

ВЫПУСК I (IX)

2011



ISSN 2073-6169

**ЖУРНАЛ
УНИВЕРСИТЕТА
ВОДНЫХ
КОММУНИКАЦИЙ**

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА

УДК 621.316.001

В. М. Приходько,
канд. техн. наук, доцент,
СПГУВК;

Б. Б. Бабенко,
аспирант,
СПГУВК;

Хассан Медкаун,
аспирант,
СПГУВК

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

THE FACTORIAL ANALYSIS OF FAILURES OF ELECTRIC MOTORS ON THE WATER TRANSPORT

На основе статистических данных по отказам электродвигателей серии АО и 4А определены факторы, влияющие в существенной степени на их надежность при эксплуатации на водном транспорте. Определено факторное уравнение, позволяющее рассчитать количественные показатели и характеристики надежности электродвигателей при воздействии каждого из факторов.

The factors influencing in an essential degree on their reliability in operation on Water transport are determined on the basis of the statistical data on refusals of electric motors of series AO and 4A. The factorial equation, allowing to calculate quantity indicators and characteristics of reliability of electric motors at influence of each of factors is determined.

Ключевые слова: факторный анализ, отказы, интенсивность отказов, влажность, вероятность.

Key words: the factorial analysis, refusals, failure rate, humidity, probability.

В ОТРАСЛИ водного транспорта на судах, гидротехнических сооружениях, плавкранах и в речных портах эксплуатируется большое количество асинхронных электродвигателей серий АО и 4А. Проблема рационального использования электрического и электронного оборудования имеет важное значение в отношении надежности и экономичности функционирования машин, механизмов, устройств и агрегатов, используемых на водном транспорте.

Выполненные исследования и статистические данные показывают, что к основным видам аварийных ситуаций на водном транспорте относятся технологические перегрузки асинхронных электродвигателей, заклинивание механизмов, несимметричные и неполноценные режимы электрической сети. Ориентировочное распределение причин аварий

следующее: перегрузка — 35–40 %, обрыв фазы — 30–35 %, заклинивание — 25–30 %, прочие, включая влажность, — 5–10 %.

Проводимые в отрасли водного транспорта научно-исследовательские работы в направлении повышения надежности новых коммутационных аппаратов, аппаратуры управления и асинхронных электродвигателей, систем их защиты, разработки новых схем управления технологическими процессами прогрева, подсушки, сушки, восстановления изоляции увлажненных обмоток статоров в эксплуатационных условиях на судах во многом способствуют решению этой проблемы [1–3].

В настоящее время выпускаемые электротехнической промышленностью асинхронные двигатели серии 4А, 4 АИР, 5А обладают достаточной надежностью.

Однако на водном транспорте температурные колебания, влажность и агрессивность среды, заклинивание механизмов и высокая вибрация, несоблюдение требований технической документации в процессе эксплуатации снижают срок службы двигателей по сравнению с нормативным.

Для изучения процесса старения и отказов электродвигателей обычно проводится анализ факторов, оказывающих разрушающее воздействие на изоляцию, обмотки, подшипники, корпус и др. Выявление и их классификация проводятся исследователями в за-

висимости от конечной цели анализа.

При факторном анализе необходимы три условия: четко сформулированная исходная гипотеза; создание такой модели, чтобы можно было свободно управлять всеми факторами; получение количественного результата, соответствующего природе отказов.

Для проведения анализа выполнялись наблюдения за 571 двигателями серии АО и 4А (табл. 1). Классификация отказов производилась методом экспертных оценок с разборкой машин.

Таблица 1

Статистические данные по отказам электродвигателей

Причины отказов по руководящим документам	Количество отказов
Старение изоляции	64
Обрыв схемы обмотки	8
Обрыв в линии	37
Недостаточная чувствительность защиты	19
Загрязнение смазки	8
Отсутствие смазки	10
Аварийные перегрузки	37
Воздействие влажности	5
Воздействие плесневых грибов	17
Недостаточный уровень квалификации обслуживающего персонала	79
Старение элементов конструкции	1
Воздействие агрессивных сред	1
Воздействие масел	1
Итого	287

По зафиксированным наработкам отказавших двигателей в зависимости от различных факторов строились гистограммы. Временной отрезок работы принимался равным 50 тыс. ч. Разбивка его производилась на 20 частей (интервалов).

Интервальная интенсивность отказов по m -й причине рассчитывалась по зависимости

$$\lambda_{mi} = \frac{N_m}{N_0} \cdot \frac{n_m(t)}{\frac{N_{mi} + N_{mi-1}}{2} \cdot \Delta t}, \quad (1)$$

где: N_0 — число всех взятых под наблюдение двигателей ($N_0 = 571$); N_m — число двигателей, отказавших по m -й причине; N_{mi-1} — число исправно работающих двигателей в начале интервала Δt ; N_{mi} — число исправно работающих двигателей в конце интервала Δt ; $n_m(t)$ — число отказавших двигателей в отрезке времени от $t - \frac{\Delta t}{2}$ до $t + \frac{\Delta t}{2}$; Δt — выбранная величина интервала времени, 5000 ч.

При помощи метода наименьших квадратов по интервальным значениям находи-

лись интенсивность отказов в зависимости от каждого фактора в виде уравнения

$$\lambda_m = \lambda_{0m} + A_m \cdot K_m \cdot t^{K_m-1} \quad (2)$$

и вероятность безотказной работы при условии воздействия на двигателя одного фактора

$$P_m = e^{-(A_m K_m + \lambda_{0m} t)}, \quad (3)$$

где λ_{0m} , A_m , K_m — постоянные коэффициенты распределения Вейбулла.

В результате математической обработки было получено следующее факторное урав-

нение интенсивности отказов асинхронных электродвигателей, используемых на водном транспорте:

$$\begin{aligned} \lambda(t) = & A_1 K_1 t^{K_1-1} + A_2 K_2 t^{K_2-1} + A_3 K_3 t^{K_3-1} + \lambda_{04} + \\ & + A_4 K_4 t^{K_4-1} + \lambda_{05} + \lambda_{06} + \lambda_{07} + \\ & + A_7 K_7 t^{K_7-1} + A_8 K_8 t^{K_8-1} + \lambda_{09} + A_9 K_9 t^{K_9-1} + \\ & + A_{10} K_{10} t^{K_{10}-1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Числовые коэффициенты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Числовые коэффициенты факторного уравнения

Причина отказа	Коэффициенты		
	λ_{0m}	A_m	K_{m-1}
Старение изоляции (1)	—	$6,31 \cdot 10^{-15}$	2,09
Недостаточный уровень квалификации обслуживающего персонала (2)	—	$5,62 \cdot 10^{-4}$	-0,3649
Воздействие плесневых грибов (3)	—	$1,27 \cdot 10^{-12}$	1,56
Обрыв схемы обмотки (4)	$9 \cdot 10^{-7}$	$6,4 \cdot 10^{-25}$	4,0
Обрыв в линии (5)	$6,67 \cdot 10^{-8}$	—	—
Недостаточная чувствительность защиты (6)	$3,9 \cdot 10^{-6}$	—	—
Загрязнение смазки (7)	$5 \cdot 10^{-7}$	$1,27 \cdot 10^{-28}$	4,9
Отсутствие смазки (8)	—	$1,28 \cdot 10^{-10}$	1,0
Аварийные перегрузки (9)	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$5,08 \cdot 10^{-16}$	2,32
Воздействие влажности (10)	—	$1,87 \cdot 10^{-15}$	2,0

Используя полученное факторное уравнение, были рассчитаны вероятность безотказной работы

$$P = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\sum_{i=1}^m \lambda_i t} \quad (5)$$

и интенсивность отказов с учетом всех факторов P_{1-10} и λ_{1-10} без учета недостаточного уровня квалификации обслуживающего персонала $P_{1,3-10}$ и $\lambda_{1,3-10}$, а также без учета факторов 2, 5, 6, 9 — $P_{1,3,4,7,8,10}$ и $\lambda_{1,3,4,7,8,10}$. Воздействие факторов 5, 6, 9 может быть существенно снижено путем использования чувствительной и надежной защиты. Графические зависимости рассчитанных величин приведены на рис. 1, 2.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

Интенсивность отказов электродвигателей в течение времени возрастает вследствие старения изоляции в степени 2,09, обрыва схемы обмотки — 4, загрязнения смазки — 4,9, отсутствия смазки — линейно, аварийных перегрузок — в степени 2,32, воздействия влажности — 2, воздействия плесневых грибов — 1,56.

Интенсивность отказов из-за обрывов в линии и недостаточной чувствительности защиты постоянна во времени.

Интенсивность отказов по причине обрывов схемы обмотки, загрязнения смазки и аварийных перегрузок кроме возрастающей составляющей имеет постоянную составляющую.

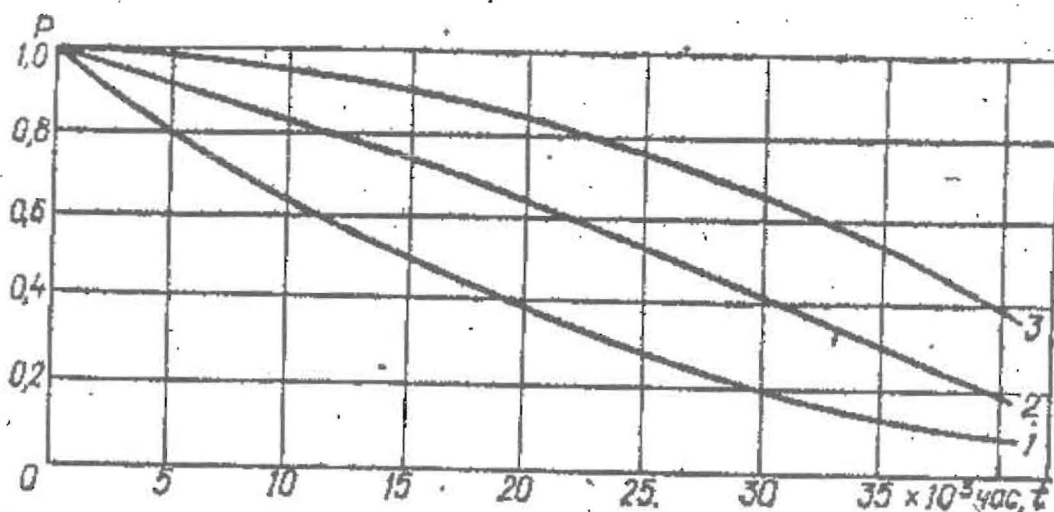


Рис. 1. Вероятность безотказной работы электродвигателей:

- 1 — с учетом всех факторов;
 2 — без учета низкого уровня квалификации обслуживающего персонала;
 3 — без учета факторов 2, 5, 6 и 9

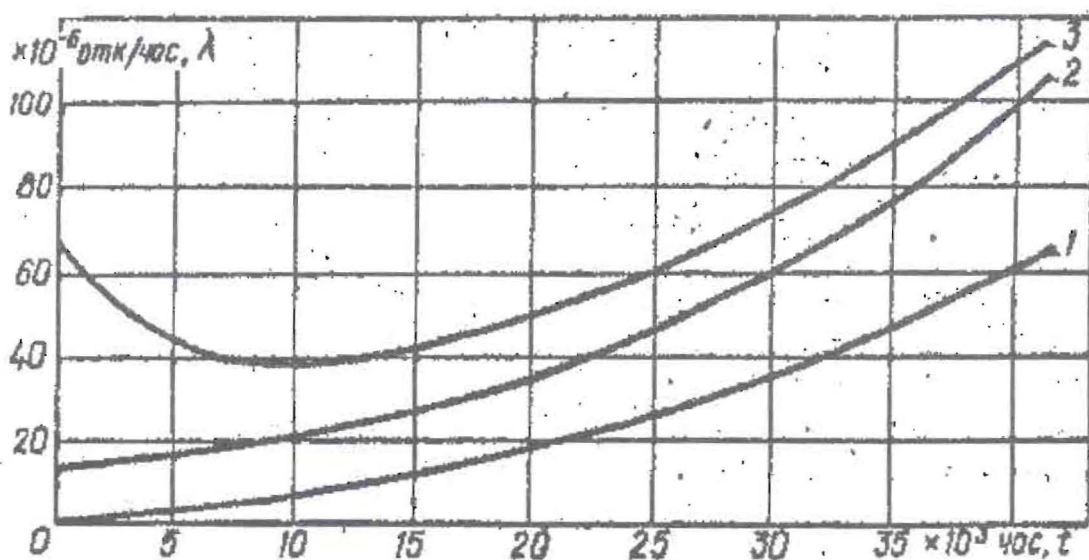


Рис. 2. Интенсивность отказов электродвигателей:

- 1 — без учета факторов 2, 5, 6 и 9;
 2 — без учета уровня квалификации обслуживающего персонала;
 3 — с учетом всех факторов

Интенсивность отказов вследствие недостаточного уровня квалификации обслуживающего персонала имеет убывающий харак-

тер, но достаточно большая в начале эксплуатации на судах.

При наличии квалифицированного пер-

сонала и чувствительной защиты электродвигатели серии 4А имеют вероятность безотказной работы в течение 10 000 ч не ниже 0,9 (без учета доверительной вероятности, расчет

которой не приведен). Это значит, что основным фактором в настоящее время является уровень эксплуатационной службы в отрасли водного транспорта.

Список литературы

1. Приходько В. М. Методы и технические средства комплексных испытаний элементов судовых электроэнергетических систем в судостроении и судоремонте: Научная монография. — СПб.: ИПЦ СПГУВК, 2005. — 348 с.
2. Приходько В. М., Кравченко В. И., Приходько А. М. Переносный универсальный тиристорный преобразователь с перестраиваемой структурой // Промышленная энергетика. — 1999. — № 4. — С. 30–35.
3. Приходько А. М., Приходько В. М., Кравченко В. И. Универсальный тиристорный преобразователь // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1999. — № 4. — С. 13–15.