

## ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА

Предложена эксплуатационная модель надежности электродвигателей, учитывающая особенности эксплуатации подземного рудника: запыленность, относительную влажность и температуру шахтного воздуха. Модель разработана на основе данных наблюдений за отказами машин с 2006 по 2010 год с использованием методов планирования факторного эксперимента.

Ключевые слова: асинхронные двигатели, факторы окружающей среды, надежность, условия эксплуатации, подземный рудник.

Для создания эксплуатационной модели надежности асинхронного двигателя (АД) в условиях подземного рудника имеем следующие исходные данные: сочетание воздействующих факторов, изменяющихся в течение года, интенсивность отказов, которая изменяется при изменении воздействующих факторов. Необходимо определить связь между отказами и сочетанием воздействующих факторов.

При разработке математической модели АД, эксплуатируемые в подземном руднике, можно рассматривать как невосстанавливаемые механизмы и механизмы с мгновенным восстановлением. Оба подхода имеют свои особенности и трудности.

Если рассматривать конкретный двигатель и допустить, что у него вышла из строя обмотка, то АД можно рассматривать как невосстанавливаемый объект, так как замена обмотки требует значительного времени и затрат, приблизительно равных стоимости нового двигателя.

При определении показателей надежности в условиях эксплуатации возникает ряд трудностей, связанных с тем, что взятые на эксплуатационные испытания электродвигатели уже установлены и эксплуатируются. А это в свою очередь приводит к тому, что искажаются результаты, так как:

- на протяжении всего срока испытания каждый электродвигатель подвергается воздействию различного сочетания факторов;
- в испытываемой группе имеются двигатели с различными наработками.

В условиях функционирования подземного рудника невозможно для всех подконтрольных двигателей создать одинаковые условия эксплуатации.

Например, из ремонтного цеха были получены данные о 27 АД мощностью 55 кВт, эксплуатировавшихся в подземном руднике на скреперных лебедках. После обработки полученных данных методами математической статистики [1] было получено следующее уравнение вероятности безотказной работы:

$$P(t) = \int \frac{1}{4156\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-5800)^2}{2*4156^2}}, \quad (1)$$

где математическое ожидание времени наработки  $\mu_0 = 5800$  ч и среднеквадратичное отклонение  $\sigma_0 = 4156$  ч. Значительное среднеквадратичное отклонение является следствием вышеперечисленных трудностей.

Уравнение (1) описывает работу АД, не учитывая изменения воздействующих факторов. При этом воздействующий фактор является неизменной величиной.

Все эксплуатируемые в подземном руднике АД можно рассматривать как систему АД, состоящую из большого числа электродвигателей.

Допустим, что система АД обладает следующими свойствами:

- количество отказов во времени при неизменных воздействующих факторах остается постоянным во времени;
- при изменении сочетания воздействующих факторов изменяется также количество отказов;
- все вышедшие из строя электродвигатели сразу же заменяются новыми или отремонтированными;
- количество эксплуатируемых электродвигателей остается постоянным во времени;
- электродвигатели в момент начала эксплуатации обладают одинаковыми показателями надежности;

Таблица 1

Воздействующие факторы	Уровни факторов		Интервал варьирования
	верхний (+)	нижний (-)	
Температура шахтного воздуха, °С	15	0	15
Относительная влажность шахтного воздуха, %	50	90	40

– вероятность безотказной работы АД подчиняется экспоненциальному закону

$$P_T(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (2)$$

и зависит только от интенсивности отказов  $\lambda$ , которая в свою очередь зависит от сочетания воздействующих факторов

$$\lambda(t) = \varphi(X_1, X_2), \quad (3)$$

где  $X_1, X_2$  – воздействующие факторы.

Исследования [2] показывают, что в качестве данной системы можно рассматривать АД, установленные в подземном руднике. Наиболее значимыми воздействующими факторами в условиях подземного рудника являются температура охлаждающего воздуха и относительная влажность шахтного воздуха. Сочетание этих факторов в течение года изменяется. Средняя температура в теплое время года составляет около 15 °С и почти не изменяется, а относительная влажность изменяется от 50 до 100%. В холодное время года температура воздуха в шахте около 0 °С и почти не изменяется. Относительная влажность воздуха изменяется от 50 до 100%. Относительная влажность воздуха за-

висит от влажности и температуры воздуха на поверхности. Интенсивность отказов зависит от сочетания значений этих факторов и будет различной.

В данной работе исследования зависимости интенсивности отказов АД  $\lambda = \varphi(X_1, X_2)$  от воздействующих факторов проведены по матрице полного факторного эксперимента  $2^2$  [3]. В подземном руднике невозможно искусственно создать необходимые сочетания температуры и влажности, поэтому данные для эксперимента взяты из наблюдений за отказами АД за 2006 – 2010 годы. Уровни факторов приведены в таблице 1.

Относительные значения воздействующих факторов определяются по формуле:

$$X_i = \frac{2\Phi_i - (\Phi_{vi} + \Phi_{ni})}{\Phi_{vi} - \Phi_{ni}}, \quad (4)$$

где  $\Phi_i$  – текущее значение  $i$ -го фактора;  $\Phi_{vi}$  – верхнее значение  $i$ -го фактора в эксперименте;  $\Phi_{ni}$  – нижнее значение  $i$ -го фактора в эксперименте.

В таблице 2 с перечнем факторов и в матрицах планирования эксперимента верхнее значение фактора  $\Phi_{vi}$  обозначается знаком (+), а нижнее  $\Phi_{ni}$  знаком (-). В столбце 4 указаны интенсивности отказов в наблюдениях за отказами электродвигателей за последние пять лет. Интенсивности подбирались исходя из уровней воздействующих факторов. Для дальнейших вычислений используется средняя интенсивность (столбец 5), рассчитанная при данных уровнях факторов.

Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 2.

Коэффициенты регрессии определяются по уравнению:

Таблица 2

Номер строки	Уровни факторов		Интенсивность отказов			Интенсивность отказов по уравнению (6), $10^3, \text{ч}^{-1}$
	$X_1$	$X_2$	из наблюдений $i$ $10^3, \text{ч}^{-1}$	средняя, $10^3, \text{ч}^{-1}$	дисперсия $s^2\{y\}$	
1	+	+	0,25; 0,2; 0,187; 4 0,125; 0,145	0,159	$1,83 \cdot 10^{-9}$	0,167
2	+	-	2 0,02; 0,104; 0	0,03645	$4,94 \cdot 10^{-9}$	0,027
3	-	+	2 0,208; 2 0,229; 0,25; 0,145	0,211	$1,287 \cdot 10^{-9}$	0,203
4	-	-	0,083; 0; 0,0625; 0,041; 0,125; 0,02	0,0554	$2,025 \cdot 10^{-9}$	0,064

$$b_{ui} = \frac{1}{n'} \sum_{j=1}^{n'} X_{uj} X_{ij} \bar{\lambda}_j, \quad (5)$$

где  $u, i=1, 2$  – номера факторов,  $u \neq i$ ;  $n$  – количество строк в матрице планирования;  $j$  – номер строки матрицы планирования;  $\bar{\lambda}_j$  – среднее значение отклика на данном варианте испытаний.

В результате расчетов получено следующее уравнение интенсивности отказов:

$$\lambda = 1,156 \cdot 10^{-4} - 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot X1 + 6,966 \cdot 10^{-5} \cdot X2. \quad (6)$$

Вычисленное значение критерия Фишера  $F_p = 0,115$  меньше критического табличного для  $f_1 = N - k = 1$  и  $f_2 = N(r - 1) = 16$  степеней свободы и 5%-ного уровня значимости  $F_{0,05}(1,16) = 4,49$ , поэтому полученное уравнение адекватно описывает экспериментальные результаты.

Подставляя уравнение (6) в уравнение (2), мы можем рассчитать вероятность безотказной работы системы механизмов при заданном значении воздействующих факторов

$$P_m(t) = e^{-(1,15 \cdot 10^{-4} - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot X1 + 6,95 \cdot 10^{-5} \cdot X2) \cdot t}. \quad (7)$$

Опыт эксплуатации показывает, что воздействующие факторы изменяются в течение года, а значит, изменяется и интенсивность отказов. Пользуясь накопленным статистическим материалом [1], можно предположить, как будут изменяться воздействующие факторы.

Результаты, полученные в рассмотренных условиях работы АД в ГОКах при принятых допущениях, позволяют предсказать интенсивность отказов с достаточной для практики точностью и принять меры для снижения количества аварий.

27.12.2010

#### Список литературы:

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. М., Советское радио, 1978.
2. Влияние сезонных изменений факторов окружающей среды на отказы электрических машин в условиях подземного рудника /Н.Г. Никиян, И.И. Ямансарин // Труды Всероссийской научно-технической конференции: Энергетика: состояние, проблемы, перспективы. – Оренбург: ОГУ, 2010. – С. 127-133.
3. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. М., «Наука», 1976.

Сведения об авторах:

**Никиян Николай Гагикович**, заведующий кафедрой электромеханики Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор  
**Ямансарин Ильдар Ильдусович**, заведующий лабораториями кафедры электромеханики электроэнергетического факультета Оренбургского государственного университета  
460000, г. Оренбург, Шарлыкское ш., 5, ауд. 15225, тел. (3532) 372889, e-mail: yama-ildar@yandex.ru

**UDC 621.313**

**Nikiyan N.G., Yamansarin I.I.**

**OPERATIONAL MODEL OF THE ASYNCHRONOUS MOTORS RELIABILITY IN UNDERGROUND MINE**

The operational model of electric motors reliability, taking into account the peculiarities of operating of an underground mine: dust, humidity and temperature of mine air, is proposed in this work. The model is based on observational data for machine failure from 2006 till 2010, using the methods of factorial experiment planning.

Key words: induction motors, environmental factors, reliability, operating conditions, an underground mine.

#### References:

1. Barliou P, Proshan F. The mathematical theory of reliability. M, the Soviet radio, 1978.
2. Influence of seasonal changes of factors of environment on refusals of electric motors in the conditions of underground mine. /N.G.Nikiyan, I.I.Yamansarin/ Works of the Russian scientific and technical conference: Energetics: a condition, problems, prospects. – Orenburg: OSU, 2010. – s.127-133.
3. Zedginidze I.G. Planning of experiment for research of multicomponent systems. M, «Science», 1976.