

УДК 61:681.3

**Е.Ю. Ларина (канд. техн. наук), Н.Г. Винниченко (канд. техн. наук, доц.),
Н.А. Киктев (канд. техн. наук)**

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра электронной техники
E-mail: nkiktev@gmail.com

СПОСОБ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

В статье рассмотрена возможность повышения надежности работы широко применяемых асинхронных двигателей (АД) малой мощности в условиях частых включений, не соответствующих правилам, предписанным в ГОСТ. Оценка температурного состояния АД при этом производится на основании накапливаемых статистических данных и обоснованного закона распределения.

***Ключевые слова:** асинхронный двигатель, нестандартизованный режим, температурный баланс, статистическая информация, закон изменения случайной величины, статистические характеристики, математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение.*

Постановка проблемы в общем виде

Для обеспечения надежности работы АД в нестандартизованных режимах работы рассмотрим возможный способ оценки состояния АД на основании статистических показателей.

Для поддержания температурного баланса АД в реальном времени его работы при взаимодействии с другими исполнительными механизмами необходимо обоснование выбора оптимального режима работы АД, для чего требуется проведения экспериментальных исследований с целью:

- разработки способа анализа пусковых токов АД в различных режимах работы технологического объекта;
- определения периода управления показателем ПВ, при котором не происходит перегрев обмоток АД;
- исследования закона распределения контролируемой величины и проведение дисперсионного анализа для подтверждения гипотезы о наличии эффекта (перегрева), вносимого исследуемым фактором (ПВ);
- определения влияния начальных условий эксплуатации на нагрев обмоток АД.
- подтверждения адекватности полученных математических моделей реальных режимов работы АД с целью прогнозирования возможного перегрева обмоток и регулирования интенсивностью технологических процессов.

В процессе эксперимента требовалось:

1. Определить пусковые токи АД,
2. Определить допустимый ток электродвигателя.
3. Установить продолжительность включения контакторов двигателя. Обработка данных записи показывает следующее.

Результаты экспериментальных исследований

Всего за 80 часов наблюдений зарегистрировано в повторно-кратковременном режиме 829 включений; из них: пусковых токах свыше 6 А, – 20; свыше 4 ампер – 21; меньше 1 А – 19 (рис. 1).

Установлено, что среднее значение пускового тока $I_{\text{пуск}} = 2\text{А}$ – с продолжительностью 2–3 с.

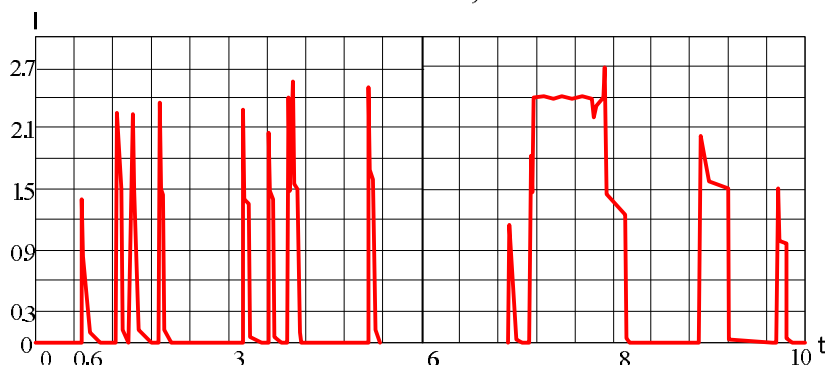
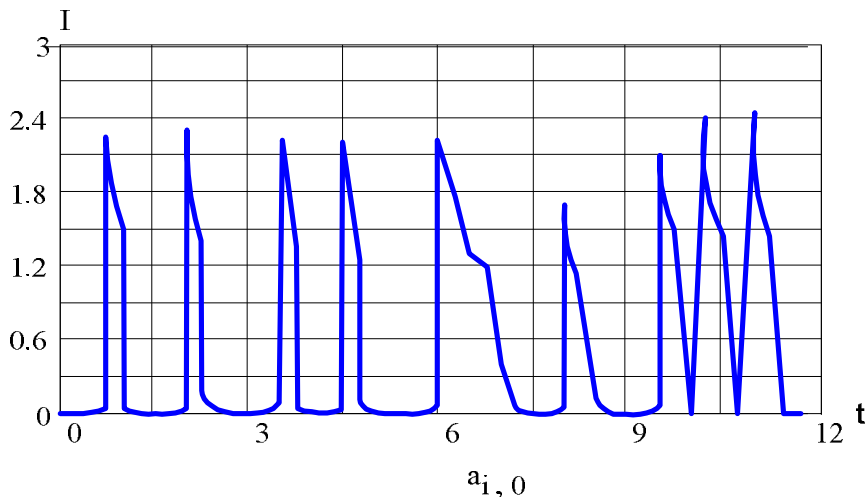


Рисунок 1 – Фрагменты записи токов АД

Наибольшая частота включений была с интервалом 1 с. Средняя продолжительность включения 2–3 с. (примерно 770 включений), 10–12 случаев продолжительностью 7–8 с. Частые включения АД обусловлены режимами работы объекта. Анализ токовых характеристик двигателей позволил сделать заключение о наличии случаев работы в пусковом режиме, перегрузке в процессе эксплуатации и целесообразности разработки системы управления, не допускающей режимов, при которых частота включений АД отрицательно сказывается на перегреве изоляции обмоток.

Изложение основного материала

Для анализа статистической информации представим полученные данные в виде транспонированной матрицы амплитуд тока АД:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
$a^T =$	0	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75	5	5.25	5.5	5.75
	1	0	0	0.1	2.25	1.5	0.17	0	0	2.3	1.4	0.18	0	0	0.1	2.22	1.36	0.14	0	2.21	1.25	0.13	0	0	0
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	
$a^T =$	0	6.25	6.5	6.75	7	7.25	7.5	7.75	8	8.25	8.5	8.75	9	9.25	9.5	9.75	10	10.25	10.5	10.75	11	11.25	11.5	11.75	
	1	1.76	1.3	1.2	0.4	0.25	0	0	1.7	1.1	0.12	0	0	0	2.1	1.5	0	2.4	1.45	0	2.45	1.45	0	0	

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
$a^T =$	0	0	0.7	0.71	0.73	0.85	1	1.25	1.26	1.32	1.34	1.45	1.5	1.52	1.6	1.8	1.9	1.92	1.95	1.97	1.99	2.1	3.2	3.21	3.23
	1	0	0	1.4	0.85	0.1	0	0	2.25	1.5	0.12	0	2.23	1.49	0.12	0	0	2.35	1.5	1.45	0.13	0	0	2.28	1.4

	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	
$a^T =$	0	3.3	3.33	3.5	3.6	3.61	3.63	3.67	3.7	3.8	3.9	3.91	3.93	3.95	3.98	4	4.05	4.09	4.11	5.15	5.16	5.18	5.23	5.26	5.33
	1	1.36	0.05	0	0	2.05	1.48	1.4	0.05	0	0	2.4	1.51	1.48	2.55	1.56	1.5	0.1	0	0	2.5	1.7	1.6	0.12	0

Испытания АД второго объекта выполнялась аналогично, получены следующие данные в виде транспонированной матрицы:

$i := 0..24$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
$a^T =$	0	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75	5	5.25	5.5	5.75
	1	0	0	0.1	2.25	1.5	0.17	0	0	2.3	1.4	0.18	0	0	0.1	2.22	1.36	0.14	0	2.21	1.25	0.13	0	0	0

	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
$a^T =$	0	6	6.25	6.5	6.75	7	7.25	7.5	7.75	8	8.25	8.5	8.75	9	9.25	9.5	9.75	10	10.25	10.5	10.75	11	11.25	11.5
	1	2.22	1.76	1.3	1.2	0.4	0.25	0	0	1.7	1.1	0.12	0	0	0	2.1	1.5	0	2.4	1.45	0	2.45	1.45	0

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
$a^T =$	0	0	0.7	0.71	0.73	0.85	1	1.25	1.26	1.32	1.34	1.45	1.5	1.52	1.6	1.8	1.9	1.92	1.95	1.97	1.99	2.1	3.2	3.21	3.23
	1	0	0	1.4	0.85	0.1	0	0	2.25	1.5	0.12	0	2.23	1.49	0.12	0	0	2.35	1.5	1.45	0.13	0	0	2.28	1.4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
$a^T =$	0	6.9	6.91	6.99	7.04	7.12	7.13	7.15	7.17	7.27	7.37	7.47	7.57	7.67	7.77	7.79	7.82	7.9	7.91	7.93	8.12	8.13	8.17	8.9	8.91
	1	0	1.54	0.03	0	0	2.45	1.96	3.2	3.22	3.18	3.22	3.18	3.22	3.18	2.95	3.1	3.2	3.6	1.94	1.66	0.06	0	0	2.7

	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
$a^T =$	0	8.91	9	9.2	9.21	9.65	9.7	9.71	9.73	9.8	9.81	9.86
	1	2.7	2.12	2.01	0.04	0	0	2.02	1.34	1.3	0.05	0

Выполним обработку результатов контроля тока электродвигателя. Статистические характеристики. Математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение соответственно равны: $m_b = 2,278$, $\sigma_b = 0,493$.

Построим гистограмму и функцию распределения рассматриваемой случайной величины. Вектор границ интервалов v и вектор гистограмм f соответственно будут:

$$v = \begin{bmatrix} 1.3 \\ 1.76 \\ 2.22 \\ 2.68 \\ 3.14 \\ 3.6 \end{bmatrix} \quad f = \begin{bmatrix} 4 \\ 4 \\ 14 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Рассчитаем теоретическую плотность вероятности и функцию распределения:

$$f_{v_k} := \frac{e^{-\left(\frac{b_k - b_{cp}}{sko}\right)^2}}{\left(\frac{sko \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}}{2 \cdot sko^2}\right)}, \quad F_k := \int_0^{24} f_{v_k} dt$$

На рис. 2 показаны общий вид гистограммы (а), график плотности вероятности (б),

эмпирическая и теоретическая функции распределения (в).

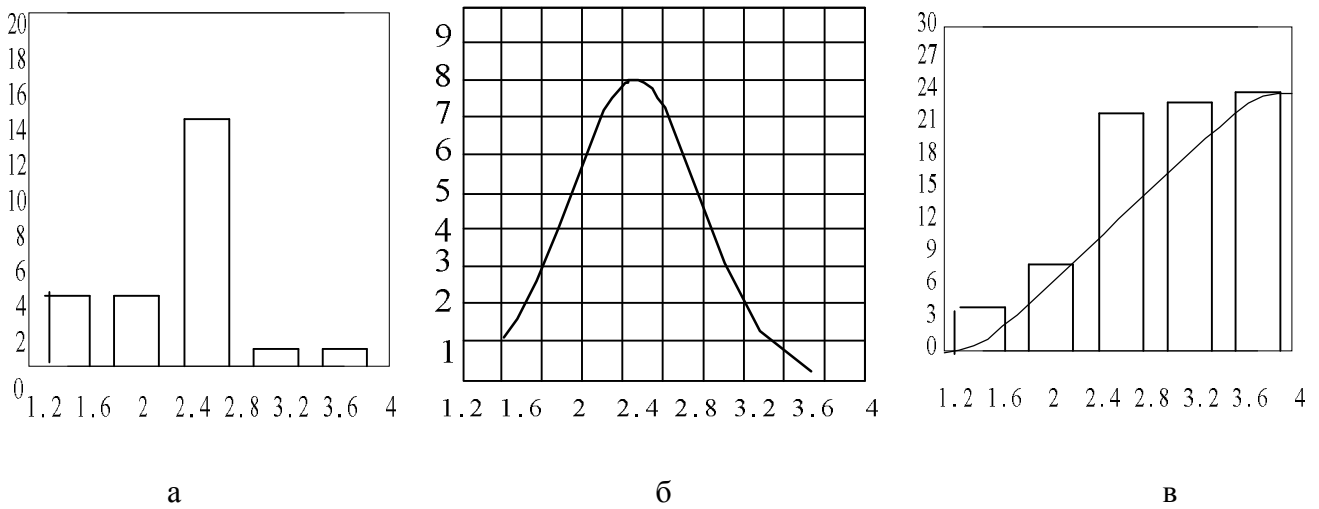


Рисунок 2 – Гистограмма (а), функция плотности вероятности (б), теоретическая и эмпирическая функции распределения вероятностей (в)

Из рис. 2 очевидно, что случайная величина (частота включений, ток электродвигателя) при отсутствии перегрева подчиняется нормальному закону распределения. Выполним проверку согласованности по критерию А.Н. Колмогорова. В качестве меры рассогласования закона принимаем максимальное значение разности эмпирической (F1) и теоретической (F2) функций распределения.

$$k := 0.. 4$$

$$F3_k := F1_k - F2_k$$

$$F1 = \begin{bmatrix} 4 \\ 8 \\ 22 \\ 23 \\ 24 \end{bmatrix} \quad F2 = \begin{bmatrix} 3.944 \\ 7.973 \\ 21.923 \\ 22.974 \\ 23.868 \end{bmatrix}$$

$$\lambda = D \cdot \sqrt{20} = 0,59$$

Выберем уровень значимости $\alpha = 0.3$. Для полученного значения $\lambda = 0.59$ $Q(\lambda) = <0.3$, следовательно, гипотеза о нормальном законе распределении амплитуд принимается.

Установим закон изменения случайной величины при наличии перегрева Представим интенсивность включения АД объекта в виде матрицы частот амплитуд (рис. 3):

$b^T =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	0	1.25	1.5	1	1.5	1.8	1.7	0.7	0.8	0.5	0.9	0.6	1.2	0.4	0.7	1.2	1.8	0.2	0.8	1	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9

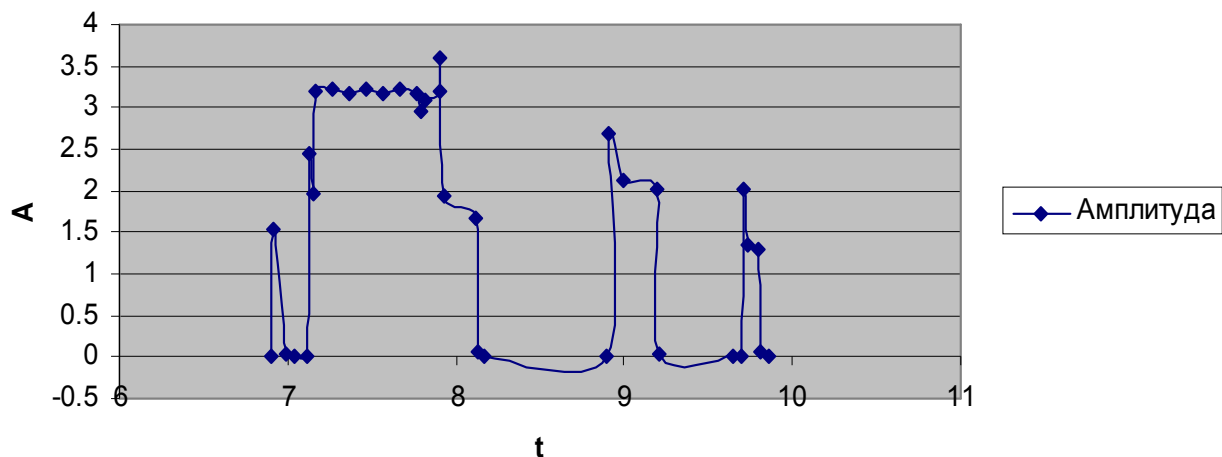
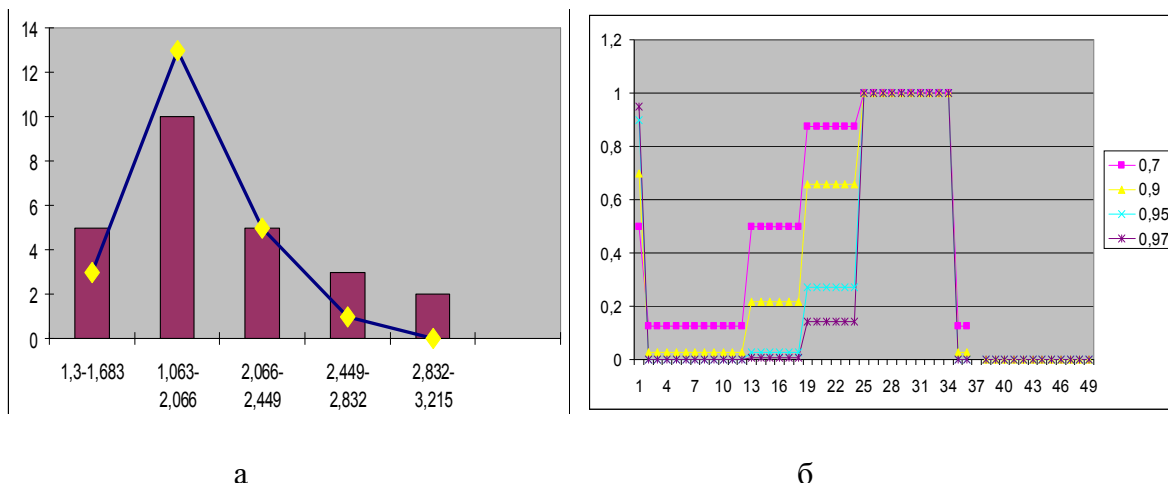


Рисунок 3 – Фрагмент записи частот амплитуд

Аналогічно визначаємо статистичні характеристики математичне очікування і середньоквадратичне відхилення: $m_b = 0.994$, $\sigma_b = 0.409$. Вектор граничних інтервалів і вектор гістограм відповідно рівні:

$$v = \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0.467 \\ 0.733 \\ 1 \\ 1.267 \\ 1.533 \\ 1.8 \end{bmatrix}, \quad f = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 9 \\ 5 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix},$$

Побудуємо графіки для визначення закону розподілу числа включень АД (рис. 4, рис. 5).



а

б

Рисунок 4 - Гістограма, функція щільності ймовірності (а), емпірична функція розподілу для різних значень ймовірностей (б)

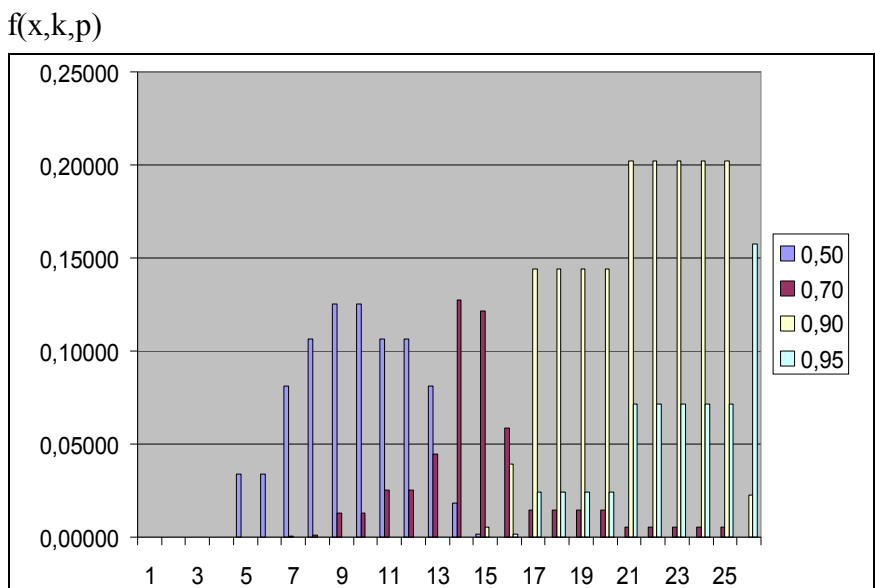


Рисунок 5 - Гистограмма биномиального распределения для различных значений вероятности (0.5, 0.7, 0.9, 0.95): k – порядковый номер измерения, p – вероятность, x – конечная последовательность значений переменных.

Плотность вероятности биномиального распределения амплитуд токов АД показана на рис. 6.

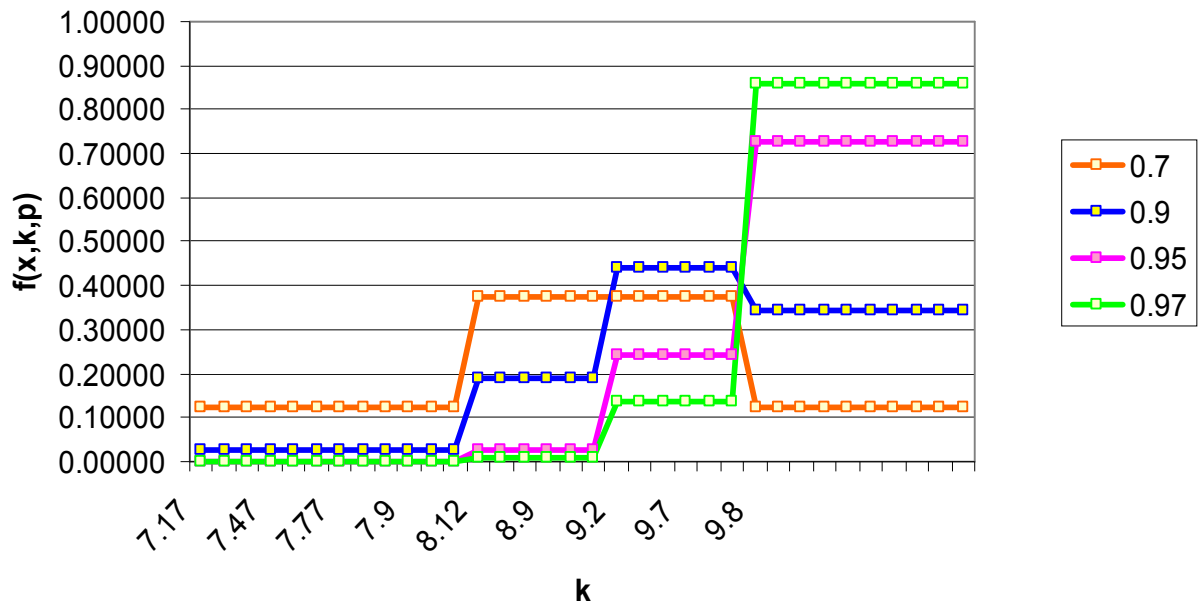


Рисунок 6 – Плотность вероятности биномиального распределения амплитуд токов АД

Функция биномиального распределения для различных значений вероятности амплитуд токов АД исследуемых вариантов приведена на рис. 7. Плотность вероятности биномиального распределения амплитуд токов АД приведена на рис. 8.

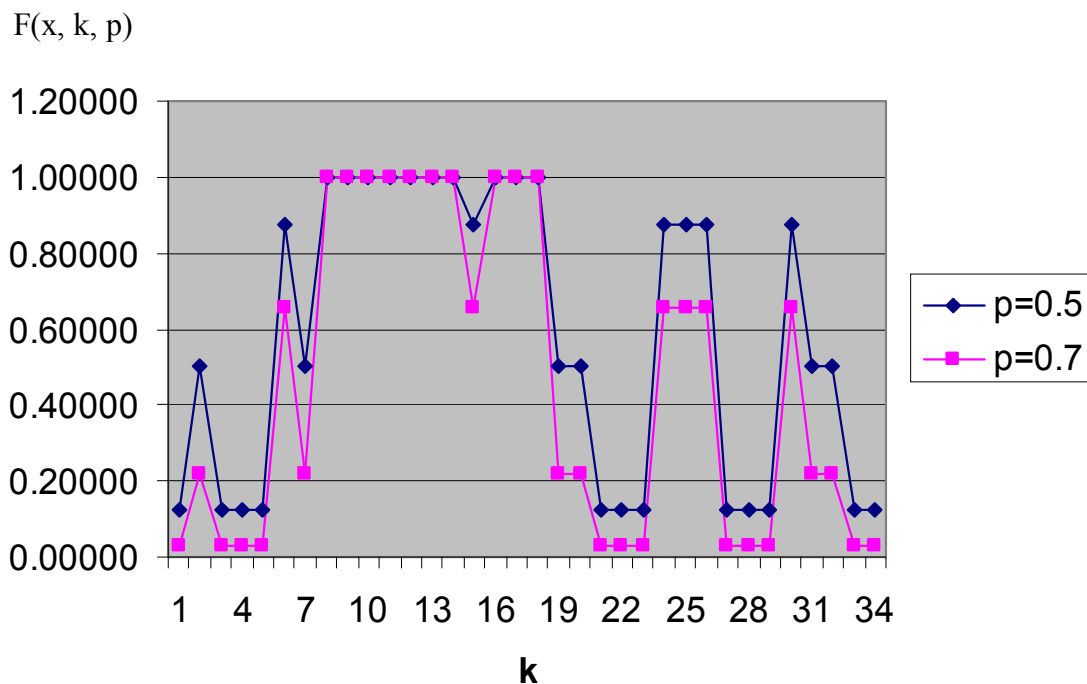


Рисунок 7 – Функция биномиального распределения для различных значений вероятности (0.5, 0.7) амплитуд токов АД

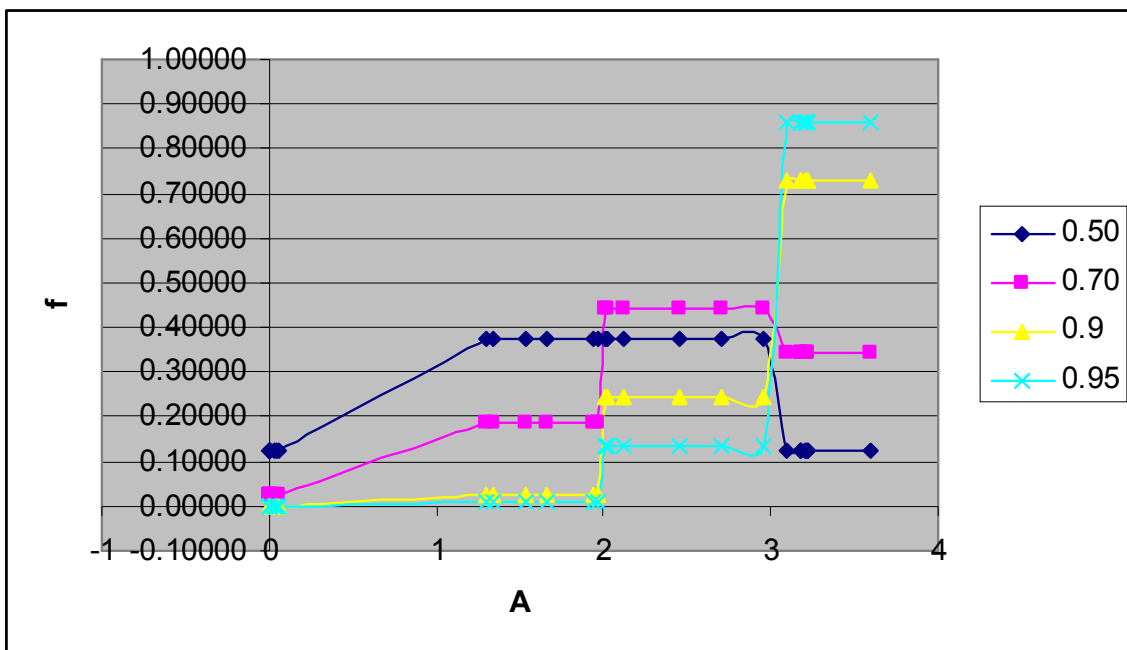


Рисунок 8 – Плотность вероятности биномиального распределения амплитуд токов АД

Проверим гипотезу о том, что данная случайная последовательность подчиняется биномиальному закону. Для проверки гипотезы необходимо провести контрольную серию экспериментов (табл. 1).

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Уровень интервала варьирования	Экспериментальные значения	Контрольные значения
1,3-1,683	3	2
1,063-2,066	3	3
2,066-2,449	12	13
2,449-2,832	4	5
2,832-3,215	1	1
3,215-3,598	1	0
Объем выборки	24	24

Эмпирическое и критическое значения критерия соответственно:

$$\lambda_{\text{эмп}} = 0,04 \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 24}{24 + 24}} \approx 0,1443$$

$$\lambda_{\text{критич}} = 1,3581 \quad \text{при} \quad \alpha = 0,05$$

Таким образом, $\lambda_{\text{эмп}} < \lambda_{\text{критич}}$: $0,1443 < 1,3581$. Следовательно, гипотеза о биномиальном законе распределения верна.

Выводы

1. Основные показатели надёжной работы приводов можно оценивать теорией вероятности и математической статистики.

2. Для системы управления нужен дополнительный контроль параметров АД для своевременного обнаружения и защиты от перегрева.

3. Полученные в результате эксперимента результаты подтверждают возможность функционирования АД с короткозамкнутым ротором в режимах повторно-кратковременных включений, но для сохранения их назначенного ресурса этот режим должен быть контролируемым и допустимым. Для обеспечения оптимального режима функционирования АД необходим постоянный контроль состояния перегрева обмоток АД.

Список использованной литературы

1. Современные измерительные средства и методы анализа характеристик динамических объектов / [В. Ю. Ларин, Е. Ю. Купцова, Е. Е. Федоров и др.]. – Донецк: Ноулидж, 2011. – 282с.
2. Ларина Е. Ю. Исследование динамических характеристик асинхронного двигателя смесителя компонентов в различных режимах работы / И. П. Заболотный, Е. Ю. Ларина // 36. наук. праць Дон державного технічного університету. – 2001. – Вип. 25. – С. 284–291.
3. Ларина Е. Ю. Средства измерения параметров и защиты электродвигателей многомашинного комплекса / Е. Ю. Ларина, И. П. Заболотный // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2003. – Вип. 58. – С. 81–88.
4. Ларина Е. Ю. Микропроцессорная система контроля и управления многодвигательным дозирующим комплексом / Е. Ю. Ларина, Н.Г. Винниченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2003. – Вип. 58. – С. 226–231.
5. Винниченко Н.Г. Способы повышения чувствительности датчиков с ферромагнитными первичными преобразователями / Н.Г. Винниченко, В.Ю. Ларин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - Донецьк: ДонНТУ, 2006. - Вип. 107. - С. 191 - 198.

Надійшла до редакції:
22.05.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Чичикало Н.І.

К.Ю. Ларина, М.Г. Винниченко, М.О. Кіктєв
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Спосіб оцінки температурного стану об'єкта за статистичними даними. У статті розглянута можливість підвищення надійності роботи широко застосовуваних асинхронних двигунів (АД) малої потужності в умовах частих включень, що не відповідають правилам, запропонованим в ГОСТ. Оцінка температурного стану АД при цьому проводиться на підставі накопичуваних статистичних даних і обґрунтованого закону розподілу.

Ключові слова: асинхронний двигун, нестандартизований режим, температурний баланс, статистична інформація, закон зміни випадкової величини, статистичні характеристики, математичне сподівання, середньоквадратичне відхилення.

K. Yu. Larina, N.G. Vynnychenko, N.A. Kiktev
Donetsk National Technical University

The Method of Evaluating the Thermal State of an Object According to Statistics. To provide reliability of asynchronous engines work the method of its state estimation on the basis of statistical indexes is considered. The analytical basis of choosing the optimum mode of engine operations requires experimental researches. Purpose of experiment:

1. To establish the estimation criteria for the correspondence of asynchronous engine current descriptions to the legitimate values in different modes.
2. To justify the period of control of the index of reclosure.
3. Research of distributing law and variance analysis for confirmation of hypothesis about the presence of the overheat caused by the studied factor.

The stabilization task of electric machine will be realized. Basic indexes of reliable work of drives can be estimated by probability and mathematical statistics theory.

In the article for providing the reliability of asynchronous engines the possible method of its state estimation on the basis of statistical indexes is considered. The analytical ground of the choice of the optimum mode of engine operations requires experimental researches.

Keywords: asynchronous engine, unstandard mode, temperature balance, statistic information, statistic characteristics, law of changing random parameter, statistic characteristics, expected value, standard deviation.