

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ
ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТОВ ОБЪЕКТОВ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОГО ПОРТА**

С.Г. Зинченко
к.э.н., доцент

Мариупольский институт «Межрегиональной академии управления персоналом»

В.Г. Хвостович

зам. гл. инженера по инженерному обеспечению зданий и портовых сооружений

Государственное предприятие «Мариупольский морской торговый порт»

Аннотация. В статье предложены пути совершенствования методологии организации ремонтов объектов транспортно-технологической системы морского порта, расчет тренда ремонтов оборудования, модернизация которого необходима для стратегического развития морского транспорта Украины, в том числе инфраструктуры морских портов в условиях дерегуляции их работы.

Исследованы объекты Мариупольского морского порта, затем предложен поиск механизмов повышения эффективности работы элементов транспортно-технологической системы порта.

Ключевые слова: суброгация, оборудование, эксплуатация, ремонт, надежность, безотказность, транспорт, порт, система, развитие.

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ
ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТІВ ОБ'ЄКТІВ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ МОРСЬКОГО ПОРТУ**

С.Г. Зінченко
к.е.н., доцент

Маріупольський інститут «Міжрегіональної академії управління персоналом»

В.Г. Хвостович

заст. головн. інженера з інженерного забезпечення будівель та портових споруд

Державне підприємство «Маріупольський морський торговельний порт»

Анотація. У статті запропоновано шляхи удосконалення методології організації ремонтів об'єктів транспортно-технологічної системи морського порту, розраховані тренди ремонтів устаткування, модернізація якого необхідна для стратегічного розвитку морського транспорту України, в тому числі інфраструктури морських портів в умовах дерегуляції їх роботи.

Досліджено об'єкти Маріупольського морського порту, потім запропонований пошук механізмів підвищення ефективності роботи елементів транспортно-технологічної системи порту.

***Ключові слова:** суброгаційність, устаткування, експлуатація, ремонт, надійність, безвідмовність, транспорт, порт, система, розвиток.*

UDC 656.61.052.484

**IMPROVING METHODOLOGY ORGANIZATIONS
OF OBJECT REPAIR TRANSPORTATION
AND TECHNOLOGICAL SYSTEM OF THE SEA PORTS**

S.G. Zinchenko

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

Mariupol Institute of the Interregional Academy of Personnel Management

V.G. Hvostovich

substitute chap. engineer for engineering services for buildings and port facilities

State Enterprise «Mariupol Sea Commercial Port»

***Abstract.** The article suggests ways to improve the methodology of the organization of repair facilities seaport transport and technological system, the calculation of the trend equipment repairs, modernization is necessary for the strategic development of sea transport of Ukraine, including the infrastructure of seaports in terms of deregulation of their work.*

The necessary conditions for the start of modernization of the existing equipment of the seaport are estimated in the work. To improve safety, efficient operation of the transport and technological system of the seaport and minimize the production costs of the enterprise, timely decisions must be made to replace subrogation equipment and infrastructure facilities with new ones.

The objects of the Mariupol sea commercial port are explored, then the search for mechanisms for increasing the efficiency of the elements of the port's transport and technological system is proposed to use.

***Keywords:** subrogation, equipment, operation, repair, reliability, transport, port, system, development.*

Введение. Состояние и актуальность вопроса. Транспортно-технологическая система морского порта охватывает технологии обработки грузов, грузоподъемные механизмы, инфраструктурные объекты, которые задействованы в транспортно-технологическом процессе «производство-транспортировка-перегрузка грузов». Постоянное совершенствование транспортных технологий и внедрение новых, современных технических средств, приводит к развитию инфраструктуры порта, что чрезвычайно важно для эффективного развития как прилегающих к морским портам регионов, так и экономики всего государства.

В последние годы, в связи с международным кризисом в морских портах значительно снизилось комплектование новым оборудованием. Соответственно, эксплуатируемое оборудование устаревает и не всегда своевременно может быть заменено на новое, современное.

Постановка проблемы. Проблема совершенствования существующих методологических основ оптимального технического использования средств транспорта является достаточно актуальной в современных условиях. Проведение реорганизации в транспортной отрасли, и в частности реформирование системы управления морскими портами, к сожалению, не решают проблемы своевременной замены суброгационного (устаревшего) оборудования и инфраструктуры, что в значительной мере осложняет безопасность и снижает эффективность работы портов [2].

В процессе эксплуатации транспортного оборудования и инфраструктурных объектов морских портов очень важно определить временной момент, когда их дальнейшие ремонты и последующая эксплуатация уже неэффективны с точки зрения экономики предприятия. Затем должны оперативно приниматься решения по продаже неэффективного оборудования, либо его списанию. Устаревшая инфраструктура, должна своевременно реконструироваться, либо обновляться. В свою очередь закупаемое оборудование должно быть обязательно новым и самым прогрессивным на момент его закупки.

Анализ основных достижений и литературы. Исследовали проблемы совершенствования работы оборудования транспортно-технологических систем предприятий Хохлов Е.А [6], Сыч Е.Н. [7], Виников В.В. [3], Берестовой А.М. [1], Попович С.Н. [5] и др.

Цель статьи. Предложить пути совершенствования методологии организации ремонтов объектов транспортно-технологической системы морского порта на примере Мариупольского морского торгового порта.

Материалы исследований. Системный подход к исследованию объекта означает признание его сложного характера, невозможность выведения всех свойств из суммы отдельных частей объекта и требует комплексного рассмотрения: входов системы; процессов функционирования системы; выхода системы; цели функционирования системы; обратных связей в системе; ограничений, накладываемых на поведение системы свойствами элементов самой системы, окружающей средой и др.

Управлять системой, значит, по существу, бороться с нарушениями и неупорядоченностью. Оптимальным управлением называется такой перевод системы в новое, назначенное для нее состояние, при котором затрачивается либо наименьшее время или труд, либо наименьшее количество энергии [3].

В условиях неравномерного развития и реверсивных грузопотоков в портах наблюдается тенденция к максимальному количеству ремонтов в периоды спада грузопотоков и обновлению оборудования в периоды максимального роста грузопотоков.

Морские порты Украины переполнены суброгацией (устаревшим), неэффективным оборудованием, которое в процессе длительной эксплуатации, проведения многочисленных ремонтов и частичной модернизации необходимо приспособлять к современным технологическим требованиям и условиям эксплуатации, что отвлекает значительные денежные средства предприятий. В свою очередь, инфраструктура портов также находится в состояниях близким к суброгации, вследствие продолжительной эксплуатации и физического износа. Проблема осложняется тем, что требования к безопасности грузовых и транспортных операций, которые относятся к числу опасных видов работ, постоянно повышаются [8].

Физический износ (функциональное устаревание) объектов транспортно-технологической системы портов приводит к критической массе производственных расходов, которые возникают при повышенной потребности суброгационного оборудования (по сравнению с новым) на обслуживание, электропитание, горюче-смазочные материалы, и прочие операционные затраты. Функциональное устаревание оборудования рассчитывается методом проведения экспертных оценок по формуле

$$K_{\text{фун}} = 1 - (P_o / P_a) \cdot p, \quad (1)$$

где P_o – производительность оцениваемого оборудования;

P_a – производительность нового оборудования или аналога;

p – коэффициент торможения.

Однако, все оборудование, признанное устаревшим, одновременно выводить из эксплуатации нецелесообразно, а зачастую невозможно. Часть оборудования при соответствующим технико-экономическим обосновании, подлежит модернизации с улучшением его производственных характеристик, часть может быть перенесено на второстепенные грузовые и складские площадки, где его производительности будет достаточно.

Как отмечалось выше, в процессе эксплуатации оборудования и инфраструктурных объектов, важно определить момент, когда их ремонты и последующая эксплуатация становятся неэффективными. Определить данный момент поможет представленный (рис. 1) концептуальный семантический график изменения величин показателей надежности в жизненном цикле оборудования [5].

Отказом считается любая техническая неисправность сборочной единицы или детали, которая не позволяет выполнять нормальную эксплуатацию объекта. Основываясь на этом понятии, в теории долговечности и надежности объектов транспортно-технологической системы морского порта используются следующие основные термины:

- период отказов – время между двумя отказами;
- прогноз отказа – расчет с помощью теории вероятности срока работы объекта (детали, сборочной единицы) до появления отказа;

- долговечность объекта – свойство объекта осуществлять нормальную функциональную деятельность в течение определенного срока эксплуатации;

- межремонтный период – время работы объекта между двумя очередными плановыми ремонтами;

- безотказная работа объекта – возможность осуществлять нормальную функциональную деятельность в течение межремонтного периода;

- вероятность безотказной работы объекта – вероятность того, что отказа не произойдет в течение межремонтного периода при заданных условиях эксплуатации. Это свойство часто называют надежностью объекта (детали, сборочной единицы);

- ресурс работоспособности – потенциальный запас времени, в течение которого объект может работать без отказов;

- ремонтпригодность – характеризует приспособленность конструкции объекта к осуществлению осмотра для выявления неисправностей, возможность быстрой смены деталей и устранения их повреждений при ремонте.

Максимальный уровень надежности $H=1$ любое оборудование (транспортное средство) имеет при выпуске с завода-изготовителя. При наработке за первый ремонтный цикл ($MPЦ1$) до первого капитального ремонта ($K1$) он снижается до уровня $H\partial K1$, а в процессе ремонта восстанавливается – до уровня $HnK1$. График (рис. 1) отражает:

1) тенденцию к снижению уровня надежности с ростом наработки между ремонтами. Остаточные уровни надежности перед ремонтами

$$H\partial 11 < H1, H\partial li < Hn1, H\partial K1 < Hnli \text{ и т.д.};$$

2) тенденцию к снижению уровня надежности от ремонта к ремонту

$$H1 > Hn1 > Hnli \text{ и т.д.};$$

3) рост падения уровня надежности на следующих друг за другом межремонтных наработках

$$(Hn1 - H\partial 11) < (Hnli - H\partial li) < (Hn21 - H\partial 21) \text{ и т.д.};$$

4) рост времени простоя в ремонтах: $Tr11 < Trli$, $Tr12 < Tr2i$ и т.д.;

5) тенденцию к снижению уровня наработки между ремонтами

$$(ВБР + ВПО) > Tli > Tlj \text{ и т.д.}$$

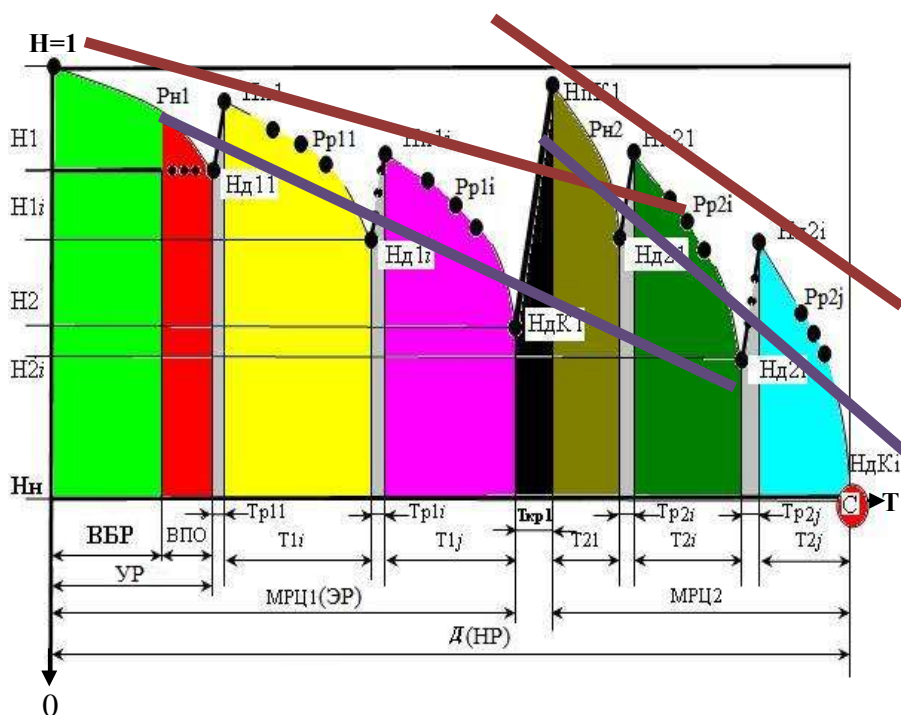


Рис. 1. Концептуальный семантический график структуры элементов эксплуатации и ремонтов и изменения величин их показателей надежности в жизненном цикле объектов ТТС морского порта

Условные обозначения:

ВПО – вероятность появления отказа;

$H=1$ – наивысший расчетный показатель надежности перед эксплуатацией;

H_n – наименьший показатель надежности, требующий снятия с эксплуатации или рециклинга; ВБР – вероятность безотказной работы в единицах времени;

$D(HP)$ – долговечность, исчисляемая в единицах времени или режимах использования;

$H1$ – показатель надежности однократного использования, он же ($H\delta11$) – для начала первого ремонта изделия работающего в тренажерном режиме для экстремальной ситуации;

$H1i$ – показатель надежности, не допускающий эксплуатации в экстремальной ситуации и требующий i -го планового ремонта в 1 -м межремонтном цикле (МРЦ1(ЭР));

$H2$ – показатель надежности требующий 1 -го капитального ремонта, он же недопускаемый показатель надежности при работе в экстремальной ситуации;

$H2i$ – показатель надежности, требующий i -го планового ремонта во 2 -м межремонтном цикле (МРЦ2);

$H\partial 11, H\partial 1i, H\partial K1, H\partial 21, H\partial 2i, H\partial Ki$ – показатели надежности перед началом ремонтов, соответственно, 1-го, i -го и капитального ремонтов в МРЦ1, 1-го, i -го планового и капитального ремонтов в МРЦ2;

$Hn1, Hn1i, HnK1, Hn21, Hn2i$ – показатели надежности по окончании ремонтов, соответственно, 1-го, i -го в МРЦ1, 1-го и i -го планового ремонтов в МРЦ2;

$Tr11, Tr1i, Tкр1, Tr12, Tr2i$ – время нахождения в соответствующем ремонте;

$T1i, T1j, T21, T2i, T2j$ – время работы между соответствующими ремонтами;

C – срок снятия с эксплуатации или рециклинга;

T – время;

$Pn1, Pp11, Pp1i, Pn2, Pp21, Pp2i$ – линия снижения надежности во времени, соответственно, после 1-го и после i -го ремонтов в МРЦ1, а также нормативного, 1-го и i -го ремонтов в МРЦ2;

$УР$ – режим одноразового использования;

$ЭР$ – режим экстремального использования

■ тренды надежности объекта до восстановительного ремонта;

■ тренды надежности объекта после восстановительного ремонта.

Авторами выделены тренды надежности, которые определяются по точкам до начала ремонтов, а также после ввода объекта в эксплуатацию. Очевидно, что с возрастом данные кривые имеют все больший наклон к шкале времени, следовательно, общий уровень надежности объектов постепенно снижается.

Уменьшение уровня надежности от ремонта к ремонту ($Hr1, Hn1i$ и т. д.) связано с тем, что при ремонте не все элементы оборудования ремонтируют, а восстанавливают лишь те, где есть повреждения. Поэтому в таких элементах могут накапливаться постепенные изменения (в том числе структурные), которые уменьшают вероятность безотказной работы оборудования, транспортных средств и других объектов [6].

Показана (рис. 2) возрастная структура основного оборудования – судов портового флота, кранового хозяйства, автопогрузчиков и основных производственных объектов Мариупольского порта [9; 10].

Наиболее общими, широко используемыми, эффективными методами предупреждения и снижения рисков отказов оборудования являются: страхование, резервирование средств, диверсификация, лимитирование [6].

Модель динамики замены оборудования с учетом его распределения по возрастным группам строится, исходя из методики [4].

Количество оборудования возраста t в году n ($L(t, n)$) рассчитывается на основе дифференциального уравнения по формуле 2

$$-M(t, n) L(t, n) = M(t, n) L(t, n) = \frac{dL(t, n)}{dt} + \frac{dL(t, n)}{dn}, \quad (2)$$

где $M(t, n)$ – вывод из эксплуатации оборудования возраста t в году n .

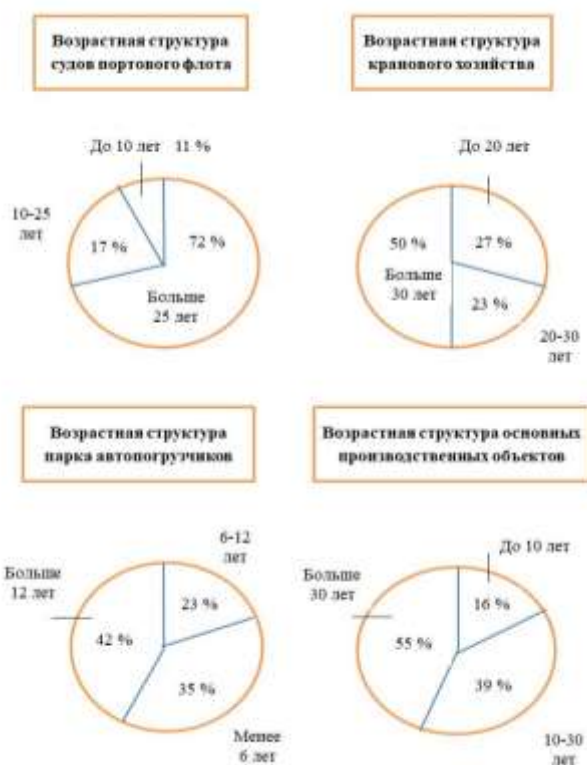


Рис. 2. Возрастная структура основного оборудования – судов портового флота, кранового хозяйства, автопогрузчиков и основных производственных объектов Мариупольского порта

Результаты исследований. Исходя из формулы 2, можно рассчитать оптимальный возраст оборудования, тренд (например, для Мариупольского морского порта), и время его замены либо модернизации (рис. 3).

Спрос на грузовые перевозки конкретным видом транспорта формируется как произведение объемов выпуска отдельной отрасли X_t и транспортоемкости ее продукции этим видом транспорта $Q_k^i(t)$ [4]

$$X_k^{G_i}(t) = X_t * Q_k^i(t), \in K1, i = 1, \dots, 20. \quad (3)$$

Для повышения эффективности работы морского порта очень важно знать вероятность безотказной работы его объектов (их надежность) при существующих условиях эксплуатации. Надежность объекта определяют, исходя из вероятности исправной его работы за время t умножением вероятностей надежности B_1, \dots, B_n отдельных его сборочных единиц и деталей [6]

$$B_n(t) = B_1(t) B_2(t) \dots B_n(t). \quad (4)$$

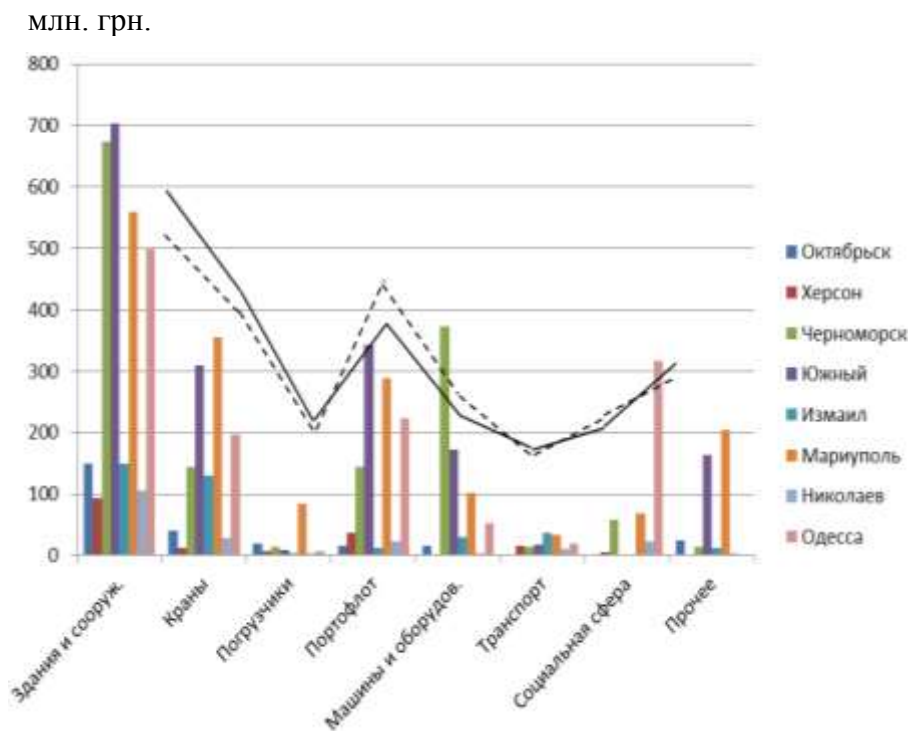


Рис. 3. Тренды обновления оборудования в морских портах Украины

Примечание: Прерывистая линия – порт Мариуполь, 2013 г.;
сплошная линия – порт Мариуполь, 2014 г.

Выражая надежность i -й детали объекта через вероятность отказа B_{gi} , имеем

$$B_i = 1 - B_{gi}, \quad (5)$$

Тогда

$$B_n(t) = (1 - B_{g1})(1 - B_{g2}) \dots (1 - B_{gn}). \quad (6)$$

Отсюда вероятность появления отказа хотя бы в одной из ответственных сборочных единиц объекта определится из выражения

$$B_{g0} = 1 - (1 - B_{g1})(1 - B_{g2}) \dots (1 - B_{gn}) = 1 - B_n(t). \quad (7)$$

Необходимо учитывать, что появление отказа даже в одном из ответственных сборочных элементов приведет к невозможности дальнейшей эксплуатации всего объекта. Значит, B_{g0} отражает прогноз отказа всего объекта.

При низкой надежности объекта ТТС морского порта необходим пересмотр организации системы его ремонтов с уменьшением межремонтных сроков, планированием и поэтапной модернизацией объекта в целях повышения прочности наиболее ответственных элементов, либо принципиального изменения их конструкции [8].

В целом, оценка надежности ТТС морского порта производится исходя из принципа, что объекты, выполняющие отдельные технологические процессы и грузовые операции, соединяются между собой последовательно. Каждый элемент системы может находиться в одном из 3 состояний: в работоспособном (динамика), в отказе (статика) либо в простое/ожидании работы (дискретность). Для обеспечения эффективного функционирования ТТС морского порта необходимо, чтобы все составляющие ее элементы работали безотказно, вероятность такого функционирования определяется формулой [7]

$$P(t) = P[E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_\psi], \quad (8)$$

где E_ψ – событие, фиксирующее то, что ψ -й элемент (объект транспорта порта) функционирует безотказно.

Сбой в работе хотя бы одного из элементов приводит к снижению надежности всей системы. Анализ нарушений режима функционирования элементов транспортно-технологических систем показывает, что отказы, как правило, не зависят друг от друга [2]. Приняв в качестве допущения независимость отказов, можно определить вероятность безотказной работы системы за определенный период как вероятность одновременного эффективного функционирования всех элементов [7]

$$P(t) = \prod_1^b P_\psi(t), \quad (9)$$

где b – число последовательно соединенных элементов системы;

$P_\psi(t)$ – вероятность безотказной работы ψ -го элемента за время t .

Приведенное выражение представляет собой произведение вероятности безотказной работы всех составляющих элементов системы. Надежность функционирования системы снижается при увеличении числа последовательно соединенных элементов и не превышает надежности работы наименее надежного элемента, т. е. [7]

$$P(t) \leq \min_\psi \{P_\psi(t)\}. \quad (10)$$

В связи с тем, что вероятности сбоя и безотказной работы объекта являются противоположными событиями, их сумма (исключая простой) равна единице. Тогда вероятность безотказной работы всей системы можно рассчитать по формуле

$$P(t) = \prod_1^b P_\psi = \prod_1^b (1 - q_\psi), \quad (11)$$

где P_ψ – вероятность безотказной работы ψ -го элемента системы;

q_ψ – вероятность сбоя (отказа) ψ -го элемента системы.

Для повышения надежности функционирования системы применяется резервирование. Резервирование может содержаться в любом элементе системы, т. е. каждый ее элемент может иметь ζ -кратное раздельное резервирование. Тогда вероятность нормального (безотказного) функционирования системы равна [7]

$$P = [1 - (1 - P^{\zeta+1})]^{\psi}. \quad (12)$$

Затем строится график надежности элементов системы – зависимости вероятности нормального функционирования системы от числа последовательно включенных составляющих элементов (рис. 4).

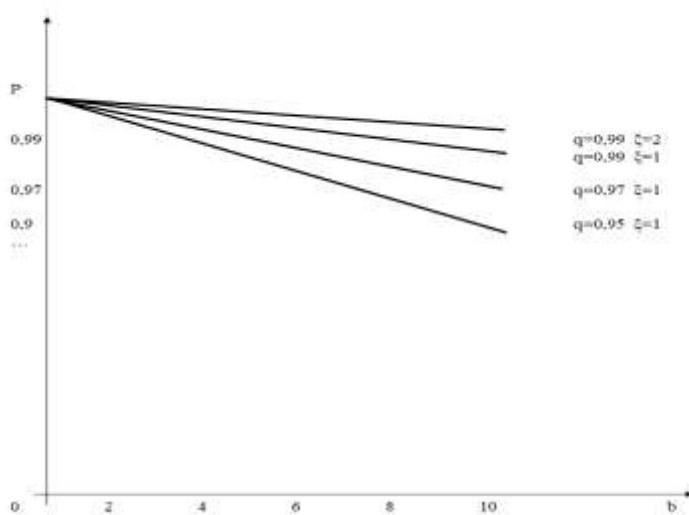


Рис. 4. График надежности элементов системы

Если представить надежность системы как сумму зависимостей надежности функционирования ее элементов, то приближенное значение вероятности безотказного функционирования системы рассчитывается по формуле (13)

$$\sum_{\psi=1}^b P_{\psi}' \approx 1 - P(t), \quad (13)$$

где P_{ψ}' – необходимая вероятность безотказного функционирования составляющих элементов системы.

Таким образом, можно оценить вероятность возникновения отказов объектов ТТС морского порта и затем планировать циклы его ремонтов.

Выводы. В работе обозначены основные методы совершенствования организации ремонтов объектов транспортно-технологической системы и оценены необходимые условия для начала модернизации имеющегося оборудования морского порта.

Для повышения безопасности, эффективной эксплуатации транспортно-технологической системы морского порта и минимизации производственных затрат предприятия необходимо своевременное принятие решений по замене суброгацийного оборудования и инфраструктурных объектов на новые.

Дальнейшее развитие исследований в данной области представляется перспективным в направлении совершенствования методики прогнозирования функционального устаревания объектов ТТС морских портов на основе теории вероятности безотказного функционирования систем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Берестовой А.М. Синтез процессов и объектов в материальных потоках транспорта затвердевающих жидкостей: Дисс. докт. техн. наук // Мариуполь, ПГТУ. – 2002. – 528 с.
2. Берестовой А.М., Перепечаев С.Н., Черныш А.А. Повышение уровня безопасности мореплавания суброгацийных морских судов. Материалы международной научно-технической конференции. – Мариуполь: АМИ ОНМА, 2014. – С. 67-69.
3. Винников В.В., Крушкин Е.Д., Быкова Е.Д. / Под общ. ред. В.В. Винникова / Системы технологий на морском транспорте (перевозка и перегрузка): Учебное пособие. – 2-е изд. перераб. и доп. – Одесса: Фенікс; М.: ТрансЛит, 2010. – 576 с.
4. Поносков Ю.К., Савушкин С.А. Моделирование развития транспортной системы России (экономико-производственный аспект). – ВИНТИ РАН, 2002. – 112 с.
5. Попович С.Н. Обеспечение сохранности элементов транспортного оборудования при морских перевозках: Дисс. канд. техн. наук. – Одесса: ОНМА, 2010. – 204 с.
6. Хохлов Е.А., Тверской Д.Б. Эксплуатация и организация ремонта локомотивов промышленного транспорта. – М.: Транспорт, 1978. – 200 с.
7. Сыч Е.Н. Повышение эффективности функционирования прогрессивных технологических систем морских перевозок грузов: Тексты лекций. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1982. – 68 с.

8. Зинченко С.Г. *Контролинг эксплуатации и ремонта объектов транспортно-технологической системы морского порта в условиях дерегуляции перевозки грузов и наличия суброгационного оборудования* / С.Г. Зинченко. – Мариуполь: ООО «ППНС», 2017. – 160 с.
9. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.marport.net>
10. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.sifservice.com/index.php/informatsiya/porty-ukrainy/morskie-porty/item/25-mariupol-morskoy-port>

Стаття надійшла до редакції 22.03.2018 р.