

НИУ «Высшая школа экономики»
Российская Академия Наук
Московская школа управления СКОЛКОВО
Фонд «Сколково»

Материалы IV Международного Конгресса
«Возобновляемая энергетика XXI век:
энергетическая и экономическая эффективность»
5–6 июня 2018, Сколково, Россия



Proceedings of the IV International Congress
Renewable Energy – XXI Century:
Energy & Economic Efficiency
5–6 June, 2018, Skolkovo, Russia

УДК 620.92 (075.8)
ББК 31.я73

Печатается по решению Организационного и Программного комитетов IV Международного Конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность», 2018.

Редакционно-издательский совет:

Чл.-корр. РАН Филиппов С.П., д.т.н. Попель О.С., к.э.н. Митрова Т.А.,
д.э.н. Медведева Е.А., к.т.н. Ермоленко Г.В., к.ф.-м.н. Дуников Д.О.

Рецензенты:

д.т.н. Попель О.С. - руководитель Научно-исследовательского центра ОИВТ РАН
«Физико-технические проблемы энергетике», главный научный сотрудник
к.ф.-м.н. Дуников Д.О. - старший научный сотрудник лаборатории Водородных
энергетических технологий Объединенного института высоких температур РАН

Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность, 2018 // Материалы IV Международного конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность», Сколково, 5-6 ИЮНЯ 2018 г./ Под ред. к.ф.-м.н Д.О. Дуникова, д.т.н. О.С. Попеля - Москва: ОИВТ РАН. 2018. - 259 с.

В материалах IV Международного конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность» 2018 опубликованы тезисы участников Конгресса по различным аспектам разработки и практического использования возобновляемых источников энергии.

Для научных работников, аспирантов, студентов энергетических специальностей и широкого круга специалистов, занимающихся проблемами использования возобновляемых источников энергии.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук

© Коллектив авторов

**ОРГАНИЗАТОРЫ КОНГРЕССА
ORGANIZERS**

**НИУ «Высшая школа экономики»
Российская Академия Наук
Московская школа управления СКОЛКОВО
Фонд «Сколково»**

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Медведева Елена Алексеевна
Руководитель Оргкомитета Конгресса, д.э.н., директор Института энергетики НИУ ВШЭ

Попель Олег Сергеевич
Заместитель Председателя Организационного Комитета, д.т.н, - руководитель Научно-исследовательского центра ОИВТ РАН «Физико-технические проблемы энергетики», главный научный сотрудник

Митрова Татьяна Алексеевна
Директор Энергетического центра Московской школы управления "Сколково"

Перцовский Олег Евгеньевич
Директор по научно-техническому развитию Кластера энергоэффективных технологий Фонда «Сколково»

Посысаев Юрий Юрьевич
Исполнительный директор АНО "Международный центр устойчивого энергетического развития" под эгидой ЮНЕСКО.

Ермоленко Георгий Викторович
Заведующий центром развития возобновляемых источников энергии Института Энергетики НИУ ВШЭ

Дуников Дмитрий Олегович
Старший научный сотрудник Объединенного института высоких температур РАН (ОИВТ РАН)

Ухаль Ирина Александровна
Ответственный секретарь Организационного Комитета, эксперт Института энергетики НИУ ВШЭ

СЕКРЕТАРИАТ КОНГРЕССА

Тел. +7 (916) 756-13-10
e-mail: reencon@hse.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ TABLE OF CONTENTS

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНГРЕССА ORGANIZERS	4
ОГЛАВЛЕНИЕ TABLE OF CONTENTS	5
ОПТИМИЗАЦИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ НА ПРИМЕРЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ APPLICATION OF HORIZONTAL TELESCOPIC WELLS IN DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL DEPOSITS	10
Джаватов Д.К., Азизов А.А., Алхасова Д.А.	10
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ PROMISING TECHNOLOGIES FOR GEOTHERMAL RESOURCES DEVELOPMENT	16
Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Алхасов Б.А., Рамазанов А.Ш., Попель О.С.	16
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАПЫЛЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ С УЧЕТОМ ПРИРОДНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МОНГОЛИИ INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF STOCKING ON THE EFFICIENCY OF WORK OF SOLAR MODULES WITH THE ACCOUNT OF THE NATURAL FEATURES OF MONGOLIA	21
Басан Д., Коломиец Ю.Г., Сулейманов М.Ж.	21
АНОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ANODE MATERIALS FOR METAL HYDRIDE FUEL CELLS	26
Борзенко В.И., Казаков А.Н., Дуников Д.О., Блинов Д.В., Романов И.А., Володин А.А.	26
СТОИМОСТЬ СОБСТВЕННОГО КАПИТАЛА В ОБЛАСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА РАЗВИВАЮЩИХСЯ РЫНКАХ COST OF EQUITY FOR RENEWABLE ENERGY COMPANIES IN EMERGING MARKETS	45
Володин Г.И.	45
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК ЯДРО КЛИМАТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ И НОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УКЛАДА МЕГАПОЛИСОВ НА ПРИМЕРЕ Г. МОСКВЫ ENERGY SAVING AS A KERNEL OF CLIMATIC ADAPTATION AND A NEW ENERGY MANAGEMENT OF MEGAPOLISES ON THE EXAMPLE OF MOSCOW	53
Гашо Е.Г., Гужов С.В., Кролин А.А.	53
ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ РОССИИ EFFECTIVE ENERGY TRANSITION IN RUSSIA	58
Гречухина И.А., Лебедева А.С., Кудрявцева О.В.	58
О СОСТАВЛЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БАЛАНСОВ: МЕТОДЫ ОПИСАТЕЛЬНОЙ СТАТИСТИКИ, СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ON THE COMPILATION OF ENERGY BALANCES: METHODS OF DESCRIPTIVE STATISTICS, COMPARISON OF ACCURACY	64
Гужов С.В.	64

МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ METAL HYDRIDE TECHNOLOGIES FOR RENEWABLE ENERGY Блинов Д.В., Борзенко В.И., Дуников Д.О.	72
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И АВТОНОМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ КАК ФАКТОР ПОСТУРБАНИСТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ RENEWABLE ENERGY SOURCES AND AUTONOMOUS LIFE-SUPPORT TECHNOLOGIES AS A FACTOR OF THE POST-URBAN TERRITORY DEVELOPMENT Ермишина А.В., Клименко Л.В., Дончевский Г.Н.	78
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКТОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ВИЭ ДЛЯ УДАЛЁННЫХ И ТРУДНОДОСТУПНЫХ ОБЪЕКТОВ AUTOMATION OF BATTERY ASSEMBLY TECHNOLOGY AS A METHOD OF INCREASING EFFICIENCY OF RENEWABLE SOURCES OF ENERGY FOR REMOTE AND HARD-TO-ACCESS OBJECTS Антонова М.А., Жилейкина К.О., Птицын М.В.	84
ОЦЕНКА ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ БИОТОПЛИВА ИЗ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ASSESSMENT OF ENERGY CONSUMPTION FOR OBTAINING BIOFUELS FROM MICROALGAE Киселева С.В., Чернова Н.И.	93
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ГИБРИДНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ SIMULATION MODEL OF A WIND POWER PLANT WITH A HYBRID STORAGE OF ELECTRIC ENERGY Киселева С.В., Тарасенко А.Б., Игнатьев С.Г., Шакун В.В.	98
ТРЕБОВАНИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ВИЭ - ИМПЕРАТИВ ПРОДЛЕНИЯ ПРОГРАММЫ ПОДДЕРЖКИ ВИЭ ПОСЛЕ 2024 Г. EXTENSION OF NATIONAL RES SUPPORT PROGRAM BEYOND 2024 IS AN IMPERATIVE TO KEEPING LOCAL CONTENT REQUIREMENTS FOR RES EQUIPMENT Копылов А.Е.	104
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ УДАЛЕННЫХ ПОСЕЛКОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ ENERGY SUPPLY OF REMOTE SETTLEMENTS IN THE MURMANSK REGION USING RENEWABLE ENERGY SOURCES Кузнецов Н.М., Минин В.А.	109
АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ANALYSIS OF THE RENEWABLE ENERGY SOURCES CHARACTERISTICS AND FACTORS AFFECTING THE COST OF ELECTRICITY GENERATION Соснина Е.Н., Солнцев Е.Б., Липужин И.А.	114

АВТОНОМНАЯ МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА КИЛОВАТТНОГО УРОВНЯ НА ОСНОВЕ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
AUTONOMOUS POWER PLANT OF KILOWATT POWER LEVEL BASED ON
RENEWABLE SOURCES AND FUEL CELLS

Григорьев А.С., Григорьев С.А., Мельник Д.А., Лосев О.Г., Вервелакис Г.М.,
Филимонов М.Н. 121

О ПОТРЕБНОСТЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В РЕГУЛИРУЮЩИХ МОЩНОСТЯХ
ABOUT THE NEEDS OF THE ENERGY SYSTEM IN REGULATING DEVICES FOR
ENERGY MANAGEMENT APPLICATIONS

Лушников О.Г. 126

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА ГАЗА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОНОМНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ
ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ С
НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ GAS TRANSPORTATION SYSTEMS' REMOTE
OBJECTS ENERGY SUPPLY WITH THE USE OF AUTONOMOUS COMBINED
POWER INSTALLATIONS ON RENEWABLE ENERGY SOURCES WITH ENERGY
STORAGE SYSTEM

Мингалеева Р.Д., Бессель В.В. 136

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ФИНАНСОВЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ
РИСКАМИ В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ EFFICIENCY OF MODERN
FINANCIAL METHODS OF RISK MANAGEMENT IN RENEWABLE ENERGY

Нефедова Л.В., Соловьев А.А. 141

ДВУХКОНТУРНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ
TWO-COMPONENT ENERGY STORAGE FOR HYBRID RENEWABLE ENERGY
SYSTEMS

Обухов С.Г., Масолов В.Г. 147

ПТИЦЫ НА ТЕРРИТОРИЯХ ВЕТРОПАРКОВ: МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ
ОПЫТ НАБЛЮДЕНИЙ
BIRDS AT THE TERRITORIES OF WIND FARMS: INTERNATIONAL AND
RUSSIAN EXPERIENCE OF OBSERVATIONS

Рафикова Ю.Ю., Потанский В.Г. 153

GEOTHERMAL ENERGY COMPLEX UTILIZATION

Svalova V.B. 160

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО САМОВОЗБУЖДАЮЩЕГОСЯ
АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
MODELING OF THE SYSTEM AUTOMATIC VOLTAGE REGULATION OF THREE-
PHASE SELF-EXCITED INDUCTION GENERATOR FOR WIND TURBINE

Сангов Х.С., Михеев Д.В. 168

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЯЗВИМОСТЕЙ МОСКВЫ К ПОГОДНО-
КЛИМАТИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОГО
ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА
MODELING OF MOSCOW CITY VULNERABILITIES TO THE CLIMATE AND
WEATHER FACTORS USING FUZZY LOGICAL INFERENCE

Стефанцов А.Г., Борисов В.В., Луферов В.С., Шерстюков Б.Г., Постельник М.И. 178

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСТАНОВКАХ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ALKALINE ELECTROCHEMICAL SYSTEMS APPLICATION PROSPECTIVE FOR RENEWABLE-BASED POWER SOURCES	185
Тарасенко А.Б.	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РОССИЙСКИХ УСЛОВИЯХ OPERATION EFFICIENCY ESTIMATION FOR HYBRID AND ELECTRIC VEHICLES IN RUSSIAN CONDITIONS	189
Тарасенко А.Б.	
ОПТИМИЗИЦИЯ СТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ С УСТАНОВКАМИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ STRUCTURE OPTIMIZATION OF DISTRIBUTED ENERGY SYSTEMS WITH RENEWABLE ENERGY UNITS	193
Тягунов М.Г.	
АНАЛИЗ ТАРИФНЫХ МЕХАНИЗМОВ СТИМУЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РОССИИ THE ANALYSIS OF TARIFF INCENTIVE REGULATION OF THE DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED GENERATION BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES IN RUSSIA	196
Файн Б.И.	
ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКТАЦИИ АККУМУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОЙ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИЗ ВИЭ OPTIMIZATION OF THE IMPLEMENTATION OF POWER PLANTS ON RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE ENERGY SYSTEM VIA THE ACCUMULATION	202
Федорчук С.О., Немировский И.А.	
МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ ПОСЕЛЕНИЙ РЕГИОНА С БОЛЬШОЙ ДОЛЕЙ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ MODERNIZATION OF HEAT SUPPLY SYSTEMS OF SMALL SETTLEMENTS IN THE REGION WITH A LARGE SHARE OF RURAL POPULATION	208
Федянин В.Я., Крюков Д.Н.	
ИССЛЕДОВАНИЕ РИСКА ОТ СТОХАСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ГЕНЕРАЦИИ В ИЗОЛИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ THE RESEARCH OF RISK FROM STOCHASTIC CHARACTER GENERATION IN ISOLATED SYSTEMS WITH RENEWABLE SOURCES OF ENERGY	213
Соснина Е.Н., Шалухо А.В.	
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ПРИ ГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА COMPETITIVENESS OF SOLAR BATTERIES IN THE HEAT GENERATION	219
Фрид С.Е., Лисицкая Н.В.	
ЭНЕРГЕТИКА КАМЧАТСКОГО КРАЯ: ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ KAMCHATKA REGION POWER SYSTEM: POSSIBLE SCENARIOS	223
Шкрадюк И.Э.	

НЕОБХОДИМОСТЬ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К РАЗВИТИЮ ТРАДИЦИОННОЙ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ THE DEVELOPMENT OF TRADITIONAL AND RENEWABLE ENERGY: THE NEED FOR A SYSTEM APPROACH	227
Дильман М.Д.	
ХАНКАЛЬСКАЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ТЕПЛОВАЯ СТАНЦИЯ КАК УНИКАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ УСТАНОВКА KHANKALA EXPERIMENTAL GEOTHERMAL HEAT PLANT AS A UNIQUE RESEARCH FACILITY	234
Черкасов С.В., Минцаев М.Ш., Шаипов А.А., Фархутдинов А.М.	
ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ, КЛИМАТ, ТЕПЛОВОЙ И УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД БОЛЬШОГО ГОРОДА ENERGY DEMAND, CLIMATE, THERMAL AND CARBON FOOTPRINT OF LARGE CITY	236
Гинзбург А.С.	
RUSSIAN RENEWABLES MARKET: WHAT OPPORTUNITIES FOR WHAT MARKET ENTRY STRATEGY?	241
Tissot D.	
ПОТЕНЦИАЛ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КАК ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ ДЛЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ РАЙОНОВ POTENTIAL OF AGRICULTURAL WASTE AS A RENEWABLE SOURCE OF ENERGY FOR MUNICIPAL DISTRICTS	244
Андреев Т.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО НАГРЕВА В МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА, КОМБИНИРОВАННЫХ С ТВЕРДОПОЛИМЕТНЫМ ТОПЛИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ AIR HEATING IN A METAL HYDRIDE HYDROGEN STORAGE COUPLED WITH A PEM FUEL CELL	250
Борзенко В.И., Еронин А.А.	
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ LIST OF AUTHORS	258

О СОСТАВЛЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БАЛАНСОВ: МЕТОДЫ ОПИСАТЕЛЬНОЙ СТАТИСТИКИ, СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ON THE COMPILATION OF ENERGY BALANCES: METHODS OF DESCRIPTIVE STATISTICS, COMPARISON OF ACCURACY

Гужов С.В.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия

Guzhov S.

National Research University "MPEI", Moscow, Russian Federation

GuzhovSV@yandex.ru

Вопросы целесообразности внедрения энергосберегающих мероприятий в условиях развивающейся экономики Российской Федерации как правило сводятся к экономической оценке эффективности финансовых вложений по сравнению с иными возможными вариантами увеличения капитала. Необходимость расчёта эффективности энергосберегающего эффекта с требуемой точностью часто является ключевым пунктом остановки проекта в виду крайней трудоёмкости проведения подобных расчётов. Современная нормативно-правовая база не содержит приемлемого способа составления прогнозных функций энергопотребления. Наиболее перспективными путями решения подобных задач является применение как методов описательной статистики, так и нейронечётких сетей. Каждый из методов обладает своими преимуществами и недостатками, анализу которых посвящена настоящая статья.

The issues of expediency of implementing energy-saving measures in the conditions of the developing economy of the Russian Federation are usually reduced to an economic evaluation of the effectiveness of financial investments in comparison with other possible options for increasing capital. The need to calculate the efficiency of the energy-saving effect with the required accuracy is often a key point of the project's shutdown in view of the extreme complexity of carrying out such calculations. The current legal and regulatory framework does not contain an acceptable way of compiling predictive energy consumption functions. The most promising ways of solving such problems is the use of both descriptive statistics methods and neuron-neural networks. Each of the methods has its own advantages and disadvantages, the analysis of which is devoted to this article.

Ключевые слова: сопоставимые условия, многофакторная регрессия, авторегрессия, модель скользящего среднего, искусственная нейронная сеть, нечеткая нейронная сеть

Keywords: comparable conditions, multifactorial regression, autoregression, moving average model, artificial neural network, fuzzy neural network

1. Введение

В настоящий момент одним из направления энергосбережения в промышленном и социальном секторах экономики России является внедрение энергосберегающих мероприятий на основе контура энергоменеджмента при управлении руководящими структурами. Для проведения этих ЭСМ заказчиком должны быть выделены определённые денежные средства. Эффективность вложений этих средств необходимо оценивать с достаточной точностью, чтобы в последующем определить дальнейшие целесообразные направления энергосбережения. Однако в настоящее время обоснованно доказать эффективность внедрения ЭСМ часто не представляется возможным. Это связано с тем, что сравнение должно проводиться в одинаковых условиях (температура наружного воздуха, влажность, сырьё, численность персонала, степень загрузки технологического оборудования, ответственность персонала, современность оборудования и т.д.). Для сравнения энергопотребления используют «сопоставимые условия». Они позволяют проводить формирование приблизительных прогнозных функций энергопотребления.

2. Анализ современных нормативно-правовых актов

В настоящее время актуальны как распоряжения федеральных органов исполнительной власти, содержащие рекомендации по прогнозированию нагрузок [1-11], так и национальные стандарты [12-18]. Тем не менее, достаточно обоснованно утверждать на основе этих данных

об экономии энергоресурсов на предприятии также не всегда представляется возможным, поскольку: набор условий, приводимых к сопоставимым может различаться для разных предприятий и, как правило, не является полным и достаточным; данные методики являются упрощёнными, что является их преимуществом, так и их недостатком.

Анализ приведённой выше нормативной документации показывает, что предлагаемый в документах математический аппарат ориентирован в первую очередь на аналитику мероприятий, включенных в региональные и муниципальные программы муниципальных образований и/или субъектов Российской Федерации, и не предназначен для прогнозирования объёмов потребляемых энергоресурсов. Большинство методик, принятых в национальных стандартах, используют исключительно способ составления простейших математических пропорций для определения удельных значений и долей. Вопрос прогнозирования объёмов энергопотребления в сопоставимых условиях в нормативе не освещён. Наиболее поздний стандарт [16] наиболее удобен для краткосрочных и технологически несложно оцениваемых ЭСМ, реализуемых в малых и средних зданиях. В случае длительного расчёта или модернизации большой и сложной инженерной системы велика вероятность возникновения значительно ошибки, что приведёт к недопустимой для сторон договора погрешности при осуществлении финансовых расчётов. К недостаткам относится:

- способ не определяет набор факторов, необходимый и достаточный для получения результата с необходимой точностью и достоверностью;
- способ не разделяет факторы на значимые и зависимые;
- способ предлагает единый подход расчёта как для простейших зданий, содержащих только тепловые и электрические потребители, так и для крупных промышленных агломератов, имеющих в своём составе и открытые цеха, и собственные генерирующие мощности.

В этих условиях является важным разработка точных, обоснованных и проверенных на практике методов определения энергопотребления промышленных и социальных объектов для определения энергетической и экономической эффективности проведения тех или иных ЭСМ. Для доказательства правильности использования, как бюджетных средств, так и при использовании средств самих предприятий. Это даст возможность выбирать более эффективные мероприятия, даст возможность градации ЭСМ для различных групп предприятий.

3. Исследование применимости методов описательной статистики

Для достижения поставленной цели рассмотрим семейства методов, используемые в «описательной статистике». К процедурам для представления количественных данных способом, который позволяет определить характеристики распределения данных, применяют методы:

- планирование экспериментов;
- проверка гипотез;
- измерительный анализ;
- анализ возможностей процесса;
- регрессионный анализ;
- анализ надежности;
- выборочный контроль;
- моделирование;
- карты статистического контроля процесса (карты СКП);
- статистическое назначение допуска;
- анализ временных рядов.

Данные методы опираются на такие широко используемые методы анализа статистических данных, как: диаграмма Исикавы (причинно-следственная диаграмма);

диаграмма Парето; контрольные карты и листы; диаграммы расслоения; диаграммы разброса; гистограммы. Первая, но не единственная сложность при использовании перечисленных способов – определение вида распределения статистических данных для оценки состояния процесса и для выявления зависимости между несколькими массивами данных. На практике можно применить правило: если распределение изучаемой непрерывной случайной величины неизвестно, но абсолютная величина отклонения превышает утроенное среднее квадратическое отклонений лишь в 0,27% случаев или меньше, то есть основание предполагать, что изучаемая величина распределена нормально; в противном случае она распределена не нормально. Для большинства случаев анализ типа распределения массивов исходного и уточняющих факторов при прогнозировании объёмов потребления энергоресурсов показал соответствие их распределению Стьюдента. Но это соответствие является таковым, только при принятии некоторых приближений и допущений. Поэтому в целом использовать мат. аппараты, характерные только для некоторых типов распределений является неверным.

Более корректным с точки зрения методов обработки статистической информации является применение регрессий и авторегрессий. Наиболее распространенной моделью стационарных рядов являются авторегрессия. Авторегрессионная модель – модель временных рядов, в которой значения временного ряда в данный момент линейно зависят от предыдущих значений этого же ряда. Авторегрессионный процесс для объёмов потребляемых энергоресурсов определяется следующим образом:

$$P_t = c + \varphi_1 \cdot P_{t-1} + \dots + \varphi_i \cdot P_{t-i} + \dots + \varphi_p \cdot P_{t-p} + \varepsilon_t. \quad (1)$$

Другой распространенной моделью временного ряда является модель скользящего среднего. Чаще всего модель используется для моделирования случайных ошибок временных рядов электрических нагрузок. Модель временного ряда, скользящего среднего, определяется следующим видом:

$$P_t = \varepsilon_t - \Theta_1 \cdot \varepsilon_{t-1} - \dots - \Theta_i \cdot \varepsilon_{t-i} - \dots - \Theta_p \cdot \varepsilon_{t-p}. \quad (2)$$

Зачастую модели авторегрессии и скользящего среднего объединяют и используют модель Бокса–Дженкинса (модель авторегрессии-проинтегрированного скользящего среднего). Данные модели – гомогенные нестационарные, которые можно привести к стационарным посредством последовательного дифференцирования наблюдений. Гомогенность модели заключается в том, что все члены временного ряда представляет собой энергетическую нагрузку. Модель авторегрессии-проинтегрированного скользящего среднего определяется по формуле:

$$P_t^d = c + \varphi_1 \cdot P_{t-1}^d + \dots + \varphi_i \cdot P_{t-i}^d + \dots + \varphi_p \cdot P_{t-p}^d + \varepsilon_t - \dots - \Theta_j \cdot \varepsilon_{t-1} - \dots - \Theta_j \cdot \varepsilon_{t-j} - \dots - \Theta_q \cdot \varepsilon_{t-q}. \quad (3)$$

Используя данный математический аппарат проанализирована корреляция суточного потребления электрической энергии и среднесуточной температуры воздуха для Смоленской энергосистемы за 2015 год [19]. Результатом расчёта является функция:

$$P = -6E-13 \cdot x_6 + 8E-10 \cdot x_5 - 3E-07 \cdot x_4 + 6E-05 \cdot x_3 - 0,0036 \cdot x_2 + 0,1421 \cdot x - 4,9049. \quad (4)$$

Квадрат среднего отклонения R^2 составляет 0,8186, что является хорошим показателем для однофакторной корреляции. Можно сделать вывод о том, что фактор «среднесуточная температура воздуха» является значимым фактором при расчёте суточного потребления электрической энергии для Смоленской энергосистемы.

Аналогичные расчёты для ГБУ "Спортивная школа олимпийского резерва № 42" Москомспорта позволили достичь точности 94,36%. При расчёте использовался анализ пяти факторов: среднemesячная температура воздуха (x_1); относительная среднemesячная влажность воздуха (x_2); объёмы потребления электроэнергии (x_3); объёмы потребления ГВС

(x4); объёмы потребления ХВС (x5). Результатом расчёта является прогнозная функция теплопотребления:

$$Q=9.546679-0.44173 \cdot x_1+0.003019 \cdot x_2+ \\ +0.00008 \cdot x_3+0.136238 \cdot x_4-0.1384 \cdot x_5 \quad (5)$$

Можно сделать вывод о том, что фактор «объёмы потребления электроэнергии» является незначимым фактором, а факторы «среднемесячная температура воздуха» и «объёмы потребления ГВС» - наиболее значимыми.

Другим примером может служить вагоноремонтный завод, для которого осуществлялось составление прогнозной функции для объёмов потребления электрической энергии. Исходные факторы: ежегодный объём производства железнодорожных вагонов (x1); ежегодные объёмы потребления природного газа (x2); ежегодные объёмы потребления мазута (x3); ежегодные объёмы потребления питьевой воды (x4); ежегодные объёмы потребления технической воды (x5); среднегодовая температура воздуха (x6); относительная среднегодовая влажность воздуха (x7).

$$P = 4168.03 + 27.55984 \cdot X_1 + 2.156796 \cdot X_2 - \\ - 1.1903 \cdot X_3 - 5.55881 \cdot X_5 \quad (6)$$

Различия фактических и прогнозных значений составили 0%. Анализ показал, что факторы «ежегодные объёмы потребления питьевой воды», «среднегодовая температура воздуха», «относительная среднегодовая влажность воздуха» являются незначимыми факторами, а факторы «ежегодный объём производства железнодорожных вагонов» и «ежегодные объёмы потребления технической воды» - наиболее значимыми.

4. Исследование применимости нейронных сетей

Ещё одним способом составления прогнозных моделей является использование интеллектуальных методов. Наибольшее применение для оперативного и кратко- срочного прогнозирования электрических нагрузок получили искусственные нейронные сети. Под искусственной нейронной сетью понимается совокупность нейронных элементов и связей между ними. ИНС состоит из формальных нейронов, выполняющих нелинейное преобразование произведений входных сигналов на коэффициенты веса, просуммированных по всем сигналам. Для использования искусственных нейронных сетей их необходимо обучить, кроме самообучающихся моделей. Обучение искусственной нейронной сети – это процесс, в котором параметры нейронной сети настраиваются посредством моделирования среды, в которую эта сеть встроена. Существует большое количество алгоритмов обучения сети и их модификаций. Наиболее распространен алгоритм обратного распространения ошибки, в котором минимизируется среднеквадратичная ошибка с использованием метода градиентного спуска для весовых коэффициентов и порогов нейронной сети.

Недостаток модели состоит в том, что она работает как «черный ящик» и не позволяет интерпретировать результаты прогнозирования в понятной эксперту форме, что делает невозможным анализ полученных зависимостей. Устранение данного недостатка привело к созданию нечетких нейронных сетей. Применение теории нечетких множеств для прогнозирования электрических нагрузок стало активно развиваться с начала 90-х годов за рубежом. Сначала это были экспертные системы с использованием нечетких множеств, так называемые Fuzzy Expert Systems. Последующее развитие привело к появлению гибридных систем (экспертная система и нейронная сеть) и нейронные сети с нечеткой логикой – Fuzzy Neural Networks (FNN). Модель нечеткой нейронной сети для оперативного прогнозирования электрических нагрузок представлена на рис. 1.

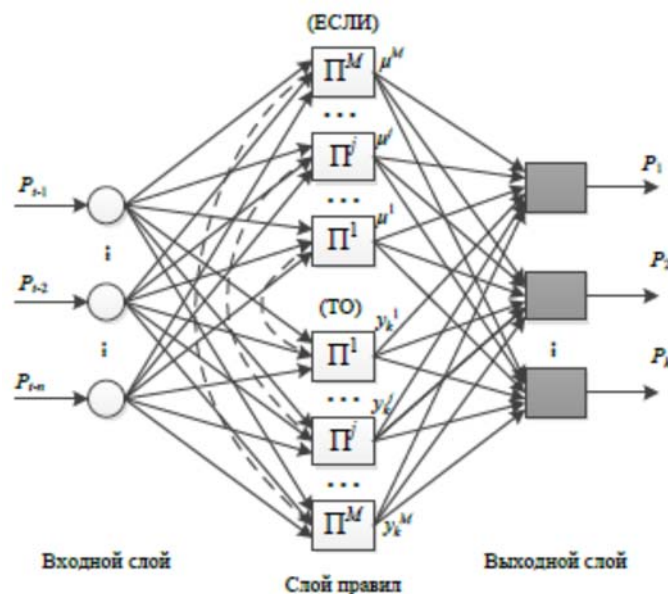


Рис. 1. Модель нечеткой нейронной сети

Сеть состоит из трех слоев: входного, скрытого (слоя правил вида «ЕСЛИ – ТО») и выходного слоя. Нейроны, изображенные в виде кругов, представляют собой один узел, а нейроны в виде квадратов имеет в своем составе большое количество узлов. Входными параметрами являются почасовые значения электрической нагрузки P_i ($i = 1, \dots, 48$) для суток, предшествующих прогнозируемому (24 значения), и для суток недельной давности (24 значения). Во втором слое значения нормируются, т.е. преобразуются в относительные единицы, находящиеся в пределах $[0,1]$. Каждая пара нейронов в скрытом слое составляет нечеткое правило. Выбрана следующая форма правил, в которой нечеткие множества включаются только во вступительную часть правил.

Таблица 1. Ошибка прогнозирования, полученная при использовании различных видов нейронной сети [19]

Глубина прогноза, ч	Ошибка прогнозирования, %	
	искусственная нейронная сеть	нечеткая нейронная сеть
24 (1 день)	4,70	2,36
168 (7 дней)	4,47	4,70
744 (31 день)	2,73	2,56

Примером применения данной модели может являться прогноз электрической нагрузки за февраль 2016 года в г. Смоленске. Результаты вычисления ошибки прогнозирования приведены в табл. 1. Результаты данного моделирования не могут быть универсальными для всех энергосистем. Вместе с тем, необходимо отметить, что средняя ошибка для случая использования нечеткой нейронной сети составляет 3.2%, что почти в 2 раза меньше, чем наилучший показатель для случая использования многофакторного регрессионного анализа.

6. Заключение

В работе рассмотрены некоторые способы составления прогнозных функций энергопотребления методами описательной статистики. Использованный аппарат многофакторного регрессионного анализа имеет неоспоримое преимущество относительной простоты использования. При соблюдении условия достаточности исходных данных погрешность расчёта, как правило, не ниже 5,5%. При небольшой недостаточности либо

некорректности исходных данных погрешность резко увеличивается и может находиться в диапазоне 7-12%, что является недостатком способа.

К преимуществу использование нечетких нейронных сетей относится достижение существенно меньшей погрешности – не выше 4,7% при средней погрешности 3.2%. К недостаткам относится невозможность работы без специализированного программного обеспечения и навыков по работе с ним.

Дальнейшим направлением развития методов составления прогнозных функций энергопотребления наиболее целесообразным является создание специализированных приложений, объединяющих удобства статистических методов и точность нейронных сетей.

Список обозначений

ЭСМ — сокращенное наименование энергосберегающие мероприятия;

P_t — объёмы потребления энергоресурсов;

c — постоянная ряда;

ϕ_i — коэффициенты авторегрессии;

ε_t — белый шум;

Θ_i — параметр скользящего среднего

$P_t^d = \Delta^d P_t$ — объём энергопотребления;

Δ — оператор взятия разности;

Θ_j — параметр скользящего среднего;

Индексы:

p — лаг времени;

q — временной лаг;

t — временная шкала.

Список литературы

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации"
2. Методика расчёта значений целевых показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в том числе в сопоставимых условиях. Утверждена приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 07 июня 2010 г. № 273.
3. Постановление Правительства РФ от 01 июня 2010 г. № 391 «О порядке создания государственной информационной системы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и условий для ее функционирования»
4. Приказ Минэнерго России 24 октября 2011 № 591 «О порядке определения объемов снижения потребляемых государственным (муниципальным) учреждением ресурсов в сопоставимых условиях»
5. Постановление Правительства Москвы от 14 сентября 2011 года № 429-ПП. Государственная программа города Москвы «Энергосбережение в городе Москве» на 2011, 2012-2016 гг. и на перспективу до 2020 года
6. Распоряжение Правительства Москвы от 03 июня 2012 года № 342-РП «О требованиях к вводу в промышленную эксплуатацию информационных систем, создаваемых в городе Москве»
7. Приказ Минэнерго России от 30 июня 2014 № 399 «Об утверждении методики расчета значений целевых показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в том числе в сопоставимых условиях»
8. Приказ Минэнерго России от 30 июня 2014 г. №401 «Об утверждении Порядка предоставления информации об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности»
9. Методика отнесения объектов и технологий к энергоэффективным, Утверждена Приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, 2014 г.
10. Методика определения расчетно-измерительным способом объема потребления энергетического ресурса в натуральном выражении для реализации мероприятий, направленных на

энергосбережение и повышение энергетической эффективности, Утверждена приказом Минэнерго России, 2015 г.

11. Постановление Правительства Москвы от 13 мая 2015 г. № 260-ПП «Об информационной системе энергосбережения на объектах города Москвы»
12. ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005 «Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001. ISO/TR 17:2003 Guidance on statistical techniques for ISO 9001:2000», Москва, 2003.
13. ГОСТ 51814.3-2001 «Методы статистического управления процессами в автомобилестроении»
14. ГОСТ Р 50779.42-99 «Статистические методы. Контрольные карты Шухарта», дата актуализации: 01.01.2018, заменивший ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91) «Статистические методы. Контрольные карты Шухарта»
15. СТО 001-2014 «Измерения и верификация энергетической эффективности», 2014.
16. ГОСТ Р 56743-2015 «Измерение и верификация энергетической эффективности. Общие положения по определению экономии энергетических ресурсов»
17. ГОСТ Р 51380-99 «Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям»
18. СО 153-34.20.118-2003 «Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем»
19. Луферов Ю.С. Способ и программные средства прогнозирования электрических нагрузок на основе нечетких временных рядов: магистерская диссертация / научн. руков. Борисов В.В. Смоленск: ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

References

1. Federal Law of November 23, 2009 N 261-FZ "On Energy Saving and on Improving Energy Efficiency and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation"
2. Methodology for calculating the values of targets in the field of energy conservation and improving energy efficiency, including in comparable conditions. Approved by Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation of June 7, 2010 No. 273.
3. Resolution of the Government of the Russian Federation of June 1, 2010 No. 391 "On the procedure for creating a state information system in the field of energy conservation and increasing energy efficiency and conditions for its operation"
4. Order of the Ministry of Energy of Russia on October 24, 2011 No. 591 "On the procedure for determining the amount of reduction in the resources consumed by the state (municipal) agency in comparable conditions"
5. Resolution of the Government of Moscow from September 14, 2011 No. 429-PP. The State Program of the City of Moscow "Energy Saving in Moscow" for 2011, 2012-2016. and for the future until 2020
6. Order of the Government of Moscow dated 03 June 2012 No. 342-RP "On the requirements for the commissioning of industrial information systems created in the city of Moscow"
7. Order of the Ministry of Energy of Russia of June 30, 2014 No. 399 "On approval of the methodology for calculating the values of targets in the field of energy conservation and improving energy efficiency, including in comparable conditions"
8. Order of the Ministry of Energy of Russia of June 30, 2014 No. 401 "On Approval of the Procedure for Providing Information on Energy Saving and on Improving Energy Efficiency"
9. The method of assigning objects and technologies to energy efficient, Approved by the Order of the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation, 2014.
10. Methodology for determining the volume of consumption of energy resources in physical terms for implementation of measures aimed at energy saving and improving energy efficiency by the calculation and measuring method Approved by Order of the Ministry of Energy of Russia, 2015.
11. Resolution of the Government of Moscow of May 13, 2015 No. 260-PP "On the information system of energy conservation at Moscow sites"
12. GOST R ISO / TO 10017-2005 "Statistical methods. Guidance on the application in accordance with ISO 9001: 2000. ISO / TR 17: 2003 Guidance on statistical techniques for ISO 9001: 2000, Moscow, 2003.
13. GOST 51814.3-2001 "Methods of statistical management of processes in the automotive industry"
14. GOST R 50779.42-99 "Statistical methods. Control cards Shuharta", date of update: 01/01/2018, replacing GOST R 50779.42-99 (ISO 8258-91)" Statistical methods. Shewhart control cards»
15. СТО 001-2014 "Measurements and verification of energy efficiency", 2014.

-
16. GOST R 56743-2015 "Measurement and verification of energy efficiency. General provisions for the determination of energy resource savings "
 17. GOST R 51380-99 "Energy saving. Methods for confirming the compliance of energy efficiency indicators of energy-consuming products with their normative values "
 18. CO 153-34.20.118-2003 "Methodological recommendations on the design of energy systems"
 19. Luferov Yu.S. The method and software of the forecasting of electrical loads on the basis of odd time series: master's thesis / scientific. hands. Borisov V.V.Smolensk: FGBOU IN "NIU" MEI "in the city of Smolensk