

## ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ТОКА ХОЛОСТОГО ХОДА

Фёдоров М.М., Денник В.Ф.

Донецкий Национальный Технический Университет

Вареник Е.А.

УкрНИИВЭ

fedorov@skif.net

У асинхронных двигателей (АД) имеют место достаточно большие колебания величины тока холостого хода (ХХ), которые обусловлены рядом факторов. Известно, что ток ХХ определяется величиной намагничивающей мощности, магнитодвижущая сила которой равна суммарному падению магнитного напряжения АД  $U_M$ . Анализ данных двигателей серии 4А свидетельствует о том, что наибольшие значения падения магнитного напряжения имеют место в воздушном зазоре  $U_{Mв}$ , а так же в зубцовой зоне  $U_{Mз}$  статора и ротора Их средние значения составляют  $U_{Mв}=0.6U_M$  и  $U_{Mз}=0.4U_M$ . Основной причиной изменения  $U_{Mв}$  является колебания величины воздушного зазора. По данным ОТК заводов изготовителей АД при расчетном значении воздушного зазора  $\delta=0.75$  мм, его реальная величина может изменяться в пределах  $\delta=(0.5\div 1.1)$  мм. Причиной этих колебаний является прежде всего изменение технологического цикла. После ремонта АД зачастую предусмотрена проточка ротора, а следовательно и увеличение воздушного зазора. Заметим, что изменение величины воздушного зазора практически не влияет на величину потерь в стали. Другой существенной причиной изменения тока ХХ является качество электротехнической стали, изменение характеристик которой по сравнению с запроектированными может иметь место как в реально использованной стали, так и при нарушениях технологического цикла (штамповка, термическая обработка и пр.). По литературным данным [1, с.40] величина тока холостого хода АД может колебаться в диапазоне от 0.2 до 0.7 номинального тока статора, а для краново-металлургических двигателей она приближается к номинальному току статора. При изменении величины тока холостого хода АД меняются его электромеханические характеристики, однако степень этого изменения исследована недостаточно. Известно, что изменение величины тока холостого хода влияет на электромеханические характеристики АД такие как пусковой и критический моменты, токи в обмотках статора и ротора при неизменной нагрузке на валу двигателя и др. Вместе с тем попытка оценить изменение указанных характеристик количественно по литературным данным не увенчалась успехом.

**Цель статьи.** Авторами предпринята попытка исследования влияния величины тока холостого хода на основные электромеханические и тепловые характеристики АД. В основу предпринятого исследования положена математическая модель асинхронного двигателя, построенная на использовании его Т-образной схемы замещения (рис. 1). Параметры этой схемы ( $r_1, r_2', r_0$  – активные сопротивления фаз статора, ротора и намагничивающей ветви,  $x_1, x_2', x_0$  – индуктивные сопротивления рассеяния фаз статора, ротора и намагничивающей ветви) определялись по методике, приведенной в [2, с.73-79]. При исследовании были приняты следующие допущения: изменяется только ток холостого хода АД ( $I_0$ ) и параметры контура намагничивания  $r_0, x_0$ , а параметры  $r_1, x_1, r_2'$  и  $x_2'$ , а также потери в стали от величины тока холостого хода не зависят и имеют значения, соответствующие каталожным данным АД. Принятые допущения означают, что изменение тока ХХ в основном находятся в функциональной зависимости от величины воздушного зазора.

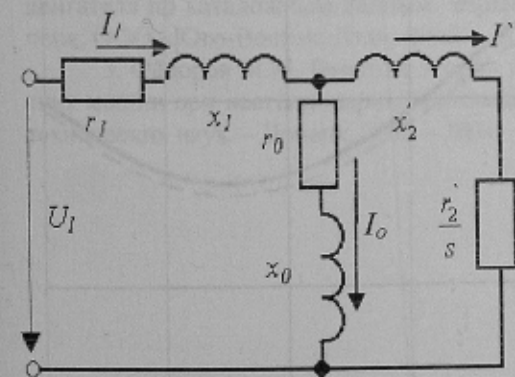


Рисунок 1 - Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

**Результаты исследования.** В табл. 1 представлены результаты исследования зависимости электромагнитных параметров выше указанных двигателей от величины тока ХХ. В качестве основных электромагнитных характеристик выбраны:  $P'$  – мощность на валу двигателя при номинальном токе статора  $I_1=I_{1н}$ ; относительные значения тока статора  $I_1/I_{1н}$ ; кратность пускового тока  $i_n=I_{1п}/I_{1н}$ ; перегрузочная способность  $m_k=M_{max}/M_n$  и кратность пускового момента  $m_m=M_p/M_n$ . Значения  $I_1/I_{1н}$  приведены для двух случаев: при скольжении, равном номинальному ( $s=s_n$ ), и при мощности на валу, равной номинальной ( $P_2=P_n$ ). В табл.2 приведены каталожные данные исследованных двигателей.

Таблица 1 – Зависимость электромагнитных параметров исследованных двигателей от величины тока холостого хода

Тип двигателя	$I_0/I_{1н}$	$I_1/I_{1н}$		$P/P_n$	$m_k$	$m_n$	$i_n$
		$s=s_n$	$P_2=P_n$				
4A100S2Y3	0.2	0.985	0.975	1.06	2.51	2.005	7.483
	0.3	1.01	1.014	0.99	2.5	1.996	7.49
	0.4	1.043	1.06	0.95	2.471	1.987	7.5
	0.5	1.083	1.114	0.885	2.438	1.978	7.504
	0.6	1.13	1.17	0.807	2.41	1.968	7.512
	0.7	1.182	1.234	0.725	2.381	1.959	7.519
4A225M4Y3	0.2	0.998	0.983	1.02	2.508	1.3	6.99
	0.3	1.028	1.03	0.99	2.5	1.299	7
	0.4	1.066	1.067	0.87	2.44	1.293	7.01
	0.5	1.111	1.123	0.82	2.41	1.282	7.018
	0.6	1.161	1.187	0.77	2.381	1.268	7.026
	0.7	1.217	1.255	0.69	2.349	1.26	7.035
4A355S8Y3	0.2	0.952	0.97	1.043	2.23	1.21	6.45
	0.3	0.99	1.015	0.993	2.205	1.201	6.485
	0.4	1.036	1.069	0.918	2.185	1.192	6.52
	0.5	1.088	1.135	0.876	2.163	1.183	6.556
	0.6	1.146	1.195	0.765	2.142	1.174	6.591
	0.7	1.209	1.266	0.678	2.12	1.165	6.626

Таблица 2 – Каталожные данные исследованных двигателей

Тип двигателя	Номинальная мощность $P_n, кВт$	Синхронная частота вращения $N_c, об/мин$	Номинальный ток статора $I_{1н}, А$	Номинальное скольжение $s_n, \%$	Кратность критического момента $m_k$	Кратность пускового момента $m_n$	Кратность пускового тока $i_n$
4A100S2Y3	4	3000	7.61	3.3	2.5	2	7.5
4A225M4Y3	55	1500	100.4	1.4	2.5	1.3	7
4A355S8Y3	132	750	252.3	1.3	2.2	1.2	6.5

Установлено, что при изменении тока холостого хода меняется механическая характеристика АД. Так в качестве примера на рис.2 приведены механические характеристики двигателя 4A100S2Y3 при значениях величины тока холостого хода 0.2 (кривая 1) и 0.7 (кривая 2) от номинального тока двигателя.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что при изменении тока холостого хода в диапазоне (0.2 ... 0.7) $I_{1н}$  пусковой ток АД изменяется незначительно (возрастает в среднем на 5%). Ток статора возрастает на 27÷30%. Критический момент уменьшается на 5÷6%. Пусковой момент снижается на 2.5÷4%. Особенно большое влияние возрастание тока ХХ оказывает на величину мощности  $P'$  двигателя при поддержании неизменным и равным номинальному тока статора. Так при  $I_1/I_{1н}=0.7$  мощность  $P'$  должна быть на 28÷32% меньше его номинальной мощности.

Произведено исследование зависимости степени перегрева двигателя 4A225M4Y3 от величины его тока холостого хода. В основу этого исследования положено использование эквивалентной тепловой схемы (ЭТС) [3, с.50-85] указанного двигателя. В качестве контрольной точки взята температура перегрева лобовой части его статорной обмотки. При исследовании предполагалось, что мощность на валу двигателя является неизменной и равной его номинальной мощности. Греющие потери представлялись в виде постоянных (потери в стали, механические и дополнительные потери) и переменных, которые были приняты пропорциональными квадратичной зависимости от токов стато-

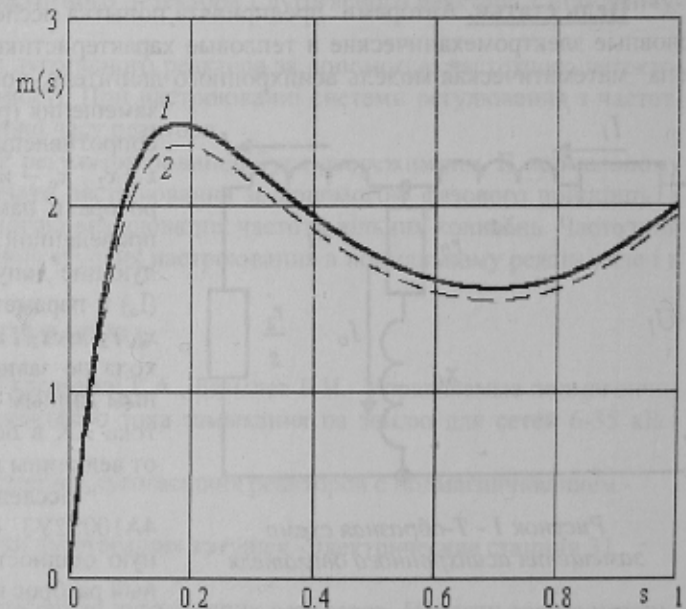


Рисунок 2 – Механические характеристики двигателя 4A100S2Y3: 1 – при  $I_0/I_{1н}=0.2$ ; 2 – при  $I_0/I_{1н}=0.7$

ра и ротора соответственно. Постоянные потери были приняты такими же как и в номинальном режиме работы двигателя. При определении переменных греющих потерь использованы данные табл.1, а также данные, которые определялись в процессе выше указанного исследования, но в табл.1 отражения не нашли.

В табл. 3 приведены значения перегрева  $\Theta$  лобовой части статорной обмотки двигателя при его работе в режиме S1 в долях от установившегося перегрева  $\Theta_y$  при каталожном значении тока холостого хода и изменении  $I_0/I_{1n}$  от 0.2 до 0.7.

Таблица 3 – Перегрев лобовой части статорной обмотки двигателя 4A225M4Y3 при его работе в режиме S1 и при различных значениях величины тока холостого хода

$I_0/I_{1n}$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
$\Theta/\Theta_y$	0.97	1.02	1.07	1.14	1.216	1.3

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что при возрастании тока ХХ увеличивается температура перегрева узлов АД. Так перегрев лобовой части статорной обмотки двигателя 4A225M4Y3 в режиме S1 при  $I_0/I_{1n}=0.7$  на 30% превышает установившуюся температуру перегрева этого же узла двигателя при каталожном значении тока ХХ.

**Вывод.** По результатам исследований определено существенное влияние тока холостого хода как на электромагнитные, так и на тепловые характеристики асинхронных двигателей. На конкретных примерах показано изменение этих характеристик с количественной стороны. В частности установлено, что при поддержании неизменным и равным номинальному тока статора и возрастании тока ХХ до 0.7 от номинального тока АД его мощность нужно уменьшать на 28-32% по сравнению с номинальной, а при поддержании неизменным и равным номинальному момента на валу АД перегрев некоторых узлов двигателей может на 30% превышать установившуюся температуру перегрева этих же узлов АД при каталожном значении тока ХХ. Изменение тока холостого хода при исследовании обосновывалось в основном его функциональной зависимостью от величины воздушного зазора АД. Что касается влияния характеристик магнитной системы двигателей на их энергетические и тепловые показатели, то это требует дополнительных комплексных исследований. При этом следует учитывать не только изменение потерь в стали и параметров намагничивающего контура, но и величин реактивных сопротивлений  $x_1$  и  $x_2$ . Подобные исследования дадут возможность судить не только о характеристиках двигателя, но и по результатам приемо-сдаточных испытаний судить о возможных нарушениях технологического процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Радин В.И., Брускин Д.Э., Зорохович А.Е. Электрические машины: Асинхронные машины. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
2. Вареник Е.А., Фёдоров М.М., Денник В.Ф. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным. Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2005. – 304 с.
3. Фёдоров М.М. Развитие теории и разработка методов прогнозирования теплового состояния электрических машин при нестационарных режимах их работы: Рукоп. диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Донецк, 2002 – 380 с.