

УДК 621.313.333

DOI 10.46960/2658-6754\_2022\_4\_38

## **МЕТОДИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

**К.Е. Кононенко**

ORCID: 0000-0002-8958-0499 e-mail: kekononenko@yandex.ru

Воронежский государственный технический университет

*Воронеж, Россия***А.В. Кононенко**

ORCID: 0000-0001-9549-2519 e-mail: anastkononenko@yandex.ru

Воронежский государственный технический университет

*Воронеж, Россия*

Традиционная методика расчета асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором основана на круговых диаграммах и схемах замещения, ее погрешность достигает 50 %. Погрешность численного метода конечных элементов сокращается до 1 %. Методику расчета асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором можно сделать существенно более точной даже без использования методов теории поля в явном виде. Достаточно учесть результаты громоздких и многолетних исследований, которые можно представить в виде ряда таблиц. Если пособия по проектированию асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором дополнить таким приложением, точность расчетов значительно возрастет. Знание площади поперечного сечения алюминия в роторе позволит без дополнительных экспериментальных исследований многократно уточнить получаемый результат.

**Ключевые слова:** асинхронный электродвигатель, конечно-элементный анализ, круговые диаграммы, методика расчета, электромагнитное поле, физическое моделирование.

**Для цитирования:** Кононенко К.Е., Кононенко А.В. Методика курсового проектирования асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором // Интеллектуальная Электротехника. 2022. № 4. С. 38-42. DOI: 10.46960/2658-6754\_2022\_4\_38

## **METHODOLOGY OF COURSE DESIGN OF ASYNCHRO- NOUS MOTORS WITH A SHORT-CIRCUITED ROTOR**

**К.Е. Kononenko**

ORCID: 0000-0002-8958-0499 e-mail: kekononenko@yandex.ru

Voronezh State Technical University

*Voronezh, Russia*

## A.V. Kononenko

ORCID: 0000-0001-9549-2519 e-mail: [anastkononenko@yandex.ru](mailto:anastkononenko@yandex.ru)

Voronezh State Technical University

Voronezh, Russia

**Abstract.** The traditional method of calculating asynchronous motors is based on pie charts and substitution schemes containing errors exceeding 50%. If the numerical finite element method is applied, the error is reduced to 1%. The calculation methodology of an asynchronous motor with a short-circuited rotor can be made significantly more accurate even without using the methods of field theory explicitly. To do this, it suffices to take into account the results of cumbersome and long-term studies, which can be presented in the form of a series of tables. If manuals for the design of asynchronous squirrel-cage motors are supplemented with such an application, the accuracy of the calculations will increase significantly. Knowing the cross-sectional area of aluminum in the rotor based on the results of our previous studies will allow to repeatedly refine the result obtained without additional experimental studies.

**Keywords:** asynchronous electric motor, finite element analysis, pie charts, calculation technique, electromagnetic field, physical modeling.

**For citation:** K.E. Kononenko and A.V. Kononenko, “Methodology of course design of asynchronous motors with a short-circuited rotor”, *Smart Electrical Engineering*, no. 4, pp. 38-42, 2022. DOI: 10.46960/2658-6754\_2022\_4\_38

### I. Введение

Электрическая машина – неотъемлемая часть энергетических установок [1]. Асинхронные двигатели (АД), как и другие электрические машины, изучаются на электротехнических факультетах многих вузов России, а курсовое проектирование по курсу «Электрические машины» входит в учебные планы специальностей «Электропривод», «Электроснабжение». Статья посвящена методике расчета АД с короткозамкнутым ротором.

Традиционная методика расчета основана на использовании схем замещения и круговых диаграмм, однако погрешности традиционного метода достигают 80 %. Использование метода, основанного на расчете электромагнитного поля, позволяет снизить погрешность до 1 % [2]. Самый эффективный метод расчета поля – численный метод конечных элементов, но для вычислений требуются дорогостоящие программные комплексы и высокопроизводительные компьютеры.

Предлагаемый авторами подход опирается на результаты многолетнего опыта использования метода конечных элементов в расчете АД. Установлено, что, кроме числа пазов статора и ротора, необходимо учитывать и площадь одного паза. Умноженная на число пазов ротора, площадь одного паза даст суммарное сечение проводникового материала в поперечном сечении ротора.

Одним из основных учебников по проектированию АД является [3]. Однако в нем не учтено, что при выборе пазов на АД с беличьей клеткой есть только два основных требования. Во-первых, число пазов ротора не может равняться числу пазов статора, во-вторых, площадь одного паза будет определяться справочными данными, в которых для каждого габарита указаны поперечные сечения алюминия в роторе. Необходимо отметить, что понятие площади паза ранее не применялось. Именно этим объясняется столь большое расхождение расчетов с экспериментами.

Для упрощения задачи расчета АД представлены результаты применения метода конечных элементов в АД. Данные представлены в виде таблицы, а их погрешность составляет не более 2 %. Использование представленных результатов может значительно упростить расчет при решении студентами учебных задач.

### II. Справка для студентов, проектирующих АД с короткозамкнутым ротором

В табл. 1 приведены справочные значения, необходимые при проектировании.

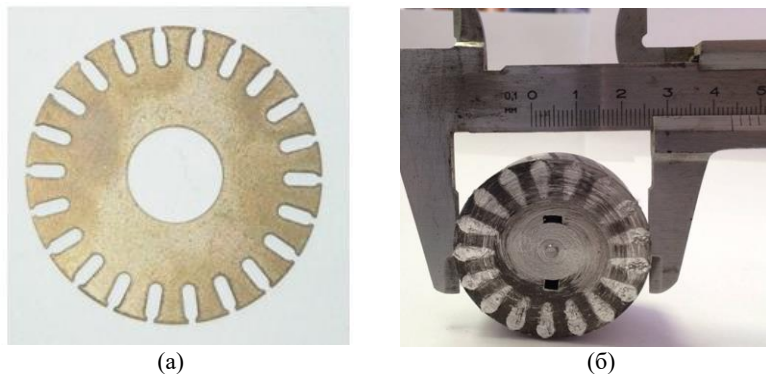
**Таблица 1.**  
Справочные данные

**Table 1.**  
Reference data

| Мощность,<br>Вт | Количество<br>полюсов, шт | Диаметр<br>ротора, мм | Воздушный<br>зазор, мм | Площадь<br>алюминия в<br>роторе, мм <sup>2</sup> |
|-----------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|--|
| 1,5             | 2                         | 18                    | 0,1                    | 43   |
| 120             | 2                         | 41                    | 0,25                   | 237  |
| 3000            | 4                         | 105                   | 0,3                    | 1265   |
| 5500            | 4                         | 125                   | 0,3                    | 1520   |
| 7500            | 4                         | 145                   | 0,35                   | 2014   |
| 11000           | 4                         | 145                   | 0,35                   | 2010   |
| 15000           | 4                         | 185                   | 0,5                    | 2750   |

Выбрав число пазов ротора и зная площадь поперечного сечения алюминия, можно определить площадь одного паза. Таблица позволяет без сложных расчетов электромагнитного поля определить конфигурацию листа ротора и правильно рассчитать энергоэффективного АД.

В качестве примера на рис. 1 приведен лист ротора энергоэффективного АД, который получен в результате расчета электромагнитного поля. Полученный лист отличается от стандартного листа, поскольку задачей исследования являлось создание энергоэффективного АД [4]. На рис. 2 приведен лист ротора стандартного АД.



**Рис. 1. АД мощностью 120 Вт:**  
*лист ротора энергоэффективного двигателя (а)  
и поперечное сечение ротора стандартного двигателя (б)*

**Fig. 1. 120 W induction motor:**  
*(a) rotor leaf of energy efficient motor and (b) rotor cross section of a standard motor*

### III. Заключение

Курсовое проектирование АД с короткозамкнутым ротором можно выполнить без привлечения сложных программ метода конечных элементов. Для этого следует использовать данные табл. 1. При выборе числа пазов на роторе необходимо принимать во внимание суммарную площадь алюминия обмотки ротора. Для двигателей, мощность которых отлична от параметров, представленных в таблице, следует провести предварительную оценку, которая будет точнее, чем отказ от понятия «площади поперечного сечения проводникового материала обмотки ротора». Данная методика позволяет спроектировать АД без применения сложных расчетов метода конечных элементов.

© Кононенко К.Е., 2022

© Кононенко А.В., 2022

Поступила в редакцию 20.06.2022

Received 20.06.2022

### Библиографический список

- [1] Костенко М.П. Электродинамическое моделирование энергетических систем. М.–Л.: АН СССР, 1959. – 406 с.
- [2] Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. М.: Энергия, 1980. – 928 с.
- [3] Копылова И.П. Проектирование электрических машин. М.: Энергия, 1980. – 495 с.
- [4] Юрканов В.В. Зубцовые зоны энергоэффективных трехфазных асинхронных

микродвигателей с короткозамкнутым ротором: автореф. дис. канд. тех. наук, МЭИ, Москва, 2015. – 18 с.

- [5] Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И., Соболевская Е.А. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1982. – 504 с.
- [6] Сабоннадьер Ж.-К., Кулон Ж.-Л. Метод конечных элементов и САПР. М.: Мир, 1989. – 190 с.
- [7] Сильвестр П., Феррари Р. Метод конечных элементов для радионженеров и инженеров-электриков. М.: Мир, 1986. – 229 с.

### References

- [1] M.P. Kostenko, *Elektrodinamicheskoe modelirovanie energeticheskikh system [Electrodynamic modeling of power systems]*. Moscow–Leningrad: AS USSR, 1959 (in Russian).
- [2] A.V. Ivanov-Smolensky, *Elektricheskie mashiny [Electrical machines]*. Moscow: Energy, 1980 (in Russian).
- [3] I.P. Kopylova, *Proektirovanie elektricheskikh mashin [Design of electrical machines]*. Moscow: Energy, 1980 (in Russian).
- [4] V.V. Yurkanov, “*Zubcovye zony energoeffektivnykh trekhfaznykh asinhronnykh mikrodvigateley s korotkozamknutym rotorom [Tooth zones of energy-efficient three-phase asynchronous micromotors with a squirrel-cage rotor]*”, Cand. of Tech. S. thesis, MPEI, Moscow, Russian, 2015 (in Russian).
- [5] A.E. Kravchik, M.M. Shlaf, V.I. Afonin and E.A. Sobolevskaya, *Asinhronnye dvigateli serii 4A: Spravochnik [Series 4A asynchronous motors: a handbook]*. Moscow: Energoatomizdat, 1982 (in Russian).
- [6] J.-C. Sabonnadière and J.-L. Coulomb, *Metod konechnykh elementov i SAPR [Finite element method and CAD]*. Moscow: Mir, 1989 (in Russian).
- [7] P. Sylvester and R. Ferrari, *Metod konechnykh elementov dlya radioinzhenerov i inzhenerov-elektrikov [Finite element method for radio and electrical engineers]*. Moscow: Mir, 1986 (in Russian).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Кононенко Константин Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, Российская Федерация

**Konstantin E. Kononenko**, D. Sci. (Eng.), professor of the Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

**Кононенко Анастасия Валентиновна**, кандидат технических наук, доцент Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, Российская Федерация.

**Anastasia V. Kononenko**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation