

УДК 621.313.333

М.Е. Огарков, А.В. СкоробогатовПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ
ГЛАВНЫХ РАЗМЕРОВ ЛИНЕЙНЫХ
АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

В работе представлены рабочие характеристики асинхронных двигателей мощностью 110 кВт электропривода вентилятора ВМЭ-12, полученные в результате их электромагнитного расчета на номинальные напряжения 660, 1140, 6000 В. Приведена математическая модель электротехнического комплекса «источник напряжения – кабельная линия – асинхронный двигатель», реализованная в среде Simulink, на которой исследовались переходные пусковые режимы двигателей. Сравнительный анализ рабочих характеристик и переходных пусковых режимов показал, что для вентилятора ВМЭ-12 лучшие показатели имеет двигатель с номинальным напряжением 6000 В.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, рабочие характеристики, математическая модель: «источник напряжения – кабельная линия – асинхронный двигатель», пусковые режимы.

M.E. Ogarkov, A.V. Skorobogatov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**SOME PRACTICAL RECOMMENDATIONS
FOR DETERMINATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS
OF LINEAR ASYNCHRONOUS ENGINES**

Some performance characteristics of 110 kW asynchronous engines of VME-12 fans are being presented in the article. They have been worked out for engines having rated voltage of 660 V, 1140 V, 6000 V. Mathematical model of an electrotechnical complex “power source – cables – asynchronous engine” has been given. It was implemented in Simulink modeling system and used for Mathematical model of an electrotechnical complex “power source – cables – asynchronous engine analysis of transitional starting modes of engines. Comparative analysis of characteristics and transitional starting modes has proved that VME-12 fan have the best performance when powered by 6000 V engine.

Keywords: asynchronous engine, performance characteristics, mathematical model “power source – cables – asynchronous engine”, starting modes of engines.

Определение главных размеров линейных асинхронных двигателей (ЛАД) является важным этапом их проектирования. Ошибки, допущенные при определении главных размеров, окончательно определяются лишь на конечном этапе проектирования, когда рассчитываются рабочие и пусковые характеристики двигателя. При расхождении результатов расчета с заданными значениями тягового усилия и энергетических показателей необходимо внести поправки в ранее принятые проектные решения и повторить все расчеты, что ведет к увеличению затрат на проектирование. То есть проектирование ЛАД ведется методом последовательных приближений, и успех дела сильно зависит от точности задания первоначальных приближенных значений энергетических показателей и электромагнитных нагрузок.

Проектирование обычных асинхронных двигателей вращательного действия (АД) также ведется методом последовательных приближений. Основными исходными данными являются мощность и скорость вращения, которая однозначно связана с числом пар полюсов:

$$n_1 = 60f_1/p, \quad (1)$$

где f_1 – частота сети, p – число пар полюсов, n_1 – частота вращения магнитного поля.

Первоначальные приближенные значения энергетических показателей и электромагнитных нагрузок АД задаются в виде таблиц и графиков, в которых обобщен огромный опыт проектирования таких машин. Входными параметрами в этих таблицах и графиках являются мощность и число пар полюсов АД [1, 2, 3].

Скорость движения ЛАД зависит не от числа пар полюсов, а от длины полюсного деления:

$$V_1 = 2\tau \cdot f_1, \quad (2)$$

где f_1 – частота сети, τ – длина полюсного деления, V_1 – скорость бегущего поля.

Поэтому первоначальные приближенные значения удельного тягового усилия и энергетических показателей ЛАД необходимо увязывать с длиной полюсного деления. Выполненные нами исследования показали, что первоначальные приближенные значения показателей ЛАД целесообразнее увязывать не с длиной полюсного деления, а с отношением длины полюсного деления к воздушному зазору:

$$\tau_\delta = \tau/\delta, \quad (3)$$

где τ_δ – относительная длина полюсного деления, δ – зазор между индуктором и вторичным элементом ЛАД.

Относительная длина полюсного деления является весьма важным показателем всех типов асинхронных двигателей. При уменьшении τ_δ возрастает ток холостого хода и снижаются энергетические показатели двигателя. Относительная длина полюсного деления оказывает весьма значительное влияние на величину магнитного поля в зазоре и тяговое усилие ЛАД. Согласно [5] магнитную индукцию в зазоре ЛАД можно найти по формуле

$$\dot{B}_m = \frac{-i \cdot 2\sqrt{2}\mu_0 A \tau_\delta}{\pi(1 + \beta_x + i\varepsilon)}, \quad (4)$$

где \dot{B}_m – комплексная амплитуда индукции в зазоре, μ_0 – магнитная проницаемость в вакууме, A – линейная токовая нагрузка, β_x – безразмерный коэффициент, учитывающий насыщение стали магнитопровода, ε – электромагнитное скольжение.

Удельное тяговое усилие на единицу площади активной поверхности индуктора $F_{уд}$ можно найти по [5].

$$F_{уд} = \frac{4\mu_0 A^2 \varepsilon \tau_\delta}{\pi[(1 + \beta_x)^2 + \varepsilon^2]}. \quad (5)$$

Из формул (4) и (5) видно, что относительная длина полюсного деления действительно оказывает сильное влияние на магнитную индукцию \dot{B}_m и удельное тяговое усилие $F_{уд}$.

Нами были выполнены расчеты и построены графики зависимости магнитной индукции, удельного тягового усилия и энергетических показателей от относительной длины полюсного деления при трех значениях мощности ЛАД. Эти графики показаны на рис. 1–4. При $\tau_\delta > 150$ эти графики базируются на данных асинхронных двигателей серии 4А [4]. При $\tau_\delta < 150$ использованы результаты многолетних исследований [4, 5].

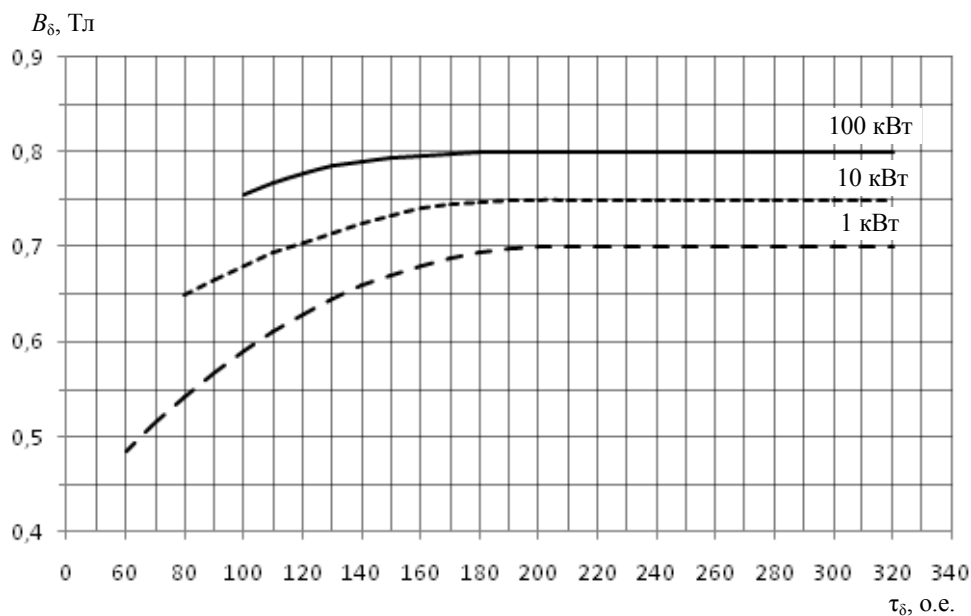


Рис. 1. Приближенные значения магнитной индукции в зазоре ОЛАД при номинальной мощности двигателя 1, 10 и 100 кВт

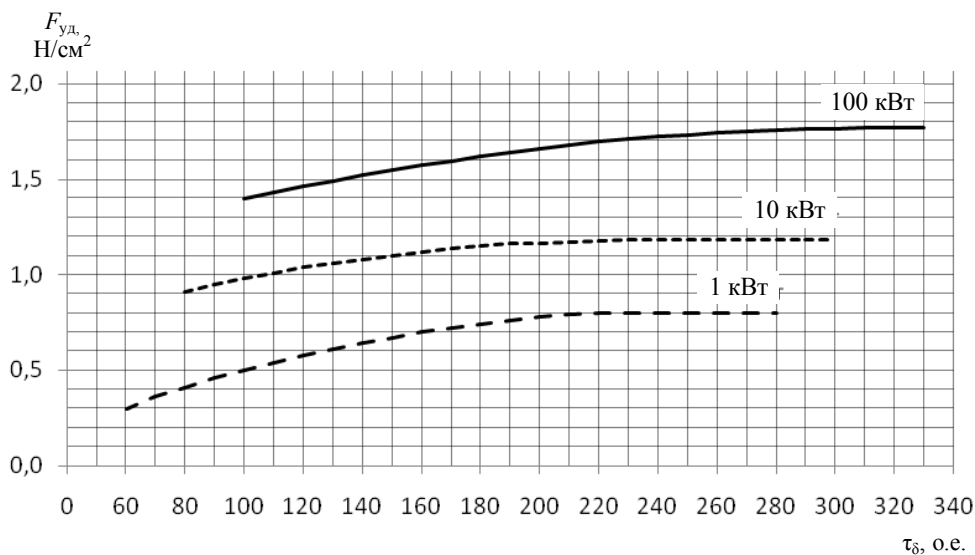


Рис. 2. Приближенные значения удельного тягового усилия при номинальной мощности двигателя 1, 10 и 100 кВт

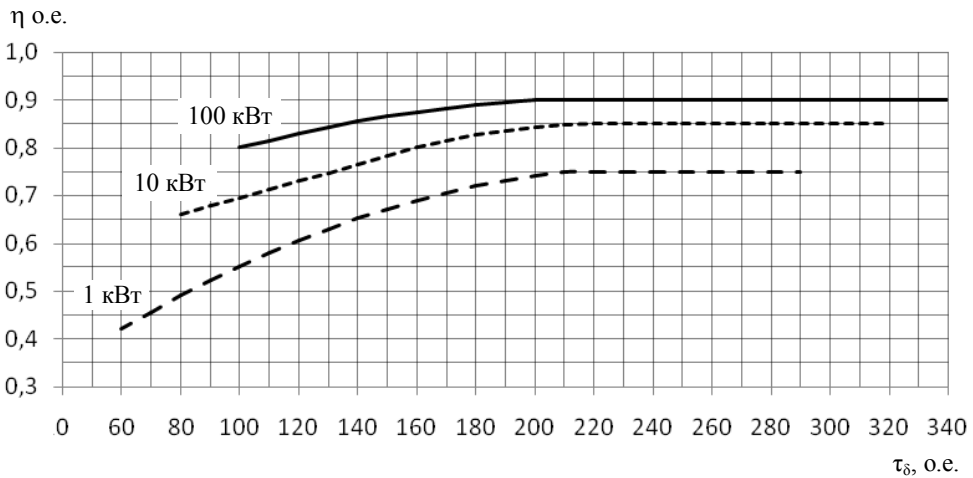


Рис. 3. Приближенные значения коэффициента полезного действия при номинальной мощности двигателя 1, 10 и 100 кВт

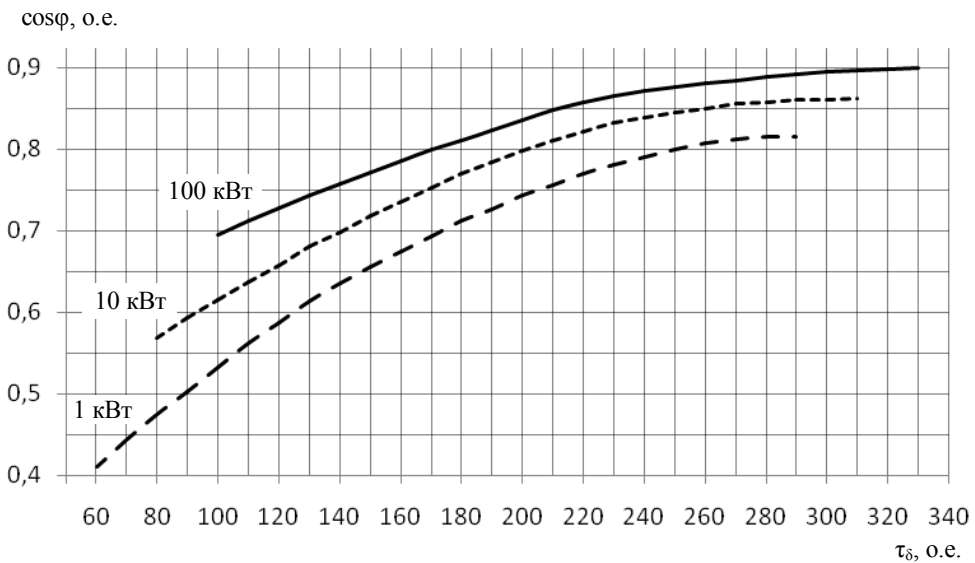


Рис. 4. Приближенные значения коэффициента мощности при номинальной мощности двигателя 1, 10 и 100 кВт

Определение главных размеров ЛАД при заданных значениях тягового усилия F , скорости движения V , напряжения U_1 и частоты сети f_1 можно выполнить в следующей последовательности:

1) выбираем воздушный зазор δ , исходя из конструкции и условий работы ЛАД;

2) определяем скорость бегущего поля: $V_1 = V / (1 - s_n)$, где s_n – номинальное скольжение;

3) находим из формулы (2) длину полюсного деления $\tau = V_1 / 2f_1$;

4) определяем механическую мощность ЛАД;

$$P_2 = F \cdot v; \quad (6)$$

5) находим относительную длину полюсного деления τ_δ по формуле (3);

6) по графику (см. рис. 2) находим приближенное значение удельного тягового усилия $F_{уд}$ и определяем площадь активной поверхности индуктора:

$$S_{и} = F / F_{уд}; \quad (7)$$

7) ширину магнитопровода индуктора желательно выбирать из условия

$$b \geq 0,5\tau. \quad (8)$$

При известной площади индуктора $S_{и}$ уменьшение ширины магнитопровода b позволяет увеличить длину магнитопровода и число полюсов, что ведет к снижению вредного влияния продольного краевого эффекта;

8) длина магнитопровода индуктора

$$l_1 = S_{и} / b; \quad (9)$$

9) определяем число пар полюсов:

$$p = l_1 / 2\tau. \quad (10)$$

Округляем p до целого числа и уточняем длину и ширину магнитопровода индуктора:

$$l_1 = 2p\tau, \quad (11)$$

$$b = S_{и} / l_1; \quad (12)$$

10) номинальный ток фазы индуктора

$$I_{ин} = \frac{P_2}{m_1 U_{1ин} \eta \cdot \cos \varphi}. \quad (13)$$

Значения коэффициента полезного действия η и коэффициента мощности $\cos \varphi$ берутся по рис. 3 и 4;

11) по рис. 1 находим приближенное значение магнитной индукции в зазоре B_δ и определяем магнитный поток:

$$\Phi = \alpha_\delta \tau \cdot b \cdot B_\delta. \quad (14)$$

При слабом насыщении зубцов коэффициент полюсного перекрытия α_δ можно принять равным 0,7 [1];

12) число витков фазы индуктора

$$W_1 = \frac{K_e U_1}{4,44 f_1 K_{\text{об}} \Phi}. \quad (15)$$

Для ЛАД можно принять $K_e = 0,9 \dots 0,95$ и $K_{\text{об}} = 0,95$;

13) линейная токовая нагрузка

$$A = \frac{I_{\text{лн}} \cdot W_1}{p \tau}. \quad (16)$$

Полученное значение A сравнивается с допустимым значением. При существенном отличии значений делается корректировка удельного тягового усилия и производится повторный расчет.

Изложенный выше способ определения главных размеров ЛАД рекомендуется применять при большом числе пар полюсов ($p > 5$), короткозамкнутой обмотке и шихтованном магнитопроводе вторичного элемента. При $p < 5$ и сплошном ферромагнитном вторичном элементе рекомендации по рис. 1–4 следует считать сугубо ориентировочными.

Библиографический список

1. Проектирование электрических машин / И.П. Копылов Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; под ред. И.П. Копылова. – М.: Высшая школа, 2005. – 767 с.
2. Сергеев С.П., Виноградов Н.В., Горяйнов Ф.А. Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 1969. – 632 с.
3. Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин / под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Высшая школа, 2001. – 430 с.
4. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / сост. А.Е. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 504 с.

5. Огарков Е.М. Квазитрехмерная теория линейных асинхронных двигателей. – Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2003. – 240 с.

6. Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. Линейные асинхронные двигатели. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.

Сведения об авторах

Огарков Евгений Матвеевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, профессор кафедры электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: lis@pstu.ac.ru).

Скоробогатов Алексей Владимирович (Пермь, Россия) – студент кафедры электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: suxel@yandex.ru).

About the authors

Ogarkov Evgeny Matveevich (Perm, Russian Federation) is PhD of Technical Sciences, Professor at the Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: lis@pstu.ru).

Trefilov Vladimir Alexeevich (Perm, Russian Federation) is a student of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: suxel@yandex.ru).

Получено 05.09.2013