

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И ОПТИМИЗАЦИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ИХ СОЗДАНИЯ

В работе показано, что повышение класса энергоэффективности асинхронных двигателей в европейских странах достигается увеличением массы активных материалов. Это повышает стоимость электродвигателей. В Российской Федерации высокий класс энергоэффективности асинхронных двигателей достигается не за счет увеличения массы активных материалов, как это принято у европейских производителей, а за счет перераспределения массы меди одной трехфазной обмотки статора на две трехфазные обмотки и применения малогабаритного компенсирующего устройства – трехфазного конденсатора регламентированной емкости. Для создания энергоэффективных электродвигателей разработаны математические модели, алгоритм и программа для расчета и оптимизации стоимости капитального ремонта асинхронных электродвигателей с повышением класса энергоэффективности по стандарту IEG60034-30. Методика основана на учете технологических операций ремонта и модернизации асинхронных двигателей. Рассматриваются технологические операции традиционного ремонта и технологические операции ремонта с повышением класса энергоэффективности асинхронных двигателей. Трудозатраты и затраты материальных ресурсов рассчитываются по математическим моделям. Математические модели содержат параметры: номинальные данные ремонтируемого двигателя; размеры магнитной системы электрической машины; тип обмотки; форму паза; штатное расписание ремонтного участка; квалификацию ремонтного персонала; стоимость рабочего времени; длительность выполнения технологической операции; затраты материальных ресурсов и их цену; расходные коэффициенты. Результаты расчета трудовых и материальных затрат представляются пользователю по каждой технологической операции и ремонта в целом в виде таблиц и диаграмм. Разработка позволяет обосновать целесообразность модернизации традиционного асинхронного двигателя на асинхронный двигатель с индивидуальной компенсацией реактивной мощности ( $\cos\varphi=1,0$ ) повышенного класса энергоэффективности и осуществлять оптимизацию затрат на его создание. Программный комплекс рекомендуется специалистам электромашиностроительных и электроремонтных предприятий.

**Ключевые слова:** математическая модель, алгоритм, расчет, оптимизация, программа для ЭВМ, технология, ремонт, модернизация, асинхронный двигатель, стоимость, энергоэффективность.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений повышения энергоэффективности технологических участков промышленных предприятий является модернизация существующих электротехнических комплексов и систем на основе применения современных достижений науки и техники в области силовой электроники и электромашиностроения. Практикой доказано, что применение регулируемого электропривода переменного тока на основе частотных преобразователей (ПЧ) и асинхронных двигателей (АД) – систем «ПЧ-АД» позволяет экономить от 25 до 45% электрической энергии, повысить конкурентную способность выпускаемой продукции. Вместе с тем доля нерегулируемого асинхронного электропривода составляет не менее 65-70% от всего парка электроприводов переменного тока. В этих электроприводах, преимущественно, используются отечественные трехфазные асинхронные двигатели номинальной мощностью от 0,25 до 100 кВт, напряжением 380/220, 660/380 В с низким классом энергоэффективности IE1 по международному стандарту IEG60034-30 [1, 2].

Международный стандарт IEG60034-30 предусматривает ограничения на применение и изготовление АД с классом энергоэффективности IE1. Российское законодательство, директивные материалы правительства РФ обязывают потребителей и производителей АД изготавливать и применять в электротехнических комплексах асинхронные двигатели с высоким классом энергоэффективности – IE2, IE3. Применение таких АД, как показывает зарубежный опыт, позволяет по-

высить энергоэффективность электротехнических комплексов и систем на 2,5-4,5% [3-7]. Поэтому потребители и производители государств, входящих в ЕС, уже в 2015 году перешли на производство и применение АД с классом энергоэффективности IE2, IE3.

Повышение класса энергоэффективности АД в европейских странах достигается увеличением массы активных материалов – электротехнической стали, меди и алюминия. Повышение КПД АД на 1,5-3% достигается увеличением веса электротехнической стали на 30-35%, меди – на 20-25%, алюминия – на 10-20%. Это, естественно, повышает себестоимость и рыночную цену электрической машины. Для российских потребителей АД приобретение европейских энергоэффективных асинхронных двигателей, в связи с повышением курса доллара, становится недоступным, а отечественные производители АД продолжают выпускать двигатели низкого класса энергоэффективности IE1.

В ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» совместно с ООО НИИОКБ «Энергосбережение» и ООО «МГТУ-Энергосбережение +» (г. Магнитогорск) разработаны, исследованы, изготовлены и внедрены в различные электротехнические комплексы и системы опытно-промышленные энергоэффективные асинхронные двигатели (ЭАД) с классом энергоэффективности IE2, IE3.

Высокий класс энергоэффективности ЭАД достигается не за счет увеличения массы активных материалов АД, как это принято у европейских производителей, а за счет перераспределения массы меди одной трехфазной обмотки статора на две трехфазные обмотки и применения малогабаритного компенсирующего

устройства – трехфазного конденсатора регламентированной емкости.

#### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ЭАД

Отличительная особенность технических характеристик ЭАД заключается в том, что он, в отличие от энергоэффективных АД зарубежных производителей, в установившихся режимах работы не потребляет от источника питания (электросети) реактивную мощность (реактивный ток) индуктивного характера. Коэффициент мощности ЭАД равен единице ( $\cos\varphi=1,0$ ). Следовательно, при одинаковой полезной мощности АД и ЭАД последний потребляет значительно меньший ток. Например, трехфазный асинхронный двигатель с номинальной мощностью  $P_{2H}$  5 кВт, частотой вращения магнитного поля  $n_1=750$  об/мин, номинальным напряжением  $U_H=380/220$  В,  $\eta_{HАД}=90\%$ ,  $\cos\varphi_{HАД}=0,9$  и ЭАД такой же мощности, но с  $\cos\varphi_{HЭАД}=1,0$ ,  $\eta_{HЭАД}=0,92$  потребляют токи:

$$I_{1АД} = \frac{P_{2H}}{m \cdot U_H \cdot \eta_{HАД} \cdot \cos\varphi_{HАД}} =$$

$$= \frac{5000}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 9,35 \text{ А};$$

$$I_{1ЭАД} = \frac{P_{2H}}{m \cdot U_H \cdot \eta_{HЭАД} \cdot \cos\varphi_{HЭАД}} =$$

$$= \frac{5000}{3 \cdot 220 \cdot 0,92 \cdot 1,0} = 8,25 \text{ А}.$$

То есть ЭАД потребляет из электросети ток, который меньше тока АД на 12 %. Ток ЭАД создает меньшие потери активной мощности в силовой цепи электропривода и системе электроснабжения технологического участка – кабелях, коммутирующей и защитной аппаратуре, шинпроводах, силовых трансформаторах.

Известно, что потери активной мощности  $\Delta P$  пропорциональны квадрату тока  $I_1$  и определяются известной формулой

$$\Delta P = m \cdot I_1^2 \cdot R_{\Sigma}, \quad (3)$$

где  $m$  – число фаз;  $I_1$  – потребляемый ток;  $R_{\Sigma}$  – эквивалентное сопротивление силовой цепи электропривода и системы электроснабжения.

Сравним потери активной мощности от уменьшения тока ЭАД и выразим разницу потерь мощностей в процентах с потерями мощности от тока АД.

$$\Delta P = \Delta P_{АД} - \Delta P_{ЭАД}.$$

Токи, потребляемые АД и ЭАД, определяются отношениями:

$$I_{1АД} = \frac{K_3 P_{2H}}{m \cdot U_1 \cdot \eta_{АД} \cdot \cos\varphi_{АД}}; \quad (4)$$

$$I_{1ЭАД} = \frac{K_3 P_{2H}}{m \cdot U_1 \cdot \eta_{ЭАД} \cdot \cos\varphi_{ЭАД}}, \quad (5)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки двигателя;  $\eta_{АД}$ ,  $\eta_{ЭАД}$ ,  $\cos\varphi_{АД}$ ,  $\cos\varphi_{ЭАД}$  – коэффициенты полезного действия, коэффициенты мощности двигателей для заданных коэффициентов загрузки.

Выразим разность потерь активной мощности  $\Delta P, \%$  в силовой части электротехнического комплекса для случаев применения АД и ЭАД зависимостью

$$\Delta P, \% = \left( \frac{\Delta P_{АД} - \Delta P_{ЭАД}}{\Delta P_{АД}} \right) \cdot 100, \quad (6)$$

или с учетом выражений (3)-(5) зависимость (6) примет вид

$$\Delta P, \% = \frac{(\eta_{ЭАД}^2 \cos^2\varphi_{ЭАД} - \eta_{АД}^2 \cos^2\varphi_{АД}) 100}{\eta_{АД}^2 \cos^2\varphi_{АД}}. \quad (7)$$

Например, для двигателей мощностью 5 кВт при заданных выше номинальных данных КПД,  $\cos\varphi$  и  $K_3 = 1$  уменьшение потерь активной мощности в силовой части электропривода от применения ЭАД составляет

$$\Delta P, \% = \frac{(0,92^2 1,0^2 - 0,9^2 0,9^2) \cdot 100}{0,9^2 1,0^2} = 22,5\%.$$

То есть для рассматриваемого примера снижение потерь активной мощности в электротехническом комплексе от применения ЭАД составляет 22,5%. При коэффициентах загрузки двигателей  $K_3 < 1$  снижение потерь активной мощности возрастает, так как уменьшаются значения КПД и коэффициента мощности электрических машин.

Кроме того, применение ЭАД при проектировании новых электротехнических комплексов позволяет за счет уменьшения потребляемого тока снизить затраты на приобретение коммутирующей и защитной аппаратуры, кабельной продукции, силовых трансформаторов и шинпроводов системы электроснабжения. Применение ЭАД в действующих электротехнических комплексах позволяет сохранить ресурс вышеперечисленных элементов, увеличить энерговооруженность технологических участков, повысить средний взвешенный  $\cos\varphi$ .

Однако на создание ЭАД требуются дополнительные ресурсы – трудовые и материальные. Опыт создания ЭАД в условиях электроремонтных предприятий путем модернизации существующих АД при их капитальном ремонте показывает, что трудовые и материальные ресурсы увеличиваются на 15-28% от стоимости традиционного ремонта. Это обусловлено тем, что трудовые ресурсы растут за счет укладки в пазы статора двух трехфазных обмоток вместо одной трехфазной обмотки, применяемой при традиционном ремонте. Кроме того, возникают трудозатраты на пересчет обмоточных данных исходного двигателя на обмоточные данные ЭАД. Дополнительные ресурсы требуются на приобретение и создание блока компенсирующих конденсаторов.

При создании ЭАД, естественно, возникает проблема уменьшения дополнительных затрат. В этой связи разработаны алгоритм и программа для ЭВМ, по-

звolyающие количественно оценивать трудовые и материальные затраты [7]. Разработанный алгоритм и программа для ЭВМ не предусматривает оптимизацию вышеперечисленных затрат по заданным критериям.

#### ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

В данном разделе исследования поставлена задача по разработке алгоритма и программы, позволяющих осуществлять не только расчет себестоимости создания ЭАД, но и ее оптимизацию по заданным критериям, с учетом условий и ограничений на модернизацию АД в ЭАД.

В основу разработки положены известный алгоритм и технология модернизации АД в ЭАД [2,7]. Эти разработки дополнены модулем оптимизации. Блок-схема расчета и оптимизации себестоимости модернизации АД в ЭАД представлена на **рис. 1**.

После ввода исходных данных (блок 2) и расчета трудовых и материальных затрат (блок 3) осуществляется выбор вариантов оптимизации (блок 4):

1) оптимизация по варианту 1 (блок 5) предусматривает минимизацию трудовых и материальных затрат для заданного времени ремонта ( $T_3$ ) - так называемый «срочный ремонт»;

2) оптимизация по варианту 2 (блок 6) предусматривает минимизацию трудовых и материальных затрат при среднестатистическом времени ремонта  $T_{ср}$ .

Детализация алгоритма блока оптимизации по варианту 1 (блок 5) представлена на **рис. 2, а**. На **рис. 2, а**, блоки реализуют следующие функции:

- в блоке 5-1 осуществляется формирование вариантов сетевых моделей ремонта АД (модернизации АД в ЭАД) по критерию минимума себестоимости для заданного времени,  $T_3$ ;

- в блоке 5-2 осуществляется расчет критического времени  $T_{ki}$  выполнения  $i$ -й технологической операции, а также всего ремонта и расчета себестоимости  $C_i$  по  $i$ -м технологическим операциям всех вариантов сетевых моделей; в блоке 5-3 осуществляется выбор наилучшего варианта сетевой модели, обеспечивающего минимум времени ремонта, т.е. осуществляется выбор критического времени ремонта

$$T_K = \sum_{i=1}^{i=n} T_{Ki} \leq T_3,$$

где  $n$  – число технологических операций;

- в блоке 5-4 осуществляется расчет трудовых  $C_T$  и материальных  $C_M$  затрат и их сумма  $C = C_T + C_M$  для выбранного критического пути ремонта;

- в блоке 5-5 осуществляется сравнение суммарных затрат себестоимости  $C$  со среднестатистическими затратами  $C_{ср}$  на ремонт, рассчитанных в блоке 3. Если  $C > C_{ср}$ , расчет возвращается в блок 5-4 для минимизации трудовых ресурсов. Если  $C \leq C_{ср}$ , он принимается за оптимальный, и результаты подаются на вывод, блок 7.

При оптимизации по варианту 2 (**рис. 2, б**):

- в блоке 6-1 осуществляется формирование вариантов сетевых моделей ремонта (модернизации) по критерию минимума себестоимости при среднестатистическом времени ремонта;

- в блоке 6-2 осуществляется расчет себестоимости

$C = C_T + C_M$  и продолжительности ремонта  $T$  по вариантам сетевых моделей;

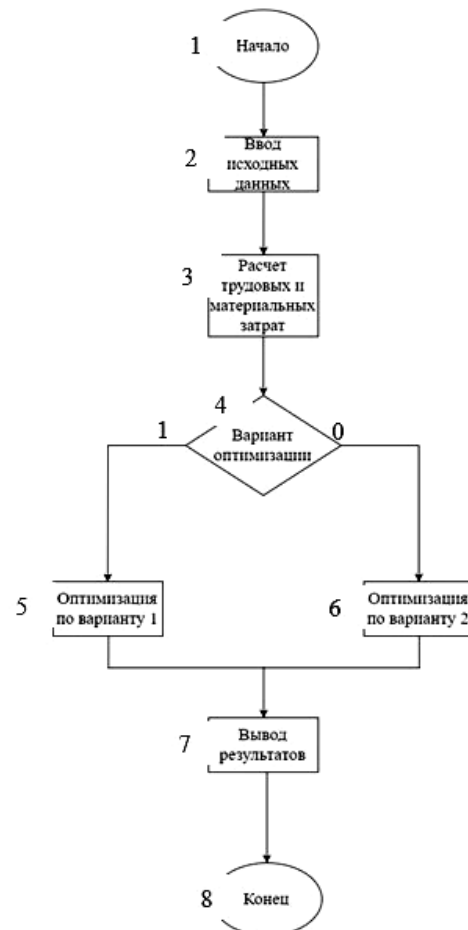
- на следующем этапе осуществляется выбор наилучшего варианта сетевой модели, обеспечивающего минимум себестоимости при среднестатистическом времени ремонта. Если  $C > C_{ср}$ , расчет возвращается в блок 6-2. Если  $C \leq C_{ср}$  и время ремонта  $T < T_{ср}$ , он принимается за оптимальный и осуществляется вывод результатов, блок 7.

Принципиальный отличительный признак формирования вариантов сетевых моделей при оптимизации заключается в следующем.

Формирование вариантов сетевых моделей при оптимизации себестоимости по варианту 1 предусматривает:

- выполнение параллельно максимального числа технологических операций, т.е. используется принцип разделения операций во времени;

- выполнение технологических операций с привлечением всех исполнителей с учетом штатного расписания и их квалификации.



**Рис. 1. Блок-схема расчета и оптимизации себестоимости модернизации АД в ЭАД**

Принцип формирования вариантов сетевых моделей при оптимизации себестоимости по пути 2 предусматривает:

- привлечение минимального числа исполнителей для выполнения технологических операций;
- выполнение технологических операций в соответствии с базовой схемой ремонта (модернизации) [2].

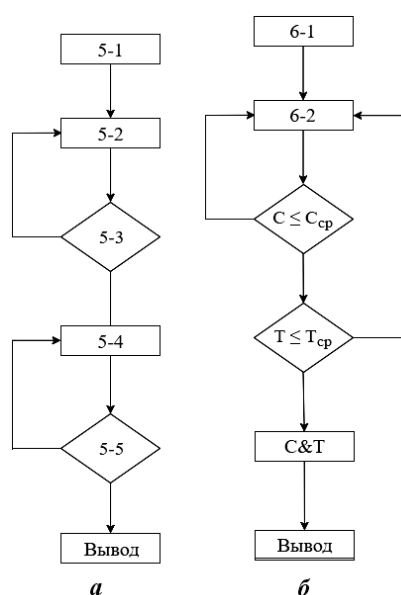


Рис. 2. Блок-схемы алгоритмов оптимизации по варианту 1 и 2

Формирование вариантов сетевых моделей при оптимизации по пути 1,2 осуществляется по логическим (переключательным) функциям, составленным на основе таблиц истинности.

При формировании вариантов сетевых моделей учитываются следующие условия и ограничения: число рабочих мест для выполнения  $i$ -й технологической операции; число специалистов с учетом их квалификации; возможность реализации  $i$ -й технологической операции одним или несколькими специалистами; число ремонтируемых (модернизируемых) электрических двигателей.

В таблицах истинности главными входными аргументами являются  $j$ -е специалисты  $m$ -й квалификации. Выходными аргументами таблицы истинности является реализация  $i$ -й технологической операции. Число вариантов сетевых моделей  $i$ -й технологической операции определяется уравнением  $k=2^n$ , где  $n=j^m$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Асинхронные двигатели с индивидуальной компенсацией реактивной мощности (ЭАД), обладающие  $\cos\varphi=1,0$  и электрическим КПД 90-91% с классом энергоэффективности IE1, эквивалентны европейским асинхронным двигателям, обладающим  $\cos\varphi=0,9-0,92$  и электрическим КПД 91,5-93 % с классом энергоэффективности IE2, IE3.

Дополнительные затраты на создание асинхронных двигателей с индивидуальной компенсацией реактивной мощности в 1,5-2,5 раза ниже, чем на создание европейских энергоэффективных двигателей, требующих увеличение массы активных материалов электри-

ческой машины.

Моделирование себестоимости ремонта (модернизации) АД в ЭАД в условиях электроремонтных предприятий с применением разработанных алгоритма и программы показало:

- оптимизация по варианту 1 для заданного времени ремонта ( $T_3$ ), так называемый «срочный ремонт», позволяет констатировать, что он требует увеличения трудозатрат  $C_T$  от 20 до 35%;
- оптимизация по варианту 2, предусматривающему минимизацию трудовых и материальных затрат при среднестатистическом времени ремонта,  $T_{ср}$ , позволяет уменьшить себестоимость ремонта (модернизации) не более 5-7 % за счет рационального использования трудовых ресурсов;
- разработка рекомендуется для специалистов электромашиностроительных и электроремонтных предприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мугалимов Р.Г. Асинхронные двигатели с индивидуальной компенсацией реактивной мощности и электроприводы на их основе: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2011. 250 с.
2. Мугалимов Р.Г., Мугалимова А.Р. Технология реконструкции традиционных асинхронных двигателей на энергосберегающие варианты // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №1. С. 56-61.
3. Экспериментальные исследования энергосберегающих электроприводов насосных агрегатов / Р.Г. Мугалимов, В.И. Косматов, А.Р. Мугалимова, А.Р. Губайдуллин // Известия вузов. Электромеханика. № 4. 2011. С. 95-101.
4. Мугалимов Р.Г., Мугалимова А.Р. Определение емкости компенсирующего конденсатора асинхронного двигателя с индивидуальной компенсацией реактивной мощности // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч. 4. С. 115-120.
5. Мугалимов Р.Г., Косматов В.И., Мугалимова А.Р. Математическое описание электропривода на основе энергосберегающего асинхронного двигателя с индивидуальной компенсацией реактивной мощности // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №2. С. 78-89.
6. Мугалимов Р.Г., Мугалимова А.Р., Боков А.И. Методика и аппаратно-программный комплекс для экспериментальной экспресс-оценки параметров схемы замещения асинхронных двигателей // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2014. Т.1, №2. С.44-50.
7. Мугалимов Р.Г., Закирова Р.А., Мугалимова А.Р. Программный комплекс для расчета и оптимизации себестоимости традиционного капитального ремонта и ремонта с повышением класса энергоэффективности асинхронных электродвигателей: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610278. Зарегистрирован в Реестре программ для ЭВМ 11.01.2016 г.

#### INFORMATION IN ENGLISH

### ENERGY EFFICIENT ASYNCHRONOUS MOTORS, THEIR TECHNICAL AND ECONOMIC ADVANTAGES AND COST OPTIMIZATION OF THEIR DEVELOPMENT

Mugallimov R.G., Zakirova R.A., Mugallimova A.R.

It is shown that increasing the energy efficiency class of asynchronous motors in European countries makes it possible to increase the weight of active material. This increases the cost of electric motors. In the Russian Federation the highest energy efficiency class of asynchronous motors is achieved not by increasing the weight of active material, as is common among European manufacturers, but by the redistribution of mass of copper of a single three-phase stator winding into two three-phase windings and the use of small-sized compensating device such as a regulated three-phase capacitor capacitance. To create energy-efficient electric motors, the research group developed mathematical models, algorithms and programs for calculation and optimization of the cost of major repairs of asynchronous motors with energy efficiency class standard IEG60034-30. The technique is based on the account of repair and modernization of asynchronous motors during manufacturing operations. We consider the process steps of traditional maintenance and repair as technological operations with energy efficiency classes of asynchronous motors. Mathematical models calculate labor costs and the cost of material resources. Mathematical models contain the following parameters: nominal data of the repaired engine; dimensions of the magnetic system of the electric machine; coil type; groove shape; staffing the repair site; qualified maintenance personnel; the cost of working time; the duration of technological operations; costs of material resources and their price; coefficient of materials consumption. The calculation results are presented to the user on labor and material costs for each processing operation and repairs as a whole in the form of tables and diagrams. The development makes it possible to prove the feasibility of the modernization of a traditional asynchronous motor to a asynchronous motor with individual compensation of reactive power of high energy class and energy efficiency and to carry out optimization of its development costs. The software package is recommended to professionals and electric machine building and maintenance enterprises.

**Keywords:** Mathematical model, algorithm, calculation, optimization, computer software, technology, repair, modernization, induction motor, energy efficiency.

## REFERENCES

1. Mugalimov R.G. *Asinkhronnye dvigateli s individualnoy kompensatsiyey reaktivnoy moshchnosti i elektroprivody na ikh osnove* [Induction Motors with Individual Compensation of Reactive Power and Electric Drives on Based on them]. Magnitogorsk, NMSTU. 2011, 250 p.
2. Mugalimov R.G., Mugalimova A.R. Technology for Reconstruction of Traditional Induction Motors to Energy Saving Variants. *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*. 2013, no.1, pp. 56-61.
3. Mugalimov R.G., Kosmatov V.I., Mugalimova A.R., Gubaidullin A.R. Eksperimentalnye issledovaniya energosberegayushchikh elektroprivodov nasosnykh agregatov [Experimental Studies of Energy Saving Electric Drives of Pump Units]. *News of universities. Electromechanics*. 2011, no.4, pp. 95-101.
4. Mugalimov R.G., Mugalimova A.R. Opredeleniye yemkosti kompensiruyushchego kondensatora asinkhronnogo dvigatelya s individualnoy kompensatsiyey reaktivnoy moshchnosti [Definition of Capacity of Compensating Capacitor Induction Motor with Individual Reactive Power Compensation]. *Proceedings of TulGU. Technical sciences*. 2010, issue 3, vol.4, pp. 115-120.
5. Mugalimov R.G., Kosmatov V.I., Mugalimova A.R. Mathematical Description of Electric Drive Based on Energy-saving Induction Motor with Individual Reactive Power Compensation. *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*. 2013, no.2, pp. 78-89.
6. Mugalimov R.G., Mugalimova A.R., Bokov A.I. Method and Firmware Complex for Experimental Rapid Assessments of Equivalent Circuit Parameters of Asynchronous Motor. *Russian Internet Journal of Electrical Engineering*. 2014, vol.1, no. 2, pp. 44-50.
7. Mugalimov R.G., Zakirova R.A., Mugalimova A.R. Software System for Calculation and Optimization of Cost of Traditional Overhaul and Repair to Increase Energy Efficiency Class of Induction Motors. Certificate of state registration of computer software 2016610278, registered in the Register of computer programs on 01.11.2016.

## Информация о других журналах издательства

«Автоматизированные технологии и производства» – это рецензируемое научное издание, предназначенное для публикации результатов научно-исследовательских работ, обобщающих исследования в технических отраслях знаний в высших учебных заведениях, научно-исследовательских институтах, крупных промышленных предприятиях, научно-производственных объединениях Российской Федерации, а также зарубежных авторов, и результатов исследований, выполненных по личной инициативе авторов. Журнал публикует научные статьи на русском и английском языках, с результатами научных исследований и практических достижений в области автоматизированных систем по следующим разделам: автоматизированные системы управления технологическими процессами; системы контроля и управления качеством и экологичностью продукции; математическое моделирование и программное обеспечение производственных процессов; технические средства автоматизации технологических процессов и производств; автоматизированные технологии в образовании; информационные системы в автоматизированном производстве.

Научно-технический и производственный журнал «Автоматизированные технологии и производства» включен в российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и размещается в научной электронной библиотеке.

Электронная версия журнала доступна:

- на информационном портале ФГБОУ ВПО «МГТУ» [www.mgtu.ru](http://www.mgtu.ru) (раздел «Автоматизированные технологии и производства»);
- на платформе eLIBRARY;
- в научной электронной библиотеке КиберЛенинка.