто що  $P(t_1) = I$ .

Тоді вираження для визначення  $T_p$  може бути представлене у виді:

$$\int_{t_1}^{t_1 + T_p} \lambda(t) dt = -\ln P_{TP} \quad (17)$$

При експонентному законі розподілу відмовлень ( $\lambda = const$ ) вираження для  $T_p$  приймає вид:

$$T_p = -\frac{1}{\lambda} \ln P_{TP} \quad (18)$$

Потрібний рівень надійності устаткування забезпечують:

- а) удосконаленням методів експлуатації обладнання;
- б) технічним обслуговуванням та ремонтом ;
- в) шляхом усунення недоліків на основі зібраної та обробленої інформації щодо стану обладнання, заміною менш надійного обладнання або його вузлів та деталей більш надійним;
- г) модернізацією обладнання.

**Висновки.** Досліджено ймовірність безвідмовної роботи для технічних засобів проведення суднових операцій, що дозволило визначити ймовірність відмови на різних часових проміжках. Визначено ймовірність відмови кожного з технічних засобів протягом часу  $t$ . Визначення середнього напрацювання до першої відмови дозволить своєчасно замінити елемент технічної системи, тим самим забезпечивши її надійність. Досліджено процес функціонування технічних засобів в період відновлення. Виведено функцію ймовірності безвідмовної роботи в момент часу  $t$  з врахуванням відновлюваності, з використанням виведеного нами відносного коефіцієнту часу відновлення технічних засобів. Надано перелік заходів, що забезпечують потрібний рівень надійності технічних засобів проведення суднових операцій.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дичко А. О., Єремєєв І. С. Аналіз ризиків і менеджмент водних екосистем. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2018. № 4. С. 115–122.
2. Абракітов В. Е. Курс лекцій «Надійність технічних систем і техногенний ризик»; Харк.нац. ун-т ім. О. М. Бекетова. Х.: ХНУМГ, 2014. 66 с.
3. Васілевський О. М., Поджаренко В. О. Нормування показників надійності технічних засобів : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2010. 129 с.

4. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. К. : Держстандарт України, 1994. 36 с. (Національний стандарт України).
5. Костановський В. В., Козачук О. Д. Метод ідентифікації параметрів універсальної моделі відмов, яка апроксимує узагальнену криву інтенсивності відмов електронної техніки. Наукоємні технології. 2018. Т. 40. № 4. С. 465-471.
6. Жлуктенко В.І., Наконечний С.І. Теорія ймовірностей і математична статистика: Навч.-метод. Посібник: У 2-х ч. Ч.І. Теорія ймовірностей. К.: КНЕУ, 2000. 304 с.
7. Жлуктенко В.І., Наконечний С.І., Савіна С.С. Теорія ймовірностей і математична статистика: Навч.-метод. Посібник: У 2-х ч. – Ч.ІІ. Математична статистика. – К.: КНЕУ, 2001. – 336 с.
8. Волошенко А.Б., Джалладова І.А. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. Метод. Посібник для самостійного вивчення дисципліни.: К.: КНЕУ, 2003. 256 с.
9. Канарчук В.С., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: Підручник. Либідь, 2003. 424 с.
10. Барнік М.А., Афтаназів І.С., Сівак Ш.О. Технологічні методи забезпечення надійності деталей машин К., 2004. 148 с.

#### REFERENCES

1. Dychko, A.O., Yermieiev I.S. (2018), "Analysis of risks and management of water ecosystems", Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vol. 4, no. 4, pp. 115-122.
2. Abrakitov, V. E. (2014), *Nadijnist' tekhnichnykh system i tekhnohennyj ryzyk* [Reliability of technical systems and man-made risk], KhNUMH, Khar'kiv, Ukraine.
3. Vasilevskij, O. M. And Podzharenko, V. O. (2010), *Normuvannia pokaznykiv nadijnosti tekhnichnykh zasobiv* [Standardization of reliability indicators of technical means], Vinnytsia, Ukraine.
4. National Standard of Ukraine (1994), "DSTU 2860-94 "Reliability of equipment. Terms and definitions", Derzhstandart Ukrainy. p. 36
5. Kostanovskiy, V. V. and Kozachuk, O. D. (2018), "A method of identifying the parameters of the universal failure model, which approximates the generalized failure intensity curve of electronic equipment", *Naukoiemni tekhnolohii*, vol.4, pp. 465-471.
6. Zhluktenko, V.I. and Nakonechnyj, S.I. (2000), *Teoriia jmovirnostej i matematychna statystyka* [Probability Theory and Mathematical Statistics], Teoriia jmovirnostej P.1, KNEU, Kyiv, Ukraine.
7. Zhluktenko, V.I., Nakonechnyj, S.I. and Savina S.S. (2001), *Teoriia jmovirnostej i matematychna statystyka* [Probability Theory and Mathematical Statistics], matematychna statystyka P 2, Kyiv, Ukraine.
8. Voloshenko, A.B. and Dzhalladova, I.A. (2003), *Teoriia jmovirnostej ta matematychna statystyka* [Probability Theory and Mathematical Statistics], Kyiv, Ukraine.
9. Kanarchuk, V.S., Polians'kyj, S.K. and Dmitriiev M.M. (2003), *Nadijnist' mashyn*: [Machine reliability], Lybid, Kyiv, Ukraine.
10. Barnik, M.A., Aftanaziv, I.S. and Sivak, Sh.O. (2004), *Tekhnolohichni metody zabezpechenni nadijnosti detalej mashyn* [Technological methods of provision reliability of machine parts], Kyiv, Ukraine.

**Melnyk O.**

**RESEARCH OF THE OPERATIONAL RELIABILITY OF TECHNICAL EQUIPMENT AS A FACTOR OF IMPROVING SAFETY IN THE CONDUCT OF SHIP OPERATIONS**

The article considers the application of a system approach to the analysis of the safety of the operation of technical facilities during ship operations. When studying the safety of ship operations, three groups of indicators are distinguished: indicators of the quality of the technical system (readiness for operation), taking into account external factors (natural conditions, meteorological data), and the quality of operation, which depends on the training of technical personnel. To solve the problem of assessing the risk and safety of the operation of technical means during ship operations, several basic principles are proposed, based on which mathematical models of readiness for the operation of technical means of the ship operations system are proposed, taking into account their random and uncertain parameters. The readiness function, which is a comprehensive indicator of reliability, was obtained, as it depends on the fail-safe indicators and indicators of the technical system's recoverability. Auxiliary measures to ensure operational reliability are proposed, which will allow to reduce the level of risks, which will allow to prevent accidents during ship operations.

**Keywords:** *safety, ship operations, technical facilities, readiness, probability of failure-free operation, operational reliability.*