

**В. М. Петров,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

**С. Н. Безпальчук,**  
инженер,  
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный  
политехнический университет»;

**К. А. Васильев,**  
аспирант,  
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет»

## ВЕРИФИКАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

### VERIFICATION OF MODERNIZING COMPLEX SHIP'S TECHNICAL SYSTEMS AND TECHNOLOGICAL MACHINES

*Рассмотрены аспекты совершенствования математического аппарата и методов моделирования политики замены или модернизации таких сложных технических систем, как технологическое оборудование судостроительного производства, судовые турбинные установки, агрегаты системы вентиляции и др.*

*The aspects of the improvement of mathematical apparatus and methods provides the policy of replacement or modernization of such complex technical systems, such as technological about-equipment of shipbuilding, ship turbine installation units of the system Venti modulation and other.*

*Ключевые слова: судовые системы, судостроение, случайные величины, надежность, экстремальные распределения, модернизация, испытания.*

*Key words: ship systems, shipbuilding, random variables, reliability, extreme distributions modernization, test.*

**Н** А ОСНОВЕ статистического анализа эволюции ряда технических судовых систем можно сделать вывод о том, что в технических объектах одинаковой функционально-структурной схемы переход от поколения к поколению обусловлен необходимостью устранения выявленных на определенный момент жизненного цикла ограниченного числа причин («дефектов», по терминологии отдельных авторов работ по теории судовых технических систем), связанных, как правило, с потребностью повышения качества изделия, причем происходит этот переход при наличии соответствующего научно-технического потенциала и целесообразности.

В связи с этим представляется целесообразной постановка вопросов аналитического описания инновационных процессов судостроения в рамках общей теории технических систем, статистической оценки иерархического исчерпания возможностей судовых конструкций в результате проведения модернизаций, поиска основных направлений модернизации, прогнозирования периода морального старения судовых технических систем и определения целесообразных сроков их модернизации.

Следует заметить, что статистический анализ ряда таких показателей качества, как надежность (безотказность) судовых технических систем, показывает универсальность и устойчивость закономерности, определяемой в системологии как проявление так называемого «принципа Лоренца», сущность которого хорошо иллюстрируют диаграммы Паретто (рис. 1–3). Действительно, при конструктивной эволюции любой судовой технической системы всегда можно выделить в ней

ограниченное число слабых мест, ориентирующих конструкторов на поиск основных направлений модернизации. Нетрудно заметить из анализа рис. 1–3, что «принцип Лоренца» проявляется в иерархической структуре технического объекта.

Очевидно, что в результате проведения ряда модернизаций техническая система исчерпывает свои возможности к совершенствованию, иными словами, эволюционирует к сатурации.

В основу математического описания этого процесса может быть положен дискретный вариант логистической модели:

$$\Delta W_{k+1} = (r - \gamma W_k), \quad (1)$$

где  $\Delta W_{k+1} = W_{k+1} - W_k$  — приращение обобщенного показателя качества системы (технического уровня) после проведения  $(r + 1)$  модернизаций;  $r$  и  $\gamma$  — параметры логистической модели.

Диаграммы Паретто

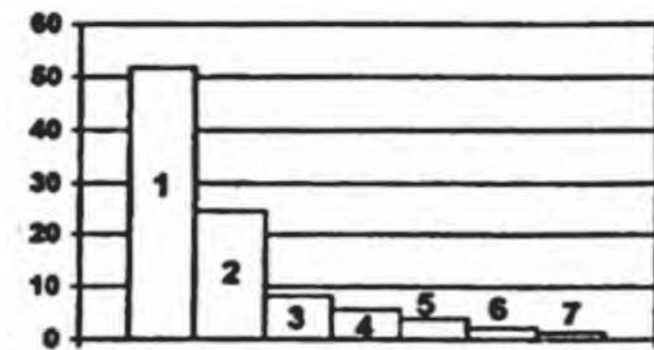


Рис. 1. Распределение отказов по агрегатам и системам судового дизеля ОАО «Звезда» судна на подводных крыльях «Метеор» выпуска 1975–1978 гг.

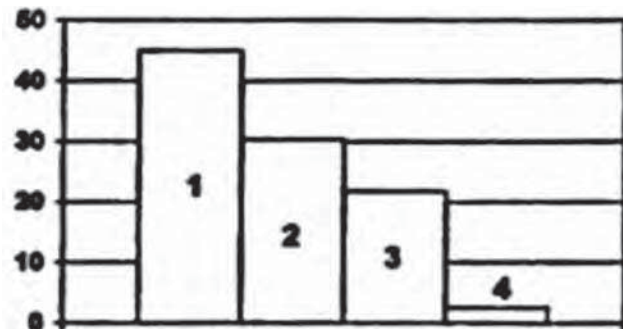


Рис. 2. Распределение отказов топливной системы

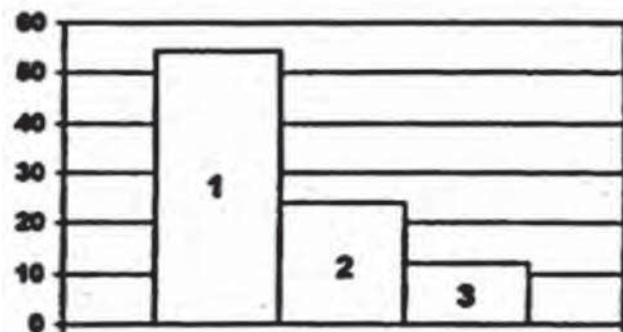


Рис. 3. Распределение отказов трансмиссии СЭУ

Параметры дифференциально-разностного уравнения (1) определяются по ретроспективной информации.

На рис. 4 приведены полученные по предложенной методике зависимости изменения обобщенного показателя качества  $W_k$  от числа проведенных с технической системой модернизаций и его прогнозные значения (на примере судового дизеля судна на подводных крыльях).

Определение параметров логистической модели (1) позволяет оценить предельное значение обобщенного показателя качества судовой технической системы, реализуемого на основе заложенных технических решений и используемой элементной базы. Из уравнения (1) следует, что предельное значение показателя качества технической системы определяется зависимостью

$$W_{\text{пред}} = \frac{r}{\gamma}. \quad (2)$$

Сопоставление значения  $W_{\text{пред}}$  с  $W_n^{(n)}$  (наибольшим значением обобщенного показателя качества совокупности однородных по функциональному значению рассматриваемых объектов) позволяет судить о возможном резерве повышения технического уровня и направлении совершенствования технической системы за счет модернизации. Представляется также целесообразным сравнение значений  $W_{\text{пред}}$  и  $W_n^{(n)}$  производить на вероятностно-статистической основе:

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$W_n$ ( $W_3^-$ )	1	1,237	1,532	1,957	2,255	2,596	—	—		—
$W_{пред}$ ( $W_T$ )	1	1,278	1,596	1,938	2,282	2,604	2,875	3,098	3,265	3,362

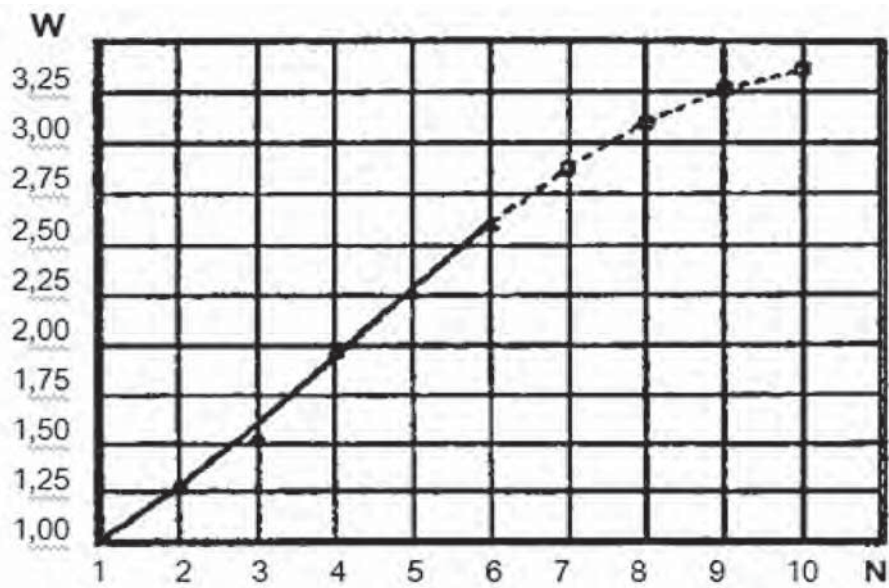


Рис. 4. Зависимость обобщенного показателя качества  $W$  ПЭВМ фирмы “IBM” от количества проведенных модернизаций

( — — логистическая кривая, - - - - - прогностическая кривая;

$\Delta$ ,  $W_3$  — экспериментальные значения,  $W_T$  — теоретические значения,  $\circ$  — значения прогноза)

Учитывая то обстоятельство, что по вариационному ряду

$$W_1^{(n)} \leq W_2^{(n)} \leq \dots \leq W_n^{(n)} \quad (3)$$

не представляется возможным достаточно надежно определить вид закона распределения  $F(W)$ , объективно существующую неопределенность, для оценки вероятности исчерпания возможности конструкции к совершенствованию необходимо использовать эмпирическую квантиль  $W_n^{(n)}$ , дисперсию  $\sigma_w^2$  и гипернормальное распределение  $F_n(W)$ .

Модернизация технических систем представляет собой сложный и длительный процесс. По мере накопления опыта, внедрения в практику современных методов анализа и управления сложными процессами, применения автоматизированных методов проектирования на базе вычислительных машин и заблаговременной отработки некоторых элементов, модернизируемых узлов (агрегатов, подсистем и т. п.) сроки модернизации могут сокращаться. В модернизации технических систем принимают участие научно-исследовательские, конструкторские и производственные организации, что обуславливает необходимость организации, кооперирования и взаимной увязки деятельности заказчиков, разработчиков, изготовителей и потребителей.

Заказчик, руководствуясь внешней информацией о направлениях и разработках новых образцов техники в других государствах и соображениями социально-экономического харак-

тера, определяет целесообразность проведения модернизации соответствующей технической системы.

Определение целесообразности и наиболее вероятных направлений модернизации представляется целесообразным производить на основе ретроспективного анализа систем-прототипов. Методика решения этих задач может опираться на тот научный аппарат, который представлен в [1, с. 203–210; 2, с. 34–39; 3; 4; 5, с. 256–263; 6; 7].

Очевидно, что модернизационная способность определенного типа технических систем может характеризовать разность стьюдентизированных значений двух показателей технического уровня (наибольшего для систем-прототипов и предельного  $W_{\text{пред}}$  или вероятностная оценка «резерва» модернизации):

$$F_n \left( \frac{W_{\text{пред.}} - W_n^{(n)}}{S_W} \right). \quad (4)$$

На основе анализа сравнительной оценки технического уровня систем-прототипов можно определить и наиболее вероятные направления модернизации. Очевидно, что тем показателям качества (характеристикам технических систем), которым в ходе анализа формализованными методами были поставлены в соответствие бóльшие значения коэффициентов весомости  $r_j$ , соответствуют наиболее вероятные направления модернизации, ориентированные на улучшение этих характеристик. Заметим, что коэффициенты весомости распределяются обычно неравномерно, здесь также наблюдается реализация определенной технической закономерности («принципа Лоренца»). Так, например, для судовых технических систем, имеющих резерв для модернизации, двум-трем характеристикам из 10–15, принятых к рассмотрению, соответствует суммарное значение коэффициентов весомости от 0,45 до 0,75.

Это обстоятельство позволяет сформировать отдельный кортеж предпочтительности вероятных направлений модернизации для каждой судовой технической системы.

### Выводы

На основе анализа сравнительной оценки технического уровня судовых систем-прототипов можно определить наиболее вероятные направления модернизации. Очевидно, что тем показателям качества (эксплуатационным характеристикам судовых технических систем), которым в ходе анализа формализованными методами были поставлены в соответствие бóльшие значения коэффициентов весомости  $r_j$ , соответствуют наиболее вероятные направления модернизации, ориентированные на улучшение этих характеристик.

### Список литературы

1. *Ташевский А. Г.* Верификация результатов испытаний сложных технических систем: [текст] / А. Г. Ташевский // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Моделирование. Математические методы. — 2013. — № 2 (171).
2. *Ташевский А. Г.* Интерпретация результатов испытаний после модернизации систем энергомашиностроения / А. Г. Ташевский // Инструмент и технологии. — 2012. — № 36.
3. *Мартыщенко Л. А.* Корректировка математических моделей сложных технических систем по результатам комплексных испытаний / Л. А. Мартыщенко А. Г. Ташевский, О. Ю. Конаков. — М.: МО СССР, 1990.
4. *Мартыщенко Л. А.* Теоретико-информационные и статистические методы формирования систем исходных данных в военно-научных исследованиях / Л. А. Мартыщенко А. Г. Ташевский. — М.: МО СССР, 1991. — 48 с.

5. *Ташевский А. Г.* Модели аварийных ситуаций для обеспечения безопасности функционирования сложных технических систем: [текст] / А. Г. Ташевский // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Моделирование. Математические методы. — 2013. — № 1 (166).

6. *Вейц В. Л.* Бесконтактные магнитные и электромагнитные механизмы. Конструирование и расчет: [текст]: моногр. / В. Л. Вейц, Л. Б. Ганзбург, В. М. Петров. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. — Кн. 1: Статика бесконтактных механизмов. — 309 с.

7. *Вейц В. Л.* Бесконтактные магнитные зубчатые редукторы: [текст]: моногр. / В. Л. Вейц, Л. Б. Ганзбург, В. М. Петров. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. — 292 с.

**УДК 629.514**

**М. С. Горохов,**  
аспирант,  
ФГБОУ ВПО «Волжская государственная  
академия водного транспорта»

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ФИБРОБЕТОНА**

### **INFLUENCE OF PARAMETRES OF CONTINUOUS REINFORCEMENT ON CRACK RESISTANCE OF FLOATING STRUCTURES, MADE FROM FIBER REINFORCED CONCRETE**

*В статье приведены результаты лабораторных испытаний на трещиностойкость опытных конструкций из фибробетона. Выполнена обработка и анализ полученных экспериментальных данных. Установлены оптимальные параметры дисперсного армирования конструкции по условиям трещиностойкости.*

*The article describes the results of laboratory testing of fiber reinforced samples for crack resistance. The received testing results have been analyzed. The optimal parameters of continuous reinforcement of structures, considering crack resistance, have been defined.*

*Ключевые слова: железобетонное судостроение, трещиностойкость, фибра, фибробетонная плита, изгиб, опытный образец.*

*Key words: reinforced concrete shipbuilding, crack resistance, fiber, fiber reinforced concrete plate, bending, sample.*

**В** ПОСЛЕДНЕЕ время к дисперсному армированию бетонных и железобетонных конструкций фиброволокнами специалистами проявляется большой интерес. Проведено значительное количество исследований физико-механических свойств и характеристик дисперсно-армированных бетонных и железобетонных конструкций, широко применяющихся в гражданском и промышленном строительстве [1]. Данный конструкционный материал представляется перспективным не только для гражданского и промышленного строительства, но и для железобетонного судостроения, так как является хорошей альтернативой существующему тяжелому судостроительному бетону, имеющему определенные специфические недостатки, такие как низкая прочность на растяжение и низкая трещиностойкость. Ввиду того, что судовые корпусные железобетонные конструкции имеют гораздо меньшие толщины, картина влияния дисперсного армирования на характеристики бетонной матрицы будет отличаться от той, что