

УДК 629.12

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА В ОТНОШЕНИИ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗНОСОВ И ОБЪЕМОВ РЕМОНТА СУДОВЫХ СИСТЕМ****Карябкина Алина Алексеевна¹**, аспирантe-mail: aline.karyabkina@mail.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассматривается обоснование выбора математического аппарата для прогнозирования износов и объема ремонта судовых систем. Показано, что вероятность наступления отказа может возникнуть тогда, когда фактическая остаточная толщина элемента станет меньше допустимой остаточной толщины. По результатам определено, что процесс прогнозирования объемов ремонта судовых систем напрямую зависит от скорости изнашивания трубопроводов и элементов систем, которую, в свою очередь, следует рассматривать как величину случайную.

Ключевые слова: математический аппарат, прогнозирование, скорость изнашивания, объемы ремонта, вероятность отказа, масса металла.

**SUBSTANTIATION FOR THE CHOICE OF A MATHEMATICAL APPARATUS IN
RELATION TO THE FORECASTING OF WEAR AND VOLUMES OF REPAIR OF
SHIP SYSTEMS****Alina A. Karyabkina¹**, Doctoral Studente-mail: aline.karyabkina@mail.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article deals with substantiation for the choice of a mathematical apparatus in relation to the forecasting of wear and volumes of repair of ship systems. It has been shown that the failure probability may occur when the actual residual elements of system thickness will be less than the permissible residual pipeline thickness. According to the results it has been determined that the forecasting process of volumes of repair of ship systems directly depends on the wear rate of ship pipelines and elements of system which should be considered as a random variable.

Keywords: the mathematical apparatus, forecasting, the wear rates, volumes of repairs, failure probability, a mass of metal.

Введение

Прогнозирование износов и объемов ремонта судовых систем является важным этапом в судоремонтном производстве [1]. Объективная оценка состояния судовых систем и ее

элементов позволяет не только оптимизировать процессы ее обслуживания, но и существенно сократить затраты на ремонтные работы.

В настоящее время на современном рынке отсутствуют программные комплексы, которые позволили бы решить вопросы прогнозирования износов и объемов ремонта судовых систем. В этой связи становится актуальным разработка математической модели для задач прогнозирования.

Как известно, в теории прогнозирования существуют следующие методы прогнозирования:

1. Экстраполяционные, которые базируются на использовании существующих данных для прогнозирования будущих значений или оценки неизвестных значений в наборе данных.

2. Статистические, представляющие собой набор методов к обработке количественной информации о прогнозируемом объекте, основываясь на выявлении математических закономерностей и взаимосвязей характеристик для создания прогнозных моделей.

3. Экспертные (методы экспертных оценок), которые в свою очередь основываются на информации, предоставляемой специалистами-экспертами в процессе упорядоченных процедур, направленных на выявление и обобщение их мнений [2].

Общая классификация методов прогнозирования приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация методов прогнозирования

Анализ представленных методов показал, что, по мнению автора, наиболее подходящим методом для решения поставленной задачи является статистический с применением теории вероятности (вероятностно-статистический). Поскольку процесс прогнозирования объема ремонта напрямую зависит от скорости изнашивания трубопроводов и элементов систем, которую, в свою очередь, следует рассматривать как величину случайную.

Связано это со спецификой условий эксплуатации систем, к примеру, некоторые элементы систем проходят через балластные танки, контактируя непосредственно с забортной водой и рабочей средой постоянно, некоторые, как система осушения – только несколько раз за навигацию. При этом период эксплуатации судов внутреннего и смешанного плавания, как правило, составляет 6-12 месяцев в году в зависимости от региона.

С учетом отмеченного, для описания математического аппарата для прогнозирования можно использовать теорию вероятностей, а в качестве характеристики случайного процесса использовать скорость износа.

В настоящее время общепринятым является использование для описания функции распределения вероятностей скоростей изнашивания нормального двухпараметрического закона.

В этом случае для определения скорости изнашивания заданной обеспеченности необходимо определить стандарт скорости изнашивания (σ) (среднее квадратичное отклонение), характеризующее разброс фактических скоростей изнашивания относительно математического ожидания ($\bar{c}$) [3].

В качестве параметра, характеризующего разброс значений случайной величины относительно ее математического ожидания, целесообразно использовать безразмерный коэффициент вариации:

$$V = \sigma / \bar{c}$$

Для получения расчетной зависимости для определения V следует применять статистические данные по скоростям изнашивания, полученные по результатам дефектации судовых систем, либо, при их отсутствии, аналогичных по условиям эксплуатации связей корпуса, рассматриваемого судна [4].

Для решения практических задач скорость изнашивания элементов судовых систем может рассматриваться как случайная величина, подчиненная нормальному закону распределения вероятностей.

Принцип обеспечения равной вероятности отказа

Вероятность наступления отказа вероятна тогда, когда фактическая остаточная толщина элемента станет меньше допустимой остаточной толщины [5, 6].

В этом случае условие отказа для элемента судовой системы за планируемый (прогнозируемый) срок службы этого элемента может быть записано в виде:

$$\Delta t = t_{min} - [t] \leq c(T_{cl} - 5) \quad (1)$$

где T_{cl} – расчетный срок службы, на которое рассчитан элемент судовой системы, спроектированной в соответствии с требованиями действующих Правил;

Δt – фактический запас на износ, косвенно регламентируемый действующими Правилами РКО;

$t_{min}, [t]$ – минимальная строительная и допустимая остаточная толщины, требуемые Правилами РКО;

c – скорость изнашивания рассматриваемого элемента судовой системы.

Учитывая то, что скорость изнашивания элемента является случайной величиной, вероятность выполнения (1) может быть определена как вероятность того, что фактический износ элемента превысит устанавливаемый запас на износ [6].

Тогда вероятность отказа для рассматриваемого элемента судовой системы, спроектированный в соответствии с требованиями Правил РКО, совпадает с вероятностью выполнения неравенства (1), т.е.:

$$P_{РКО} = P\{t_{min} - [t] - c(T_{cl} - 5) \leq 0\} \quad (2)$$

Принцип обеспечения оптимальной вероятности отказа

Выполнение неравенства (1) является, по сути, условием необходимости ремонта рассматриваемого элемента судовых систем в результате его износа за планируемый (прогнозируемый) срок службы. Учитывая, что скорость изнашивания является случайной величиной, вероятность выполнения ремонта за планируемый срок службы определяется по формуле (2).



При этом минимальная остаточная толщина рассматриваемого элемента судовых систем должна обеспечивать минимум суммарных затрат на изготовление и поддержание ее в работоспособном состоянии в течение срока службы [4,6].

При выполнении оптимизации по критерию минимума массы металла на поддержание конструкции в работоспособном состоянии целевая функция может быть представлена в виде:

$$Z_M = M^{(cmp)} + \sum_{j=1}^m M_j^{(рем)} \rightarrow \min \quad (3)$$

где $M^{(cmp)}$ – масса металла, затрачиваемая на изготовление конструкции;

$M_j^{(рем)}$ – масса металла, затрачиваемая на замену элементов конструкции при j -ом ремонте;

m – общее число ремонтов за планируемый срок службы судна T .

При выполнении оптимизации по критерию минимума материальных затрат целевая функция может быть представлена в виде:

$$Z_C = c_{cmp} M^{(cmp)} + \sum_{j=1}^m c_{рем}(T_j) k(T_j) M_j^{(рем)} \rightarrow \min \quad (4)$$

где $M^{(cmp)}$ – масса металла, затрачиваемая на изготовление элемента судовой системы;

$M_j^{(рем)}$ – масса металла, затрачиваемая на замену элементов при j -ом ремонте;

m – общее число ремонтов за планируемый срок службы элемента T .

Использование целевой функции связано не только с прогнозом объемов ремонта во времени, но также и с прогнозированием чисто экономических показателей $c_{рем}(T_j)$ и $k(T_j)$ [7].

Аппарат прогнозирования объема затрат металла

Одновременно с этим, основным показателем объема ремонта, а также трудоемкости его выполнения при прогнозировании традиционно используется масса заменяемого металла, поэтому для определения трудоемкости судоремонтных работ целесообразно определять общую массу затрачиваемого на ремонт металла по зависимостям [7]:

$$M^{(рем)} = \sum_{j=1}^m M_j^{(рем)} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^{j-1} m_{ij} \quad (5)$$

$$M_j^{(рем)} = \sum_{i=0}^{j-1} m_{ij} \quad (6)$$

где m_{ij} – масса металла, заменяемого в j -ый судоремонт от установленного в i -ый судоремонт (– момент постройки судна);

$M_j^{(рем)}$ – общий объем заменяемого металла в j -ый судоремонт;

m – общее число ремонтов за планируемый срок службы элемента судовой системы T .

Прогноз относительных затрат металла на ремонт элемента судовой системы $R = \sum_{j=1}^m \frac{M_j^{(рем)}}{M^{(cmp)}}$ в течение срока службы, эквивалентных относительной доле элементов судовых систем, заменяемых в процессе эксплуатации для поддержания конструкции в работоспособном состоянии, может быть определено:

$$R = \sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^{j-1} p^{(ij)} \quad (7)$$

Обобщая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Процесс прогнозирования объемов ремонта напрямую зависит от скорости изнашивания трубопроводов и элементов систем, которую, в свою очередь, следует рассматривать как величину случайную.

2. Скорость изнашивания связи может быть определена как вероятность того, что фактический износ элемента превысит устанавливаемый запас на износ.

3. Значение минимальной остаточной толщины рассматриваемого элемента судовой системы должно обеспечивать минимум суммарных затрат на изготовление и поддержание ее в работоспособном состоянии в течение срока службы.

4. Для определения трудоемкости судоремонтных работ и, как следствие, их объема целесообразно определять общую массу затрачиваемого на ремонт металла.

Список литературы:

1. Огнева В.В. Особенности технического документооборота судоходных компаний и судоремонтных предприятий // Вестник ВГАВТ. 2013. №35. С. 83-89. URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v35.pdf (дата обращения 16.04.2025).

2. Теория прогнозирования и принятия решений: Учеб. Пособие. Под ред. С. А. Саркисяна. М., «Высш. школа», 1977.

3. Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М., Наука, 1988 г – 480 с.

4. Оценка технического состояния корпусов морских судов / Максимаджи А.И., Беленький Л.М., Брикер А.С., Неугодов А.Ю. – Л. : Судостроение, 1982 г. – 156 с.

5. Бурмистров, Е.Г. Особенности проектирования судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания для эксплуатации в битом льду / Е.Г. Бурмистров, Д.А. Галочкин, А.А. Карябкина // Судостроение. – 2023. – № 6(871). – С. 3-7.

6. Ефименков Ю. И. Проектирование основных связей корпуса речного транспортного судна с учетом повреждаемости его конструкции в процессе эксплуатации : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.08.03 / Горьк. политехн. ин-т им. А. А. Жданова. - Горький, 1988. - 22 с.

7. Бутин А.П., Ефименков Ю.И., Степанов О.З. Прогнозирование объема ремонта листовых элементов корпуса судна // Ремонт речных судов: сб.научн.тр. ЛИВТа. – Л., 1989 г. – с. 129-137.

