

Управление автономным энергетическим комплексом с возобновляемыми источниками энергии с учетом типа неопределенности входной информации

В. С. Симанков
Кубанский государственный технологический университет
Краснодар, Краснодарский край
vs@simankov.ru

П. Ю. Бучацкий², В. В. Бучацкая³,
А. В. Шопин⁴, С. В. Теплоухов⁵
Адыгейский государственный университет
Майкоп, Республика Адыгея
²butch_p99@mail.ru, ³buch_vic@mail.ru,
⁴ashop409@gmail.com, ⁵mentory@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы управления автономным энергетическим комплексом с возобновляемыми источниками энергии (АЭК с ВИЭ) в рамках smart grid решений в условиях различных видов неопределенности входной информации. На основе теории нечеткой логики и нечеткой ситуационной сети разработан подход, позволяющий рассчитать тип неопределенности входной информации, а затем выбрать наиболее подходящую математическую модель и стратегию управления АЭК с ВИЭ.

Ключевые слова: сложная система, неопределенность информации, нечеткая логика, автономный энергетический комплекс с возобновляемыми источниками энергии, smart grid

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные сети электроснабжения должны обеспечивать эффективность, надежность, устойчивость производства и выгоду потребления. Для этого необходима реструктуризация и модернизация существующих энергосистем. Одним из таких решений может быть умные сети энергоснабжения (smart grid) [1, 2], которые оперируют большими потоками данных и способны интеллектуально подходить к вопросам управления процессами в рамках такого решения.

Ряд аналитических агентств [3] отмечают несколько важнейших особенностей smart grid технологии:

- децентрализация сети;
- наличие интеллектуальных датчиков;
- существенное применение «зеленой энергии» или возобновляемых источников энергии (ВИЭ);
- применение беспроводных каналов связи.

Эти особенности позволяют говорить о необходимости управления такими сложными техническими комплексами в условиях неопределенности входной информации, которая поступает от множества различных источников, а также существенной децентрализации системы. Поэтому

вопросы управления такими системами являются крайне актуальными.

II. ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Рассмотрим структуру smart grid системы (рис. 1). В рамках такой системы важно отметить, что ряд потребителей может иметь собственную систему генерации энергии, например, на основе фото- или ветроустановок. Также необходимо предусмотреть возможность отдавать избытки электроэнергии от таких производителей в общую сеть [4].

Кроме того, ряд потребителей может иметь существенные ограничения на доставку электроэнергии от традиционных сетей, например, по причине удаленности, трудности транспортировки или дороговизны. Это приводит к необходимости рассмотрения автономных энергетических комплексов с возобновляемыми источниками энергии (АЭК с ВИЭ).

Входные данные по характеру их получения можно условно разделить на следующие типы [5]:

- измеряемые – получаемые с какой-либо периодичностью или вычисляемые на основе полученной информации;
- не измеряемые или постоянные – константы, зависящие от местоположения потребителя.

Измеряемыми могут быть следующие параметры: оперативные метеоданные, величина солнечной радиации, энергия ветра и т. д.

Не измеряемые данные: географические данные потребителя, физические константы, данные топографии и т. д.

Указанные данные, поступающие из различных источников, могут быть неполны, недостоверны и неточны. Это говорит о необходимости учета неопределенности входной информации для управления автономным энергетическим комплексом с возобновляемыми источниками энергии.

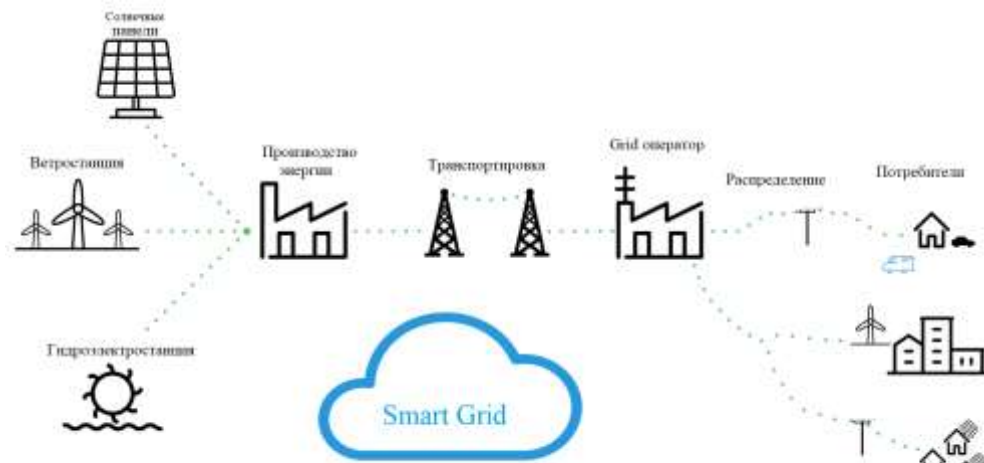


Рис. 1. Структура smart grid сети

III. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Можно выделить следующие основные типы неопределенности входной информации [6, 7, 8]:

- детерминированный тип – предполагается отсутствие любых случайных воздействий, структура системы полностью известна и может быть представлена в виде «белого ящика»;
- стохастический тип – для каждого фактора вероятность известна или может быть оценена, т.е. неопределенность информации учитывается путем рассмотрения случайных событий и процессов;
- нечеткий тип – наличие непрерывно изменяющихся во времени значений, неформализованных данных, в условиях такого типа система часто представляется в виде «черного ящика».

Для идентификации типа неопределенности входной информации возможно использовать подход на основе нечеткой логики, предложенный в работе [9].

В основе работы алгоритма лежат следующие положения [10, 11, 12]:

- расчет ряда характеристик входной информации, влияющих на тип неопределенности (размер выборки, доля шумов и выбросов, наличие текстовых данных стационарность выборки);
- определение функций принадлежности характеристик информации терм-множеству;
- построение правил системы нечеткого логического вывода;
- агрегирование значений функций принадлежности;
- аккумуляция подзаключений;
- построение выходной интегрированной функции принадлежности;
- дефазификация нечеткой величины.

В результате его работы получена интегрированная выходная функция принадлежности, описывающая тип неопределенности (рис. 2).

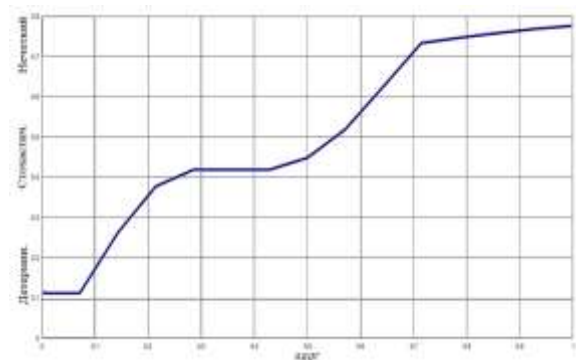


Рис. 2. Интегрированная выходная функция принадлежности типа неопределенности входной информации

Затем необходимо осуществить выбор метода M управления автономным энергетическим комплексом с возобновляемыми источниками энергии с учетом вычисленного значения типа неопределенности.

Цель – поиск метода M : $M = \Phi(X, Y, H, CP)$, где X – множество входных сигналов ОУ, Y – множество выходных сигналов ОУ, U – управляющие воздействия системы управления на объект управления, $U: X \rightarrow Y$, H – мера неопределенности исходной информации, CP – мера сложности системы.

При наличии ограничений:

$$\begin{cases} \exists N: N = \{A, U, C, I, R\} \\ \exists x \in X: x \rightarrow \{T(x), G, P\} \\ \exists f \in \Phi: f = \{f_1, f_2, \dots, f_m\} \end{cases}$$

N – производственное правило, A – сфера применения продукции, U – условие применимости продукции, C – ядро продукции, I – постусловия продукции, R – комментарий, $T(x)$ – терм-множество, G – синтаксическое

правило, P – семантическое правило, f – математическая функция.

Так, можно выделить ряд математических методов в условиях различных типов неопределенности:

Детерминированный – расчет дневных сумм солнечной радиации для безоблачного неба (модель безоблачного неба) по формуле (1) [13]:

$$Q_{\text{возм}}^{\text{сум}} = \int_{t_{\text{солн}}^{\text{в}}}^{t_{\text{солн}}^{\text{з}}} [S_{\text{возм}}(t_{\text{солн}}) + D_{\text{возм}}(t_{\text{солн}})] dt_{\text{солн}} \quad (1)$$

Стохастический – величина поступления солнечной радиации с учетом облачности, вероятностное описание скорости ветра с помощью распределения Вейбулла по формулам (2) и (3), соответственно [13]:

$$k = \frac{\bar{S}_{\text{смам}}}{\int_{t_a}^{t_b} S_{\text{он}}(t) dt} = \frac{\bar{S}_{\text{смам}}}{Q_{\text{возм}}^{\text{сум}}} \quad (2)$$

$$\varphi_v(v) = \frac{K}{A} \left(\frac{v}{A} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{A} \right)^k \right] \quad (3)$$

Нечеткий – непосредственное управление автономным энергетическим комплексом с ВИЭ на основе нечеткой ситуационной модели типа «ситуация – стратегия управления – действие» (С-СУ-Д) (рис. 3) [14].

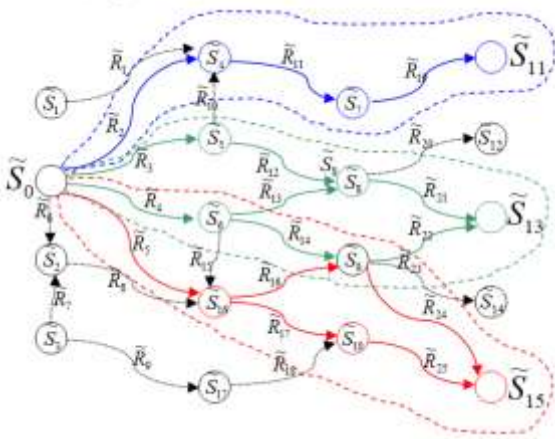


Рис. 3. Расчет стратегии управления по нечеткой ситуационной сети при изменении целевой ситуации при управлении АЭК с ВИЭ

При таком подходе предполагается хранение только набора типовых ситуаций $S = \{\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_N\}$ и степеней предпочтения $\mu(\tilde{S}_i, R_j)$ соответствующих управляющих решений R_j , которые можно представить в виде нечеткой ситуационной сети (НСС).

Таким образом, возможно на основе входной информации о ВИЭ от потребителя и производителя электроэнергии определить тип неопределенности, выбрать алгоритм моделирования процессов, а также осуществлять управление такой сложной технической системой.

IV. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Рассмотренные математические методы могут быть реализованы в ряде программных комплексов [15]. На рис. 4 представлена структурная схема программного модуля для управления АЭК с ВИЭ в рамках smart grid решений с учетом типа неопределенности входной информации.

В рамках этого модуля происходит опрос пожеланий пользователя (потребителя), а также производится учет особенностей потребления (например, пиковые часы, мощность, требования к бесперебойности работы и т. д.). Производится опрос интеллектуальных датчиков (температура воздуха, скорость ветра, облачность, направление ветра и т. д.), а также получаются и сохраняются не измеряемые данные (географическая широта и долгота, рельеф и топографические сведения, накопленные статистические данные, особенности ветро- и фотопреобразователей). Все полученные данные сохраняются в базу данных с целью их последующей обработки и использования.

Предобработанная входная информация поступает на вход алгоритма идентификации типа неопределенности, в результате работы которого будет определен тип: детерминированный, стохастический и нечеткий.

На основе вычисленного типа неопределенности осуществляется подбор математических методов моделирования и алгоритмов управления АЭК с ВИЭ. Для этого выделен отдельный блок взаимодействия с базой знаний. Также предусмотрено дообучение БЗ и пополнение базы математических моделей, используемых в дальнейших расчетах.

Затем полученные сведения поступают на вход нечеткой ситуационной сети, которая хранит набор типовых ситуаций S и степеней предпочтения $\mu(\tilde{S}_i, R_j)$ соответствующих управляющих решений. В результате осуществляется выбор предпочтительного управленческого решения и его расчет.

Подобная структура позволяет системе адаптироваться к особенностям входной информации.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены основные аспекты управления автономными энергетическими комплексами с возобновляемыми источниками энергии, которые являются сложными техническими системами, входящими в состав smart grid решений. Для эффективного управления АЭК с ВИЭ необходимо оценивать тип неопределенности входной информации, которая поступает из множества источников: потребителя, интернета, сторонних баз данных, интеллектуальных датчиков и т. д. Для этого целесообразно использовать алгоритм на основе теории нечеткой логики, который позволяет оценить тип неопределенности исходных данных.

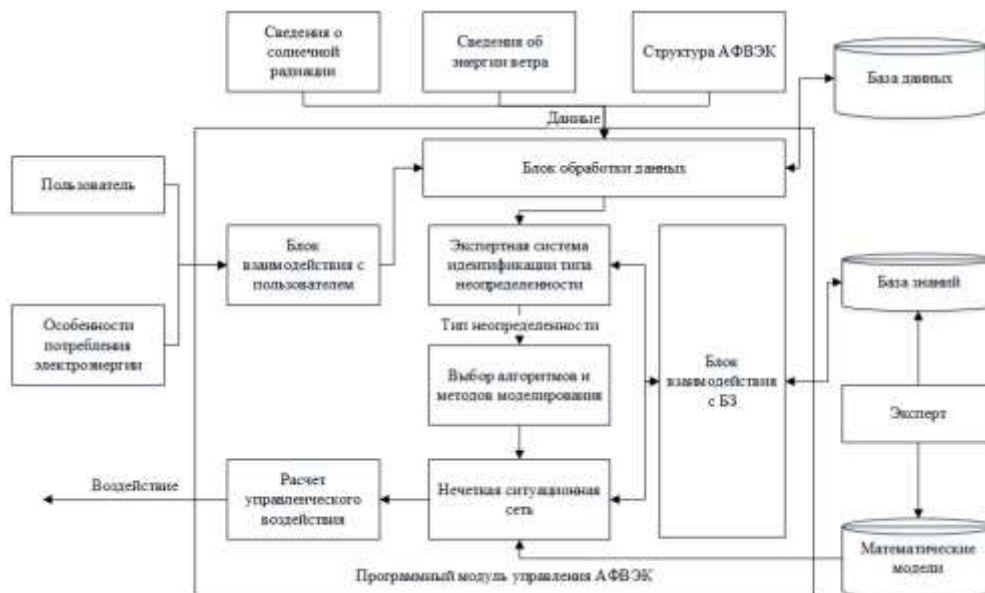


Рис. 4. Структура программного модуля управления АЭК с ВИЭ

Вычисленный тип неопределенности дает возможность выбрать математический метод моделирования поступления солнечной и ветровой энергии в условиях конкретного потребителя, а также осуществить выбор алгоритма управления. Для этого используется нечеткая ситуационная сеть, которая формирует предпочтительную стратегию управления с учетом изменяющейся целевой ситуации.

Указанные подходы реализованы в ряде программных комплексов, что дает возможность интегрироваться в современную smart grid систему, а также адаптироваться к изменению входных данных и условий использования АЭК с ВИЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] J. Hu and A. Lanzon. Distributed Finite-Time Consensus Control for Heterogeneous Battery Energy Storage Systems in Droop-Controlled Microgrids // IEEE Transactions on Smart Grid, Sept. 2019, vol. 10, no. 5, pp. 4751-4761. DOI: 10.1109/TSG.2018.2868112.
- [2] H. Albataineh, M. Nijim and D. Bollampall. The Design of a Novel Smart Home Control System using Smart Grid Based on Edge and Cloud Computing // 2020 IEEE 8th International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), 2020, pp. 88-91. DOI: 10.1109/SEGE49949.2020.9181961.
- [3] R. Bertram. Energy Atlas 2018. Facts and figures about renewables in Europe, URL: https://eu.boell.org/sites/default/files/energyatlas2018_facts-and-figures-renewables-europe.pdf
- [4] Smart Grid System Report. United States Department of Energy, 2018. URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/02/f59/Smart%20Grid%20System%20Report%20November%202018_1.pdf
- [5] Симанков В.С., Шопин А.В., Бучацкий П.Ю. Методология нечеткого управления автономной фотоветроэнергетической системой // Труды Физического Общества Республики Адыгея, 1999, № 4, с. 71-77.
- [6] Simankov V.S., Buchatskaya V.V., Buchatskiy P.Y. and Teploukhov S.V. Classification of information's uncertainty in system research // "2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2017, pp. 187-189. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970534.
- [7] Gil-Aluja, J. Handbook of Management under Uncertainty. Springer US, 2001, p. 804.
- [8] Singh P.K., Tewari R.K. Create an Automatic Uncertainty Elimination Tools in Software Engineering // International Conference on Automation, Computational and Technology Management (ICACTM), 2019, pp. 237-240. DOI: 10.1109/ICACTM.2019.8776840.
- [9] Симанков В.С., Бучацкая В.В., Теплоухов С.В. Методика идентификации и учета неопределенности исходной информации в интеллектуальном ситуационном центре // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки, 2019, № 2 (241), с. 21-27.
- [10] Zadeh L.A. Fuzzy sets, Information and Control, №8 (3), 1965, pp. 338-353
- [11] Пергат А. Нечеткое моделирование и управление, 4-е изд. М.: Лаборатория знаний, 2020, с. 801.
- [12] Timothy J. Ross. Fuzzy Logic with Engineering Applications, 4th Edition. Wiley, 2016, p. 573.
- [13] Бучацкий П.Ю. Математическое моделирование НВИЭ как объекта системного исследования // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах, г. Санкт-Петербург, 2015, № 1, с. 60-62.
- [14] Buchatskiy P.Y., Simankov V.S. and Shopin A.V. Approach to Managing an Autonomous Energy Complex with Renewable Energy Sources based on Fuzzy Models // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2019, pp. 1-6. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867728.
- [15] Buchatskiy P.Y., Teploukhov S.V. and Onishchenko S.V. Software and Hardware Complex for Evaluating the Potential of Wind and Solar Energy // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2020, pp. 1-5. DOI: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9112028.