

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ И НАДЕЖНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА УЭЦН

Ковалев В.З., Архипова О.В.

ФГБОУ ВПО «Югорский государственный университет», г. Ханты-Мансийск, vz_kovalev@mail.ru

Статья посвящена актуальной задаче повышения энергетических характеристик нефтедобывающего оборудования, одним из основных видов которого являются установки погружных электроцентробежных насосов.

Показана неразрывная связь двух совокупностей параметров установок погружных электроцентробежных насосов. Первая - энергетические характеристики, включая напорно-расходную характеристику, коэффициент полезного действия, мощность электромагнитную и т. д.; Вторая – надежность, как способность рассматриваемого оборудования сохранять значения вышеуказанных параметров в допустимых пределах в процессе эксплуатации. На этом основании обосновывается актуальность создания методики управления энергоэффективностью и надежностью электротехнических комплексов УЭЦН на стадии капитального ремонта.

Сформулированы восемь задач, решение которых позволит создать действенную, применимую на практике методику управления энергоэффективностью и надежностью электротехнических комплексов УЭЦН на стадии капитального ремонта.

Определено понятие «элементарная электрическая машина». Применительно к погружным электрическим двигателям элементарная электрическая машина (ЭЭМ) - часть собранного погружного электродвигателя (включая участок обмотки статора, участок вала, участок системы охлаждения) физически совпадающая с расположением единичного пакета ротора. Условная граница между элементарными электрическими машинами проходит ортогонально оси вращения ротора (пакета ротора) через середины примыкающих к пакету ротора подшипников.

Построена уточненная энергетическая структурная модель погружного электродвигателя, как элемента УЭЦН.

Сформулирована задача построения проблемно-ориентированного аппарата анализа, моделирования и экспериментального исследования погружного электродвигателя не только в сборе, но и поэлементно, как совокупности взаимодействующих «элементарных электрических машин».

Ключевые слова: энергоэффективность, надежность, управление, установки электроцентробежных насосов, погружной электрический двигатель.

MANAGEMENT TECHNIQUE OF ENERGY EFFICIENCY AND RELIABILITY OF ESP UNITS

Kovalev V.Z., Arkhipova O.V.

State Educational Institution of Higher Professional Education, "Yugra State University", Khanty-Mansiysk, vz_kovalev@mail.ru

The article covers the task of increasing energy characteristics of oil-production equipment, and its main type is ESP units.

Indissociability of two ESP profiles has been shown. The first is energy characteristics including head and rate, efficiency factor, electromagnetic capacity and others; The second is reliability as ability of the considered equipment to keep the values mentioned above within reasonable bounds during the exploitation process. This is a base to demonstrate the importance to develop management techniques of energy efficiency and reliability of ESP units under overhaul.

Eight problems have been posed, their solving would allow to develop an efficient and applicable management technique of energy efficiency and reliability of ESP units under overhaul.

The term "elementary electric machine" (EEM) has been defined. Relating to submersible electric motors the EEM is a part of an submersible electric motor (including stator winding area, shaft area, cooling system area) coinciding with a unit rotor pack position. Conventional border between EEM goes orthogonally to the axis of rotor spinning (rotor pack) through the centers of bearings joining the rotor pack.

A refined energetic structural model of a submersible electric motor as an element of ESP unit has been worked out.

The problem of building a task-oriented instrument of analysis, simulating and experimental researching of submersible electric motors not only as a set but also as separate elements of interacting "elementary electric machines" has been posed.

Key words: energy efficiency, reliability, management, electrical submersible pump unit, submersible electrical motor.

Нефтедобывающая отрасль, ключевая в экономике России, характеризуется очень высоким уровнем удельных затрат электроэнергии на производство единицы продукции - от 30 до 50 % от общей суммы затрат. В настоящее время повышение энергоэффективности технологического оборудования становится ключевой задачей развития национальной экономики. Опыт передовых стран показывает, что вложения средств в технологии снижения удельной энергоемкости и, соответственно ведущие к снижению потребляемой мощности, экономически выгоднее, чем ввод оборудования такой же мощности, при решении задач наращивания производства. Мультипликативный эффект от снижения удельной энергоемкости производства продукции приводит к трех-четыре-кратному снижению потребления первичной энергии природных ресурсов. Одновременно снижается и техногенная (удельная на единицу произведенной продукции) нагрузка.

При механизированной добыче нефти основным электротехническим комплексом и соответственно основным потребителем электрической энергии, являются установки электроцентробежных насосов (УЭЦН). Установки электроцентробежных насосов обеспечивают на сегодня более половины добычи нефти России [1].

Погружной асинхронный электродвигатель (ПЭД), основная составляющая погружного электрооборудования. Электроэнергия потребленная погружным электродвигателем в течении года, при номинальной нагрузке, по стоимости в несколько раз выше стоимости самого ПЭД. За этот же срок в нем преобразуется в тепловые потери электрической энергии стоимостью до половины цены самого ПЭД.

Истощение существующих нефтяных месторождений и рост мировых потребностей в первичных энергоресурсах порождает следующие тенденции. Первая - внедрение все более энергоактивных технологий повышения коэффициента извлечения нефти (КИН). Вторая - перемещение районов активной нефтедобычи в удаленные и труднодоступные регионы (например Арктический шельф). Третья – нарастают объемы добычи высоковязких нефтей и, как следствие использование технологий интенсификации ее добычи. Указанные тенденции неизбежно приводят к появлению повышенных суммарных энергозатрат на добычу единицы продукции.

Предварительные расчеты показывают, что снижение электропотребления УЭЦН на два процента, только в масштабах Ханты-Мансийского автономного округа, где действует более 63000 нефтедобычных скважин, позволит сэкономить более одного миллиарда кВт· час в год или более 2 млрд. руб. в год. [2]

Отмеченные выше обстоятельства делают актуальной задачей повышение энергетических характеристик нефтедобывающего оборудования, одним из основных видов которого являются установки погружных электроцентробежных насосов.[3]

Энергетические свойства УЭЦН характеризуются двумя совокупностями параметров. Первая - энергетические характеристики, включая напорно-расходную характеристику, коэффициент полезного действия, мощность электромагнитную и т.д. Вторая – надежность, как способность рассматриваемого оборудования сохранять значения вышеуказанных параметров в допустимых пределах в процессе эксплуатации. Отметим, что обе совокупности тесно взаимосвязаны, и в значительной мере определяют величину межремонтного периода (МРП).

Установившаяся практика эксплуатации УЭЦН требует многократного ремонта всех его составляющих, не смотря на достигнутый существенный рост МРП. Как правило, это осуществляется в специализированных предприятиях по ремонту погружного и наземного электрооборудования. Существующие на сегодняшний день технологии капитального ремонта не позволяют в полной мере управлять процессом ремонта в направлении повышения энергоэффективности УЭЦН. Основная причина – отсутствие оборудования способного идентифицировать энергетические характеристики и параметры всех составных элементов установки. Оцениваются с энергетической точки зрения лишь отдельно собранные крупные узлы, такие как погружной электродвигатель и центробежный насос. Оценка надежности узлов проводится опосредованно, через анализ данных накапливаемых в ходе эксплуатации и ремонта УЭЦН. [4]

Следовательно, возникает объективная необходимость создания, научно обоснованных методик и аппаратных средств измерения энергетических параметров и характеристик всех составных элементов УЭЦН, а так же построения теории и математического аппарата синтезирования (комплектации) УЭЦН оптимальной в смысле энергоэффективности и надежности.

Цель работы: создание методики управления энергоэффективностью и надежностью электротехнических комплексов УЭЦН на стадии капитального ремонта.

Поставленная цель требует решения следующего набора задач:

1. Разработать энергетическую структурную модель электротехнического комплекса УЭЦН, как совокупности взаимодействующих физически разнородных подсистем.
2. Исследовать электротехнический комплекс УЭЦН, как систему энергопреобразования с выделением силового или основного канала преобразования

энергии, определить структуру энергозатрат электротехнического комплекса УЭЦН и ранжировать каналы потерь энергии.

3. Определить экспериментально, существующие на современных ремонтных предприятиях, возможности по повышению энергоэффективности комплексов УЭЦН.

4. Выявить на базе структурного энергетического моделирования, минимальный состав идентифицируемых параметров электротехнического комплекса УЭЦН, достаточных для управления энергоэффективностью и надежностью электротехнических комплексов УЭЦН на стадии капитального ремонта.

5. Построить программно-аппаратный комплекс идентификации параметров УЭЦН.

6. Исследовать экспериментально характеристики основных идентифицируемых параметров УЭЦН (на примере погружного электродвигателя).

7. Построить математический аппарат синтезирования, на принципах селективной сборки, УЭЦН оптимальной в смысле энергоэффективности и надежности.

8. Применить построенный аппарат к селективной сборке УЭЦН оптимальной в смысле энергоэффективности и надежности.

Отметим, что настоящая статья посвящена решению первых двух задач из выше приведенных. Экспериментальный и теоретический материал, имеющийся у авторов и относящийся к решению задач 3-8, будет последовательно изложен в дальнейших публикациях.

Объект исследования: установка электроцентробежного насоса УЭЦН (ESP - electric submersible pump). В настоящей работе принят следующий состав УЭЦН: погружное оборудование и наземное оборудование.

Погружное оборудование: погружной электродвигатель (ПЭД), центробежный насос, гидрозащита, газосепаратор, обратный и сливной клапана.

Наземное оборудование: электрооборудование установки и устьевое оборудование скважины.

Наземное электрооборудование: комплектная трансформаторная подстанция, станция управления, трансформатор.

Кабельная линия - служит для подачи электроэнергии от трансформатора к погружному электродвигателю. Состав - наземный питающий кабель, основной кабель с удлинителем.

Основные условия работы УЭЦН, определяющие требования к его энергетическим свойствам и к надежности: содержание попутной воды – допустимо не свыше 99%, допустимая плотность жидкости извлекаемой из скважины - 700-1400 кг/м³; максимальная

кинематическая вязкость жидкости (однофазной), при обеспечении работы насоса с неизменными напором и коэффициентом полезного действия - 1 мм²/сек.; максимально допустимая температура пластовой жидкости - 150 °С. Так же есть ряд требований к максимальной массовой концентрации твердых частиц, максимальному содержанию свободного газа па приеме насоса, максимальной концентрации сероводорода и других, связанных в том числе, с конструктивными исполнениями – коррозионностойким или коррозионноизносостойким.

Наиболее распространенные погружные электродвигатели - асинхронные маслonaполненные с короткозамкнутыми роторами, вертикального исполнения. Как правило, такие двигатели двухполюсные с синхронной частотой вращения 3000 оборотов в минуту. Необходимость работы электродвигателя в скважине определяет такую конструктивную особенность, как его малый диаметр 96 -130 мм.

В настоящее время выпускают ПЭД на напряжения от 300 до 5000 В, с номинальной мощностью от 8 до 500 кВт, рабочим током от 18 до 180А. Малые диаметры и большие мощности приводят к длине двигателей превышающей 20 м.

Типовой состав асинхронного ПЭД: статор, короткозамкнутый ротор, головка и основание. Статор – пакеты шихтованные из электротехнической стали, как правило разделенные немагнитными вставками. Все это запрессовывается в корпус, представляющий собой трубу. Немагнитные вставки - играют роль опор для промежуточных подшипников ротора и существенно меняют картину магнитного поля в воздушном зазоре электродвигателя.

Активная часть статора и немагнитные вставки имеют пазы, как правило закрытые, в которые уложена трехфазная обмотка. Схема соединения обмотки статора - "звезда".

Короткозамкнутый ротор погружного электродвигателя – состоит из набора пакетов ротора, разделенных промежуточными немагнитными подшипниками. Пакеты ротора и подшипники, при сборке последовательно надеваются на вал. Вал ПЭД служит для передачи суммы электромагнитных моментов развиваемых пакетами ротора находящимися на валу. Вал погружного электродвигателя выполняется пустотелым и имеет боковые отверстия малого диаметра. Они обеспечивающие подачу охлаждающего масла к местам тепловыделения в электродвигателе. Пакеты ротора собираются из отдельных штампованных пластин электротехнической стали. В каждом пакете ротора находится медная короткозамкнутая обмотка в виде "беличьего колеса".

Корпус статора двигателя омывается пластовой жидкостью. Соответственно необходимым условием охлаждения ПЭД становится интенсивное движение пластовой

жидкости в кольцевом зазоре образованном корпусом электродвигателя и эксплуатационной колонной.

Приведенное выше описание состава и взаимодействия конструктивных частей УЭЦН однозначно показывает, что установки электроцентробежных насосов представляют собой совокупность физически разнородных подсистем взаимодействующих между собой и оказывающих взаимное влияние. Указанное обстоятельство требует создания и применения проблемно-ориентированных подходов [1,4]

Рассматриваемая задача управления построением энергоэффективного и отвечающего принятым критериям надежности УЭЦН, основана на предварительном анализе процессов преобразования энергии протекающих в его подсистемах и анализа их физической природы. В данном направлении ранее предложен аппарат энергетических структурных моделей (ЭСМ), вытекающий из закона сохранения и превращения энергии в формулировке сохранения баланса энергий при их взаимных превращениях (электрическая – магнитная – электрическая и др.) для замкнутой системы в любой момент времени [4]. Данное определение приводит к выделению базовых (не сводимых друг к другу) структурных элементов: сумматор, независимый источник энергии, приёмник (или потребитель) энергии, преобразователь энергии. Дополнительно рассматривается еще один элемент структурного энергетического моделирования, соответствующий передаче энергии одной физической природы без изменения ее количественных характеристик – силовой канал (здесь особо будем выделять силовой канал, служащий для выполнения основного технологического процесса).

Введем в рассмотрение понятие «элементарная электрическая машина» применительно к погружному электрическому двигателю.

Определение: элементарная электрическая машина (ЭЭМ) - часть собранного погружного электродвигателя (включая участок обмотки статора, участок вала, участок системы охлаждения) физически совпадающая с расположением единичного пакета ротора. Условная граница между элементарными электрическими машинами проходит ортогонально оси вращения ротора (пакета ротора) через середины примыкающих к пакету ротора подшипников. Соответственно введем в рассмотрение схему замещения элементарной электрической машины, применительно к ПЭД, как элементу УЭЦН. (рис. 1)

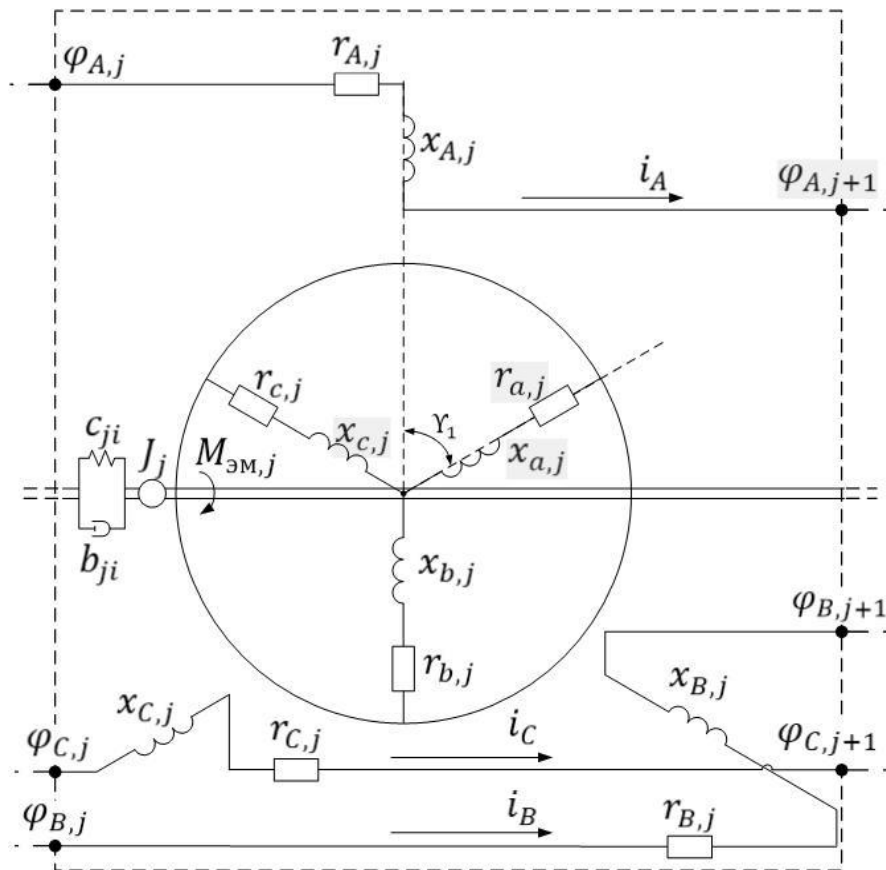


Рис. 1. Схема замещения элементарной электрической машины

Построенная на указанных выше принципах, энергетическая структурная модель отдельной элементарной системы электротехнического комплекса, представляет собой совокупность физически однородных элементарных систем, находящихся во взаимодействии и оказывающих взаимное влияние на протекающие в них процессы. Введение понятия «элементарная электрическая машина», позволило построить уточненную ЭСМ погружного электродвигателя (приведенный на Рис. 2 фрагмент ЭСМ ПЭД не включает в себя взаимодействие с тепловой подсистемой пластовой жидкости).

Отметим, что условные границы физически однородных элементарных систем (электрических, магнитных, гидравлических, тепловых и др.), могут не совпадать с физическими границами элементов составляющих анализируемую систему.

Структурирование исследуемых систем на основании предложенного подхода позволяет перейти от качественных характеристик (свойственных энергетическим диаграммам) к набору количественных, однозначно описывающих виды, взаимодействия и взаимное влияние энергий: обобщенные координаты j -ой элементарной системы, элементарные системы взаимодействующие с анализируемой элементарной системой, обобщенные координаты физически однородных элементарных систем находящихся во взаимодействии с элементарной системой N_j , обобщенные координаты N подсистем,

находящихся во взаимодействии с анализируемой элементарной системой, обобщенные скорости рассматриваемой элементарной системы, обобщенные координаты элементарной системы, обобщенные координаты каждой из элементарных систем, взаимодействующих с рассматриваемой элементарной системой, обобщенные скорости каждой из элементарных систем, находящихся во взаимодействии с анализируемой элементарной системой, обобщенные координаты всех элементарных систем, находящихся во взаимодействии с рассматриваемой элементарной системой, и упорядоченные по индексному номеру элементарной системы, обобщенные скорости элементарных систем, находящихся во взаимодействии с анализируемой, ранжированные по индексному номеру элементарной системы, энергия консервативной части элементарной энергии как сумма кинетической и потенциальной энергий; энергия отдельного независимого источника энергии одной физической природы; энергия взаимодействия элементарных систем.

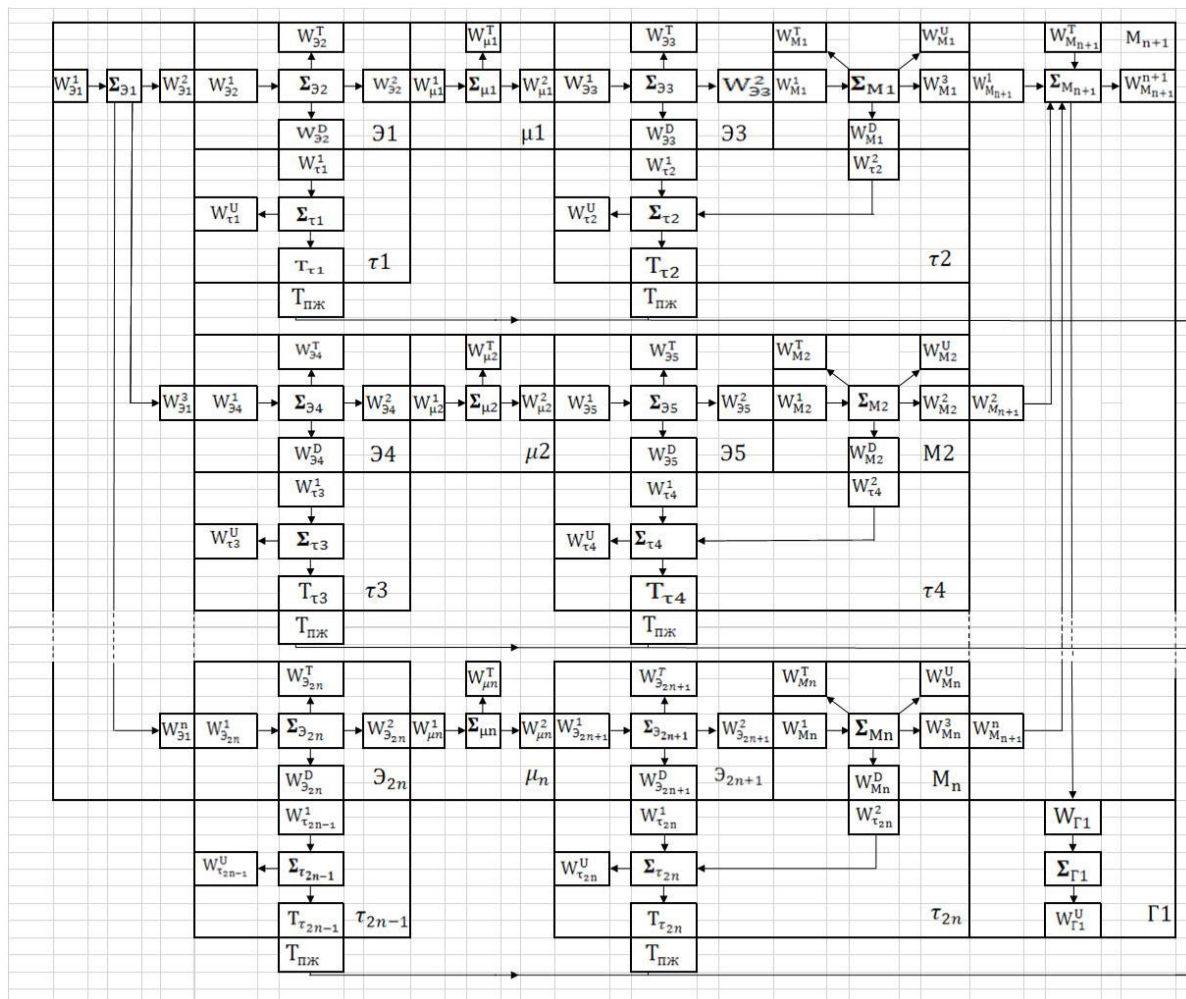


Рис. 2. Фрагмент ЭСМ ПЭД

Из рассмотрения части энергетической структурной модели УЭЦН, относящейся к погружному электродвигателю, с очевидностью вытекает, что основные потери сосредоточены в «элементарных электрических машинах» из которых структурно состоит

погружной электродвигатель. Выявленное обстоятельство требует построения проблемно-ориентированного аппарата способного анализировать, моделировать и экспериментально исследовать погружной электродвигатель, идентифицировать параметры его компонент, не только в сборе, но и поэлементно, как совокупность взаимодействующих «элементарных электрических машин» обладающих, в общем случае, своими энергетическими характеристиками каждый [5,3,6].

Сформулированные выше положения, задачи в совокупности с аппаратом энергетического структурного моделирования составляют основу методики управления энергоэффективностью и надежностью электротехнических комплексов УЭЦН на стадии капитального ремонта.

Выводы:

1. Показана актуальность создания методики управления энергоэффективностью и надежностью электротехнических комплексов УЭЦН на стадии капитального ремонта.
2. Сформулированы восемь задач, решение которых позволит создать действенную, применимую на практике методику управления энергоэффективностью и надежностью электротехнических комплексов УЭЦН на стадии капитального ремонта.
3. Определено понятие «элементарная электрическая машина» применительно к погружным электрическим двигателям.
4. Построена уточненная энергетическая структурная модель погружного электродвигателя, как элемента УЭЦН.
5. Сформулирована задача построения проблемно-ориентированного аппарата анализа, моделирования и экспериментального исследования погружного электродвигателя не только в сборе, но и поэлементно, как совокупности взаимодействующих «элементарных электрических машин».

Публикация подготовлена в рамках выполнения базовой части государственного задания №1681

Список литературы

1. Ковалев В.З., Мальгин Г.В., Архипова О.В., Математическое моделирование электротехнических комплексов нефтегазодобычи в задачах энергосбережения: монография. Департамент образования и науки ханты-мансийского авт. окр. - Югры, Югорский государственный университет. Ханты-Мансийск. 2008.
2. Ковалев В.З., Щербаков А.Г. Мониторинг вклада потребителей в ухудшение показателей качества электрической энергии // Вестник Югорского государственного

университета. Югорский государственный университет. Ханты-Мансийск. 2009. № 2. С. 45-49.

3. Ковалев В.З., Щербаков А.Г. Информационная система идентификации параметров математических моделей электротехнических комплексов // Системы управления и информационные технологии. ООО "Издательство "Научная книга". Воронеж. 2009. № 1 (35). С. 57-59.

4. Ковалев В.З. Моделирование электротехнических комплексов и систем как совокупности взаимодействующих подсистем различной физической природы // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Омск . 2000.

5. Ковалев В. З., Щербаков А. Г., Ковалев А. Ю. Идентификация параметров и характеристик математических моделей электротехнических устройств: монография. Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. Образования, "Омс. гос. техн. ун-т". Омск. 2005.

6. Ковалев В.З. Моделирование процессов управления в электротехнических комплексах и системах // Системы управления и информационные технологии. ООО "Издательство "Научная книга". Воронеж. 2009. № 1.2 (35). С. 259-263.

Рецензенты:

Кутышкин А.В., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные процессы в машиностроении», ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск;

Хамитов Р.Н., д.т.н., профессор кафедры «Общая электротехника», ФГБОУ ВПО «ОмГТУ», г. Омск.