

APPLICATION OF STRUCTURAL METHODS TO ASSESS THE RELIABILITY OF SHIP'S MECHANICAL SYSTEMS

E. S. Moseyko¹, E. O. Ol'khovik², V. G. Nikiforov²

¹ — “Iceberg” Central Design Bureau, St. Petersburg, Russian Federation

² — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russian Federation

At present, reliability indicators are of great importance at the design stages, during operation and in cases of extending the technical life. This is one of the reasons for choosing the research topic on the application of structural methods for evaluating the reliability of ship mechanical systems. The operational stage of the life cycle of ship's mechanical systems is considered in the paper. Durability criteria such as service life, operating time, frequency of repairs are chosen as reliability indicators. In turn, work on the repair, maintenance or replacement of ship's mechanical systems elements is carried out in accordance with the assigned regulations or in the case of an unforeseen failure. The comparison of event models of changes in the operating conditions of ship's mechanical systems is carried out. To estimate the remaining resource in the form of graphs, events are shown by service life and operating hours, distributed by years. In order to improve the existing methods for assessing reliability, a set of elements of the average values of the residual resource and residual output is considered. The approach proposed by the authors for assessing both element by element and the entire ship mechanical system as a whole allows us to consider the residual resource from the moment of monitoring its technical condition to the transition to the limit state, to plan technical measures and prevent possible malfunctions. Three different time slices models corresponding to planned repairs and maintenance of systems, replacement of system elements and unforeseen accidents are considered in the study. The difference in the amplitudes of the calculated indicators of the ship's mechanical systems reliability has shown that the closer the options between the maximum and minimum values are to the average, the more accurately the statistical indicators characterize this pattern. However, amplitude deviations can be used to apply fault risk assessment. This line of research seems to be important for ships in the Arctic navigation area, which are characterized by increased requirements for ship survivability.

Keywords: ship's mechanical systems, reliability, accidents on ships, residual life, service life.

For citation:

Moseyko, Evgeniy S., Evgeniy O. Ol'khovik, and Vladimir G. Nikiforov. “Application of structural methods to assess the reliability of ship's mechanical systems.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.5 (2023): 834–844. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-834-844.

УДК 621.78/79:629

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СУДОВЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е. С. Мосейко¹, Е. О. Ольховик², В. Г. Никифоров²

¹ — АО «Центральное конструкторское бюро «Айсберг», Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Темой настоящей работы является исследование показателей надежности судовых механических систем, имеющих важное значение как на стадиях проектирования, так и в период эксплуатации, а также в случаях продления технического ресурса. В работе рассмотрен эксплуатационный этап жизненного цикла судовых механических систем. В качестве показателей надежности выбраны критерии долговечности: срок службы, наработка, периодичность проведения ремонта. В свою очередь работы по ремонту, обслуживанию или замене элементов судовых механических систем производятся в соответствии с назначенными регламентами или в случае непредвиденного выхода их из строя. Выполнено сравнение событийных моделей изменения

условий эксплуатации судовых механических систем. Для оценки остаточного ресурса в виде графиков изображены события (по сроку службы) и по наработке (часов), распределенные по годам. В целях улучшения существующих методов оценки надежности рассматривается совокупность элементов средних значений остаточного ресурса и остаточной выработки. Предлагаемый подход оценки как поэлементно, так и в целом судовой механической системы позволяет рассматривать остаточный ресурс от момента проведения контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние, планировать технические мероприятия и предупреждать возможные неисправности. В исследовании рассмотрены три различные модели временных срезов, соответствующие плановым ремонтам и техническому обслуживанию систем, замене элементов систем и непредвиденным аварийным случаям. Разность амплитуд расчетных показателей надежности судовых механических систем показывает, что чем ближе варианты между максимальными и минимальными значениями к среднему, тем точнее статистические показатели характеризуют эту закономерность. Тем не менее отклонения значений амплитуд возможно использовать для применения оценки рисков неисправностей. Данное направление исследований представляется важным для судов арктического района плавания, для которых характерными являются повышенные требования живучести судов.

Ключевые слова: судовые механические системы, надежность, аварийные случаи на судах, остаточный ресурс, срок эксплуатации, методы расчета, оценка рисков.

Для цитирования:

Мосейко Е. С. Применение структурных методов для оценки надежности судовых механических систем / Е. С. Мосейко, Е. О. Ольховик, В. Г. Никифоров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 834–844. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-834-844.

Введение (Introduction)

Определение надежности судовых механических систем (далее — СМС) является сложной технической задачей, распространяющейся как на постройку новых судов, так и на продление ресурса работы судов, имеющих значительный срок эксплуатации. Наиболее актуальной данная задача является для судов, эксплуатирующихся в полярных водах Арктики, т. е. в наиболее сложных климатических условиях, когда требования к надежности судовых механических систем повышаются.

Целью данной работы является сравнительный анализ работоспособности отдельных элементов СМС в период их эксплуатации. В качестве объектов исследования выбраны элементы, входящие в СМС: подшипник, насос, электродвигатель, трубопроводная арматура.

Структурные методы являются основными видами расчета показателей надежности несложных систем в процессе технического проектирования. В общем случае методы представлены в виде структурной схемы, показывающей взаимодействия между элементами и оцениваются математической моделью в рассматриваемых условиях применения. Для СМС приведена последовательная структура, при которой отказ отдельного элемента может приводить к отказу системы в целом. Методология структурных методов расчета надежности [1], как правило, включает логическое укрупнение или разукрупнение элементов системы с определенной структурной последовательностью.

Построение структурной схемы позволяет вычислить показатели надежности по данным о наработке и сроку службы его элементов в рассматриваемых условиях. В работе [2] рассмотрена совокупность методов оценки рисков. Использована концепция приоритета матрицы риска, полученный на основе анализа вероятности и последствий отказов. Исследованы возможные связи проектного расчета надежности СМС и оценки рисков на основе фактических данных об аварийных случаях. В работе [3] рассматривается эксплуатационный этап жизненного цикла судовых механических систем. Проанализированы аварийные случаи на судах, произошедшие на море и внутренних водных путях, представлен порядок продления срока службы при классификационном освидетельствовании в эксплуатации. Следует также отметить результаты исследований выполненных, например, в работе [4], в которой приведен сравнительный анализ основных структурных схем резервирования, дублирования и троирования устройств автоматического контроля. Рассмотрены шкалы предпочтений систем по критериям максимумов среднего времени и средней вероятности безотказной работы. В работе [5] рассмотрен метод моделирования вероятности возникновения АС на примере элементов судовых энергетических установок.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Предполагается, что «построечные отказы» имеют мгновенный максимум в самом начале эксплуатации. С учетом требований РС¹ стратегия управления безопасностью судна должна строиться исходя из принципов о недопустимости ущерба его оборудованию или сведения его к минимуму, предотвращения любого риска, связанного с экологическими последствиями и жизнью человека. Кроме того, с учетом требований² можно оценить «фактическое техническое состояние» в соответствии с установленной системой рейтинга и присвоением баллов.

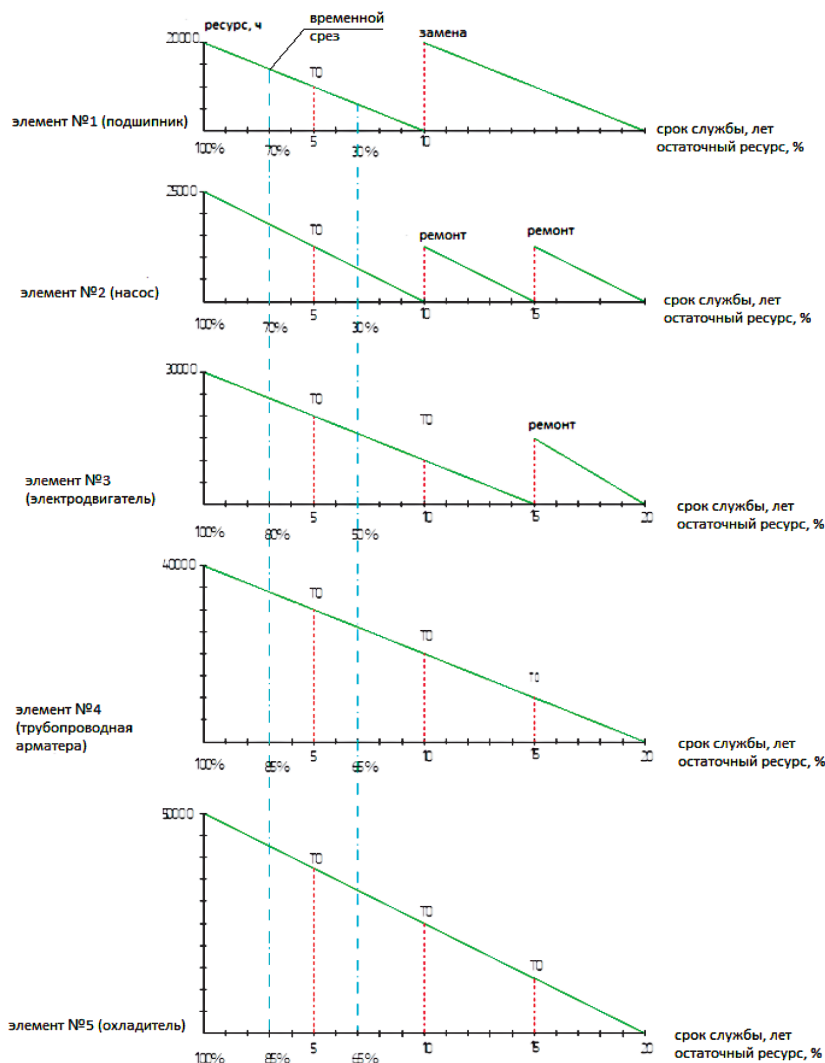


Рис. 1. Структурная поэлементная схема оценки остаточного ресурса СМС

В работе [6] исследуется вопрос определения скорости изнашивания элементов судовых технических средств на неустановившихся (в процессе приработки) и стационарных (во время стендовых испытаний) режимах. При рассмотрении причин аварийных случаев выполняется исследование работоспособности отдельных элементов СМС, значения отказа каждого отдельного элемента которой определяются на основе статистических данных. При этом существует несколько различных схем соединения и взаимодействия элементов внутри СМС, последовательное соединение элементов которой может приводить к отказу всей системы в целом, так как выход из строя даже одного ее элемента приводит к разрыву последовательной цепочки всей структуры. Применение

¹ НД № 2-080101-013. Руководство по осуществлению положений Международного кодекса по управлению безопасностью (МКУБ). СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2012. 92 с.

² НД № 2-039901-006. Рекомендации по комплексной оценке фактического технического состояния судна (САР). СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2023. 17 с.

дублирования элементов в СМС при параллельном соединении приводит к увеличению материалоемкости и общей стоимости СМС.

На практике необходимо проведение ремонтных работ в сроки, соответствующие текущему (5 лет), заводскому (10 лет) или капитальному (20 лет) ремонту для соблюдения требований надежности, что приводит к увеличению ресурса отдельных (отремонтированных) элементов и СМС в целом, однако несмотря на это указанную периодичность необходимо учитывать.

На рис. 1 приведена структурно-функциональная схема СМС, выполненная графоаналитическим методом, которая показывает поэлементное уточнение показателей надежности СМС в целом и отдельных ее элементов. На основании исходной информации о параметрах надежности (например, ТУ, паспорта) рассматриваются ресурс и срок службы. Эти данные наносятся на координатные оси, строятся линейные графики остаточного ресурса для каждого элемента СМС. Оценка показывает, что как ресурс, так и срок службы для различных элементов разный. Далее производятся временные срезы (например, через пять лет или по мере необходимости (ТО, ремонт)), что позволяет выявить параметры надежности в процессе эксплуатации, и также используется для моделирования остаточного ресурса СМС. По временным срезам определяются минимальные, максимальные и средние значения (для каждого элемента и СМС в целом) остаточного ресурса и срока службы. Поскольку ТУ и паспорт на элементы СМС предполагают их загруженность со средним коэффициентом использования, равным 0,3, данное обстоятельство также учитывалось в работе. Модель предусматривает учет мероприятий по ТО, ремонту или замене элементов СМС для уточнения срока службы и остаточного ресурса.

Результаты (Results)

В таблице рассмотрены событийные модели изменения остаточного ресурса всей СМС, при этом принимаются следующие модели:

- модель 1 — замена элементов по критерию выработки, проведение технических мероприятий по плану-графику ТО;
- модель 2 — замена подшипника и насоса, вышедшие из строя раньше времени;
- модель 3 — замена электродвигателя и арматуры, вышедшие из строя раньше времени.

Виды моделей остаточного ресурса элементов СМС

Вид	Срок службы	Среднее значение остаточного ресурса, %	Среднее значение остаточной выработки, ч	Технические мероприятия
Модель 1	5	62	23750	—
	10	27	13000	Замена подшипника по выработке, ремонт насоса по плану-графику
	15	26	6750	Ремонт насоса по плану-графику, ремонт электродвигателя по плану-графику
	20	3	1100	—
Модель 2	5	60	23750	Замена подшипника по неисправности
	10	27	13000	Замена насоса по неисправности
	15	26	6750	Замена подшипника по выработке, ремонт электродвигателя по плану-графику
	20	26	5400	—
Модель 3	5	62	23750	—
	10	27	13000	Замена подшипника по выработке, замена арматуры по неисправности
	15	39	15500	Ремонт насоса по плану-графику, замена электродвигателя по неисправности
	20	34	10750	—

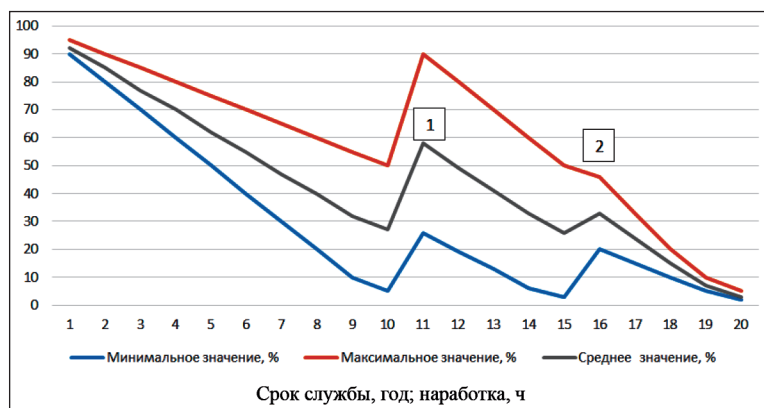
В таблице приведены данные начиная с пятого года эксплуатации СМС, поскольку предыдущий период не предполагает проведение ТО, планового ремонта и т.п. Далее рассмотрен остаточный ресурс по основным элементам СМС.

Модель № 1 (рис. 2).

По окончании срока службы СМС 5 лет средние значения остаточного ресурса 62 % и выработки 23750 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 10000 ч;
- насос — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 12500 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 66 %, остаток выработки 20000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 75 %, остаток выработки 30000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 75 %, остаток выработки 37500 ч.

а)



б)

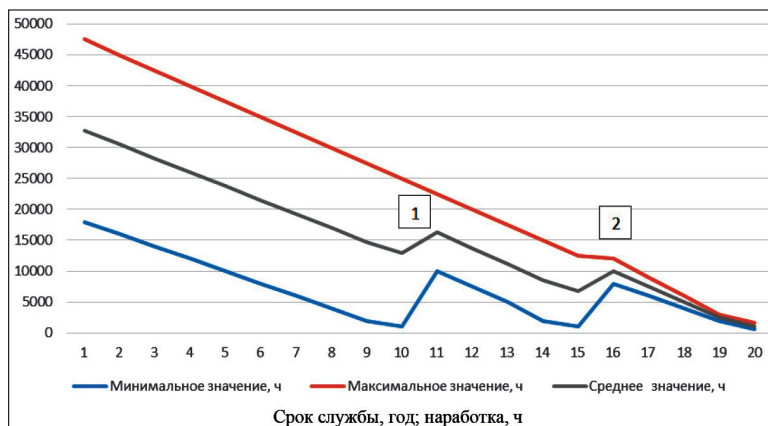


Рис. 2. Оценка остаточного ресурса в целом СМС модели № 1:

а — по годам (сроку службы): 1 — замена подшипника, ремонт насоса;

2 — ремонт насоса, ремонт электродвигателя; б — по наработке (ч):

1 — замена подшипника, ремонт насоса; 2 — ремонт насоса, ремонт электродвигателя

По окончании срока службы СМС 10 лет средние значения остаточного ресурса 27 % и выработки 13000 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 5 %, остаток выработки 1000 ч;
- насос — остаток ресурса 5 %, остаток выработки 1500 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 33 %, остаток выработки 10000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 20000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 25000 ч.

По окончании срока службы СМС 15 лет средние значения остаточного ресурса 26 % и выработки 6750 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 10000 ч;
- насос — остаток ресурса 5 %, остаток выработки 1500 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 3 %, остаток выработки 1000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 25 %, остаток выработки 10000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 25 %, остаток выработки 12500 ч.

По окончании срока службы СМС 20 лет средние значения остаточного ресурса 3 % и выработки 1100 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 4 %, остаток выработки 1000 ч;
- насос — остаток ресурса 4 %, остаток выработки 1200 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 3 %, остаток выработки 1500 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 2 %, остаток выработки 800 ч;
- охладитель — остаток ресурса 2 %, остаток выработки 1200 ч.

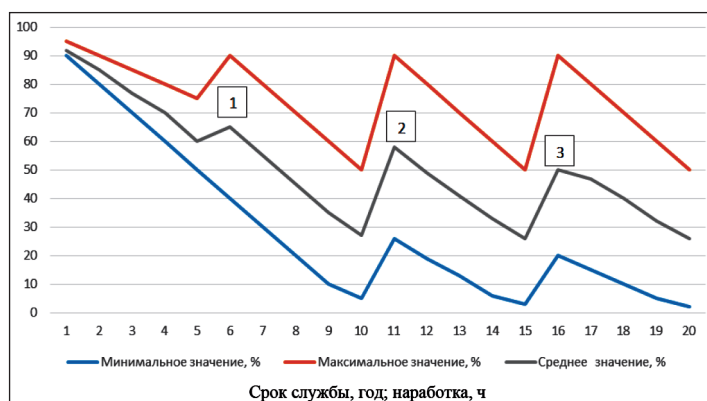
На рис. 2–4 приведены графики по выбранным моделям.

Модель № 2 (рис. 3).

По окончании срока службы СМС 5 лет средние значения остаточного ресурса 62 % и выработки 23750 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 10000 ч;
- насос — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 12500 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 66 %, остаток выработки 20000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 75 %, остаток выработки 30000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 75 %, остаток выработки 37500 ч.

а)



б)

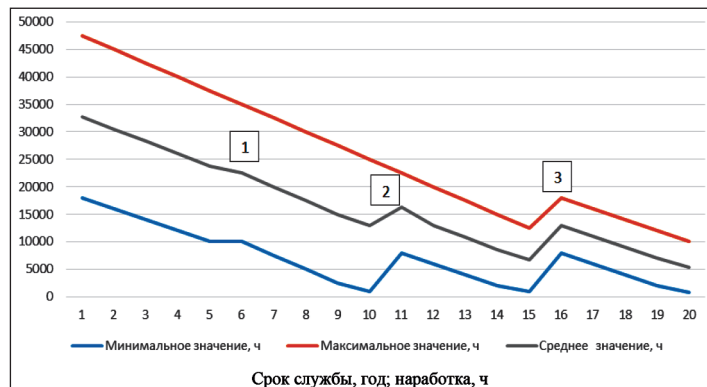


Рис. 3. Оценка остаточного ресурса в целом СМС модели № 2:

- а — по годам (сроку службы): 1 — замена подшипника; 2 — замена насоса;
3 — замена подшипника, ремонт электродвигателя;
б — по наработке, ч: 1 — замена подшипника; 2 — замена насоса;
3 — замена подшипника, ремонт электродвигателя

По окончании срока службы СМС 10 лет средние значения остаточного ресурса 27 % и выработки 13000 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 5 %, остаток выработки 10000 ч;
- насос — остаток ресурса 5 %, остаток выработки 1500 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 33 %, остаток выработки 10000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 20000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 25000 ч.

По окончании срока службы СМС 15 лет средние значения остаточного ресурса 39 % и выработки 15500 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 10000 ч;
- насос — остаток ресурса 5 %, остаток выработки 1000 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 3 %, остаток выработки 1000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 75 %, остаток выработки 30000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 25 %, остаток выработки 12500 ч.

По окончании срока службы СМС 20 лет средние значения остаточного ресурса 34 % и выработки 10750 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 4 %, остаток выработки 1000 ч;
- насос — остаток ресурса 4 %, остаток выработки 1500 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 66 %, остаток выработки 20000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 20000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 2 %, остаток выработки 1200 ч.

Модель № 3 (рис. 4).

По окончании срока службы СМС 5 лет средние значения остаточного ресурса 62 % и выработки 23750 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 10000 ч;
- насос — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 12500 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 66 %, остаток выработки 20000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 75 %, остаток выработки 30000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 75 %, остаток выработки 37500 ч.

По окончании срока службы СМС 10 лет средние значения остаточного ресурса 27 % и выработки 13000 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 5 %, остаток выработки 1000 ч;
- насос — остаток ресурса 5 %, остаток выработки 1500 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 33 %, остаток выработки 10000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 20000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 25000 ч.

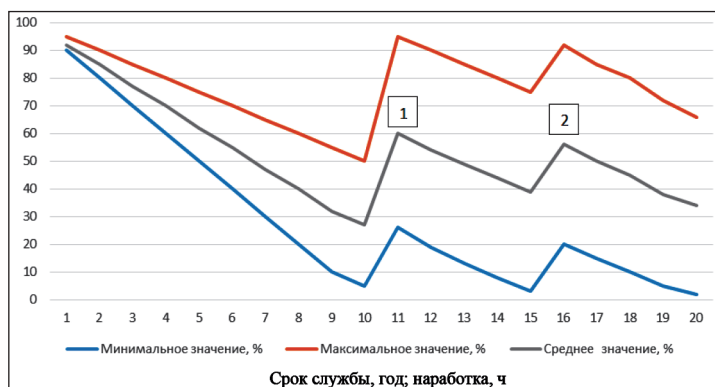
По окончании срока службы СМС 15 лет средние значения остаточного ресурса 39 % и выработки 15500 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 10000 ч;
- насос — остаток ресурса 5 %, остаток выработки 1500 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 3 %, остаток выработки 1000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 75 %, остаток выработки 30000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 25 %, остаток выработки 12500 ч.

По окончании срока службы СМС 20 лет средние значения остаточного ресурса 34 % и выработки 10750 ч. Оценка по элементам СМС следующая:

- подшипник — остаток ресурса 4 %, остаток выработки 1000 ч;
- насос — остаток ресурса 4 %, остаток выработки 1500 ч;
- электродвигатель — остаток ресурса 66 %, остаток выработки 20000 ч;
- трубная арматура — остаток ресурса 50 %, остаток выработки 20000 ч;
- охладитель — остаток ресурса 2 %, остаток выработки 1200 ч.

а)



б)

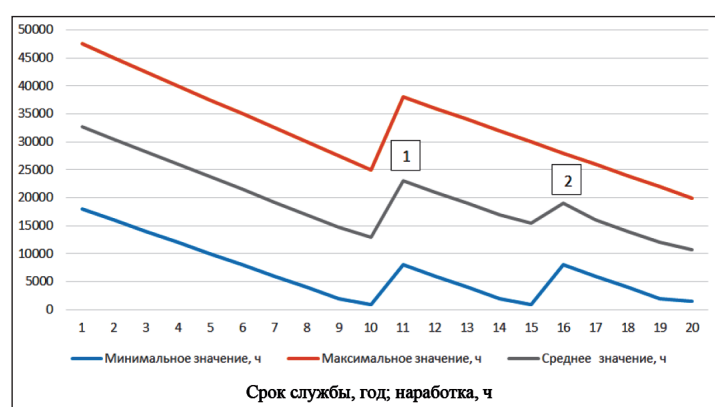


Рис. 4. Оценка остаточного ресурса в целом СМС модели № 3:

- а — по годам (сроку службы): 1 — замена подшипника и арматуры, ремонт насоса;
2 — ремонт насоса, замена электродвигателя; б — по наработке, ч:
1 — замена подшипника и арматуры, ремонт насоса;
2 — ремонт насоса, замена электродвигателя.

Исследованные в данной работе модели направлены на оценку надежности СМС при их эксплуатации и возможном продлении ресурса. Рассмотренный структурный метод включает следующие этапы:

- оперативную оценку технического состояния и диагностику СМС;
- документарную или электронную фиксацию данных о снижении работоспособности, повреждениях, разрушениях и авариях (судовой и машинный журналы, журнал учета технического состояния, планы-графики ТО, формуляры и т.п.);
- выбор функций для статистического анализа, которые показывают как развиваются повреждения, связанные с произошедшими инцидентами в СМС;
- статистическое моделирование для распознавания признаков возможных повреждений или снижения эксплуатационных характеристик СМС.

Обсуждение (Discussion)

В процессе сравнения полученных результатов с работами других авторов можно отметить следующее: в работе [7] приводится подтверждение того, что технические причины более 1/3 аварийных случаев за последние два десятилетия были вызваны повреждением или поломкой главного двигателя, рулевого устройства и другого основного оборудования. При этом в работе [8] отмечается, что СТС, включая все системы, ежегодно составляют 33–40% от общего количества АС.

В работе [9] на примере радиоэлектронных систем определяются требования надежности структурных элементов с учетом интенсивности отказов, а также возможных изменений параметров элементов проектируемой системы в процессе эксплуатации. В работе [10] на примере электротехнической системы рассматривались данные пяти состояний отказов компонентов с использованием логико-вероятностного метода.

Выводы (Summary)

На основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Анализ результатов, полученных при использовании модели № 1, показал, что по окончании срока службы 5 лет проводилось ТО всех элементов по плану-графику; после 10 лет была выполнена замена подшипника по выработке, произведен ремонт насоса по плану-графику; после 15 лет — ремонт насоса и электродвигателя по плану-графику. К окончанию срока службы 20 лет среднее значение остаточного ресурса СМС составляет 3 %, среднее значение остаточной выработки СМС — 1100 ч.

2. Анализ результатов при использовании модели № 2 показал, что после срока службы 5 лет необходима замена подшипника по неисправности и ТО остальных элементов; после 10 лет — замена насоса по неисправности; после 15 лет — замена подшипника по выработке, ремонт электродвигателя по плану-графику. К окончанию срока службы 20 лет среднее значение остаточного ресурса СМС составляет 26 %, среднее значение остаточной выработки СМС — 5400 ч.

3. Анализ результатов при использовании модели № 3 показал, что по окончании срока службы 5 лет проводилось ТО всех элементов; после 10 лет была выполнена замена подшипника по выработке, замена арматуры по неисправности; после 15 лет произведены ремонт насоса по плану-графику и замена электродвигателя по неисправности. К окончанию срока службы 20 лет среднее значение остаточного ресурса СМС составляет 34 %, среднее значение остаточной выработки СМС — 10750 ч.

4. В целом результат анализа событийных моделей показывает, что с применением данного подхода оценки как поэлементно, так и в целом всей СМС, появилась возможность рассматривать остаточный ресурс от момента проведения контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние, а также планировать технические мероприятия и предупреждать возможные неисправности.

5. Полученный разброс величин амплитуды между минимальными и максимальными значениями следующий: по модели 1 остаточный ресурс СМС составляет 2–4 %, остаточная выработка СМС — 800–1500 ч; по модели 2 остаточный ресурс СМС составляет 2–50 %, остаточная выработка СМС — 800–10000 ч; по модели 3 остаточный ресурс СМС составляет 2–66 %, остаточная выработка СМС — 1500–10750 ч.

6. Разность амплитуды внутри одной модели показывает, что чем ближе варианты между максимальными и минимальными значениями к среднему, тем более точно статистические показатели характеризуют измерения, указанные в пп. 5. При этом отклонения значений амплитуд можно использовать для применения оценки рисков неисправностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Викторова В. С.* Модели и методы расчета надежности технических систем / В. С. Викторова, А. С. Степанянц. — Изд. 2, испр. — М.: ЛЕНАНД, 2016. — 256 с.
2. *Мосейко Е. С.* Задачи оценки рисков и предупреждения отказов судовых механических систем / Е. С. Мосейко, Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 6. — С. 931–944. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-931-944.
3. *Мосейко Е. С.* Оценка надежности судовых механических систем для арктического судоходства / Е. С. Мосейко, Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 1. — С. 120–128. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-120-128.

4. Анищенко В. А. Анализ надежности резервированных систем автоматического контроля и управления производственными энергетическими процессами / В. А. Анищенко, Е. Л. Мысло, А. Н. Иванова // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. — 2014. — № 6. — С. 5–14.

5. Давыдов Д. А. Анализ риска эксплуатации элементов судовых энергетических установок на основе имитационного моделирования / Д. А. Давыдов, А. А. Стяжкин, В. А. Туркин // Вестник Государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова. — 2020. — № 4 (33). — С. 17–23.

6. Клименко Н. П. Оценка надежности трибосистем на неустановившихся режимах работы / Н. П. Клименко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2022. — № 2. — С. 7–12. DOI: 10.24143/2073-1574-2022-2-7-12.

7. Мотрич В. Н. Причины аварий на морском флоте / В. Н. Мотрич, Д. А. Акмайкин // Вестник Морского государственного университета имени адмирала Г. И. Невельского (может в названии журнала не включено). — 2021. — № 88. — С. 4–8.

8. Соболенко А. Н. Анализ технических отказов на промысловых судах в Дальневосточном регионе / А. Н. Соболенко, И. П. Турищев, М. В. Гомзяков, О. В. Москаленко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2019. — № 3. — С. 48–55. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-48-55.

9. Гришко А. К. Определение показателей надежности структурных элементов сложной системы с учетом отказов и изменения параметров / А. К. Гришко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. — 2016. — № 2 (16). — С. 51–57.

10. Жердецкий Ю. В. Методика расчета надежности многокомпонентных структурно-сложных систем со многими состояниями: сборник научных работ студентов, магистрантов и аспирантов / Ю. В. Жердецкий, Г. А. Мальцева. — Изд-во «Гомельский государственный ун-т им. Ф. Скорины, 2013. — Ч. 1. — С. 106–109.

REFERENCES

1. Viktorova, V. S., and A. S. Stepanyants. *Modeli i metody rascheta nadezhnosti tekhnicheskikh sistem*. 2nd edition. M.: LENAND, 2016.

2. Moseyko, Evgeniy S., and Evgeniy O. Ol'khovik. "Tasks of risks assessment and failures prevention of the ship's mechanical systems." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.6 (2022): 931–944. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-931-944.

3. Moseyko, Evgeniy S., and Evgeniy O. Ol'khovik. "Assessment of ship mechanical systems reliability for arctic shipping." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.1 (2022): 120–128. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-120-128.

4. Anishchenko, V. A., E. L. Myslo, and A. N. Ivanova. "Analysis of reliability of reserved automatic control systems of industrial power processes." *Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations* 6 (2014): 5–14.

5. Davudov, D. A., A. A. Styazhkin, and V. A. Türkin. "Risk analysis of operation of elements of shipping power plants based on simulation." *Vestnik Gosudarstvennogo morskogo universiteta imeni admirala F. F. Ushakova* 4(33) (2020): 17–23.

6. Klimenko, N. P. "Evaluating reliability of tribosystems based on unsteady operating modes." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 2 (2022): 7–12. DOI: 10.24143/2073-1574-2022-2-7-12.

7. Motrich, V., and D. Akmaykin. "Causes of accidents in the merchant fleet." *Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta* 88 (2021): 4–8.

8. Sobolenko, A. N., I. P. Turishchev, M. V. Gomzyakov, and O. V. Moskalenko. "Analysis of technical failures on fishing vessels in the Far East." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 3 (2019): 48–55. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-48-55.

9. Grishko, A. K. "Calculation indicators of reliability structural elements of complex systems with fault logging and parameter changes." *Measuring. Monitoring. Management. Control* 2(16) (2016): 51–57.

10. Zherdetskii, Yu. V., and G. A. Mal'tseva. "Metodika rascheta nadezhnosti mnogokomponentnykh strukturno-slozhnykh sistem so mnogimi sostoyaniyami." *Sbornik nauchnykh rabot studentov, magistrantov i aspirantov*. Vol. 1. Izd-vo «Gomel'skii gosudarstvennyi un-t im. F. Skoriny, 2013. 106–109.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мосейко Евгений Сергеевич —

инженер-технолог отдела технологии,
экономики производства, нормирования
материалов

АО «Центральное конструкторское бюро
«Айсберг»

199034, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Большой пр., 36

e-mail: evgeniy-moseyko@mail.ru

Ольховик Евгений Олегович —

доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: olhovikeo@gumrf.ru

Никифоров Владимир Григорьевич —

доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: kaf_mnt@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Moseyko, Evgeniy S. —

Process Engineer of the Department
of Technology, Industrial Economy
and Materials Rationing

“Iceberg” Central Design Bureau

36 Bol'shoi Ave.,

St. Petersburg, 199034,

Russian Federation

e-mail: evgeniy-moseyko@mail.ru

Ol'khovik, Evgeniy O. —

Dr. of Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,

Russian Federation

e-mail: olhovikeo@gumrf.ru

Nikiforov, Vladimir G. —

Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,

Russian Federation

e-mail: kaf_mnt@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 19 августа 2023 г.

Received: August 19, 2023.