

DOI: 10.18372/2310-5461.43.13988

УДК 681.5:629.12

О. В. Мельник

Державний університет інфраструктури та технологій
orcid.org/0000-0001-9894-8622
e-mail: olga-melnik81@ukr.net;

О. М. Тимошук

Державний університет інфраструктури та технологій
orcid.org/0000-0003-3684-6182
e-mail: mnielena7@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ БУНКЕРУВАННЯ НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ

Вступ

Необхідною умовою успішної роботи водного транспорту, який займає важливе місце в транспортно-логістичній системі України, має бути якісно організоване комплексне обслуговування флоту, важливою складовою якого є надійне бункерування безперебійне постачання паливом і мастилами.

Постановка проблеми

Бункерування суден на водному транспорті пов'язане з техніко-технологічними, природними та екологічними умовами, що в сукупній взаємодії потребує забезпечення безвідмовної роботи як одного із основних факторів для запобігання розливів нафти, які призводять до екологічних забруднень. Тому оцінювання технічного забезпечення засобів бункерування необхідно розглядати з урахуванням запобігання можливих відмов обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням аналізу ринку бункерувальних послуг присвячено роботи закордонних авторів А. В. Абрамович, Ю. Н. Горєлова, А. В. Кострова [1–3].

Але недостатньо уваги приділялось дослідженню безвідмовної роботи системи бункерування з точки зору забезпечення її технічної складової. Для цього необхідно розглянути ймовірність безвідмовної роботи технічних засобів бункерування, ймовірність та інтенсивність відмов, середнє напрацювання до першої відмови технічних засобів.

Мета статті. Оцінювання безвідмовної роботи системи бункерування шляхом визначення часу безвідмовної роботи технічних засобів для своєчасної заміни обладнання для запобігання аварій внаслідок розливу нафти та забезпечення екологічної безпеки.

Виклад основного матеріалу

Бункерування дизельним паливом, мастилами, мазутом і іншими нафтопродуктами є невід'ємним елементом експлуатації суден транспортного флоту [4]. Забезпечення безвідмовної роботи системи бункерування дозволить підвищити рівень безпеки, ефективності і економічності цього складного технологічного процесу комплексного обслуговування флоту. Вихід з ладу основного устаткування технічних засобів бункерування створює аварійну ситуацію, з розливами нафти, що призводить до екологічного забруднення, а іноді викликає аварії з тяжкими наслідками, включаючи людські жертви [5].

Таким чином, проблема забезпечення безвідмовної роботи технічних засобів бункерування дуже важлива.

Знаючи залежність безвідмовної роботи технічних засобів від режимів роботи і умов експлуатації, можна розрахувати часові періоди безвідмовної роботи для різних технологічних схем бункерування, отже, можна заздалегідь вжити заходів, що забезпечують досить високий рівень безпеки навіть у найнесприятливіших умовах технічної експлуатації [6].

Для забезпечення надійності бункерування суден на водному транспорті розглянемо процес бункерування як техніко-технологічну систему, яка складається з сукупності технологічних ланок (технічних об'єктів і засобів).

Надійність є комплексною властивістю, що залежно від призначення об'єкта і умов його застосування, може містити в собі: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збережувальність [7]. Комплекс заходів щодо аналізу надійності ґрунтується на таких принципах [8]:

– ймовірність настання критичних відмов не повинна перевищувати граничнодопустимого рівня протягом усього терміну експлуатації об'єкта;

– вимоги споживача (замовника) щодо надійності замовлених об’єктів обов’язкові для розробника (виробника);

– основний обсяг роботи щодо аналізу надійності повинен проводитися на стадії науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт.

Для забезпечення безвідмовності як однієї з властивостей надійності технічних засобів бункерування необхідно оптимально вибрати принципи техобслуговування та ремонту системи. Існують наступні три основні види технічного обслуговування і ремонту: 1) за календарними термінами незалежно від напрацювання об’єкту, 2) з вироблення встановлених заздалегідь міжремонтних ресурсів, 3) за технічним станом.

Техобслуговування і ремонт по календарним термінам приводять до невиправданих матеріальних витрат, оскільки не враховують використався об’єкт чи ні [9].

Техобслуговування і ремонт з вироблення ресурсу трохи ускладнює конструкцію об’єкту (за рахунок вимірювання напрацювання). Організація техобслуговування залишається тут порівняно простою. Проте економія засобів використовується не повністю.

При техобслуговуванні за технічним станом періодично контролюється визначальний параметр. Рішення про заміну, ремонт і техобслуговування приймається за результатами контролю, коли визначальний параметр характеризує наближення системи до відмови або до межі допуску [10]. При цьому значно скорочуються витрати на обслуговування і підвищується надійність. При порівнянні об’єктів за надійності виявляється, що показники надійності (ПН) нерівно-значні [11]. На практиці застосовується методика вибору показників надійності. Вона полягає в такому:

1. Збирають відомості про систему, у яку входить даний об’єкт, і послідовно аналізують чинники, що впливають на вибір показників надійності.

2. Встановлюють призначення об’єкту.

При цьому всі об’єкти поділяються на три групи [12]: а) об’єкти, призначені для роботи в системах, ефективність яких може бути оцінена економічними показниками; б) об’єкти, функціонування яких може бути пов’язане із забезпеченням безпеки; в) об’єкти, для яких не можна вказати призначення систем, у яких вони будуть використані.

При призначенні показників надійності систем другого типу (з умов безпеки), до якої відноситься технічна система бункерування, необхідно виділити основні чинники, що впливають на безпеку. Відповідні математичні моделі повинні

враховувати випадкові процеси, що протікають в системі поля появи відмов.

Для теорії надійності основу математичного апарату складають теорія ймовірностей і математична статистика. Теорія надійності є інструментом для вирішення багатьох практичних завдань, і зокрема завдань оптимальної технічної експлуатації (ТЕ). Розглянемо схему використання теорії надійності для вирішення практичних завдань ТЕ засобів бункерування.

При визначенні показників безвідмовності як однієї з властивостей надійності будемо використовувати такі позначення:

ξ_1 — випадкова величина, що характеризує напрацювання елемента до першої відмови за певний проміжок часу;

$\xi_1(i)$ — реалізація випадкової величини ξ_1 для i -го елемента системи;

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

$n(t)$ — число елементів, що відмовили на момент часу t ;

$N(t)$ — число працюючих елементів на момент часу t .

Імовірність безвідмовної роботи

Основною кількісною характеристикою безвідмовної роботи прийнято вважати ймовірність безвідмовної роботи на заданому інтервалі часу, тобто ймовірність того, що напрацювання до першої відмови ξ_1 перевищує величину t [13].

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

$$P_1(t) = P\{\xi_1 \geq t\} = 1 - F_1(t). \quad (1)$$

Відповідний статистичний показник (точкова оцінка) імовірності 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:

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

У нашому дослідженні розглянемо такі основні причини відмов під час проведення бункерування (табл. 1).

Таблиця 1

Імовірність відмов технічних засобів

Кількість ТЗ, що відмовили	0	1	2	3
Імовірність	P_0	P_1	P_2	P_3

До основних технічних причин відноситься несправність обладнання, пов’язана з несправ-

ністю насосу, бункерувального шлангу або технічних засобів на судні, що бункерується.

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

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

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 t не відмовить жодний елемент (P_0), відмовить 1 або 2 або 3 елементи відповідно.

Кількість відмов технічних засобів буде випадковою величиною, що матиме дискретний розподіл такого вигляду (табл. 1):

$$P_0 = P_1(t) P_2(t) P_3(t); \quad (4)$$

$$P_1 = P_1(t) P_2(t) (1 - P_3(t)) + (1 - P_1(t)) \times P_1(t) P_3(t) + P_1(t) (1 - P_2(t)) P_3(t); \quad (5)$$

$$P_2 = P_1(t) (1 - P_2(t)) (1 - P_3(t)) + (1 - P_1(t)) \times P_2(t) (1 - P_3(t)) + (1 - P_1(t)) (1 - P_2(t)) P_3(t); \quad (6)$$

$$P_3 = (1 - P_1(t)) (1 - P_2(t)) (1 - P_3(t)). \quad (7)$$

Якщо (P_i) — ймовірність відмови одного елемента, то перший і другий множники в першому доданку визначають ймовірність того, що перший і другий елемент у даному випадку працюватимуть безвідмовно, а третій відмовить.

Це аналогічно для другого і третього доданків.

Щоб змоделювати значення $P_i(t)$ нам необхідно визначити функції розподілу часу до першої відмови формула (1). Для цього використаємо дані, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики показників надійності ТЗ при здійсненні процесів бункерування*

Властивість надійності	Технічний об'єкт		
	Насос НМШ 5-25-4.0/10 автозаправника	Бункерувальний шланг	Бункерувальне судно: клинкетні замки
1. Безвідмовність	4500 год	3000 год	6000 год
2. Середній час відновлення	5 год	6 год	12 год
3. Середній ресурс виробу до капітального ремонту	40 000 год	50 000 год	80 000 год
4. Збережуваність	2 роки	3 роки	5 років

* Розроблено автором на основі паспортних даних обладнання

Для моделювання функції розподілу відмов ТЗ використаємо експоненційний розподіл з параметром λ :

$$F_1(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ 1 - e^{-\lambda t}, & t \geq 0. \end{cases} \quad (8)$$

Параметр λ визначає інтенсивність відмов і статистично може бути оцінений як величина обернена до середнього часу безвідмовної роботи. Тобто в нашому випадку маємо три параметри:

$$\lambda_1 = \frac{1}{4500} = 0,00022; \quad \lambda_2 = \frac{1}{3000} = 0,00033;$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{6000} = 0,00017.$$

Тоді відповідні значення $P_i(t)$ становитимуть:

$$P_1(t) = e^{-0,00022t}; \quad P_2(t) = e^{-0,00033t};$$

$$P_3(t) = e^{-0,00017t}.$$

Ймовірність безвідмовної роботи трьох ТЗ визначатиметься за формулою:

$$P(t) = e^{-0,00022t - 0,00033t - 0,00017t} = e^{-0,00072t}.$$

Змоделюємо відповідні значення ймовірностей безвідмовної роботи при $t \in [0; 6500]$ год (рис. 1).

Ймовірність відмови

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

$$Q_1(t) = P\{\xi_1 < t\} = 1 - F(t). \quad (9)$$

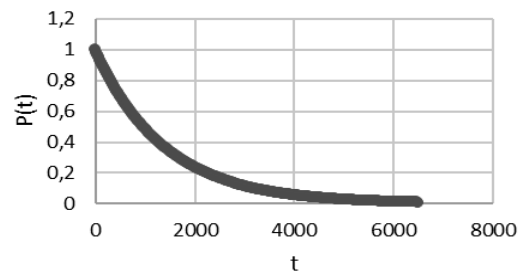


Рис. 1. Графік функції ймовірності безвідмовної роботи ТЗ

Дослідимо розподіл ймовірності випадкової величини, що визначає кількість технічних засобів що відмовили протягом часу t (рис. 2, табл. 3).

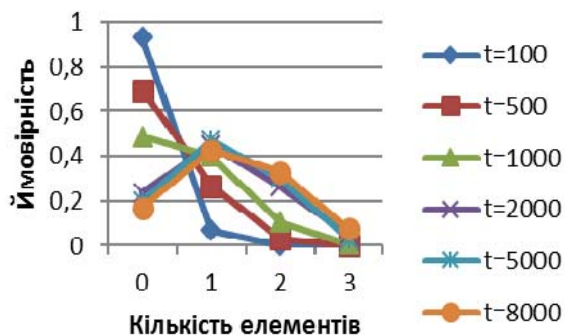


Рис. 2. Розподіл ймовірностей кількості елементів, що відмовили, для різних значень t

У табл. 4 значення ймовірностей розраховувались за формулами (5)–(7) з урахуванням табл. 3. А саме: моделювалась ситуація, коли по завершенні середнього терміну безвідмовної роботи елемент, що виходить з ладу замінюється новим.

Відповідно ймовірність його безвідмовної роботи зростає. Такі «точки відновлення» визначались на основі даних табл. 3.

Функцію ймовірності безвідмовної роботи в момент часу t з врахуванням відновлюваності визначимо так:

$$P(t) = -0,00022(t - k_1T_1 + k_1\theta_1) - 0,00033(t - k_2T_2 + k_2\theta_2) - 0,00017(t - k_3T_3 + k_3\theta_3),$$

де T_i — середній час безвідмовної роботи i -го елемента; $k_i = \left\lceil \frac{t}{T_i} \right\rceil$ відносний коефіцієнт часу

відновлення технічних засобів бункерування; θ_i — середній час простою внаслідок відмови i -го елемента.

Графік функції безвідмовної роботи (рис. 3) з урахуванням відновлення обладнання має такий вигляд:

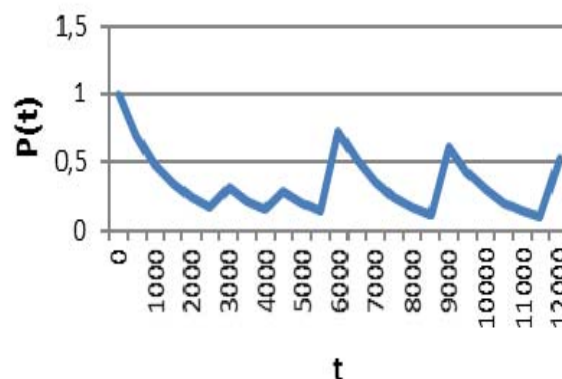


Рис. 3. Графік функції безвідмовної роботи з урахуванням відновлення ТЗ

І проведених обчислень можна зробити висновки, що зі збільшенням часу ймовірність безвідмовної роботи спадає, натомість зростає ймовірність того, що станеться відмова якихось двох технічних елементів системи.

Таблиця 3

Ймовірність кількості елементів, що відмовили, для різних значень t

Час t , год	Кількість елементів, що відмовили			
	0	1	2	3
100	0,93053	0,06787	0,00158	0,00001
500	0,69768	0,26818	0,03285	0,00129
1000	0,48675	0,40028	0,10429	0,00868
1500	0,33960	0,44892	0,18678	0,02470
2000	0,23693	0,44837	0,26513	0,04957
2500	0,16530	0,42064	0,33178	0,08228
3000	0,31037	0,49661	0,19302	0
3500	0,21654	0,46603	0,28081	0,03663
4000	0,15107	0,41934	0,34843	0,08116
4500	0,28365	0,50760	0,20875	0
5000	0,19790	0,47312	0,30016	0,02882
5500	0,13807	0,42459	0,36996	0,06739
6000	0,71892	0,28108	0	0
6500	0,50158	0,41170	0,08231	0,00441
7000	0,34994	0,45825	0,17322	0,01859

Закінчення табл. 3

Час t , год	Кількість елементів, що відмовили			
	0	1	2	3
7500	0,24414	0,45551	0,25789	0,04246
8000	0,17033	0,42575	0,32914	0,07478
8500	0,11884	0,38294	0,38440	0,11382
9000	0,60050	0,39950	0	0

Ймовірність відмови принаймні одного з трьох ТЗ протягом часу t визначатиметься за формулою:

$$Q(t) = 1 - e^{-0,00072t}$$

Змодельємо відповідні значення ймовірностей при $t \in [0; 6500]$ год (рис. 4).

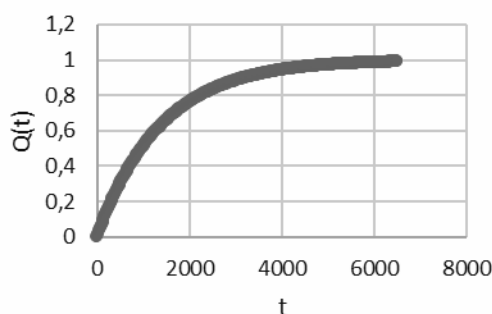


Рис. 4. Графік функції розподілу ймовірності першої відмови протягом часу t

Ураховуючи тип розподілу часу до першої відмови, для визначення ймовірності відмови протягом певного проміжку часу $[t_1; t_2]$ матимемо формулу:

$$Q(t_1 \leq t \leq t_2) = 0,00072 \int_{t_1}^{t_2} e^{-0,00072t} dt = e^{-0,00072t_1} - e^{-0,00072t_2}$$

Розглянемо тепер ймовірність відмови в процесі бункерування не тільки внаслідок виділених причин, а з урахуванням усіх указаних в табл. 1 факторів.

Частота відмови

На основі статистичного підходу до визначення частоти відмов отримаємо результати (табл. 3). Із проведених вище ймовірнісних міркувань розрахуємо частоту відмов ТЗ залежно від часу t як функцію щільності розподілу ймовірностей відмов:

$$a(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = 0,00072e^{-0,00072t}$$

Змодельювавши чисельні значення частоти відмов отримаємо такий графік (рис. 5).

Відповідно *інтенсивність відмов ТЗ* залежно від часу t визначимо так:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{p(t)} = 0,00072$$

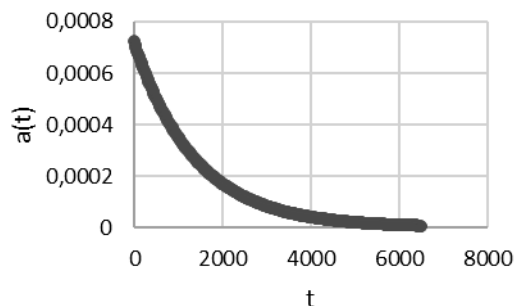


Рис. 5. Графік функції щільності частоти відмов протягом часу t

Обчислимо *середнє напрацювання до першої відмови*:

$$T_{\text{ср}} = \int_{-\infty}^{+\infty} t_a(t) dt = 0,00072 \int_{-\infty}^{+\infty} te^{-0,00072t} dt = \lim_{\delta \rightarrow \infty} te^{-0} \left(-te^{-0,00072t} - \frac{1}{0,00072} e^{-0,00072t} \right) \Big|_0^{\delta} = \frac{1}{0,00072} = 1389 \text{ год.}$$

Висновки

При тривалій експлуатації технічна система бункерування може досягти граничного стану, при якому її подальша експлуатація має бути припинена із-за порушення вимог безпеки, при відході заданих параметрів за встановлені межі, або зниження ефективності експлуатації нижче допустимої, або необхідності проведення середнього або капітального ремонту.

Отже, визначення середнього напрацювання до першої відмови системи бункерування дозволить своєчасно замінити елемент технічної системи бункерування, тим самим забезпечивши її безвідмовність.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Абрамович А. В.** Оптимізація оперативного плану бункеровки судав. *Вестник морского государственного университета: экономика и управление*. 2006. № 10. С. 71–73.
2. **Горелов Ю. Н., Горелова И. Ю., Терехов К. Л.** К задаче оперативного управления запасами бункеровочного топлива. *Вестник Волжского государственного университета*.

ской государственной академии водного транспорта. 2004. №. 11. С. 33–39.

3. **Костров А. В.** Обоснование стоимости услуг речного самоходного бункеровщика. *Сб. ФГУП ЦБНТИ Минтранса РФ*. 2001. №. 2. С. 25–27.

4. **Плявин Н. И.,** Шаповал М. А., Васильев Ю. В., Казимиров А. Г. Морские перевозки наливных грузов. Москва, 1991. 191 с.

5. **Washington T.,** McQueen J. Bunker suppliers look for clarity on the voyage ahead. *Bunker Bulletin*. Spring 2017. P. 28–29.

6. **Recio A.,** Rhode W. S. Basilar membrane responses to broadband stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2001. Vol. 108. No. 5. P. 2281–2298.

7. **Васілевський О. М.,** Поджаренко В. О. Нормування показників надійності технічних засобів. Вінниця, 2010. 129 с.

8. **ДСТУ 2860-94:1994.** Надійність техніки. Терміни та визначення. чинний з 1994-07-01. К. : Держстандарт України, 1994. 36 с.

9. **U.S. Energy** Information Administration. *Monthly Energy Review*, April, 2018. 234 p.

10. **Половко А. М.,** Гуров С. В. Основы теории надежности. СПб., 2006. 704 с.

11. **Гнеденко Б. В.,** Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности: Основные характеристики надежности и их статистический анализ. М. : URSS, 2013. 584 с.

12. **Рябинин И. А.** Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб., 2007. 276 с.

13. **Гмурман В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. М., 2019. 479 с.

Мельник О. В., Тимошук О. Н.

ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ БУНКЕРУВАННЯ НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ

Предметом вивчення в статті є процес безвідмовної роботи технічних засобів бункерування суден на водному транспорті. Метою є підвищення рівня безпеки процесу бункерування шляхом визначення часу безвідмовної роботи технічних засобів. Завдання: дослідити ймовірність безвідмовної роботи технічних засобів бункерування, змодельовати функцію безвідмовної роботи, розрахувати інтенсивність відмов технічних засобів в залежності від часу їх роботи. Використовуваними методами є математичний апарат теорії ймовірності та математична статистика. Отримано такі результати. Досліджено бункерування суден за технологічною схемою «автопаливозаправник-судно» як техніко-технологічна система, яка складається із сукупності технологічних ланок (насос Автопаливозаправники, бункерувальний шланг, клінкетні замки). Визначено показники безвідмовної роботи системи бункерування, яка відноситься до систем "безпекової" групи, і виділені основні фактори, які впливають на її функціонування. У нашому дослідженні розглянуті наступні основні причини відмов при проведенні бункерування: людський фактор, неякісне паливо, невідповідність обладнання параметрам судна, відсутність палива, неможливість проведення бункерування через погані погодні умови. На основі статистичних даних визначено основні причини відмов при проведенні бункерування, до яких відноситься несправність обладнання, пов'язана з несправністю насоса, бункерувального шлангу або технічних засобів на судні, яке бункерується (клінкетні замки). Досліджено ймовірність безвідмовної роботи технічних засобів бункерування, ймовірність і інтенсивність відмов, середнє напрацювання до першої відмови технічних засобів. Висновки. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: змодельована функція безвідмовної роботи і відповідні значення ймовірностей безвідмовної роботи технічних засобів системи бункерування. Досліджено розподіл ймовірності випадкової величини, яка визначає кількість технічних засобів, які відмовили в протягом часу. Розрахована інтенсивність відмов технічних засобів в залежності від часу. Обчислено середнє напрацювання технічних засобів бункерування до першої відмови.

Ключові слова: бункерування; технічні засоби бункерування; безвідмовна робота; ймовірність відмови.

Melnyk O. V., Tymoshchuk O. M.

RESEARCH OF FAILURE WORK OF BUNKERING EQUIPMENT ON WATER TRANSPORT

The subject matter of the article study a process of failure work of bunkering equipment on water-transport. An aim is an increase of level of reliability of process of bunkering by determination of time of faultless work of technical equipments. The Tasks: to investigate probability of faultless work of technical equipments of bunkering, model the function of faultless work, expect intensity of refuses of technical equipments depending on time of their work. The used methods are a mathematical vehicle of probability theory and mathematical statistics. Such results are got. Investigated the bunkering of ships according to the technological scheme autofuel-servicing truck-ship as system that consists of totality of technological links (pump of autofuel-servicing truck, bunkering hose, locks) is investigational Reliability indicators defined of the system of bunkering that behaves to the systems of "safety" group indexes are certain, and basic factors that affect its functioning. In our research next principal reasons of refuses are considered disparity of equipment to the parameters of ship, absence of fuel, impossibility of realization of coaling through bad weather terms. On the basis of statistical data principal reasons of refuses are certain during realization coaling, the disrepair of equipment, related to the disrepair to the pump, behaves to that, to the bunkering hose or technical equipments on a

ship that is bunker (locks). Probability of faultless work of technical equipments of bunkering, probability and intensity of refuses, middle work, is investigational to the first refuse of technical equipments. **Conclusions.** The scientific novelty of the got results consists in the following: the function of faultless work and corresponding values of probabilities of faultless work of technical equipments of the coaling system are modelled. Distribution of probability of casual size, that determines the amount of technical equipments that said no during time, is investigational. Intensity of refuses of technical equipments is expected depending on time. Middle work of technical equipments of coaling is calculated to the first refuse.

Keywords: bunkering; bunkering equipment; trouble-free operation; probability of failure.

Мельник О. В., Тимошук Е. Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ БУНКЕРОВКИ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Предметом изучения в статье является процесс безотказной работы технических средств бункеровки судов на водном транспорте. Целью является повышение уровня безопасности процесса бункеровки путем определения времени безотказной работы технических средств. Задачи: исследовать вероятность безотказной работы технических средств бункеровки, смоделировать функцию безотказной работы, рассчитать интенсивность отказов технических средств в зависимости от времени их работы. Используемыми методами являются математический аппарат теории вероятности и математическая статистика. Получены такие результаты. Исследована бункеровка судов по технологической схеме «автотопливозаправщик-судно» как технико-технологическая система, которая состоит из совокупности технологических звеньев (насос автотопливозаправщика, бункеровочный шланг, клинкетные замки). Определены показатели безотказной работы системы бункеровки, которая относится к системам "безопасной" группы, и выделены основные факторы, которые влияют на ее функционирование. В нашем исследовании рассмотрены следующие основные причины отказов при проведении бункеровки: человеческий фактор, некачественное топливо, несоответствие оборудования параметрам судна, отсутствие топлива, невозможность проведения бункеровки через плохие погодные условия. На основе статистических данных определены основные причины отказов при проведении бункеровки, к которым относится неисправность оборудования, связанная с неисправностью насоса, бункеровочного шланга или технических средств на судне, которое бункеруется (клинкетные замки). Исследована вероятность безотказной работы технических средств бункеровки, вероятность и интенсивность отказов, средняя наработка до первого отказа технических средств. Выводы. Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: смоделирована функция безотказной работы и соответствующие значения вероятностей безотказной работы технических средств системы бункеровки. Исследовано распределение вероятности случайной величины, которая определяет количество технических средств, которые отказали в течение времени. Рассчитана интенсивность отказов технических средств в зависимости от времени. Вычислена средняя наработка. Вычислена средняя наработка технических средств бункеровки до первого отказа.

Ключевые слова: бункеровка; технические средства бункеровки; безотказная работа; вероятность отказа.

Стаття надійшла до редакції 15.08.2019 р.

Прийнято до друку 20.09.2019 р.