

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПУСКОВОГО ТОКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ МНОГОКРАТНЫХ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ПУСКАХ

**Броди В.Я.**

*Украинский НИИ взрывозащищенного электрооборудования (УкрНИИВЭ)*

*R504A@FCITA.DN.UA*

*This work considers the method of definition of average value of a starting current of the asynchronous motor is offered at repeating start-up occurring when stochastic the varying moment of resistance of the mechanism exceeds the starting moment of the asynchronous motor. The definition of average value of a starting current is necessary for a finding of temperature of a winding of the motor.*

В различных отраслях промышленности имеются довольно большие группы машин, механизмов и технологического оборудования, имеющих специфические условия и режимы эксплуатации. Одним из критериев, определяющих допустимую мощность приводного асинхронного двигателя (АД), является величина наибольшей температуры перегрева обмотки статора АД и теплового износа изоляции, которая зависит от изменения момента нагрузки на валу АД. Особое значение этот критерий приобретает при стохастической нагрузке, когда температура перегрева обмотки статора не должна превышать верхнего допустимого значения температуры перегрева для данного класса изоляции. Большинство исследований посвящено нахождению температуры перегрева на основе распределения их электрической (токовой, мощностной) нагрузки, что объясняется сложностью практического учета случайного нагружения [1-3]. Большой разброс температуры перегрева обмотки статора двигателя в эксплуатации при одинаковых средних его значениях вызывает большую скорость старения изоляции, что опасно для двигателей, работающих при больших средних температурах в режиме с резкопеременным графиком потерь [4].

С практической точки зрения большой интерес представляет влияние вероятностных характеристик нагрузочного момента на характеристики превышения температуры. В ряде случаев [5] для определения температуры обмотки АД возникает необходимость нахождения среднего значения пускового тока в случаях многократных пусков, имеющим место на практике для преодоления меняющегося момента сопротивления механизма, при работе АД в повторно - кратковременном режиме работы S4.

Вышесказанное проиллюстрируем на примере режима работы АД, работающего в приводе электро-механического ключа КМУ-50, используемого в качестве инструмента при подземном ремонте нефтяных скважин. Диаграмма тока, характеризующая режим работы АД приведена на рис. 1.

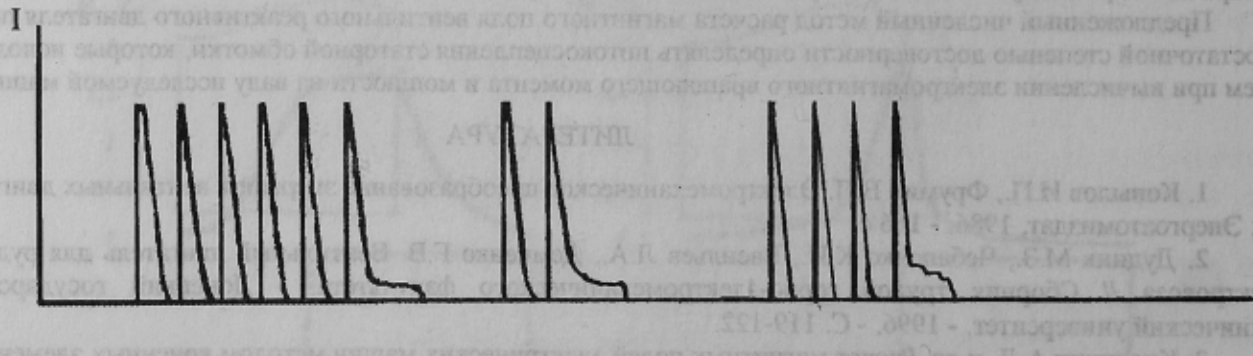


Рисунок 1 - Диаграмма тока, характеризующая режим работы АД в приводе электро-механического ключа

Воздействие случайных факторов на формирование нагрузочного момента двигателя приводит к необходимости рассматривать график нагрузки как случайную функцию. Исследования АД, проводимые с учетом случайного изменения нагрузочного момента, основываются в основном на экспериментально полученных вероятностных характеристик их электрической (токовой, мощностной) нагрузки, которые являются результатом воздействия стохастического момента сопротивления.

Определение среднего значения пускового тока для случая многократных пусков в повторно-кратковременном режиме работы АД проведем на основании предложенной методике в [6]. Предположим, что величина пускового тока при всех пусках АД одинакова; пуски АД происходят при погашенном поле и каждый пуск АД независим от предыдущих.

Эквивалентный (суммарный) пусковой ток, возникающий при таких многократных пусках АД представим в виде

$$I(t) = \sum_{t_k} F(t - t_k), \quad (1)$$

где  $F(t - t_k)$  - пусковой ток в момент времени  $t_k$ .

Моменты времени пусков АД  $t_k$  случайно распределены во временном интервале от  $-\infty$  до  $+\infty$ .

Считаем, что число пусков  $n$ , которые происходят до момента  $t$  статической величиной, описываемой вероятностью  $P(n, t)$ . Предположим, что вероятность пусков во временном интервале между  $t$  и  $t + \Delta t$  полностью независима от  $t$  и  $n$ , а может зависеть только от  $\Delta t$ . Выбирая соответствующую константу  $\lambda$ , покажем вероятность пуска АД в момент времени  $\Delta t$

$$\text{Prob}(n \rightarrow n+1, \text{ за время } \Delta t) = \lambda \Delta t \quad (2)$$

Вероятность пусков  $\lambda \Delta t$ , попадающих на участок  $\Delta t$  будет приблизительно равна вероятности попадания на него одного пуска. Значит, с точностью до бесконечно малых при  $\Delta t \rightarrow 0$  можно считать вероятность того, что на промежуток  $\Delta t$  придется хотя бы один пуск, равный  $\lambda \Delta t$ . Вероятность того что не произойдет ни один пуск равна  $1 - \lambda \Delta t$ .

$$\text{Так, что } P(n, t + \Delta t) = P(n, t)(1 - \lambda \Delta t) + P(n-1, t)\lambda \Delta t \quad (3)$$

Взяв предел при  $\Delta t \rightarrow 0$ , получаем, так называемое уравнение скачкообразного процесса

$$\frac{d}{dt} P(n, t) = \lambda [P(n-1, t) - P(n, t)], \quad (4)$$

Полагая [7,8]

$$G(s, t) = \sum s^n P(n, t), \quad (5)$$

где  $G(s, t)$  - первообразная функция для  $P(n, t)$  и используя специальный метод [8] решения уравнения (4) находим

$$\frac{d}{dt} G(s, t) = \lambda(s-1)G(s, t) \quad (6)$$

так что

$$G(s, t) = \exp[\lambda x p - 1] g(s, 0), \quad (7)$$

Разлагая (7) в ряд по степеням  $s$  получаем распределение

$$P(n, t) = \exp(-\lambda t) \frac{\lambda t^n}{n!}, \quad (8)$$

известное как распределение Пуассона. На рис. 2 представлена зависимость распределения случайной величины вероятности пуска  $P(n)$  от количества пусков  $n$ , соответствующее различным значениям  $\lambda t$ . Представляет собой среднее количество пусков, приходящееся на рассматриваемый отрезок времени.

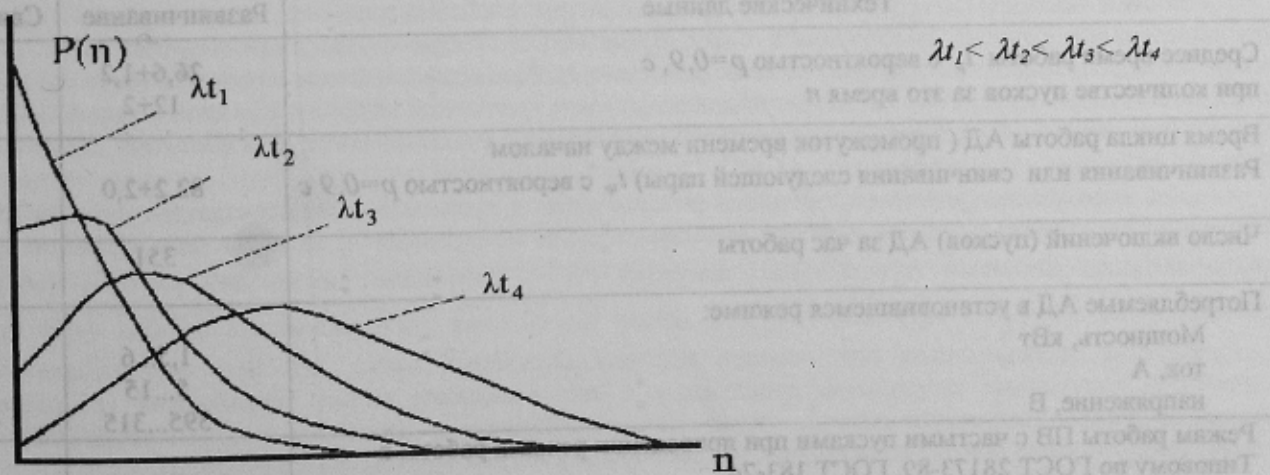


Рисунок 2 - Зависимость распределения вероятности пуска  $P(n)$  от количества пусков  $n$



Введем случайную переменную  $N(t)$ , которую будем рассматривать как число пусков поступивших к моменту времени  $t$ , в таком случае

$$P(n, t) = \text{Prob}\{N(t) = n\}, \quad (9)$$

где  $N(t)$  - переменная распределения Пуассона

Тогда величина  $\mu(t)$  формально определяется как

$$\mu(t) = \frac{d}{dt} N(t), \quad (10)$$

и равна 0 всюду, за исключением тех моментов, когда  $N(t)$  увеличивается на 1, т.е. эта функция есть сумма дельта функций Дирака [6,8]. Функция Дирака позволяет записать пространственную плотность пусков АД сосредоточенных в момент  $t_k$ . Количество пусков может быть определено формальным соотношением

$$\int \delta(t - t_k) f(x) = f(t) \quad (11)$$

для любой непрерывной функции  $f(x)$  на время пуска АД. Аналогично определяются производные  $\delta^{(k)}(x)$

$$\int \delta^{(k)}(t - t_k) f(x) dx = (-1)^k f^{(k)}(t) \quad (12)$$

Для класса функций  $f(x)$  непрерывных во время пуска по своим производным  $f^{(k)}(x)$  до порядка  $k$  включительно. Используя формальные операторные соотношения, выражающие свойства  $\delta$ -функций

$$\delta(\lambda x) = |\lambda|^{-1} \delta(x) \quad \lambda - \text{const} \quad (13)$$

Используя эти свойства в преобразовании получим

$$\delta(x) + x \delta'(x) = 0 \quad (14)$$

Эти соотношения приобретают смысл после интегрирования. Таким образом

$$\mu(t) = \sum \delta(t - t_k), \quad (15)$$

где  $t_k$  - время отдельных пусков АД на рассматриваемом интервале.

Для эквивалентного среднего значения пускового тока можем записать

$$I(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t - t_k) \mu(t) dt \quad (16)$$

Предлагаемый способ нахождения среднего значения пускового тока в случаях многократных пусков рассмотрим на примере режима работы АД, установленного в приводе электромеханических ключей КМУ-50 и АПР - 2 ВБМ, используемых в качестве инструмента при подземном ремонте нефтяных скважин. В результате измерений и обработки полученных данных при развинчивании и свинчивании колонн насосно-компрессорных труб диаметром 2,5 дюйма на нефтяных скважинах получены характеристики режимов работы АД привода электромеханических ключей, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Технические данные	Развинчивание	Свинчивание
Среднее время работы $t_p$ с вероятностью $p=0,9$ , с при количестве пусков за это время $n$	26,6+1,2 12+2	19,2+1,6 5+1
Время цикла работы АД ( промежуток времени между началом Развинчивания или свинчивания следующей пары) $t_{\text{ц}}$ с вероятностью $p=0,9$ с	82,2+2,0	61,8+2,5
Число включений (пусков) АД за час работы	351	185
Потребляемые АД в установившемся режиме: Мощность, кВт ток, А напряжение, В	1,5...6 5...15 395...315	1,0...1,1 9...9,2 385
Режим работы ПВ с частыми пусками при приведении режима работы к Типовому по ГОСТ 28173-89, ГОСТ 183-74 Время работы $t_p$ , с Время цикла работы $t_{\text{ц}}$ , с Продолжительность включения ПВ, %	4,1 10,2 40	7,8 19,5 40

## Основные технические данные двигателя АИМ-М 100 S 4 :

номинальная мощность, кВт	- 3,0
частота вращения, $\text{min}^{-1}$	- 1500
кратность пускового тока	- 5,8
КПД, %	- 81,5
$\cos \varphi$	- 0,80
напряжение, В	- 380

С достаточной для практики точностью на основании опытных данных (табл.1) средний пусковой ток определенный по формуле (16) будет составлять с вероятностью  $p=0,9$  при развинчивании -  $0,67 I_n$  и при свинчивании -  $0,36 I_n$  в течение времени эквивалентном времени многократных пусков.

Проверка точности предложенного способа проверялась лабораторными испытаниями двигателя АИМ-М 100 S 4. Моделировались режимы работы (пуски), приведенные в табл.1, действие среднего тока в течение времени пусков и определялась температура перегрева обмотки статора от воздействия многократных пусковых и среднего пускового тока по времени равно времени многократных пусков АД. Измерения перегрева показали, что погрешность между расчетным и экспериментальным результатом, измеренным по способу среднего пускового тока составила около 10 %, погрешность между экспериментально проведенными режимом работы АД с многократными пусками и средним пусковым током составила около 8%.

### Выводы.

Предложенный способ нахождения среднего значения пускового тока в случаях многократных пусков, имеющим место на практике для преодоления случайно меняющегося момента сопротивления механизма, при работе АД в повторно - кратковременном режиме работы S4...S7 позволит внести уточнения в известные методики для определения температуры обмотки статора АД.

Определение случайного момента нагрузки АД на характеристики токов, электромагнитного момента и др. дает более достоверную информацию, позволяет определить влияние характеристик случайной функции момента нагрузки на работоспособность двигателя.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Жежеленко И.В., Степанов В.П. Оценка интервала осреднения при определении расчетных нагрузок. Электричество, 1980, №11, С.8-12.
2. Гайдукевич В.И., Титов В.С. Случайные нагрузки силовых электроприводов.-М. Энергоатомиздат, 1983.- 160 с.
3. Бурковский А.Н., Рабинович З.М., Нечаевский В.М., Шишкин Н.Ф. Определение вероятностных характеристик нагрева асинхронных двигателей.-Электротехника, 1980 №8, С.28-30.
4. Горнов О.А. Нагревание и охлаждение электрических двигателей.-М.Моск. энерг. ин-т, 1980-56с.
5. Броди В.Я. Электродвигатели привода электромеханических ключей в нефтегазодобывающей промышленности.-Уголь Украины, 1998 №7, С.55-56.
6. К.В. Гардинер. Стохастические методы в естественных науках. Пер. с англ.-М.-Мир,1986.-484с.
7. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа, т.1,- М., Высшая школа, 1981.- 472с.
8. Феллер В., Введение в теорию вероятностей и ее приложения, пер с англ.,-2 изд., В 2-х т., Пер. С англ., М, Мир, 1967,т. 1-528 с., т. 2 - 738 с.