

УДК 519.7

DOI: 10.46548/21vek-2020-0951-0013

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СИСТЕМЫ НЕЧЁТКОГО ВЫБОРА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

©2020

Тимофеев Максим Николаевич, инженер-электроник

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
(410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: random@sstu.ru)*

Аннотация: в статье рассматривается вопрос выбора алгоритма системы нечёткого выбора для управления гибридной электростанцией [ГБЭС], являющуюся частью интеллектуальной электрической сети, прогнозирующей производство электроэнергии. Исследуется обработка метеорологических данных с целью прогнозирования производительности гибридной электростанции. Показано, что потребление и производство электроэнергии имеют нелинейный характер, изменяющийся в течение суток, значит для выполнения договорных обязательств необходимо иметь представление о влиянии внешних погодных условий на производство электроэнергии. В статье описаны способы, позволяющие спрогнозировать производительность гибридной электростанции в зависимости от погодных условий в заданном районе. Описана работа системы управления гибридной электростанции, включающей ветряной и солнечный источники электроэнергии. Рассмотрен выбор алгоритма системы нечёткого выбора на базе нечётких множеств. Система нечёткого выбора предназначена для моделирования работы гибридной электростанции с заданным значением соотношения установленных мощностей входящих в ее состав возобновляемых источников энергии. Система нечёткого выбора определяет величину генерируемой электроэнергии и на базе данных о текущих метеорологических условиях с использованием нечетких правил. Система нечёткого выбора позволяет проверить эффективность выбора соотношения установленных мощностей входящих в состав микрогрид возобновляемых источников энергии в виде солнечных батарей и ветрогенераторов в зависимости от текущих или прогнозируемых метеорологических условий путем расчета баланса между генерируемой и потребляемой мощностями.

Ключевые слова: прогнозирование, гибридная электростанция, интеллектуальная электрическая сеть, smart grid, нечёткие множества, алгоритм Мамдани, искусственная нейронная сеть, глобальная модель погоды.

ANALYSIS OF OPTIONS OF A FUZZY SELECTION SYSTEM FOR PREDICTION OF THE PERFORMANCE OF A HYBRID POWER PLANT

©2020

Timofeev Maxim Nikolaevich, engineer

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
(410054, Russia, Saratov, Polytechnicheskaya st., 77, e-mail: random@sstu.ru)*

Annotation. The article discusses the issue of choosing an algorithm for a fuzzy choice system for controlling a hybrid power plant, which is a part of an intelligent electrical network that predicts electricity production. The processing of meteorological data in order to predict the performance of a hybrid power plant is investigated. It is shown that the consumption and production of electricity are non-linear, changing during the day, which means that in order to fulfill contractual obligations, it is necessary to have an idea of the influence of external weather conditions on electricity production. The article describes ways to predict the performance of a hybrid power plant depending on weather conditions in a given area. The operation of the control system of a hybrid power plant, including wind and solar power sources, is described. The choice of an algorithm for a fuzzy choice system based on fuzzy sets is considered. The fuzzy selection system is designed to simulate the operation of a hybrid power plant with a given value of the ratio of installed capacities of its constituent renewable energy sources. The fuzzy selection system also determines the amount of generated electricity based on the current meteorological conditions using fuzzy rules. The fuzzy selection system allows you to check the effectiveness of the choice of the ratio of installed capacities of the renewable energy sources included in the microgrid in the form of solar panels and wind generators, depending on the current or projected meteorological conditions by calculating the balance between generated and consumed capacities.

Keywords: forecasting, hybrid power plant, smart grid, smart grid, fuzzy sets, Mamdani's algorithm, artificial neural network, global weather model.

Введение. В результате аварий на атомных электростанциях многие страны начали закрывать существующие программы атомной энергетики. При отказе от ядерной энергетики, потребовалось использовать новые источники электроэнергии. Был возрождён интерес к возобновляемой энергетике: ветряной энергетике, энергии приливов, геотермальной энергии, прогресс в электронном приборостроении позво-

лил создавать новые типы фотоэлементов с КПД достигающим 24-85%, в лабораторных условиях. Таким образом, появилось большое количество технических решений для создания электростанций на основе возобновляемых источников электроэнергии и передачи на расстояния до 2000 км. Солнечные электростанции начали активно применяться в южных широтах, ветряные электростанции на морских, оффшорных

электростанциях, но эксплуатация возобновляемых источников электроэнергии показала нестабильный характер производства электроэнергии, связанный с энергетическими затишьями. Одним из способов компенсации энергозатиший является использование нескольких разнородных источников электроэнергии, то есть гибридной электростанции (ГБЭС). Вопрос построения гибридных электростанций освещался, как составная часть концепции интеллектуальных электрических сетей (*smart grid*), но процесс проектирования, прогнозирования рабочих режимов электростанции, удовлетворения потребностей потребителя редко рассматривался комплексно. Основной объём публикаций посвящён техническим и экономическим вопросам функционирования электростанций, в которых первичные метеорологические данные и прогнозирование погоды, и влияние их на выработку электроэнергии упоминаются, но играют второстепенную роль. В зарубежных экономических публикациях большое внимание часто уделяется ценообразованию, вопросам окупаемости и формирования тарифов на электроэнергию, что не всегда может быть применено в российской практике [1-4]. К актуальным задачам отечественной возобновляемой энергетики можно отнести разработку компонентов системы принятия решений, позволяющих оценить производительность электростанции в краткосрочном, среднесрочном планировании, на основе прогноза погоды. Обычно, атмосферные процессы описываются уравнениями гидротермодинамики [5], базирующимися на законах сохранения энергии, массы и импульса. К основным средствам, позволяющим с высокой точностью спрогнозировать погоду, относятся авторегрессионные модели и нейронные сети. Имеются возможности для использования существующих глобальных моделей погоды для построения прогноза на площади порядка 10-20 км², что требует умеренных вычислительных мощностей.

Целью работы является рассмотрение методов и средств, позволяющих построить прогноз производства электроэнергии гибридной электростанцией, включающей в себя солнечный и ветряной источник электроэнергии, на краткосрочный и среднесрочный периоды, определение лучшего алгоритма для системы нечёткого выбора.

Материалы и результаты исследований. Для построения модели природной среды использовались данные метеорологических наблюдений с метеостанции Александров Гай, Россия, WMO_ID=34391, координаты 50° 09' с.ш., 48° 33' в.д.; 25 м над уровнем моря. Использовались две выборки основная и тестовая. Основная выборка временной интервал с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2019 г., тестовая выборка с 1 января по 29 июля 2020 года. В выборке отражены результаты наблюдений за все дни, по восемь измерений в день. Время снятия показаний: 01:00, 04:00, 07:00, 10:00, 13:00, 16:00, 19:00, 22:00 [6]. При подготовке массива данных, все пустые значения были заменены нулём, все интервалы средним значением, все значения конвертированы в тип *double*. Выбор Александров Гая обусловлен удобным местом для расположения

гибридной электростанции. Александрово-Гайский район имеет большое количество солнечных и ветряных ресурсов, реки Большой и Малый Узень, обеспечивают ветровой коридор, есть не используемые в сельском хозяйстве земли.

Для обработки статистических данных применялись, программные продукты *Statistica 12,5* и *Matlab 2012b*.

Основной интерес представляет скорость ветра (T_t) и инсоляция на горизонтальной поверхности (E). Имеющиеся данные спутниковых наблюдений с достаточной точностью позволяют определить размер E и изменение этой переменной в течение года и спрогнозировать E на краткосрочную и среднесрочную перспективу. Более сложная задача стоит в прогнозировании скорости ветра, имеющая большую изменчивость в краткосрочной и среднесрочной перспективе [7-11].

Выбрано два направления построения прогнозной модели T_t . Первое направление, — прогнозирование T_t на короткий, месячный, интервал, таким образом получена система из двенадцати уравнений [12], описывающих изменение скорости ветра в течение года [13].

На основании метеорологических наблюдений в программах *Matlab* и *Statistica* построены несколько вариантов прогнозных моделей, авторегрессионная (коэффициент корреляции 55%), нейронная сеть (коэффициент корреляции 87,5%), модель на основе дерева принятия решений (коэффициент корреляции 63,4%) для прогнозирования скорости ветра и прозрачности атмосферы, выбрана наилучшая [14].

Кроме электротехнических вопросов, связанных с преобразованием и передачей электричества в гибридной электростанции, возникает вопрос управления всем электротехническим комплексом с учётом метеорологической обстановки, режимов работы солнечной и ветряной электростанции (СЭС и ВЭС), состояния аккумуляторных батарей и необходимой потребности в электроэнергии.

В общем виде система управления ГБЭС представлена на рисунке 1.

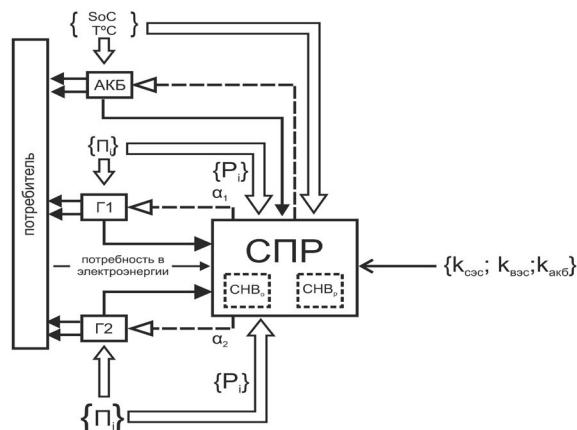


Рисунок 1 – Структура системы управления ГБЭС

Эта система предполагает использование отличающихся генерирующих систем в различных временных интервалах, в зависимости от наиболее

предпочтительных условий для того или иного вида генерации. В связи этим в работе предлагается система поддержки принятия решений (СПР) с прогнозированием производства электроэнергии при помощи нечёткой логики.

Принцип работы исследуемой системы принятия решений (СПР) следующий. На СПР поступает запрос от Потребителя о необходимом количестве электроэнергии на определённый временной интервал. СПР собирает информацию о текущих режимах работы генерирующего оборудования Г1(ВЭС) и Г2(СЭС). Генерирующие мощности гибридной электростанции Г1 и Г2 зависят от постоянных и переменных факторов [15-19]. К постоянным факторам можно отнести погрешности, которые можно спрогнозировать, например деградацию солнечных панелей в течение времени. К переменным можно отнести факторы, изменчивость которых можно предугадать с определённой долей вероятности. К ним относятся изменение скорости ветра в течение суток, количество ясных и пасмурных дней, плотность воздуха и т.д. Эти факторы образуют множество погрешностей P_i . Данные о текущем состоянии Г1 и Г2 передаются в блок системы принятия решений (СПР). Аккумуляторная батарея АКБ служит фильтром, сглаживающим пики перепроизводства и недостатка электрической энергии. В СПР собираются данные о текущем состоянии Г1, Г2 и АКБ, величине погрешностей $\{P_i\}$, о необходимой потребности в электроэнергии, — нагрузке $\{P_i\}$, а также коэффициентах ограничений — $\{k_{вэс}, k_{сэс}, k_{акб}\}$. На базе системы нечёткого вывода (СНВ) принимаются решения о приоритете использования Г1, Г2 и передаются управляющие сигналы α_1, α_2 и α_3 . Для прогнозирования погоды используются два отдельных блока. Один передающий долгосрочный и среднесрочный прогноз погоды, с 5 до 10 дней, для СПР на основе глобальной модели погоды. Блок расчёта краткосрочного и среднесрочного прогноза, с 2 до 5 дней, действует на основании локальных метеоданных.

Показатель использования аккумулятора $k_{акб}$ рассчитывается как разность между размером потребности и произведённой электроэнергией, $k_{акб}$ может иметь три состояния: положительное, отрицательное и нулевое.

При нулевом $k_{акб}$ производство электроэнергии равно потреблению, $k_{вэс} + k_{сэс} - P_i = 0$, управляющее воздействие $\alpha_3 = 0$, аккумулятор не используется.

При положительном $k_{акб}$ производство электроэнергии превышает потребление. СПР опрашивает АКБ о степени заряда (SoC). Если $0 \leq \text{SoC}$ посылается управляющее воздействие α_3 начало зарядки АКБ до $\text{SoC}=1$. Если при полной зарядке АКБ $k_{акб} > 0$, отправляется управляющее воздействие α_2 для уменьшения угла атаки лопасти ветроколеса и следовательно уменьшения парусности. В случае, если используется технология ориентации солнечных батарей при помощи управляющего воздействия α_1 можно изменить угол наклона солнечной панели.

При отрицательном $k_{акб}$ потребление электроэнергии превышает производство. СПР опрашивает АКБ о значении SoC. Если $\text{SoC} > 0$ отправляется управля-

ющее воздействие α_3 разряд АКБ, α_2 для увеличения угла атаки, α_1 изменение наклона солнечной панели.

В связи с непостоянным характером производства-потребления будут постоянно возникать пики и спады избытка и недостатка электроэнергии. В этом случае или необходимо пользоваться аккумуляторами, которые не могут быть бесконечными или продавать излишки и покупать недостающее на оптовом рынке электроэнергии. У оптового рынка есть два сегмента представляющие интерес с точки зрения возобновляемой энергетики:

- рынок мощности;
- рынок электроэнергии на сутки вперёд.

Имея СНВ и получая для неё метеорологические данные и прогноз погоды на сутки вперёд можно спрогнозировать потенциальные избыток-недостаток. Используя подобную СНВ можно управлять текущим (суточным) электроснабжением. Вышеописанные СНВ используются как основные ячейки СПР обрабатывающие прогноз погоды на ближайшие часы (рынок мощности - $\text{СНВ}_{\text{ом}}$), на следующие сутки (рынок на сутки вперёд $\text{СНВ}_{\text{ос}}$).

Была произведена оценка вариантов построения СНВ-модель на базе алгоритма Мамдани, база правил описывает всю СНВ:

- две модели на базе алгоритма Мамдани, каждая из которых описывает отдельную переменную;
- три модели на базе алгоритма Мамдани, две из которых описывают отдельную переменную, третья обрабатывает поступающие данные;
- две модели на базе алгоритма Мамдани, каждая из которых описывает отдельную переменную, и нейронная сеть обрабатывающая поступающие данные.

Вариант 1. Модель на базе алгоритма Мамдани, база правил описывает всю СНВ.

Эта модель включает в себя восемь входных переменных, две выходные переменные и является переусложнённой, возникли трудности с поиском и редактированием необходимых правил. Модель отличала низкая скорость работы.

На практике генерирующие мощности большинства электростанций используются в диапазоне от 20 до 70% в зависимости от времени года и потребности в электроэнергии. ВЭС зависят только от Tt , для вращения ветроколеса необходимо от 3 до 6 м/с в зависимости от модели ветрогенераторов. Производительность СЭС кроме продолжительности светового дня и величины инсоляции зависит от степени загрязнения солнечных панелей, прозрачности атмосферы, на которую влияют туманы и облачность.

Вариант 2. Две модели на базе алгоритма Мамдани, каждая из которых описывает отдельную переменную.

Были использованы две нечёткие модели на базе алгоритма Мамдани. Модель *Sun* определяет коэффициент использования генерирующего оборудования СЭС при текущей облачности, прозрачности атмосферы и загрязнённости солнечных панелей, рассчитанного по формуле 1. Модель *Wind* опираясь на данные о текущей Tt определяет коэффициент использования генерирующего оборудования ВЭС.

Использование в системе нечеткого логического вывода большого количества входных переменных, усложнило модель, сделала её громоздкой и сложной. С целью упрощения модели введена переменная группа погрешностей. Входная переменная, получается, по формуле:

$$\Delta S = k_a \cdot T_a + k_d \cdot d + k_c \cdot f, \quad (1)$$

где: ΔS – коэффициент использования генерирующего оборудования СЭС; k_a – коэффициент прозрачности атмосферы; T_a – инсоляция ясного неба; k_d – коэффициент снижения производительности солнечных панелей; d – производительность солнечных панелей теоретическая; k_c – коэффициент облачности; f – облачность.

Коэффициенты k_a , k_d , k_c выражаются в интервале [0, 1] и показывают по 100-бальной шкале насколько текущие показатели снижены относительно единицы.

Модель *Wind-speed*: диапазон ранжирования [0 16] имеет четыре функции принадлежности: *light* [0; 0; 2; 6], *low* [2; 6; 10], *fresh* [6; 10; 14], *strong* [10; 14; 16; 16].

На рисунке 2 показаны результаты работы построенной модели. На графике А показана производительность СЭС, соответственно график Б — это производительность ВЭС. На графике В видна общая выработка электроэнергии ГбЭС, на графике Г отражена нагрузка, на графике Д процесс удовлетворения потребности в электроэнергии.

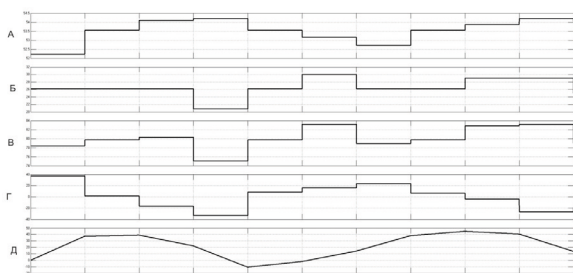


Рисунок 2 – Результаты работы 2 варианта СНВ

Вариант 2 бис (рис. 3) [20] состоит из трёх моделей на базе алгоритма Мамдани, две из которых описывают отдельную переменную, третья обрабатывает поступающие данные.

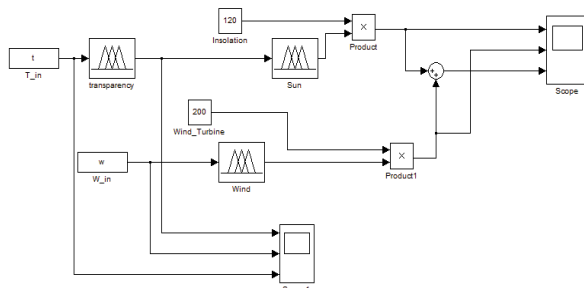


Рисунок 3 – Вариант 2бис построения СНВ

Этот вариант является развитием предыдущего варианта. Модели *Sun* и *Wind* остаются неизменными. В СНВ добавлена нечёткая модель *Transperency*, производящая автоматизированную обработку входных переменных:

- прозрачность атмосферы;

- текущая облачность;
- загрязнение солнечных панелей.

Использование модуля *Transperency* позволило упростить работу по обработке и подготовке первичных метеорологических данных.

На рисунке 4 показаны результаты работы варианта 2 бис, где: график А - планируемая производительность СЭС, Б - ВЭС, С - ГбЭС.

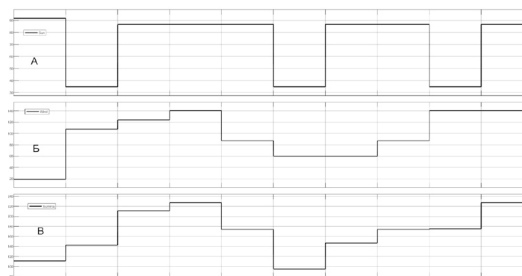


Рисунок 4 – Результаты работы 2бис варианта СНВ

Моделирование работы ГбЭС [21] показывают изменчивый характер работы СЭС и ВЭС, накладывающиеся друг на друга периоды энергетических затиший, не позволяют использовать ГбЭС автономно. Периоды солнечных энергетических затиший можно запланировать только на ближайшее будущее.

Работа ВЭС более предсказуема. Скорость и направление ветра изменяются дважды в течение дня, сезонные изменения можно прогнозировать, имея результаты глобальной модели погоды. Текущая модель показала стабильную работу и удобство использования, возможность масштабирования. К недостаткам можно отнести только высокие требования к квалификации настройщика нечётких моделей.

Вариант 3 (рис.5) состоит из двух моделей на базе алгоритма Мамдани, каждая из которых описывает отдельную переменную и нейронную сеть, обрабатывающую поступающие данные. На рисунке 5 показаны результаты работы, где: график А — производительность СЭС, Б — производительность ВЭС. На графике В видна общая выработка электроэнергии ГбЭС, на графике Г отражена нагрузка, на графике Д процесс удовлетворения потребности в электроэнергии.

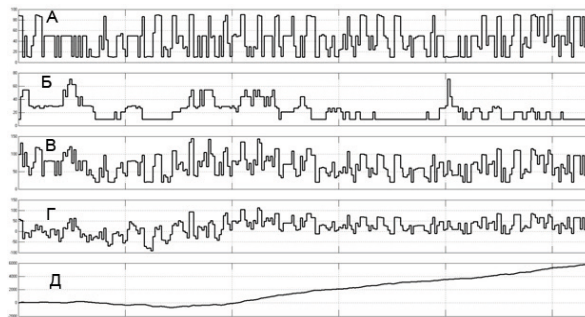


Рисунок 5 – Результаты работы 3 варианта СНВ

Использование в варианте 2 бис дополнительной системы нечеткого логического вывода упростило подготовку данных. Изменение базы правил за счёт увеличения количества входных переменных, с целью увеличения точности, усложняет модуль и делает работу по настройке и изменению параметров более

громоздкими и трудоёмкими. Для создания более простой в обслуживании и технологической СНВ было принято решение модуль по обработке метеорологических данных строить на базе нейронной сети, модули *Sun* и *Wind* остаются неизменными.

В СНВ для подготовки входных переменных обучена линейная двухслойная нейронная сеть, тридцать нейронов в слое.

Третий и 2 бис варианты показали удобство в настройке, изменении параметров, масштабируемости. Третий вариант удобно использовать, если не требуется вносить изменений в нейронную сеть или для моделирования режима работы в лабораторных условиях в виде испытательного стенда. Вариант 2 бис более трудоёмок в настройке, но может выдавать результаты с меньшей погрешностью. Точность полученных результатов: краткосрочное прогнозирование (1 сутки) 90-96%, среднесрочное прогнозирование (2-5 суток) 70-78%, долгосрочное (от 7 дней) порядка 60%.

Заключение. В статье предложена реализация составной части системы управления, а именно, система нечёткого выбора, позволяющая оценивать производительность ГбЭС на основании прогноза погоды. Для оценки производительности ГбЭС отсутствует необходимость составлять полный прогноз погоды, поэтому были выделены два значащих критерия скорость ветра и прозрачность атмосферы. На основании анализа временных рядов построена нейронная сеть прогнозирующая скорость ветра и прозрачность атмосферы. Разработана общая концепция системы управления и алгоритмы нечёткого выбора. Произведён обзор четырёх вариантов, три варианта на основе алгоритмов Мамдани и один комбинированный на основании нейронной сети и алгоритма Мамдани, выбраны оптимальные варианты системы нечёткого вывода. Создание подобной системы принятия решений позволяет получить универсальный модуль для прогнозирования производительности ГбЭС на краткосрочную и среднесрочную перспективу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Jane, R.; Parker, G.; Vaucher, G.; Berman, M. Characterizing Meteorological Forecast Impact on Microgrid Optimization Performance and Design. *Energies* 2020, Vol. 13, P.577.
2. Jane, R.S. Networked Microgrid Optimization and Energy Management. Ph.D Thesis, Michigan Technological University, Houghton, MI, USA, 2019.
3. H. Bouaicha, H. Dallagi, E. Craparo and S. Nejim, "Economic scheduling of a hybrid microgrid based on weather forecasts," 2017 International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC_ASET), Hammamet, 2017, P. 110-117.
4. S. Dutta, Y. Li, A. Venkataraman, L. M. Costa, T. Jiang, R. Plana, P. Tordjman, F. H. Choo, C. F. Foo, and H. B. Puttgen, "Load and renewable energy forecasting for a microgrid using persis tence technique," *Energy Procedia* 2017, Vol. 143, P. 617-622.
5. Барашкова Н. К. Атмосферные процессы: динамика, численный анализ, моделирование: учебное пособие: [для студентов вузов, обучающихся по направлению "Гидрометеорология"] / Н. К. Барашкова, Л. И. Кижнер, И. В. Кужевская; науч. ред. Г. О. Задде; Том. гос. ун-т. - Томск: [ТГУ], 2012. URL:<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000447829>.
6. Архив погоды в Александровом Гае, номер метеостанции 34391 [Электронный ресурс] / (ООО) "Расписание Погоды", — Электрон. текстовые дан. — СПб.:2020. — Режим доступа: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Александровом_Гае_свободный.
7. Толстых М.А. Полулагранжева модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // *Метеорология и гидрология*. 2001. No 4. С. 5-16.
8. Толстых М.А., Желен Ж.Ф., Володин Е.М., Богословский Н.Н., Вильфанд Р.М., Киктев Д.Б., Красюк Т.В., Кострыкин С.В., Мизяк В.Г., Фадеев Р.Ю., Шашкин В.В., Шляева А.В., Эзау И.Н., Юрова А.Ю. Разработка многомасштабной версии глобальной модели атмосферы ПЛАВ // *Метеорология и гидрология*. 2015. No 6. С. 25-35.
9. Толстых М.А., Шашкин В.В., Фадеев Р.Ю., Шляева А.В., Мизяк В.Г., Рогутов В.С., Богословский Н.Н., Гойман Г.С., Махнорылова С.В., Юрова А.Ю. Система моделирования атмосферы для бесшовного прогноза. М.: Триада лтд. 2017. 166 с.
10. Толстых М.А., Фадеев Р.Ю., Шашкин В.В., Гойман Г.С., Зарипов Р.Б., Киктев Д.Б., Махнорылова С.В., Мизяк В.С., Рогутов В.С. Многомасштабная глобальная модель атмосферы ПЛАВ: результаты среднесрочных прогнозов погоды // *Метеорология и гидрология*. 2018. No 11. С. 90-99.
11. Фадеев Р.Ю., Толстых М.А., Володин Е.М. Климатическая версия модели атмосферы ПЛАВ: разработка и первые результаты // *Метеорология и гидрология*. 2019. No 1. С. 22-35. (2) (PDF) Development of SL-AV global semi-Lagrangian atmosphere model in 2009–2019.
12. Тимофеев М.Н. Обоснование выбора систем с возобновляемыми источниками электроэнергии на базе моделирования природного энергетического потенциала / М.Н. Тимофеев, Ю.Б. Томашевский // *Вопросы электротехнологии*. 2016. № 1 (10). С. 96-101.
13. Тимофеев М. Н. Построение модели природной среды для проектирования электроэнергетических систем с возобновляемыми источниками электроэнергии // *Электротехнические комплексы и системы управления*. – 2015. – №. 4. – С. 29-33.
14. Чучуева И. А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.18 / Чучуева Ирина Александровна – М., 2012.
15. Подковальников С.В., Поломошина М.А. Интеграция возобновляемых источников энергии в систему электроснабжения промышленного предприятия // *Вестник ИрГТУ*. 2018. №11 (142).
16. Панкратьев П.С. Размещение тепловой электростанции в районе с децентрализованным электроснабжением в условиях многокритериальности с учетом неточно выраженных предпочтений ЛПР // *Вестник ИрГТУ*. 2019. №2 (145).
17. Шакиров В.А., Палатов Д.А. Поддержка принятия решений в условиях неточно заданных предпочтений в отношении важности критериев // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2016. №2 (50).
18. Шакиров В.А., Панкратьев П.С. Поддержка принятия решений на стадии предпроектных исследований на основе двухуровневого многокритериального анализа // *Прикладная информатика*. 2013. №6 (48).
19. Яцало Б.И., Грицюк С.В., Мирзеабасов О.А., Василевская М.В. Учет неопределенностей в рамках многокритериального анализа решений с использованием концепции приемлемости // *УБС*. 2011. №32.
20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2020664336. Тимофеев М.Н. Программа моделирующая работу интеллектуальной сети (микрогрид), включающая несколько источников возобновляемой энергии. Опубл. 20.11.2020 Бюл.№11.
21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2019666065. Томашевский Ю.Б. [и др.] Программа определения баланса мощности в микрогрид на основе вычисления генерируемой возобновляемыми источниками энергии мощности с использованием нечетких правил. Опубл. 04.12.2019 Бюл.№12.

Статья поступила в редакцию 10.11.2020

Статья принята к публикации 11.12.2020