

СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ФЛОТА

SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND FLEET RUNNING

Научная статья

УДК 621.78/79:629

doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-7-16

Исследование надежности судовых насосов по данным технического наблюдения

Евгений Сергеевич Мосейко¹, Евгений Олегович Ольховик²✉

¹Центральное конструкторское бюро «Айсберг»,
Санкт-Петербург, Россия

²Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова,
Санкт-Петербург, Россия, olhovikeo@gumrf.ru ✉

Аннотация. При техническом проектировании судовых систем выполняются расчеты их надежности, которые основаны на данных надежности отдельных элементов систем и математических методах теории надежности. При эксплуатации судна недостаточное техническое обслуживание может привести к выходу из строя оборудования, что предупреждается методами инструментальной диагностики элементов систем, поддерживающим ремонтом независимо от текущего технического состояния, классификационным освидетельствованием в эксплуатации. Подробных данных об изменении функциональной надежности судовых механических систем, которые могли бы подтвердить или опровергнуть преимущества каждого из существующих методов, недостаточно. Проведен сбор, обработка и анализ фактических данных о жизненном цикле различных насосов судовых систем на всех этапах, а также за пределами назначенного срока службы или наработки. Исследуются элементы оборудования общесудовых систем и вспомогательных энергетических установок атомных ледоколов и плавучих сооружений. Рассматриваемое оборудование имеет типовые насосы с различной мощностью и производительностью. В качестве показателей надежности насосов выбраны критерии долговечности: срок службы, назначенный ресурс (наработка), периодичность проведения ремонта. Представлены фактические жизненные циклы насосов в виде зависимости срока службы в годах от наработки в часах, дополнительно на графики нанесены данные о прохождении поддерживающего ремонта, технического обслуживания, освидетельствования технического состояния, а также замены или продления срока эксплуатации. Сделаны выводы: часть насосов в составе судовых систем была заменена до выработки полного ресурса, при этом работоспособность систем в целом сохранялась или была восстановлена в результате ремонта; для части насосов заданный ресурс был превышен, но при техническом освидетельствовании их эксплуатация была продлена, работоспособность систем также сохранялась.

Ключевые слова: жизненный цикл системы, срок службы, назначенный ресурс, ремонт, эксплуатация

Для цитирования: Мосейко Е. С., Ольховик Е. О. Исследование надежности судовых насосов по данным технического наблюдения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 4. С. 7–16. doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-7-16.

Studying reliability of marine pump systems by using technical supervision data

Evgeniy S. Moseyko¹, Evgeniy O. Ol'khovik²✉

¹ Central Design Bureau Iceberg,
Saint-Petersburg, Russia

² Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
Saint-Petersburg, Russia, olhovikeo@gumrf.ru✉

Abstract. The article describes the analysis of the ship systems' reliability at the stage of the technical design, which is based on the reliability data of individual system elements and mathematical methods of reliability theory. During the ship operation maintenance deficiencies can lead to the equipment failure, which can be prevented by the methods of instrumental diagnostics of system elements, maintenance repairs regardless of the current technical condition, and classification inspection during the ship operation. Collecting the detailed data on changes in the functional reliability of ship mechanical systems, which could confirm or deny the advantages of each of the existing methods is not enough. There has been carried out collecting, processing and analyzing the actual data on the life cycles of various pumps of ship systems at different stages of service life, as well as beyond the designated service life or operating time. There are examined the general ship systems and auxiliary power units of icebreakers and floating structures. The examined equipment has standard pumps with different capacity and efficiency. Service life, assigned resource (operating time), frequency of repair are taken as the criteria of pump reliability and durability. There have been shown the actual life cycles of pumps in dependence of the service life in years on the operating time in hours; in addition, data on the passage of maintenance repairs, maintenance, inspection of the technical condition, as well as replacement or extension of the service life are plotted on the graphs. It has been inferred that some of the pumps in the ship's systems should be replaced before the full resource was developed, while the performance of the systems as a whole was preserved or restored as a result of repairs; some pumps have exceeded their specified resource, but during the technical inspection their operation was extended, the operability of the systems was also preserved.

Keywords: system life cycle, service life, assigned resource, operation, exploitation

For citation: Moseyko E. S., Ol'khovik E. O. Studying reliability of marine pump systems by using technical supervision data. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2021;4:7-16. (In Russ.) doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-7-16.

Введение

«Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 октября 2019 г. № 2553-р) в качестве одного из перспективных направлений в области повышения эффективности отечественных судоремонтных предприятий предполагает развитие мероприятий по управлению материально-техническим обеспечением судоремонта и технического обслуживания судов всех типов. Необходимой научной компонентой данного процесса является развитие знаний о надежности судовых систем, как новых, так и находящихся в эксплуатации. В работе [1] авторы провели подробное исследование методов комплексной оценки надежности изделий судового машиностроения, которые в настоящее время используются при техническом проектировании судовых систем. В работе [2] представлены основные понятия и определения теории надежности, авторы используют теории вероятностей и комбинаторики, логико-вероятностные модели и методы получения и преобразования формального описания структур систем. Задачи по оценке технического состояния судовых систем тесно связаны с прогнозированием их функциональной надежности, в том числе и более сложных механических систем, например судовых дизелей [3]. В «Правилах классификации и постройки морских судов» (часть VIII) приводятся рекомендации в обеспечении производительности насосов для судовых систем. Однако выполненный литературный поиск по источникам информации подтвердил, что имеется существенный недостаток данных о фактическом жизненном

цикле судовых систем и их отдельных компонентов. По этой причине операции по ремонту, обслуживанию или замене техники производятся в соответствии с назначенными регламентами или в случае непредвиденного выхода из строя. С другой стороны, известны случаи кратного превышения назначенного ресурса (наработки) элементов судовых систем. Задача определения фактических показателей на протяжении всего периода жизненного цикла элементов судовых систем является актуальной, поскольку такие данные будут способствовать уточнению расчетов надежности и развитию регламентов по техническому обслуживанию, ремонту и инструментальной диагностике судовых механических систем.

Методы и материалы исследования

В качестве объектов для исследования были выбраны общесудовые системы и вспомогательные энергетические установки ледоколов и плавучих сооружений, спроектированных АО «Центральное конструкторское бюро «Айсберг». Рассматриваемое оборудование имеет типовые насосы с различной мощностью и производительностью. В соответствии с результатами анализа основных видов и причин нарушений в техническом состоянии насосов, в том числе их выхода из строя, были выбраны следующие системы для дальнейшего исследования (приводим их обозначение):

- система бытовой забортной воды (C_1);
- система водяного отопления (C_2);
- система охлаждения вспомогательных механизмов (C_3);
- система балластная (C_4);
- система сточная и хозяйственно-бытовых вод (C_5);
- система приема и перекачки дизельного топлива (C_6).

Надежность систем C_{1-6} состоит из надежности входящих в нее элементов (трубопроводы, фильтры, арматура, насосы и т. д.). В качестве показателей надежности насосов, а именно долговечности, выбраны следующие критерии: срок службы, назначенный ресурс (наработка), периодичность проведения ремонта. Для выбранных общесудовых систем принимаем совокупность насосов за основные элементы ($\mathcal{E}_1 \dots \mathcal{E}_n$). В соответствии с принятым методом модель исследования имеет вид: $C_1 \rightarrow \mathcal{E}_1 \dots \mathcal{E}_n$, $C_2 \rightarrow \mathcal{E}_1 \dots \mathcal{E}_n$ и т. д. Такой подход, хотя и является общим, позволяет с детальной точностью изучить кинетическое изменение выбранных критериев, сделать обоснованные выводы, построить эмпирические связи.

Результаты исследования

На графиках ниже представлены жизненные циклы насосов по зависимостям ординат: x – срок службы в годах; y – наработка, тыс. ч. Для удобства восприятия информации значения округлены.

В состав системы бытовой забортной воды C_1 входит электронасос ЦВС 10/40. Конструктивные особенности: тип центробежно-вихревой, самовсасывающий. Основные характеристики: подача – $10 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор – 40 м; частота вращения – 2 900 об/мин. Согласно техническим условиям (ТУ) завода-изготовителя предъявляются следующие требования к надежности (пунктирная линия на рис. 1):

- назначенный ресурс до заводского ремонта – 12 500 ч;
- назначенный срок службы до заводского ремонта – 5 лет;
- полный ресурс до списания – 25 000 ч;
- полный срок службы – 10 лет.

Эксплуатация насоса № 1 (линия 1 на рис. 1) проходила по следующим этапам:

- после срока службы 4 года (наработка ресурса – 95 000 ч) был проведен поддерживающий ремонт (ПР);
- после срока службы 7 лет (наработка ресурса – 16 500 ч) проведено техническое обслуживание (ТО);
- после срока службы 10 лет (наработка ресурса – 23 300 ч) было проведено освидетельствование технического состояния (ТС), эксплуатация насоса продлена.

Эксплуатация насоса № 2 (линия 2 на рис. 1) проходила по следующим этапам:

- после срока службы 2 года (наработка ресурса – 7 000 ч) проведен ПР;
- после срока службы 8 лет (наработка ресурса – 21 000 ч) проведено ТО;

– после срока службы 10 лет (наработка ресурса – 26 100 ч) проведено освидетельствование ТС, эксплуатация насоса продлена.

Эксплуатация насоса № 3 (линия 3 на рис. 1) проходила по следующим этапам:

- после срока службы 3 года (наработка ресурса – 9 000 ч) проведен ПР;
- после срока службы 8 лет (наработка ресурса – 24 000 ч) проведено ТО;
- после срока службы 10 лет (наработка ресурса – 30 200 ч) проведено освидетельствование ТС, насос заменен.

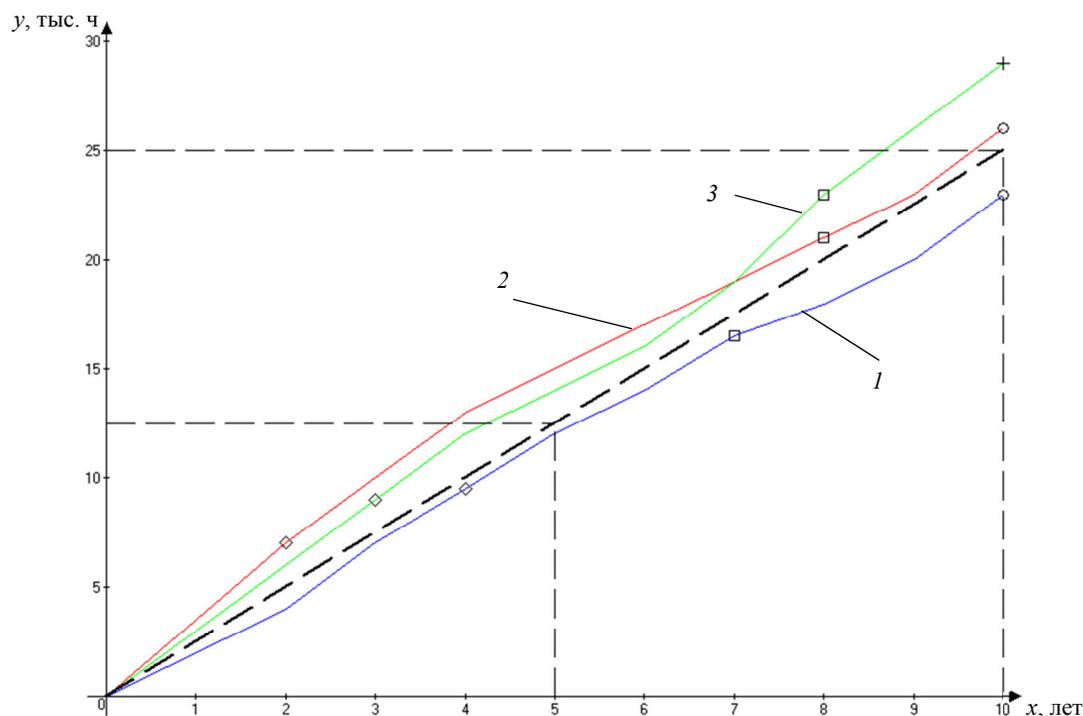


Рис. 1. Зависимость наработки (y) от срока службы (x) электронасоса ЦВС 10/40 системы бытовой забортной воды (C_1), где обозначены события: поддерживающий ремонт (\diamond); техническое обслуживание (\square); продление после освидетельствования технического состояния (\circ); замена после освидетельствования технического состояния ($+$); 1 – жизненный цикл насоса № 1; 2 – жизненный цикл насоса № 2; 3 – жизненный цикл насоса № 3

Fig. 1. Dependence of operating time (y) on the service life (x) of the electric pump ЦВС 10/40 of seawater system (C_1), where the events are indicated: maintenance repair (\diamond); maintenance (\square); operation extension after inspection of the technical condition (\circ); replacement after inspection of technical condition ($+$); 1 - life cycle of pump No. 1; 2 - life cycle of pump No. 2; 3 - life cycle of pump No. 3

В состав системы водяного отопления C_2 входит электронасос НЦВ 25/20. Конструктивные особенности: тип – насос центробежный вертикальный. Основные характеристики: подача – 25 м³/ч; напор – 20 м; частота вращения – 2 900 об/мин. Согласно ТУ завода-изготовителя предъявляются следующие требования к надежности (пунктирная линия на рис. 2):

- назначенный ресурс до заводского ремонта – 25 000 ч;
- назначенный срок службы до заводского ремонта – 5 лет;
- полный ресурс до списания – 50 000 ч;
- полный срок службы – 10 лет.

Эксплуатация насоса № 1 (линия 1 на рис. 2) проходила по следующим этапам:

- после срока службы 4 года (наработка ресурса – 16 000 ч) проведен ПР;
- после срока службы 8 лет (наработка ресурса – 38 000 ч) проведено ТО;
- после срока службы 10 лет (наработка ресурса – 49 100 ч) проведено освидетельствование ТС, эксплуатация насоса продлена.

Эксплуатация насоса № 2 (линия 2 на рис. 2) проходила по следующим этапам:

- после срока службы 2 года (наработка ресурса – 12 000 ч) проведен ПР;
- после срока службы 7 лет (наработка ресурса – 41 000 ч) проведено ТО;
- после срока службы 9 лет (наработка ресурса – 54 000 ч) насос вышел из строя, заменен.

Эксплуатация насоса № 3 (линия 3 на рис. 2) проходила по следующим этапам:

- после срока службы 3 года (наработка ресурса – 15 000 ч) проведен ПР;
- после срока службы 7 лет (наработка ресурса – 38 000 ч) проведено ТО;

– после срока службы 10 лет (наработка ресурса – 55 400 ч) проведено освидетельствование ТС, насос заменен.

Эксплуатация насоса № 4 (линия 4 на рис. 2) проходила по следующим этапам:

- после срока службы 3 года (наработка ресурса – 17 000 ч) проведен ПР;
- после срока службы 8 лет (наработка ресурса – 41 000 ч) проведено ТО;

– после срока службы 10 лет (наработка ресурса – 51 600 ч) проведено освидетельствование ТС, эксплуатация насоса продлена.

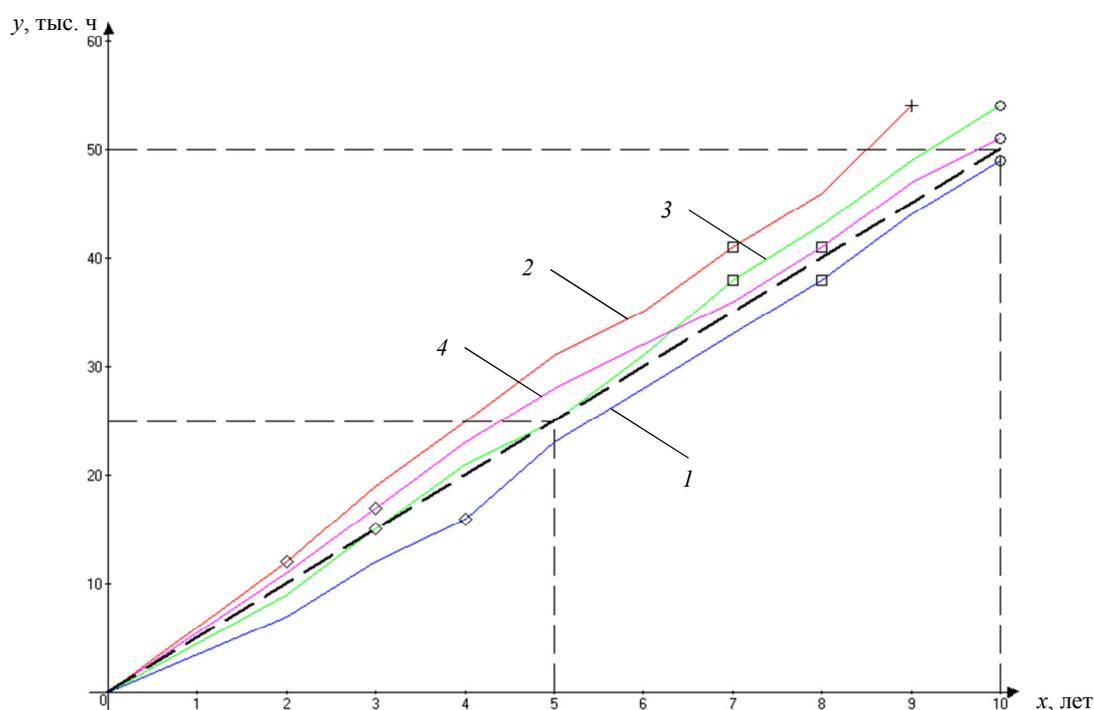


Рис. 2. Зависимость наработки (y) от срока службы (x) электронасоса НЦВ 25/20 системы водяного отопления (C_2), где обозначены события: поддерживающий ремонт (\diamond); техническое обслуживание (\square); продление после освидетельствования технического состояния (\circ); замена после освидетельствования технического состояния ($+$); 1 – жизненный цикл насоса № 1; 2 – жизненный цикл насоса № 2; 3 – жизненный цикл насоса № 3; 4 – жизненный цикл насоса № 4

Fig. 2. Dependence of operating time (y) on the service life (x) of electric pump НЦВ 25/20 of the water heating system (C_2), where the events are indicated: maintenance repair (\diamond); maintenance (\square); operation extension after inspection of the technical condition (\circ); replacement after inspection of technical condition ($+$); 1 - life cycle of pump No. 1; 2 - life cycle of pump No. 2; 3 - life cycle of pump No. 3; 4 - life cycle of pump No. 4

В состав системы охлаждения вспомогательных механизмов C_3 входит электронасос НЦВС 250/30. Конструктивные особенности: тип – насос центробежный вертикальный самовсасывающий. Основные характеристики: подача – 250 м³/ч; напор – 20 м; частота вращения – 2 900 об/мин. Согласно ТУ завода-изготовителя предъявляются следующие требования к надежности (пунктирная линия на рис. 3):

- назначенный ресурс до заводского ремонта – 25 000 ч;

- назначенный срок службы до заводского ремонта – 7,5 лет;
- полный ресурс до списания – 50 000 ч;
- полный срок службы – 15 лет.

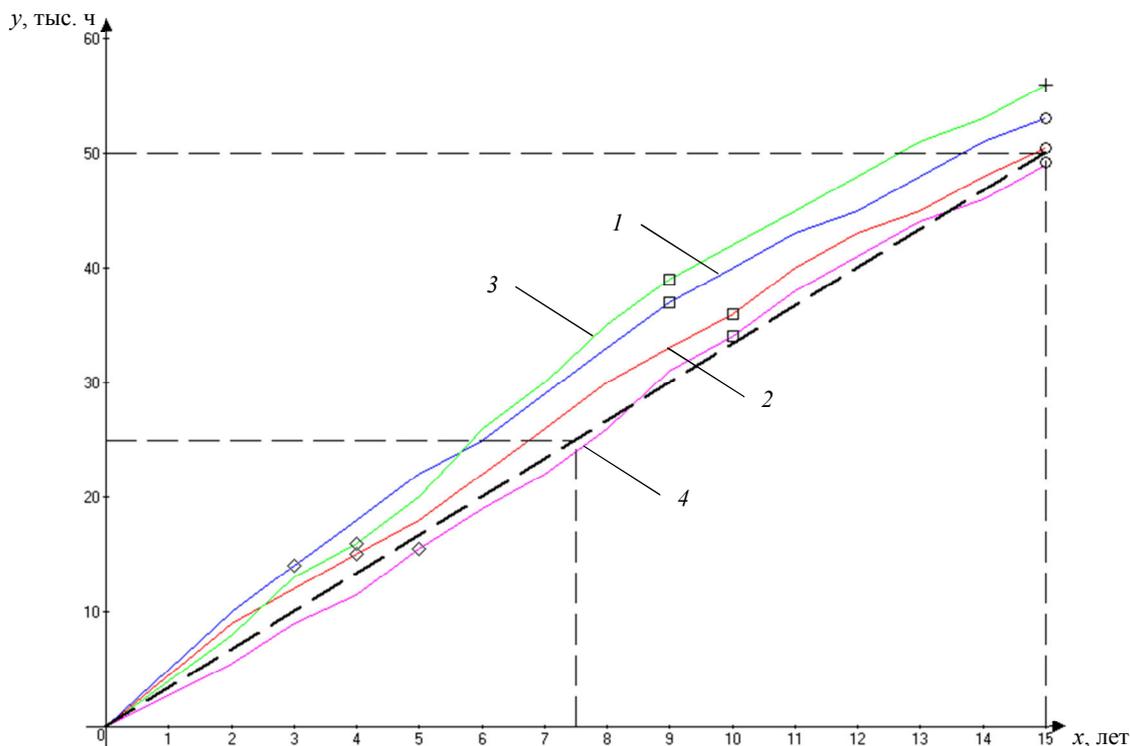


Рис. 3. Зависимость наработки (y) от срока службы (x) электронасоса НЦВС 250/30 системы охлаждения вспомогательных механизмов (C_3), где обозначены события: поддерживающий ремонт (\diamond); техническое обслуживание (\square); продление после освидетельствования технического состояния (\circ); замена после освидетельствования технического состояния ($+$); 1 – жизненный цикл насоса № 1; 2 – жизненный цикл насоса № 2; 3 – жизненный цикл насоса № 3; 4 – жизненный цикл насоса № 4

Fig. 3. Dependence of operating time (y) on the service life (x) of the electric pump НЦВС 250/30 of the cooling system of auxiliary mechanisms (C_3), where the events are indicated: maintenance repair (\diamond); maintenance (\square); operation extension after inspection of the technical condition (\circ); replacement after inspection of technical condition ($+$); 1 - life cycle of pump No. 1; 2 - life cycle of pump No. 2; 3 - life cycle of pump No. 3; 4 - life cycle of pump No. 4

Эксплуатация насоса № 1 (линия 1 на рис. 3) проходила по следующим этапам:
 – после срока службы 3 года (наработка ресурса – 14 000 ч) проведен ПР;
 – после срока службы 9 лет (наработка ресурса – 37 000 ч) проведено ТО;
 – после срока службы 15 лет (наработка ресурса – 53 000 ч) проведено освидетельствование ТС, эксплуатация насоса продлена.

Эксплуатация насоса № 2 (линия 2 на рис. 3) проходила по следующим этапам:
 – после срока службы 4 года (наработка ресурса – 15 000 ч) проведен ПР;
 – после срока службы 10 лет (наработка ресурса – 36 000 ч) проведено ТО;
 – после срока службы 15 лет (наработка ресурса – 50 500 ч) проведено освидетельствование ТС, эксплуатация насоса продлена.

Эксплуатация насоса № 3 (линия 3 на рис. 3) проходила по следующим этапам:
 – после срока службы 4 года (наработка ресурса – 16 000 ч) проведен ПР;
 – после срока службы 9 лет (наработка ресурса – 39 000 ч) проведено ТО;
 – после срока службы 15 лет (наработка ресурса – 56 000 ч) проведено освидетельствование ТС, насос заменен.

Эксплуатация насоса № 4 (линия 4 на рис. 3) проходила по следующим этапам:
 – после срока службы 5 лет (наработка ресурса – 15 500 ч) проведен ПР;

- после срока службы 10 лет (наработка ресурса – 34 000 ч) проведено ТО;
- после срока службы 15 лет (наработка ресурса – 49 200 ч) проведено освидетельствование ТС, эксплуатация насоса продлена.

В состав балластной системы С₄ включен электронасос НЦВ 160/30. Конструктивные особенности: тип – насос центробежный вертикальный. Основные характеристики: подача – 160 м³/ч; напор – 30 м; частота вращения – 2 900 об/мин. Согласно ТУ завода-изготовителя предъявляются следующие требования к надежности (пунктирная линия на рис. 4):

- назначенный ресурс до заводского ремонта – 25 000 ч;
- назначенный срок службы до заводского ремонта – 7,5 лет;
- полный ресурс до списания – 50 000 ч;
- полный срок службы – 15 лет.

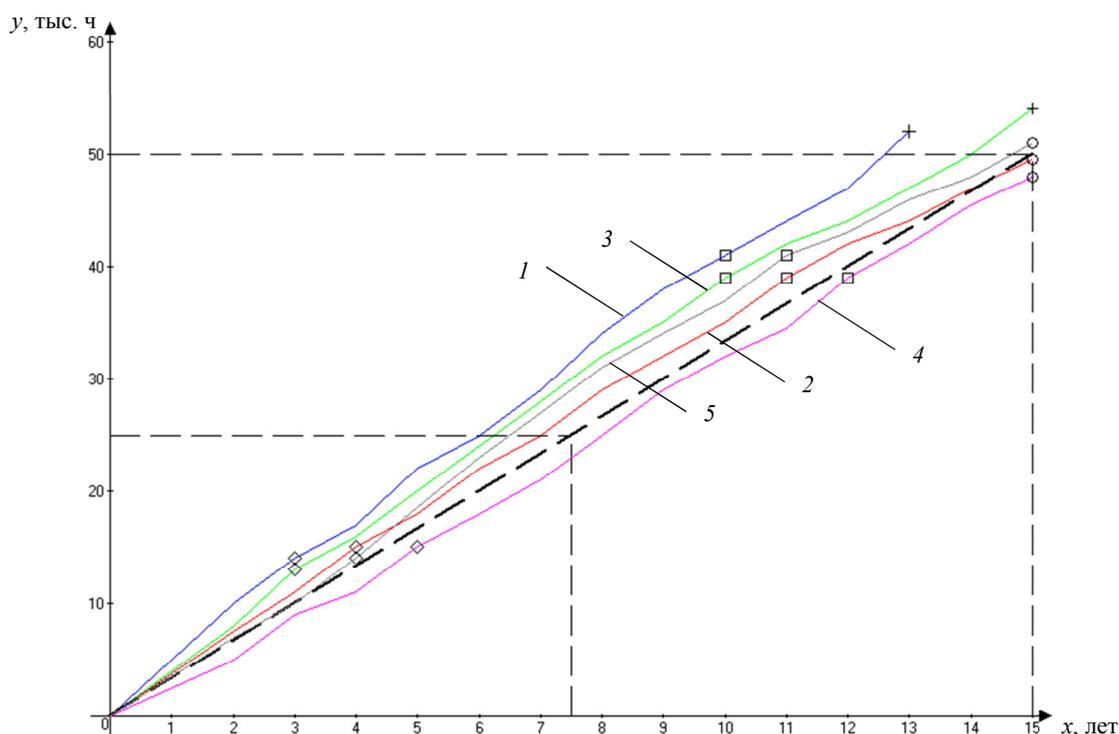


Рис. 4. Зависимость наработки (y) от срока службы (x) электронасоса НЦВ 160/30 системы балластной (С₄), где обозначены события: поддерживающий ремонт (\diamond); техническое обслуживание (\square); продление после освидетельствования технического состояния (\circ); замена после освидетельствования технического состояния ($+$); 1 – жизненный цикл насоса № 1; 2 – жизненный цикл насоса № 2; 3 – жизненный цикл насоса № 3; 4 – жизненный цикл насоса № 4; 5 – жизненный цикл насоса № 5

Fig. 4. Dependence of the operating time (y) on the service life (x) of the electric pump НЦВ 160/30 of the ballast system (С₄), where the events are indicated: maintenance repair (\diamond); maintenance (\square); operation extension after inspection of the technical condition (\circ); replacement after inspection of technical condition ($+$); 1 - life cycle of pump No. 1; 2 - life cycle of pump No. 2; 3 - life cycle of pump No. 3; 4 - life cycle of pump No. 4; 5 - life cycle of pump No. 5

Эксплуатация насоса № 1 (линия 1 на рис. 4) проходила по следующим этапам:

- после срока службы 3 года (наработка ресурса – 14 000 ч) проведен ПР;
- после срока службы 10 лет (наработка ресурса – 41 000 ч) проведено ТО;
- после срока службы 13 лет (наработка ресурса – 52 000 ч) насос вышел из строя, насос заменен.

Эксплуатация насоса № 2 (линия 2 на рис. 4) проходила по следующим этапам:

- после срока службы 4 года (наработка ресурса – 15 000 ч) проведен ПР;

– после срока службы 11 лет (наработка ресурса – 39 000 ч) проведено ТО;
– после срока службы 15 лет (наработка ресурса – 50 500 ч) проведено освидетельствование ТС, эксплуатация насоса продлена.

Эксплуатация насоса № 3 (линия 3 на рис. 4) проходила по следующим этапам:

– после срока службы 3 года (наработка ресурса – 13 000 ч) проведен ПР;
– после срока службы 10 лет (наработка ресурса – 39 000 ч) проведено ТО;
– после срока службы 15 лет (наработка ресурса – 49 500 ч) проведено освидетельствование ТС, эксплуатация насоса продлена.

Эксплуатация насоса № 4 (линия 4 на рис. 4) проходила по следующим этапам:

– после срока службы 5 лет (наработка ресурса – 15 000 ч) проведен ПР;
– после срока службы 12 лет (наработка ресурса – 39 000 ч) проведено ТО;
– после срока службы 15 лет (наработка ресурса – 48 000 ч) проведено освидетельствование ТС, эксплуатация насоса продлена.

Эксплуатация насоса № 5 (линия 5 на рис. 4) проходила по следующим этапам:

– после срока службы 4 года (наработка ресурса – 14 000 ч) проведен ПР;
– после срока службы 11 лет (наработка ресурса – 41 000 ч) проведено ТО;
– после срока службы 15 лет (наработка ресурса – 54 000 ч) проведено освидетельствование ТС, эксплуатация насоса продлена.

Обсуждение результатов

Сравнивая полученные результаты с работами других авторов, отметим следующее: в работе [4] предложено использование методов функциональной диагностики судовых систем и прогнозирования рисков их ухудшения на базе статистической концепции теории надежности, данный подход может быть реализован при наличии большого количества фактических данных о техническом состоянии, которые собираются в автоматическом режиме и обрабатываются специальными программными средствами. Такой подход может быть включен в новое судовое оборудование, для уже существующих систем дополнительная установка автоматизированного измерительного оборудования, датчиков диагностики, на наш взгляд, нецелесообразна.

В работах [5, 6] приводятся результаты статистических исследований функциональной надежности судовых центробежных насосов как показателей безотказности и ремонтпригодности, авторы выявили ряд соотношений между трудоемкостями проведения технического обслуживания, ремонтов и устранения отказов, в том числе были установлены относительные затраты на восстановление технического состояния основных узлов. Интерес к данным результатам вызван необходимостью более подробного структурирования этапов жизненного цикла с целью оценки необходимости проведения технического обслуживания, поддерживающего ремонта и инструментального контроля технического состояния, разборного или безразборного [7].

«Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации» предусматривают для ответственных элементов судовых систем, как вариант, техническое обслуживание с полной или частичной разборкой объекта технического наблюдения, однако это весьма дорогостоящая процедура, которая в большинстве случаев заменяется на инструментальную диагностику, например контроль вибрации [8] или температурный контроль дифференциальными методами, предложенными в работе [9, 10].

Авторы в работе [11] представили фактические наблюдения по идентификации критических нарушений работоспособности нескольких взаимосвязанных судовых систем, при этом использовались технологии искусственных нейронных сетей и гибридные методы моделирования.

Заключение

Вывод по системе С₁. После срока службы 5 лет насосы № 2 и 3 превысили назначенный ресурс – 12 500 ч; насос № 1 не превысил назначенный ресурс. Насосы № 1–3 отработали полный срок службы – 10 лет. Насосы № 2 и 3 превысили полный ресурс – 25 000 ч; насос № 1 не превысил полный ресурс. При техническом освидетельствовании у насосов № 1 и 2 эксплуатация была продлена.

Вывод по системе С₂. После срока службы 5 лет насосы № 2 и 4 превысили назначенный ресурс – 25 000 ч; насосы № 1 и 3 не превысили назначенный ресурс. Насосы № 1, 3 и 4 отрабо-

тали полный срок службы – 10 лет; насос № 2 отработал 9 лет и вышел из строя. Насосы № 3 и 4 превысили полный ресурс – 50 000 ч; насос № 1 не превысил полный ресурс. При техническом освидетельствовании у насосов № 1, 3 и 4 эксплуатация была продлена.

Вывод по системе С₃. После срока службы 7,5 лет насосы № 1–3 превысили назначенный ресурс – 25 000 ч; насос № 4 не превысил назначенный ресурс. Насосы № 1–4 отработали полный срок службы – 15 лет. Насосы № 1 и 3 превысили полный ресурс – 50 000 ч; насосы № 2 и 4 не превысили полный ресурс. При техническом освидетельствовании у насосов № 1, 2 и 4 эксплуатация была продлена.

Вывод по системе С₄. После срока службы 7,5 лет насосы № 1, 2, 3 и 5 превысили назначенный ресурс – 25 000 ч; насос № 4 не превысил назначенный ресурс. Насосы № 2–5 отработали полный срок службы – 15 лет; насос № 1 отработал 13 лет и вышел из строя. Насос № 3 превысил полный ресурс – 50 000 ч; насосы № 2, 4 и 5 не превысили полный ресурс. При техническом освидетельствовании у насосов № 2, 4 и 5 эксплуатация была продлена.

Таким образом, выявлена разнородная картина, часть насосов в составе судовых систем заменена до выработки полного ресурса, при этом работоспособность систем в основном сохранялась или была восстановлена в результате ремонта; для части насосов их заданный ресурс был превышен, но при техническом освидетельствовании их эксплуатация была продлена, работоспособность систем также сохранялась.

Как и большинство судовых механизмов, рассмотренные в работе насосы нуждаются в соответствующем обслуживании и контроле технического состояния, целесообразным является их обслуживание и ремонт, проводимые по «состоянию», согласно результатам безразборной диагностики посредством методов прогнозирования остаточного ресурса работы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Астахов С. В., Ватипко Б. А., Холявко Л. П. Оценка надежности судовых механизмов при проектировании и эксплуатации. Л.: Судостроение, 1979. 200 с.
2. Викторова С. В., Степанянц А. С. Модели и методы расчета надежности технических систем. М.: Гостехиздат, 2016. 842 с.
3. Тормашев Д. С. Оценка технического состояния и прогнозирование функциональной надежности насосов систем судовых дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новороссийск, 2012. 24 с.
4. Ковтун Н. Л. Имитационный статистический анализ параметров технологических процессов на судах для прогнозирования надежности техники // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2016. № 5 (39). С. 215–225. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-215-225.
5. Башуров Б. П., Носенко Е. С. Экспертно-статистическое исследование функциональной надежности центробежных насосов грузовых систем нефтеналивных судов // Судостроение. 2007. № 2. С. 37–39.
6. Башуров Б. П., Носенко Е. С., Тормашев Д. С. Статистическое исследование показателей функциональной надежности центробежных насосов судовых систем // Судостроение. 2011. № 4. С. 27–29.
7. Сергеев К. О., Панкратов А. А. Особенности безразборной диагностики судовых роторных насосов // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2017. Т. 20. № 4. С. 681–690.
8. Николаев Н. И., Мьшинский Э. Л., Гриценко М. В. К вопросу оценки технического состояния судовых технических средств морских судов по параметрам вибрации // Науч.-техн. сб. Рос. мор. регистра судоходства. 2020. № 60–61. С. 84–90.
9. Кузнецов Р. В., Ольховик Е. О. Экспериментальное исследование теплофизических свойств материалов биметаллического подшипника для судового машиностроения // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2019. № 6 (58). С. 1107–1114. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1107-1114.
10. Kuznetsov R., Ol'khovik E., Radkevich M., Kuznetsov P. Technology for producing wear-resistant bimetal bearing based on cast aluminum // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 164, 03045. DOI:10.1051/e3sconf/202016403045.
11. Lazakis I., Raptodimos Y., Varelas T. Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks // Ocean Engineering. 2018. Vol. 152. P. 404–415.

REFERENCES

1. Astakhov S. V., Vatipto B. A., Kholiavko L. P. *Otsenka nadezhnosti sudovykh mekhanizmov pri proektirovani i ekspluatatsii* [Assessing reliability of ship mechanisms in design and operation]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1979. 200 p.
2. Viktorova S. V., Stepaniants A. S. *Modeli i metody rascheta nadezhnosti tekhnicheskikh sistem* [Models and methods for calculating reliability of technical systems]. Moscow, Gostekhizdat, 2016. 842 p.

3. Tormashev D. S. *Otsenka tekhnicheskogo sostoiianiia i prognozirovanie funktsional'noi nadezhnosti nasosov sistem sudovykh dizelei. Avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk* [Evaluating technical condition and forecasting functional reliability of pumps in ship diesel systems: diss. abstr. ... cand. tech. sci.]. Novorossiisk, 2012. 24 p.
4. Kovtun N. L. Imitatsionnyi statisticheskii analiz parametrov tekhnologicheskikh protsessov na sudakh dlia prognozirovaniia nadezhnosti tekhniki [Simulation statistical analysis of parameters of technological processes on ships for predicting mechanism reliability]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2016, no. 5 (39), pp. 215-225. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-215-225.
5. Bashurov B. P., Nosenko E. S. Ekspertno-statisticheskoe issledovanie funktsional'noi nadezhnosti tsentrobezhnykh nasosov gruzovykh sistem neftenalivnykh sudov [Expert-statistical study of functional reliability of centrifugal pumps of cargo systems in oil tankers]. *Sudostroenie*, 2007, no. 2, pp. 37-39.
6. Bashurov B. P., Nosenko E. S., Tormashev D. S. Statisticheskoe issledovanie pokazatelei funktsional'noi nadezhnosti tsentrobezhnykh nasosov sudovykh sistem [Statistical studying parameters of functional reliability of centrifugal pumps of ship systems]. *Sudostroenie*, 2011, no. 4, pp. 27-29.
7. Sergeev K. O., Pankratov A. A. Osobennosti bezrazbornoi diagnostiki sudovykh rotornykh nasosov [Features of in-place diagnostics of marine rotary pumps]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, vol. 20, no. 4, pp. 681-690.
8. Nikolaev N. I., Myshinskii E. L., Gritsenko M. V. K voprosu otsenki tekhnicheskogo sostoiianiia sudovykh tekhnicheskikh sredstv morskikh sudov po parametram vibratsii [On problem of assessing technical condition of marine technical equipment of sea vessels by vibration parameters]. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva*, 2020, no. 60-61, pp. 84-90.
9. Kuznetsov R. V., Ol'khovik E. O. Eksperimental'noe issledovanie teplofizicheskikh svoistv materialov bimetallicheskogo podshipnika dlia sudovogo mashinostroeniia [Experimental study of thermophysical properties of bimetallic bearing materials for marine engineering]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2019, no. 6 (58), pp. 1107-1114. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1107-1114.
10. Kuznetsov R., Ol'khovik E., Radkevich M., Kuznetsov P. Technology for producing wear-resistant bi-metal bearing based on cast aluminum. *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 164, 03045. DOI:10.1051/e3sconf/202016403045.
11. Lazakis I., Raptodimos Y., Varelas T. Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 2018, vol. 152, pp. 404-415.

Статья поступила в редакцию 04.10.2021; одобрена после рецензирования 15.10.2021; принята к публикации 26.10.2021.
The article was submitted 04.10.2021; approved after reviewing 15.10.2021; accepted for publication 26.10.2021.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Евгений Сергеевич Мосейко – инженер-технолог отдела технологии, экономики производства, нормирования материалов; Центральное конструкторское бюро «Айсберг»; 199034, Санкт-Петербург, Большой пр., 36; evgeniy-moseyko@mail.ru

Евгений Олегович Ольховик – доктор технических наук, доцент; начальник управления научно-инновационной деятельности; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; 198515, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7; olhovikeo@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy S. Moseyko – Process Engineer of the Department of Technology, Industrial Economy and Materials Rationing; Central Design Bureau Iceberg; 199034, Saint-Petersburg, Bol'shoi pr., 36; evgeniy-moseyko@mail.ru

Evgeniy O. Ol'khovik – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Research and Innovation Projects; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; 198035, Saint-Petersburg, Dvinskaya st., 5/7; olhovikeo@gumrf.ru

