

УДК 338.47:656.615

Зінченко С. Г., Сенатосенко В. А., Хвостович В. Г.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПЛАНУВАННЯ РІВНЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ МОРСЬКИХ ПОРТІВ В ПЕРІОД ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В якості теоретичної основи для вибору оптимального варіанту технічного експлуатації та ремонту об'єктів інфраструктури морських портів використовується теорія надійності і довговічності транспортних засобів. Під час експлуатації транспортних об'єктів морських портів на них діють різноманітні тимчасові і довготривалі експлуатаційні навантаження, які викликають знос окремих конструктивних елементів, а також призводять до появи втомних деформацій, тріщин і інших ушкоджень елементів споруд, зменшуючи надійність їх експлуатації. При низькій надійності транспортних об'єктів морських портів, особливо в період їх пост-нормативної експлуатації, необхідно раціонально організувати систему ремонту. Велике значення при цьому має критерій оптимального рівня надійності інфраструктури морського порту. Важливе значення в ремонтному циклі мають регулярні огляди і планово-попереджувальні ремонти транспортних об'єктів. Ці елементи системи фактично забезпечують постійну безпеку експлуатації інфраструктури морських портів і якісне надання послуг. Більшість транспортних об'єктів морського порту працюють при великій частоті вантажно-розвантажувальних операцій, широкій номенклатурі вантажів, що перевантажуються на порівняно малих площах і швидкостях руху перевантажувальної техніки. Для визначення показників надійності спостерігають за випробуваннями або експлуатацією транспортних об'єктів в заданих умовах. Точність результатів розрахунку по наближених рівняннях оцінюють методами математичної статистики. Отже, показники надійності складних транспортних систем, що мають резерви різних ресурсів, децю відрізняються від традиційних показників, які звичайно використовуються в теорії надійності. При плануванні рівня надійності складних транспортних об'єктів морського порту в період їх експлуатації в якості альтернативи традиційним методам теорії надійності і довговічності транспортних засобів в дослідженнях можуть застосовуватися методи, засновані на досягненнях теорії нечіткої логіки, штучного інтелекту тощо.

Ключові слова: *планування, надійність, транспортна система, морський порт, експлуатація.*

Постановка проблеми. В якості теоретичної основи для вибору оптимального варіанту технічного експлуатації та ремонту об'єктів інфраструктури морських портів використовується теорія надійності і довговічності транспортних засобів. Вона встановлює закономірності і причини появи несправностей в вузлах і деталях об'єктів транспорту, можливі методи підвищення їх терміну служби, а також дозволяє з наукової точки зору розробляти системи ремонту обладнання.

Під час експлуатації транспортних об'єктів морських портів на них діють різноманітні тимчасові і довготривалі експлуатаційні навантаження, які викликають знос окремих конструктивних елементів, а також призводять до появи втомних деформацій, тріщин і інших ушкоджень елементів споруд, зменшуючи надійність їх експлуатації.

При цьому об'єктом інфраструктури морського порту може виступати кран, перевантажувальна машина, технологічна лінія, причал, критий склад, перевантажувальний комплекс тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При низькій надійності транспортних об'єктів морських портів, особливо в період їх пост-нормативної експлуатації, необхідно раціонально організувати систему ремонту (зменшити міжремонтний термін), здійснити їх капітальний ремонт для підвищення міцності найбільш ушкоджуваних вузлів, або навіть принципово змінити їх конструкцію, виконавши реконструкцію об'єкта, на прикладі [1].

Мета дослідження. Метою роботи є обґрунтування в сучасних умовах планування рівня надійності транспортних систем морських портів під час їх експлуатації.

Основний матеріал дослідження. Велике значення при цьому має критерій оптимального рівня надійності інфраструктури морського порту. Розглянемо кілька варіантів призначення даного критерію. У першому варіанті, транспортний об'єкт можна зробити дуже міцним, використовуючи великі коефіцієнти запасу міцності, застосовуючи особливо якісні (а значить, дорогі) матеріали і т. д. Однак матеріаломісткість і вартість таких транспортних об'єктів стануть дуже великими. Криві залежності вартості C виготовлення і експлуатації транспортного об'єкта морського порту від його надійності $P(t)$ схематично представлені на рис. 1.

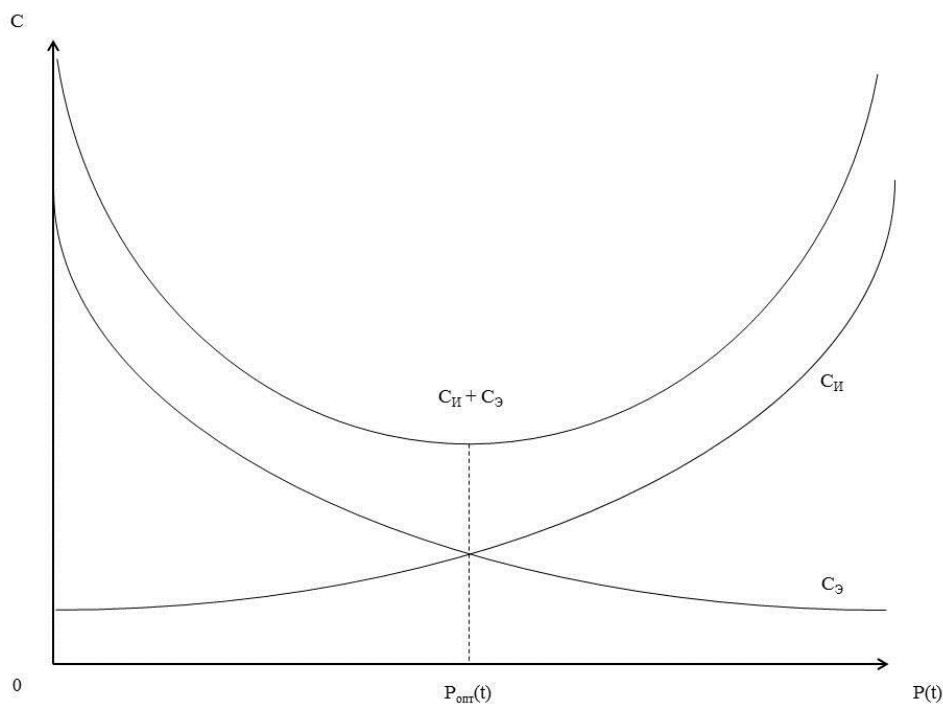


Рисунок 1 – Вибір оптимального рівня надійності транспортного об'єкта морського порту.

Умовні позначення: C_o – вартість експлуатації транспортного об'єкта;
 C_u – вартість виготовлення транспортного об'єкта; $C_u + C_o$ – витрати на побудову і експлуатацію транспортного об'єкта; C – показник вартості об'єкта, умов. од. ціни
 $P(t)$ – оптимальний рівень надійності об'єкта

У другому варіанті, транспортний об'єкт морського порту можна зробити дуже легким і з дешевих матеріалів, але експлуатаційна надійність такого об'єкта буде невелика, він зажадає проведення частих ремонтів, тобто великих витрат на експлуатацію. Найбільш правильне рішення полягає в створенні такого транспортного об'єкта, який забезпечує мінімум сумарних витрат при його виготовленні і експлуатації. Такий транспортний об'єкт буде найбільш ефективним, оскільки має оптимальний рівень надійності.

Під час експлуатації транспортного об'єкта ресурс працездатності його конструктивних елементів знижується, що знижує рівень надійності об'єкта інфраструктури морського порту в цілому. Тому, в практиці організації експлуатації та ремонту транспортних об'єктів морських портів повинна чітко діяти система їх підтримки в справному стані, що включає своєчасне виробництво поточних і капітальних ремонтів [1]. Як нові, так відремонтовані об'єкти транспортної інфраструктури повинні володіти сукупністю властивостей, які обумовлювали б їх придатність задовольняти певним вимогам відповідно до призначення, тобто якість, надійність і безпеку.

Більшість транспортних об'єктів морського порту працює при великій частоті вантажно-розвантажувальних операцій, широкої номенклатури вантажу, що перевантажується на порівняно малих площах і швидкостях руху перевантажувальної техніки.

Важливе значення в ремонтному циклі, мають регулярні огляди і планово-попереджувальні ремонти транспортних об'єктів. Ці елементи системи фактично забезпечують постійну безпеку експлуатації інфраструктури морських портів і якісне надання послуг.

Наприклад, судновласники видають положення про ремонт суден, терміни його проведення відповідно до призначення і типом судна, правила складання та строки подання ремонтної документації; положення про підготовку судна до судноремонту, про обов'язки підприємства і інших питань, пов'язаних з судноремонтом, які передбачає наступні види ремонту: планово-попереджувальний, відновлювальний, аварійний і підтримує.

Аналогічні вимоги впроваджені і діють в морських портах при технічному нагляді за гідротехнічними спорудами, що знаходяться в експлуатації [2].

Показники надійності характеризують, в якому ступені конкретному транспортному об'єкту, агрегату або вузлу (складальній одиниці) притаманні певні властивості, що характеризують його надійність. Чисельні значення показників надійності визначаються за допомогою точних (теоретичних) або наближених (статистичних) рівнянь. Точність наближених рівнянь залежить від обсягу використовуваних статистичних даних. Точність результатів розрахунку по наближеним рівнянням оцінюють методами математичної статистики.

Для визначення показників надійності спостерігають за випробуваннями або експлуатацією транспортних об'єктів в заданих умовах. При спостереженні визначають напрацювання об'єктів на відмову $(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)$ або числа відмов $(r_1, r_2, r_3, \dots, r_n)$ кожного з них до наробки T .

Спостереження за транспортними об'єктами можна вести за різними планами (схемами). Передбачаються наступні основні плани проведення спостережень [3]:

$$(N, U, N); (N, U, r); (N, U, T); (N, R, r) \text{ и } (N, R, T), \quad (1)$$

де N – число об'єктів, що поставлені під спостереження;
 U – плани, в яких вироби, що відмовили, не замінюють новими;
 T – встановлене напрацювання чи календарна тривалість спостережень;
 r – число відмов чи граничних станів, до виникнення яких ведуть спостереження;
 R – плани, в яких вироби, що відмовили, замінюють новими або ремонтують.

Зазначені плани спостережень трактуються наступним чином:

(N, U, N) – під спостереження поставлено N об'єктів, спостереження ведуть до виникнення відмови або граничного стану всіх об'єктів, об'єкти, що відмовили, не замінюють новими;

(N, U, r) – під спостереження поставлено N об'єктів, спостереження ведуть до виникнення r відмов або граничних станів, об'єкти, що відмовили, не замінюють новими;

(N, U, T) – під спостереження поставлено N об'єктів, спостереження ведуть протягом часу T , об'єкти, що відмовили, не замінюють новими;

(N, R, r) – під спостереження поставлено N об'єктів, спостереження ведуть до виникнення r відмов або граничних станів, об'єкти, що відмовили, замінюють новими, або ремонтують;

(N, R, T) – під спостереження поставлено N об'єктів, спостереження ведуть протягом часу T , об'єкти, що відмовили, замінюють новими або ремонтують.

При планах (N, U, N) ; (N, U, r) і (N, U, T) об'єкти, що відмовили, можна ремонтувати, але дані про їх відмовах після ремонту виключаються з подальшого розгляду. При планах (N, R, T) і (N, R, r) результати спостережень за відремонтованими об'єктами включають в загальні дані спостережень до заміни.

Плани спостережень вибирають в залежності від типу виробу, умов його експлуатації з урахуванням економічної доцільності та технічної необхідності.

Якщо об'єкти випробовували за планом (N, U, r) і всі вони відмовили $r = N$ під час випробування, то середнє напрацювання до відмови T_{cp} визначають відношенням суми напрацювання випробовуваних об'єктів на відмову до кількості спостережуваних об'єктів, а саме:

$$T_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (2)$$

де t_i – напрацювання на відмову i -го об'єкта.

Якщо об'єкт випробовували за планом (N, U, T) , то середнє напрацювання до відмови T_{cp} при експоненційному розподілі напрацювань визначають за формулою:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^r t_i + T(N - r)}{r}, \quad (3)$$

де r – число відмов під час випробувань;

T – задане напрацювання об'єкта.

Знос об'єктів інфраструктури морських портів, а отже витрати на кожен з них, їх віддача (ефективність) істотно відрізняються. На рис. 2 показано взаємне розташування різних об'єктів в транспортно-технологічній системі морського порту.

Для подальшого забезпечення надійності всі технічні об'єкти проходять стадію капітального ремонту – відновлення (реновацію). Після цього вони ще певний час демонструють достатні експлуатаційні характеристики, але все одно вимагають до себе більшої уваги і витрат, ніж нові технічні об'єкти [4].

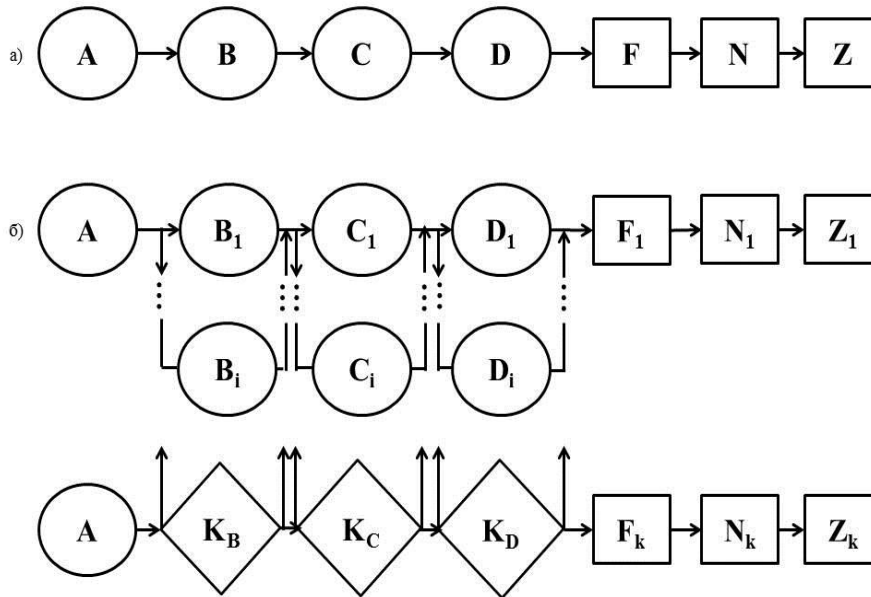


Рисунок 2 – Схема розташування елементів і витрат при забезпеченні надійності технічних об'єктів в транспортно-технологічній системі морського порту

Умовні позначення: а) загальна схема; б) схема ремонту об'єкта;

A – технічний об'єкт; *B* – агрегат і складальна одиниця; *C* – окрема зборка (вузол);

D – деталь; *F* – виконувана функція; *N* – надійність; *Z* – витрати; *K* – запасні частини; *B_i*, *C_i*, *D_i* – однотипні складальні одиниця, окремі збірки і деталі; *K_B*, *K_C*, *K_D* – різні запчастини для агрегатів, вузлів і деталей об'єкта.

Очевидно, що витрати на застаріле обладнання для підтримки його надійності будуть значно вище, ніж на нове [5].

ВИСНОВКИ

1. У морських портах намагаються окремо вибудувувати технологічні лінії з відносно нового (модернізованого) і застарілого обладнання. Так, більш вікові крани виводять в тилові лінії, з ними працюють старі навантажувачі та т. д., А вся нова техніка задіяна безпосередньо на причалах і найвідповідальніших вантажах (контейнери, рулони і листи металу і ін.). Старі судна портового флоту виводяться в відстій на період зниження вантажопотоку і т. п.

2. Таким чином, показники надійності складних транспортних систем, що мають резерви різних ресурсів, дещо відрізняються від традиційних показників, які звичайно використовуються в теорії надійності. Це дозволяє обґрунтувати нові шляхи для забезпечення нормального функціонування транспортно-технологічних систем морських

портів за рахунок утворення запасу часу, продуктивності і т. д., і як наслідок, підвищення надійності роботи цих систем.

3. В перспективі, при плануванні рівня надійності складних транспортних об'єктів морського порту в період їх експлуатації в якості альтернативи традиційним методам теорії надійності і довговічності транспортних засобів в дослідженнях можуть застосовуватися методи, засновані на досягненнях теорії нечіткої логіки, штучного інтелекту тощо.

Список використаних джерел:

1. *Зинченко, С. Г.* Совершенствование методологии организации ремонтов объектов транспортно-технологической системы морского порта / *С. Г. Зинченко, В. Г. Хвостович* // Развитие транспорта. – 2018. – Вип. 2. – С. 127–139.
2. Регістр судноплавства України. Правила технічного нагляду за гідротехнічними спорудами у експлуатації та промірними роботами. – Київ, 2012. – 183 с.
3. ГОСТ 17510–79. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений. – Взамен ГОСТ 17510–72; введ. 1980–07–01. – М., 1980. – 23 с.
4. *Александровская, Л. Н.* Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем : учеб. пособие для вузов / *Л. Н. Александровская, В. И. Круглов, А. Г. Кузнецов.* – М. : Логос, 2003. – 736 с. – (Учебник XXI века).
5. *Зинченко, С. Г.* Контроллинг эксплуатации и ремонта объектов транспортно-технологической системы морского порта в условиях дерегуляции перевозки грузов и наличия суброгационного оборудования / *С. Г. Зинченко.* – Мариуполь : ППНС, 2017. – 159 с.

Зинченко С. Г., Сенатосенко В. А., Хвостович В. Г.

ОБОСНОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ МОРСКИХ ПОРТОВ В ПЕРИОД ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В качестве теоретической основы для выбора оптимального варианта технической эксплуатации и ремонта объектов инфраструктуры морских портов используется теория надежности и долговечности транспортных средств. Во время эксплуатации транспортных объектов морских портов на них действуют различные временные и долгосрочные эксплуатационные нагрузки, которые вызывают износ отдельных конструктивных элементов, а также приводят к появлению усталостных деформаций, трещин и других повреждений элементов сооружений, уменьшая надежность их эксплуатации. При низкой надежности транспортных объектов морских портов, особенно в период их пост-нормативной эксплуатации, необходимо рационально организовать систему ремонта. Большое значение при этом имеет критерий оптимального уровня надежности инфраструктуры морского порта. Важное значение в ремонтном цикле имеют регулярные осмотры и планово-предупредительные ремонты транспортных объектов. Эти элементы системы фактически обеспечивают постоянную безопасность эксплуатации инфраструктуры морских портов и качественное оказание услуг. Большинство транспортных объектов морского порта работают при большой частоте погрузочно-разгрузочных операций, широкой номенклатуре грузов, которые перегружаются на сравнительно малых площадях и скоростях движения перегрузочной техники. Для

определения показателей надежности наблюдают за испытаниями или эксплуатацией транспортных объектов в заданных условиях. Точность результатов расчета по приближенным уравнениям оценивают методами математической статистики. Следовательно, показатели надежности сложных транспортных систем, которые имеют резервы разных ресурсов, несколько отличаются от традиционных показателей, которые обычно используются в теории надежности. При планировании уровня надежности сложных транспортных объектов морского порта в период их эксплуатации в качестве альтернативы традиционным методам теории надежности и долговечности транспортных средств в исследованиях могут применяться методы, основанные на достижениях теории нечеткой логики, искусственного интеллекта и т. п.

Ключевые слова: планирование, надежность, транспортная система, морской порт, эксплуатация.

Zinchenko S. G., Senatosenko V. A., Khvostovich V. G.

SUBSTANTIATION OF PLANNING THE LEVEL OF RELIABILITY OF TRANSPORT SYSTEMS OF SEAPORTS DURING THEIR OPERATION

The theory of reliability and durability of vehicles is used as a theoretical basis for choosing the optimal option for the technical operation and repair of infrastructure facilities in seaports. During the operation of seaport transport facilities, various temporary and long-term operating loads act on them, which cause wear of individual structural elements, and also lead to the appearance of fatigue deformations, cracks and other damage to structural elements, reducing the reliability of their operation. With low reliability of seaport transport facilities, especially during the period of their post-standard operation, it is necessary to rationally organize a repair system. In this case, the criterion of the optimal level of reliability of the seaport infrastructure is of great importance. Of great importance in the repair cycle are regular inspections and scheduled preventive maintenance of transport facilities. These elements of the system actually ensure the continuous operation of the seaport infrastructure and quality services. Most of the seaport's transport facilities operate with a high frequency of loading and unloading operations, a wide range of reloaded cargo on relatively small areas and speeds of handling equipment. To determine the reliability indicators, the tests or operation of transport objects are monitored under specified conditions. The accuracy of the calculation results using approximate equations is estimated by the methods of mathematical statistics. Consequently, the reliability indicators of complex transport systems with reserves of different resources are somewhat different from the traditional indicators usually used in reliability theory. When planning the reliability level of complex transport facilities of a seaport during their operation, as an alternative to the traditional methods of the theory of reliability and durability of vehicles, research methods can be used based on the achievements of the theory of fuzzy logic, artificial intelligence, etc.

Keywords: planning, reliability, transport system, seaport, operation.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент ДВНЗ «ПДТУ» Хлестова О. А.

Стаття надійшла . . . 2020