

Содержание

Электротехника, 2025, №11, стр. 2-8

Применение машинного обучения для прогнозирования расхода электрической энергии на насосных станциях водоснабжения

ВАНЬКОВ Я.С., ДЬЯКОНОВ С.Г., МИШУРИНСКИХ С.В., КАЛИНИН И.С.,
СЕМЕНОВ А.С.

Рассмотрены возможности снижения затрат на приобретение электроэнергии для насосных станций водоснабжающей организации. Оценена актуальность достижения необходимой точности прогнозирования расхода электрической энергии при смене ценовой категории электроэнергии. Предложена классификация дней недели, используемая при прогнозировании расхода электроэнергии; рассмотрен пример модели машинного обучения. Показана возможность повышения точности прогнозирования на основе ансамблевой модели *CatBoostRegressor*. Приведены описание и анализ результатов расчёта снижения затрат, полученных с использованием выбранной модели. Предложен вариант достижения максимального снижения затрат на приобретение электроэнергии, полученных при достигнутом качестве прогнозирования.

Ключевые слова: насосные станции водоснабжения, расход электрической энергии, прогнозирование затрат, машинное обучение, ансамблевая модель.

The possibilities of reducing the cost of purchasing electricity for pumping stations of a water supply organization are considered. The relevance of achieving the necessary accuracy in predicting the consumption of electric energy when changing the price category of electricity is assessed. A classification of the days of the week used in forecasting power consumption is proposed; an example of a machine learning model is considered. The possibility of increasing the accuracy of forecasting based on the *CatBoostRegressor* ensemble model is shown. The description and analysis of the cost reduction calculation results obtained using the selected model are given. The option of achieving the maximum reduction in the cost of purchasing electricity obtained with the achieved quality of forecasting is proposed.

Key words: pumping stations of water supply, electric energy consumption, cost forecasting, machine learning, ensemble model.

Электротехника, 2025, №11, стр. 9-16

Оптимизация режимов электропотребления нефтедобывающей скважины на основе машинного обучения

ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б., РОМОДИН А.В., ДАДЕНКОВ Д.А., ШМИДТ И.А., СЕМЕНОВ А.С., ЛУЗЯНИН Д.Ю., ЮЖАКОВ В.И.

Представлен инновационный подход к оптимизации режимов электропотребления нефтедобывающих скважин, оборудованных установками погружных центробежных насосов, на основе методов машинного обучения. Предложена комплексная система, сочетающая имитационное моделирование и нейросетевые алгоритмы, для прогнозирования и управления энергопотреблением с учетом технологических и геологических параметров скважин. В программной среде *SimInTech* разработана математическая модель, воспроизводящая электропотребление скважины. Погрешность модели составляет 2,8 %, модель учитывает взаимосвязь таких параметров, как дебит, динамический уровень жидкости, буферное давление и частота питающей сети, что позволяет анализировать энергопотребление в различных режимах эксплуатации.

Разработана нейросетевая модель для прогнозирования и оптимизации электропотребления, обученная на данных математического моделирования.

Предложена система управления энергетическими профилями нефтедобывающей скважины с двумя нейросетевыми регуляторами. Регулятор частоты для непрерывного режима работы обеспечивает поддержание заданного дебита при минимальном энергопотреблении. Регулятор дебита для периодического режима уменьшает эквивалентную потребляемую мощность путем оптимизации коэффициента использования насосной установки. Предложенные подходы соответствуют стратегии цифровизации нефтегазовой отрасли и могут быть использованы для развития и совершенствования систем автоматизации интеллектуального управления нефтяными скважинами, с целью уменьшения доли затрат на электроэнергию и обслуживание энергетического комплекса нефтегазодобывающих предприятий.

Ключевые слова: нефтедобывающая скважина, энергопотребление,

электротехнический комплекс, энергетическая эффективность, имитационное моделирование, машинное обучение, нейросетевой регулятор.

An innovative approach to optimizing the power consumption modes of oil-producing wells equipped with submersible centrifugal pump installations based on machine learning methods is presented. A comprehensive system combining simulation modeling and neural network algorithms is proposed for forecasting and managing energy consumption, taking into account technological and geological parameters of wells. A mathematical model has been developed in the SimInTech software environment that reproduces the electrical consumption of a well. The error of the model is 2.8%, the model takes into account the relationship of parameters such as flow rate, dynamic liquid level, buffer pressure and frequency of the supply network, which allows you to analyze energy consumption in various operating modes. A neural network model has been developed for forecasting and optimizing power consumption, trained on mathematical modeling data. A system for controlling the energy profiles of an oil well with two neural network regulators is proposed. The frequency controller for continuous operation ensures that the set flow rate is maintained with minimal power consumption. The flow rate regulator for the periodic mode reduces the equivalent power consumption by optimizing the utilization rate of the pumping unit. The proposed approaches correspond to the digitalization strategy of the oil and gas industry and can be used to develop and improve automation systems for intelligent control of oil wells, in order to reduce the share of electricity costs and maintenance of the energy complex of oil and gas producing enterprises.

Key words: oil production well, energy consumption, electrotechnical complex, energy efficiency, simulation modeling, machine learning, neural network regulator.

Электротехника, 2025, №11, стр. 16-21

Точечно-векторная оценка ударного тока мощных синхронных машин из опытов внезапного короткого замыкания

СУДАКОВ А.И., ЗИЯТДИНОВ И.Р.

Представлен точечный вариант оценок фазных ударных токов по результатам осциллографирования переходных процессов в опытах внезапного короткого замыкания. Результирующий ударный ток, определяющийся точечным способом, имеет

два основных направления: с учетом определения параметров идентификации составляющих тока статора и без него. Полученное уравнение ударного тока позволяет рассчитать ударный ток с учётом параметров идентификации всех его составляющих. При этом появляется возможность проверки оценки ударного тока на абсолютное равенство первой вершине в начальном узле сдвига фазного тока, либо обнаружить отклонение оценки ударного тока от её достоверного уровня.

Ключевые слова: синхронные турбомашинны, переходный процесс, ударный ток, внезапное короткое замыкание.

A point version of the estimates of phase shock currents based on the results of oscillography of transient processes in sudden short circuit experiments is presented. The resulting shock current, determined by the point method, has two main directions: taking into account the determination of the parameters for identifying the components of the stator current and without it. The resulting shock current equation allows us to calculate the shock current, taking into account the identification parameters of all its components. In this case, it becomes possible to check the shock current estimate for absolute equality of the first vertex at the initial phase current shift node, or to detect a deviation of the shock current estimate from its reliable level.

Key words: synchronous turbomachines, transient, shock current, sudden short circuit.

Электротехника, 2025, №11, стр. 22-26

Влияние технологических параметров на качество сшитой изоляции кабелей среднего и высокого напряжения

КОРЕЛИН А.А., ТРУФАНОВА Н.М.

Рассмотрены основные факторы, влияющие на степень сшивки пероксидосшиваемой полиэтиленовой изоляции кабелей среднего и высокого напряжения. Исследованием на ротационном реометре определены вулканизационные свойства, необходимые для расчета степени сшивки. На основе осесимметричной математической модели пероксидной сшивки в пакете ANSYSFluent получены температурные зависимости, позволяющие рассчитать конечную степень сшивки изоляции. Определено влияние геометрических размеров изолированной жилы, а также других технологических

параметров – скорости и температурного режима линии, на качество получаемой изоляции. Сделаны выводы о значимых и малозначимых факторах, влияющих на качество кабельной продукции высокого напряжения.

Ключевые слова: силовые кабели, полиэтиленовая изоляция, пероксидная сшивка, степень сшивки, непрерывная вулканизация.

The main factors influencing the degree of crosslinking of peroxide-crosslinking polyethylene insulation of medium and high voltage cables are considered. The vulcanization properties necessary for calculating the degree of crosslinking were determined by a study on a rotary rheometer. Based on an axisymmetric mathematical model of peroxide crosslinking in the ANSYSFluent package, temperature dependences are obtained that allow calculating the final degree of insulation crosslinking. The influence of the geometric dimensions of the insulated core, as well as other technological parameters, such as the speed and temperature regime of the line, on the quality of the resulting insulation, is determined. Conclusions are drawn about significant and insignificant factors affecting the quality of high-voltage cable products.

Key words: power cables, polyethylene insulation, peroxide crosslinking, degree of crosslinking, continuous vulcanization.

Электротехника, 2025, №11, стр. 27-32

Автоматизированная система управления робототехническим комплексом электроэрозионной обработки деталей

КУРУШИН Д.С., ДУХАНИН А.В., ЛАРИОНОВ А.А., ГЛАВАТСКИХ В.О.

Представлены результаты разработки автоматизированной системы управления робототехническим комплексом электроэрозионной обработки (ЭЭО) деталей.

Рассмотрены аспекты проектирования аппаратно-программного комплекса, включая кинематическое моделирование манипулятора, разработку модуля управления и определение оптимальных параметров обработки. Особое внимание уделено вопросам интеграции шестиосевого робота-манипулятора с ЭЭО-головкой и созданию специализированного интерфейса управления на базе микроконтроллера *Raspberry Pi Pico*. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность предложенных технических решений.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, робототехнический комплекс,

автоматизированная система управления, кинематическое моделирование, микроконтроллерное управление.

The results of the development of an automated control system for a robotic complex of electroerosion treatment (EET) of parts are presented. The design aspects of the hardware and software complex are considered, including kinematic modeling of the manipulator, development of the control module and determination of optimal processing parameters. Special attention is paid to the integration of a six-axis robot arm with an EET head and the creation of a specialized control interface based on the *Raspberry Pi Pico* microcontroller. The results of experimental studies confirming the effectiveness of the proposed technical solutions are presented.

Key words: electroerosion treatment, robotic complex, automated control system, kinematic modeling, microcontroller control.

Электротехника, 2025, №11, стр. 33-38

Влияние наработки и простоев оборудования на потери мощности в электротехническом комплексе установок электроцентробежных насосов нефтяных скважин

ЛЕЙЗГОЛЬД К.А., ЛЕЙЗГОЛЬД Д.Ю., БОЧКАРЕВ С.В., БАЖЕНОВ М.Е.

Рассмотрен алгоритм определения удельных потерь мощности в кабельной линии, погружном электродвигателе и насосе. Расчетные значения потерь приведены к удельным значениям по отношению к дебиту жидкости в рабочей точке, плотности жидкости, напору в рабочей точке и др. значимым параметрам. Получены коэффициенты корреляции удельных потерь в зависимости от наработки и простоя оборудования. Выявленные зависимости могут послужить дополнительным фактором при планировании технического обслуживания и ремонта скважин с целью снижения себестоимости добычи нефти.

Ключевые слова: установки электроцентробежных насосов нефтяных скважин, электротехнический комплекс, потери мощности, наработка и простой оборудования, техническое состояние.

An algorithm for determining specific power losses in a cable line, a submersible electric motor, and a pump is considered. The calculated loss values are reduced to specific values in relation to the flow rate of the liquid at the operating point, the density of the liquid, the pressure at the operating point, etc. significant parameters. Correlation coefficients of specific losses depending on operating time and equipment downtime are obtained. The identified dependencies can serve as an additional factor in planning well maintenance and repair in order to reduce the cost of oil production.

Key words: installations of electric centrifugal pumps of oil wells, electrotechnical complex, power losses, operating time and downtime of equipment, technical condition.

Электротехника, 2025, №11, стр. 39-45

**Интеллектуальное управление выходным напряжением
повышающего/понижающего преобразователя с гальванической развязкой
ЮЖАКОВ А.А., СТОРОЖЕВ С.А., НИКУЛИН В.С.**

Представлен подход к разработке интеллектуальной системы управления повышающим/понижающим DC-DC преобразователем на базе интегрального стабилизатора напряжения XL6019. Рассмотрены схемотехнические и программные решения, направленные на формирование стабилизированного выходного напряжения при изменяющихся входных параметрах. Управление реализовано с использованием микроконтроллера Arduino, генерирующего ШИМ-сигнал, который подаётся на цепь обратной связи через опторазвязку. Для обеспечения адаптивного регулирования предложено использование нейронной сети на базе персептрона, что позволяет компенсировать нелинейности и повысить точность регулирования. Интерфейс пользователя разработан в среде Visual Studio, что обеспечивает визуализацию параметров и гибкую настройку системы. Экспериментальные результаты показали преимущества предложенного решения по сравнению с классической схемой на операционных усилителях: лучшая точность стабилизации, меньшее время выхода на установившееся значение, меньшее число итераций пересчёта. Представленный подход может быть эффективно применён в разработке энергоэффективных источников питания с гибкой архитектурой управления, а также в системах, работающих в условиях нестабильных входных напряжений.

Ключевые слова: повышающий/понижающий преобразователь, гальваническая развязка, стабилизация напряжения, цифровое управление.

An approach to the development of an intelligent control system for a step-up/step-down DC-DC converter based on an XL6019 integrated voltage stabilizer is presented. Circuit design and software solutions aimed at generating a stabilized output voltage with varying input parameters are considered. The control is implemented using an Arduino microcontroller that generates a PWM signal that is fed to the feedback circuit through optical coupling. To ensure adaptive regulation, the use of a perceptron-based neural network is proposed, which makes it possible to compensate for non-linearities and improve the accuracy of regulation. The user interface is designed in the Visual Studio environment, which provides visualization of parameters and flexible system configuration. Experimental results have shown the advantages of the proposed solution in comparison with the classical scheme based on operational amplifiers: better stabilization accuracy, shorter steady-state time, fewer iterations of recalculation. The presented approach can be effectively applied in the development of energy-efficient power supplies with flexible control architecture, as well as in systems operating under unstable input voltages.

Key words: step-up/step-down converter, galvanic isolation, voltage stabilization, digital control.

Электротехника, 2025, №11, стр. 45-51

Адаптивный дробно-степенной ПИ-регулятор скорости вращения ротора синхронного двигателя с постоянными магнитами

СТОРОЖЕВ С.А., ЮЖАКОВ А.А.

Предложен алгоритм адаптации дробно-степенного ПИ-регулятора скорости вращения ротора к изменяющейся нагрузке синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ). Проведена компьютерная апробация адаптивного дробно-степенного ПИ-регулятора в составе системы автоматического управления (САУ) СДПМ с учетом динамической нагрузки на двигатель с помощью пакета прикладных программ MATLAB в среде моделирования Simulink. Результаты моделирования подтверждают работоспособность адаптивного дробно-степенного ПИ-регулятора скорости вращения

ротора СДПМ и повышение качества управления САУ.

Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами, адаптивный дробно-степенной ПИ-регулятор, система автоматического управления, алгоритм адаптации.

An algorithm for adapting a fractional-power PI-speed controller of the rotor to the varying load of a permanent magnet synchronous motor (PMSM) is proposed. A computer test of an adaptive fractional-power PI-controller as part of the automatic control system (ACS) of the PMSM has been performed, taking into account the dynamic load on the engine using the MATLAB application software package in the Simulink simulation environment. The simulation results confirm the operability of the adaptive fractional-power PI-speed controller of the PMSM rotor and improve the quality of ACS control.

Key words: permanent magnet synchronous motor, adaptive fractional-power PI-controller, automatic control system, adaptation algorithm.

Электротехника, 2025, №11, стр. 52-57

Численные исследования взаимных влияний между цепями симметричного кабеля связи с металлической оболочкой

ЩЕРБИНИН А.Г., ШИШКИН Д.А., СУББОТИН Е.В., ЧЕРНЯЕВ В.В.

Статья посвящена численным исследованиям электромагнитных процессов между двумя симметричными цепями кабеля связи с металлической оболочкой. Взаимные влияния между симметричными парами определяются распределением коэффициентов электрической и магнитной связей по длине кабеля, которые складываются из активных и реактивных составляющих. Как показывает практика, реактивные составляющие много больше соответствующих активных членов. Коэффициенты емкостной и индуктивной связей кабеля с металлической оболочкой вычисляются с помощью численных методов решения дифференциальных уравнений, описывающих соответствующие электромагнитные процессы. При построении математических моделей принимается, что электрическое и магнитное поля изменяются только в поперечном сечении кабеля. Решение двухмерных задач, описывающих изменение электрического потенциала и комплексной амплитуды продольной компоненты

векторного магнитного потенциала, выполнено методом конечных элементов в программном комплексе Ansys Maxwell. В результате решения поставленной задачи получены распределения ёмкостной и индуктивной связей по длине кабеля, по которым вычислены соответствующие средне интегральные характеристики и построены их зависимости от угла начальной фазы расположения второй пары при неизменном положении первой. Установлено влияние металлической оболочки на уровень взаимных помех, обусловленных действием электрического и магнитного полей.

Ключевые слова: симметричный кабель связи, металлическая оболочка, взаимные влияния, ёмкостная связь, индуктивная связь, математическое моделирование, численные методы.

The article is devoted to numerical studies of electromagnetic processes between two symmetrical circuits of a metal-sheathed communication cable. The mutual influences between symmetrical pairs are determined by the distribution of the coefficients of electric and magnetic bonds along the length of the cable, which consist of active and reactive components. As practice shows, the reactive components are much larger than the corresponding active members. The coefficients of capacitive and inductive coupling of a cable with a metal sheath are calculated using numerical methods for solving differential equations describing the corresponding electromagnetic processes. When constructing mathematical models, it is assumed that the electric and magnetic fields change only in the cross-section of the cable. The solution of two-dimensional problems describing the change in the electric potential and the complex amplitude of the longitudinal component of the vector magnetic potential is performed by the finite element method in the Ansys Maxwell software package. As a result of solving this problem, the distributions of capacitive and inductive connections along the length of the cable are obtained, from which the corresponding average integral characteristics are calculated and their dependences on the angle of the initial phase of the location of the second pair with the first position unchanged are plotted. The influence of the metal shell on the level of mutual interference caused by the action of electric and magnetic fields has been established.

Key words: symmetrical communication cable, metal sheath, mutual influences, capacitive coupling, inductive coupling, mathematical modeling, numerical methods.

Электротехника, 2025, №11, стр. 58-64

Полунатурное моделирование системы косвенной оценки электротехнических и технологических параметров для управления установкой электроцентробежного насоса

ЮДИН Р.Ю., ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б., СОЛОДКИЙ Е.М., САЛЬНИКОВ С.В.,
ВИШНЯКОВ Д.Д.

Рассмотрена физическая модель системы косвенной оценки электротехнических и технологических параметров для управления установкой электроцентробежного насоса на полунатурном лабораторном стенде. Представлены результаты полунатурного моделирования и составлено технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения разработанной системы.

Ключевые слова: установка электроцентробежного насоса, погружной электродвигатель, сигма-точечный фильтр Калмана, полунатурное моделирование.

A physical model of a system for indirect evaluation of electrical and technological parameters for controlling the installation of an electric centrifugal pump on a semi-natural laboratory stand is considered. The results of semi-natural modeling are presented and a feasibility study of the feasibility of implementing the developed system is compiled.

Keywords: installation of an electric centrifugal pump, submersible electric motor, sigma-point Kalman filter, semi-natural modeling.

Key words: electrical submersible pump, submersible electrical motor, unscented Kalman filter, semi-natural simulation.

Электротехника, 2025, №11, стр. 65-73

Улучшение динамических и статических характеристик электрогидравлических усилителей средствами адаптивного управления

ЛУКИЧЕВ А.Н., КУЗНЕЦОВ В.Е., КОНСТАНТИНОВ С.В.

Рассмотрено математическое представление электрогидравлического усилителя (ЭГУ) струйного типа с дефлектором. Приведена модель двухкаскадного ЭГУ с первым каскадом типа «струйная трубка» и вторым каскадом – золотниковый гидрораспределитель. Рассмотрено формирование нелинейной характеристики струйных усилителей с презентацией образуемых нелинейных зон различных

коэффициентов усиления при изменении давления в ЭГУ. Для улучшения характеристик ЭГУ, связанных с процессами кавитации жидкости в практических схемах, выполнено сравнение работы системы управления в модели и на техническом объекте ЭГУ. Для улучшения статической и динамической точности ЭГУ приведен синтез адаптивного алгоритма для ЭГУ с нелинейными характеристиками, обусловленными трудно формализуемыми процессами кавитации жидкости при изменении её температуры на реальном образце ЭГУ.

Ключевые слова: электрогидравлический усилитель, струйный усилитель с дефлектором, динамические и статические характеристики, адаптивное управление.

The mathematical representation of an electrohydraulic amplifier (EGU) of a jet type with a deflector is considered. A model of a two-stage ECU with a first cascade of the "jet tube" type and a second cascade - a spool valve is presented. The formation of a nonlinear characteristic of jet amplifiers is considered with a presentation of the formed nonlinear zones of various gain coefficients when the pressure in the ECU changes. To improve the characteristics of the ECU associated with the processes of liquid cavitation in practical circuits, a comparison of the operation of the control system in the model and at the technical facility of the ECU was performed. To improve the static and dynamic accuracy of the ECU, an adaptive algorithm is synthesized for an ECU with nonlinear characteristics due to difficult-to-formalize liquid cavitation processes when its temperature changes on a real sample of the ECU.

Key words: electrohydraulic amplifier, jet amplifier with deflector, dynamic and static characteristics, adaptive control.

Электротехника, 2025, №11, стр.74-81

Компьютерная модель генератора с ВТСП обмотками якоря для интеграции в модель системы высокого уровня

ИВАНОВ Н.С., КАДЕРОВ В.А., АХУНОВ М.Т., ШИШОВ Д.М., ЗАНЕГИН С.Ю.,
ЗУБКО В.В., КАЧАНОВ И.М.

Представлена компьютерная модель генератора мощностью 90 кВА с обмотками из высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) для интеграции в состав сложных

систем электроснабжения и электродвижения. В основе модели лежит классическая схема синхронной машины, дополненная блоками, учитывающими температурные и полевые зависимости критического тока в ВТСП лентах обмоток, а также гистерезисные потери на переменном токе в этих лентах. Расчеты выполнены методом конечных элементов, динамические режимы исследованы в среде Simulink. Показано, что модель позволяет оценить пределы работоспособности генератора и его тепловую нагрузку, а также реализовать функции защиты путем сравнения текущего и критического токов.

Ключевые слова: ВТСП генератор, ВТСП лента, система электроснабжения, потери на переменном токе, метод конечных элементов, среда Simulink.

A computer model of a 90 kVA generator with windings made of high-temperature superconductors (HTSC) is presented for integration into complex power supply and electric propulsion systems. The model is based on the classical synchronous machine circuit, supplemented with blocks that take into account the temperature and field dependences of the critical current in the high-power strips of the windings, as well as hysteresis losses on alternating current in these tapes. The calculations were performed using the finite element method, and the dynamic modes were studied in the Simulink environment. It is shown that the model makes it possible to estimate the operating limits of the generator and its thermal load, as well as to implement protection functions by comparing current and critical currents.

Key words: HTSP generator, HTSP tape, power supply system, alternating current losses, finite element method, Simulink environment.

Электротехника, 2025, №11, стр. 81-86

Методика проектирования электродвигателя силовой установки мультироторных беспилотных летательных аппаратов

ПИСАРЕВСКИЙ Ю.В., ПИСАРЕВСКИЙ А.Ю., БУРКОВСКИЙ А.В., ЧЕРНЫХ Т.Е.,
ТИКУНОВ А.В., ТИТОВА Л.Н.

Рассмотрено влияние параметров электрического двигателя на летно-технические характеристики мультироторного беспилотного летательного аппарата с учетом его назначения и особенностей эксплуатации. Для оптимального подбора винта и

электродвигателя для винтомоторной группы предлагается использовать экспериментально снятые тяговые характеристики винта и его энергетические показатели в зависимости от частоты вращения. Уравнения, аппроксимирующие полученные зависимости, позволяют выявить особенности и закономерности взаимного влияния электродвигателя и винта. Предложена методика проектирования электродвигателя винтомоторной группы беспилотного летательного аппарата с учетом его назначения и режима эксплуатации.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, электродвигатель, винтомоторная группа, коэффициент тяговооруженности.

The influence of the parameters of an electric motor on the flight characteristics of a multirotor unmanned aerial vehicle is considered, taking into account its purpose and operational characteristics. For optimal selection of the propeller and electric motor for the propeller group, it is proposed to use experimentally removed thrust characteristics of the propeller and its energy parameters depending on the rotation speed. The equations approximating the obtained dependences make it possible to identify the features and patterns of the mutual influence of the electric motor and the screw. A method of designing an electric motor of a propeller-driven group of an unmanned aerial vehicle is proposed, taking into account its purpose and operating mode.

Key words: unmanned aerial vehicle, electric motor, propeller group, thrust-to-weight ratio.

Электротехника, 2025, №11, стр.87-89

Авторы номера