

УДК 621.431.004

Молодцов Н.С., Богач В.М.  
НУ «ОМА»

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Постановка проблемы в общем виде.** Надежное функционирование судовых систем обуславливается высокой безотказностью их узлов, резервированием и возможностью их восстановления в случае отказа. На стадиях проектирования анализ безотказности позволяет выбрать из числа возможных вариантов системы наиболее надежный. Восстановление работоспособности сопряжений судовых систем с заданными качествами и надежностью возможно только в том случае, если достаточно полно изучены причины возникновения их износов, дефектов и отказов.

Под обеспечением надежности подразумевается выполнение совокупности необходимых мероприятий по ремонту (восстановлению) и техническому обслуживанию сопряжений деталей судовых технических средств для обеспечения ими заданных функций.

**Анализ исследований последних лет.** Как показывают исследования [1,2,4] актуальными направлениями обеспечения надежности являются:

- создание методов аналитического прогнозирования и экспериментального подтверждения надежности судового оборудования;
- разработка методологии изучения безотказности узлов и систем, а также методов ее подтверждения с реализацией приемлемых по продолжительности и объему выборки испытаний;
- дальнейшее совершенствование способов оптимизации показателей надежности с учетом достигнутой (и прогнозируемой) эффективности методов судоремонта и технического обслуживания судов;
- разработка и внедрение средств технической диагностики, позволяющих проводить обслуживание судовой техники по ее фактическому состоянию;
- повышение достоверности эксплуатационной информации о надежности судовых систем и комплексов, что дает основание для выработки оптимальных решений при проектировании, эксплуатации и ремонте судов.

В процессе эксплуатации сопряжения снижают свою работоспособность, изнашиваются, нарушается характер посадок рабочих по-

верхностей [2,3]. В связи с этим возникает необходимость в восстановлении изношенных деталей.

**Выделение не решенной ранее части общей проблемы и ее связь с важными научными и практическими заданиями.** В настоящее время отсутствуют методики прогнозирования надежности судовых технических систем. В этом направлении на кафедре ТМС имеется достаточно большой научный задел, разработана соответствующая методология. Однако предыдущие исследования выполнялись только для деталей, а не сопряжений, без учета развития основ обеспечения их надежности путем совершенствования инженерии рабочих поверхностей, методов ремонта и смазывания. Поэтому положительные результаты, полученные при разработке технологии восстановления деталей, часто нивелируются существующими подходами.

Особенно это характерно для рабочих поверхностей деталей, восстановленных с использованием новых упрочняющих технологий и материалов, которые требуют, как правило, других условий смазывания, а иногда и смазочных материалов, по сравнению с установленными фирмами. В результате рекомендации по рациональным способам восстановления для рабочих поверхностей деталей различных сопряжений являются недостаточно обоснованными.

Решение проблемы обеспечение надежности сопряжений судовых систем возможно, на наш взгляд, только путем разработки общих принципов и моделей синтеза методов ремонта и технического обслуживания. Методологической основой таких исследований, с учетом имеющегося научного задела на кафедре [1-4], принят системный подход, а в качестве главной цели - разработка системы обеспечения надежности судового дизеля, включающей следующие основные подсистемы: 1 – инженерия рабочих поверхностей, 2 – способы технического обслуживания и ремонта и 3 – режим смазывания, схематически представленные на рис.1.

К судовым системам, которые представляют собой малосерийные (нередко уникальные) многофункциональные и всережимные комплексы, обычно не удастся применить математические методы оценок надежности, пригодные для массовой продукции и относительно простых структур.

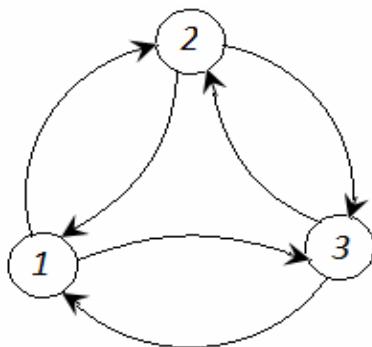


Рис.1. Схема системы обеспечения надежности судового дизеля и взаимодействия между подсистемами

**Цель настоящего исследования** - разработка мероприятий позволяющих с достаточной степенью достоверности прогнозировать заданный уровень надежности оборудования до установки его на судне.

**Изложение основного материала исследования.** Ввиду того, что классические методы статистики могут быть использованы лишь ограниченно, необходимо искать такие теоретические основы испытаний, которые позволили бы разработать планы и программы их проведения с приемлемыми продолжительностью и объемом выборки.

Ниже изложены принципы решения этой задачи на базе идеи “самообучения”[5,6].

Решение задачи определения полученного уровня надежности и его подтверждения можно найти при соблюдении двух основных положений:

- образцы судовой техники создаются не заново, а на основе аналогов или прототипов. Это значит, что при разработке новой конструкции судового узла не отвергается, а напротив, используется весь объем знаний, накопленных о нем априори. Дополнительная информация нужна для того, чтобы принять окончательное решение о безотказности созданного образца;

- принимая решение по результатам испытаний с учетом всей имеющейся информации, решается статистическая задача. План и программа испытаний должны быть составлены так, чтобы вероятность появления ошибок сводилась к минимуму.

Сказанное означает, что должно приниматься решение  $\bar{D}$  об уровне безотказности испытываемого образца не только на основании полученного в процессе этих испытаний объема информации, но и всего объема знаний, накопленных в процессе разработки и эксплуатации аналогов.

В таком случае  $D = f(\bar{\Omega})$ , где  $\bar{\Omega}$  - весь объем информации, на основании которого принимается решение. Поскольку  $\bar{\Omega}$  - это статистический материал, реальная ситуация при его получении может быть описана тем или иным отличительным параметром  $\bar{S}$ . При разных его значениях, последствия решения также будут разными, и следовательно этот параметр может характеризовать не только полноту статистического материала, но и показатель безотказности.

Цена (ущерб) того или иного решения есть, следовательно, функция

$$c = f(\bar{\Omega}, D). \quad (1)$$

Когда объем знаний об объекте позволяет принять гипотезу о совместном распределении  $\bar{\Omega}$  и  $\bar{S}$ , то решение состоит в минимизации ожидаемого ущерба [ 6 ]

$$\min M \{c(\bar{\Omega}, \bar{D})\} = \int \int_{\Omega S} c[\bar{\Omega}, D(\bar{S})] d\Phi(\bar{\Omega}, \bar{S}), \quad (2)$$

путем соответствующего выбора решающей функции  $D(\bar{S})$ ,  $\Phi(\bar{\Omega}, \bar{S})$  - двумерная функция распределения  $\bar{\Omega}$  и  $\bar{S}$ .

Располагая таким объемом знаний об опытном образце судовой техники (включая опыт разработки и доводки аналогов, степень стабильности технологического процесса их изготовления, данные эксплуатации в судовых условиях), можно аргументировать вид плотности условной вероятности  $\phi(\bar{\Omega} / \bar{S})$ . В этом случае минимизация ожидаемого ущерба сводится к минимизации условного ущерба

$$\min M \{c(\bar{\Omega}, \bar{D} / \bar{S})\} = \int_{\Omega} c[\bar{\Omega}, D(\bar{S})] d\Phi(\bar{\Omega} / \bar{S}). \quad (3)$$

Таким образом, такой подход к испытаниям судовой техники заключается в аргументации априорного распределения  $\bar{\Omega}$ , т.е.  $\Phi(\bar{\Omega})$ , и плотности условного распределения  $\phi(\bar{S} / \bar{\Omega})$  путем реализации идей эффективного риска, а также в многошаговой минимизации условного ущерба, проводимой как процесс самообучения с целью принятия окончательного решения о безотказности.

Если даны априорное распределение  $\Phi(\bar{\Omega})$  и вероятностная плотность условного распределения  $\phi(\bar{S} / \bar{\Omega})$ , то распределение вероятностей, позволяющее минимизировать ожидаемую цену (ущерб) того или иного решения можно найти с помощью формулы [ 5 ]

$$d\Phi(\bar{\Omega} / \bar{S}) = \phi(\bar{S} / \bar{\Omega}) d\Phi(\bar{\Omega}) / \left[ \int_{\bar{\Omega}} \phi(\bar{S} / \bar{\Omega}) d\Phi(\bar{\Omega}) \right]. \quad (4)$$

Отсюда следует, что если имеется  $n$  утверждений относительно безотказности создаваемого образца  $\phi(\bar{S} / \bar{\Omega}) \equiv P\{\tau / H_i\}$  и можно определить до проведения испытаний (априори) вероятность правдоподобия каждого из утверждений  $H_i$ , т.е.  $d\Phi(\bar{\Omega}) \equiv \xi(H) dH$ , то математическое ожидание вероятности безотказной работы  $P(\tau)$  определится знаменателем этой зависимости :

$$M\{P(\tau)\} = \int_H P(\tau / H) \xi(H) dH = \sum_{i=1}^n P\{\tau / H_i\} \xi(H_i). \quad (5)$$

Результаты испытаний даже единичного образца изменяют значение априорной вероятности  $\xi(H_i)$ , что видно из следующего примера.

Пусть комплектующие судовую систему узлы поступают на монтаж с трех различных мест и вероятность безотказной работы (ВБР) этих узлов соответственно равны  $P(\tau/H1)=0,94$ ;  $P(\tau/H2)=0,95$ ; и  $P(\tau/H3)=0,96$ . Вероятность поступления оборудования с указанных мест определяется величинами  $\zeta(H1)=0,2$ ;  $\zeta(H2)=0,3$ ;  $\zeta(H3)=0,5$  (при соотношении числа выпускаемых единиц 2:3:5).

Проведя контрольные испытания любого узла из числа поставленных на монтаж в течение времени  $\tau$  и не зафиксировав отказа, получим среднее значение ВБР:

$$M\{P(\tau)\} = 0,94 \cdot 0,2 + 0,95 \cdot 0,3 + 0,96 \cdot 0,5 = 0,953. \quad (6)$$

После испытаний распределение достоверностей в соответствии с (4) станет следующим:

$$\xi \{H_1 / P(\tau)\} = 0,2 \cdot 0,94 / 0,953 \approx 0,197;$$

$$\xi \{H_1 / P(\tau)\} = 0,3 \cdot 0,95 / 0,953 \approx 0,299;$$

$$\xi \{H_1 / P(\tau)\} = 0,5 \cdot 0,96 / 0,953 \approx 0,504.$$

Таким образом, после испытаний значения достоверностей изменились по сравнению с таковыми до испытаний.

Многоэтапность наблюдения с получением соответствующих результатов представляет собой многошаговый процесс самообучения. Под самообучением понимается совершенствование модели любой природы и структуры на основе анализа информации, получаемой на каждом этапе.

Исходя из сказанного стратегия принятия решения упрощенно может быть представлена так. В любой момент времени можно предполагать вероятностным распределением исхода испытаний (наблюдений)  $\bar{\Omega}$ , дополнительная информация о котором (априори или поступающая со временем, например, из опыта эксплуатации) позволяет корректировать это распределение. В тот момент, когда нужно принять решение о безотказности опытного образца, выбирается решение, оптимальное относительно распределения  $\bar{\Omega}$ .

Из вышеизложенного следует, что существуют две основные задачи, без решения которых заключение о безотказности не может быть принято. Первая из них связана с вычислениями, в чем собственно и состоит процесс самообучения, вторая – с аргументацией исходного вероятностного распределения случайной величины, характеризующей безотказность опытного образца.

Если известен вид функции надежности испытываемого образца (знать ее параметры при этом необязательно) или есть возможность достаточно аргументированно принять соответствующую гипотезу, методику проведения самообучения реализуют с помощью чисто статистической модели. В этом случае моменты отказов определяют с помощью выборки случайных чисел, распределенных в соответствии с видом функции надежности. При таком моделировании возможны и реализация процесса самообучения, и, как следствие, принятие решения (на некотором шаге) о безотказности испытанного образца.

Число выбранных вначале гипотез не обязательно должно быть постоянным. По мере снижения на ряде шагов вероятности правдоподобия отдельных из них соответствующие гипотезы  $H_i$  следует из процесса исключить, откорректировав оставшиеся уровни их правдоподобия так, чтобы их сумма продолжала оставаться равной единице.

При отсутствии выраженных тенденций, позволяющих принять решение, первоначальную систему гипотез следует отбросить, заменив новой. Однако при выполнении дальнейшего самообучения всю информацию, полученную до принятия новой гипотезы, необходимо учитывать.

В качестве примера использования процесса самообучения с целью принятия решения о безотказности образца судовой техники рассмотрим следующую возможность использования эксплуатационной информации.

**Выводы.** Таким образом, результат, полученный на базе эксплуатационных данных и с применением метода самообучения идентичны, что подтверждает эффективность рассмотренного аналитического метода прогнозирования долговечности сопряжений судовых технических систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молодцов Н.С. Разработка научно-технических основ обеспечения надежности сопряжений деталей СТС путем усовершенствования инженерии рабочих поверхностей, способов ремонта и смазывания. // Матеріали науково-технічної конференції на тему «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт» - Одесса: ОНМА, 2015 - С. 103-107
2. Богач В.М., Молодцов Н.С. Системный подход к восстановлению работоспособности сопряжений деталей ЦПГ судовых ДВС // Матеріали науково-технічної конференції на тему «Енергетика судна: експлуатація та ремонт» - Одесса: ОНМА, 2011 - С. 113-115.
3. Богач В.М. Развитие методов прогнозирования надежности сопряжений деталей СТС // Матеріали науково-технічної конференції на тему «Енергетика судна: експлуатація та ремонт» - Одесса: ОНМА, 2014 - С. 76-78.
4. Журавлев Ю.И., Богач В.М., Молодцов Н.С. Обеспечение надежности и долговечности СТС в эксплуатации применением эффективных методов ТО / Матеріали науково-технічної конференції на тему

«Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт» - Одесса: ОНМА, 2013 - С. 122-124.

5. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 816 с.

6. Сборник задач по математической статистике / Г.И. Ивченко – Киев: Высшая школа, 1989. - 255 с.