



УДК 621.311

**СИСТЕМА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**
**FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR REGIONAL ENERGY EFFECTIVENESS
EVALUATION**

В.И. Бирюлин, Д.В. Куделина
V.I. Biryulin, D.V. Kudelina

Юго-Западный государственный университет, Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94
South-West State University, 94 50let Oktyabrya St, Kursk, 305040, Russia

e-mail: mary_joy@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы применения математического аппарата нечеткой логики для оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. Приведены основные проблемы, возникающие при исследовании региональных энергетических систем традиционными математическими методами. Указаны причины появления этих проблем, в том числе и неопределенности исходной информации. Показано, что использование систем нечеткого вывода в этих случаях позволяет получить более достоверную и полную картину в области потребления энергоресурсов различными промышленными потребителями. Рассмотрен процесс разработки систем нечеткого вывода оценки эффективности использования энергоресурсов на примере энергетических предприятий.

Resume. The article deals with the problems of the fuzzy logic mathematical apparatus application to evaluate the efficiency of the fuel and energy resources use. The main problems connected with the regional energy systems investigation by the traditional mathematical methods are given. The causes of these problems, including the uncertainty of the initial information are shown. Also it is shown that the use of the fuzzy inference systems in these cases permits to receive more accurate and complete picture in the field of the energy resources consumption by various industrial consumers. The process of the development of the fuzzy inference systems energy efficiency evaluation on the example of energy enterprise is given.

Ключевые слова: региональная энергетическая система, энергоэффективность, топливно-энергетические ресурсы, оценка эффективности, неопределенность информации, нечеткая логика, математическая модель, база знаний

Keywords: regional energy system, energy efficiency, fuel and energy resources, effectiveness evaluation, information uncertainty, fuzzy logic, mathematical model, the knowledge base

Введение

Получение достоверных оценок состояния и эффективности региональной энергетики необходимо для выявления проблем, возникающих при производстве, передаче, распределении и потреблении топливно-энергетических ресурсов. Эти оценки должны являться основой для принятия управленческих решений и внесения соответствующих корректив в тактику и стратегию развития этой отрасли в том или ином регионе.

Любой региональный энергетический комплекс является сложной территориально ограниченной многофакторной системой. Такая система включает в себя большое количество выполняющих функции производства, поставки, преобразования, сбыта и потребления тепло- и электроэнергии объектов. Эта система характерна наличием нескольких уровней и сложных связей между ними, а также существованием многих ограничений, например, по объемам финансирования [1, 2].

Получение обоснованной оценки комплексной эффективности функционирования любой сложной производственной системы, в том числе и региональной энергосистемы, состоит в определении некоторого количества интегральных или обобщенных показателей (или одного показателя) качества функционирования всей системы.

Обобщенные показатели оценки эффективности энергопотребления и энергосбережения, используемые в настоящее время при анализе региональной энергетики или же отдельных ее частей, должны соответствовать следующим требованиям:

- рассматриваемые показатели изучаемой системы или отдельных объектов должны отображать по возможности весь спектр выполняемых в ходе исследуемых процессов функций;

- каждый показатель исследуемой системы должен определяться согласно решаемым в ходе анализа системы задачам;



- используемые показатели эффективности работы должны по возможности достоверно характеризовать исследуемые процессы в рассматриваемой региональной энергосистеме с полнотой, определяемой целями исследования;

- применяемые показатели не должны выводиться друг из друга на основе математических преобразований, они должны основываться на независимые или слабо коррелированные характеристики исследуемых систем;

Основные трудности при разработке и использовании математических моделей для исследования процессов производства, передачи, распределения и потребления энергетических ресурсов на региональном уровне состоят не только в больших объемах обрабатываемой информации. Необходимо учитывать, что часть используемых показателей и параметров оказывается неопределенной по своей природе и одновременно с этой неопределенностью итоговые результаты работы математических моделей сильно зависят от таких данных.

Неопределенность сложных организационно-технических систем, в том числе и региональной энергетики, возникает по следующим основным причинам [3]:

– существует неполнота или отсутствие достоверной информации о поведении отдельных частей изучаемой сложной системы, а также взаимных связей, возникающих между ними;

– невозможность или же ограниченная возможность проведения экспериментальных исследований протекающих процессов (особенно с учетом различных форм собственности энергетических предприятий и стремлением многих из них сохранять коммерческую тайну), что не позволяет получить достаточную для проведения исследований и заслуживающую доверия информацию о наиболее важных характеристиках изучаемой системы;

– использование большого числа критериев для получения оценки итоговых результатов функционирования всей системы.

Объекты и методы исследования

Проблемы принятия обоснованных управленческих решений с учетом существования неопределенной информации являются в настоящее время одним из ведущих направлений в применении информационных технологий. Сегодня учет факторов неопределенности и неполноты информации должен быть обязательным при проводимых исследованиях сложных организационно-технических систем. Кроме этого, чем более сложной является рассматриваемая система, тем менее точными становятся результаты исследований ее функционирования.

Эти проблемы успешно преодолеваются с использованием математического аппарата нечеткого моделирования. В последнее время применение нечетких систем является одной из наиболее активных и перспективных направлений прикладных исследований в области управления и принятия решений, особенно при изучении сложных организационно-технических систем.

Математический аппарат нечетких систем, на котором основывается нечеткое моделирование, намного ближе по своему построению и работе к человеческому мышлению, чем традиционные математические количественные методы. Он более точно обеспечивает эффективные средства учета и обработки в математических моделях неопределенностей и неточностей, присутствующих в окружающем реальном мире. В настоящее время нечеткая логика используется во многих областях науки и техники, например [4-6].

При этом любая математическая модель, согласно теореме о нечеткой аппроксимации [7], может быть системой, основанной на нечеткой логике. Это обеспечивает адекватное представление с помощью высказываний-правил (выраженных на естественном языке) «если-то», с последующей их обработкой средствами теории нечетких множеств, сколь угодно сложной произвольной системы.

Применение аппарата нечеткой логики целесообразно совмещать с сокращением объема входной информации для разрабатываемых математических моделей реальных систем и процессов. Для этого следует применять декомпозицию. Декомпозиция представляет собой процесс разделения исходной сложной задачи на совокупность подзадач с последующим независимым решением данных подзадач. При этом следует учитывать возможность проведения такого разделения .

Результаты и их обсуждение

Так как процессы производства, передачи, распределения и потребления топливно-энергетических ресурсов являются по существу практически независимыми друг от друга, то задача оценки эффективности региональной энергетики разделяется на следующие подзадачи:

- оценка деятельности источников энергетических ресурсов при их производстве, в первую очередь тепловой и электрической энергии;



- оценка функционирования тепловых и электрических сетей при передаче и распределении энергоресурсов;
- оценка промышленных предприятий как потребителей энергоресурсов;
- оценка потребителей энергоресурсов в жилищно-коммунальной сфере;
- оценка потребителей энергоресурсов в сельском хозяйстве, на транспорте и т.д.

Построение всех математических моделей для решения данных подзадач осуществляем на основе использования систем нечеткого вывода. При разработке системы нечеткого вывода осуществляются представление всех знаний по изучаемому объекту с помощью какой-либо формальной логической системы. Формальная логическая система в общем случае задается четверкой компонентов вида [8]:

$$FS = \langle B, S, A, L \rangle, \quad (1)$$

где B – множество базовых элементов, из которых строятся все выражения разрабатываемой системы; S – множество синтаксических правил, выделяющих среди всех возможных выражений из множества базовых элементов только те, которые являются формулами; A – множество аксиом, т.е. формул, признаваемых априорно истинными; L – разработанные правила вывода результатов.

При практическом использовании формальных логических систем целесообразно заменять их совокупностями продукций и методов прямого и обратного вывода. В наиболее общей форме продукцию можно представить следующим образом [8]:

$$(N)K; C; A \rightarrow B; Q, \quad (2)$$

где N – уникальный номер, присвоенный той или иной продукции; K – представление класса ситуаций, в которых данная продукция может использоваться; C – условие, при выполнении которого продукция активизируется; A – левая часть рассматриваемой продукции; B – правая часть рассматриваемой продукции; Q – указание на возможные изменения, которые надо внести в данную продукцию (в условие C , в A или в B) или в другие продукции системы после применения данной продукции.

Системы продукций чаще всего реализуются в виде групп правил как условных операторов вида: ЕСЛИ *условие* ТО *заключение* и строятся на основе понятий лингвистической переменной и нечеткого высказывания. Согласованное множество нечетких продукционных правил образует нечеткую продукционную систему. Таким образом, нечеткая продукционная система представляет собой список нечетких продукционных правил «IF A THEN B».

Рассмотрим построение математических моделей на основе нечеткой продукционной системы на примере моделирования источников энергоресурсов (рассматриваем ТЭЦ). Ограниченный объем статьи не позволяет подробно описать всю систему, поэтому приведем самые общие сведения.

Произведем объединение исходных данных в следующие группы: годовые расходы, удельные расходы и КПД, затраты на потребляемые ресурсы, затраты на персонал; расходы на оборудование; стоимостные показатели произведенных энергоресурсов.

Для примера состав группы годовые расходы:

- годовой расход условного топлива на отпуск электроэнергии, т.у.т/кВт·ч;
- годовой расход условного топлива на отпуск тепловой энергии, т.у.т/Гкал;
- годовой расход условного топлива на отпуск теплоты с учетом электроэнергии на собственные нужды, отнесенной на отпуск теплоты, т.у.т/Гкал;
- годовой расход условного топлива на отпуск электроэнергии с учетом собственных нужд, приходящихся на производство электроэнергии, т.у.т/кВт·ч.

Все эти данные в большинстве являются четкими или выраженными некоторыми количественными показателями. Но для анализа энергетической эффективности такие данные не предоставляют необходимой информации для анализа исходной информации и принятия обоснованных решений, так как эти численные показатели не могут показать в большинстве случаев достигнутый или реальный уровень эффективности. Это связано с тем, что при анализе подобной информации непонятно, например, высокий или нет уровень расхода топлива на генерацию энергии относительно других энергетических предприятий, особенно с учетом различных условий их размещения, состава оборудования и т.п.

При большом числе исходных данных их влияние на конечный результат, получаемый на выходе системы, удобно представить в виде иерархического дерева логического вывода [9,10]. Это дерево представлено на рисунке 1.

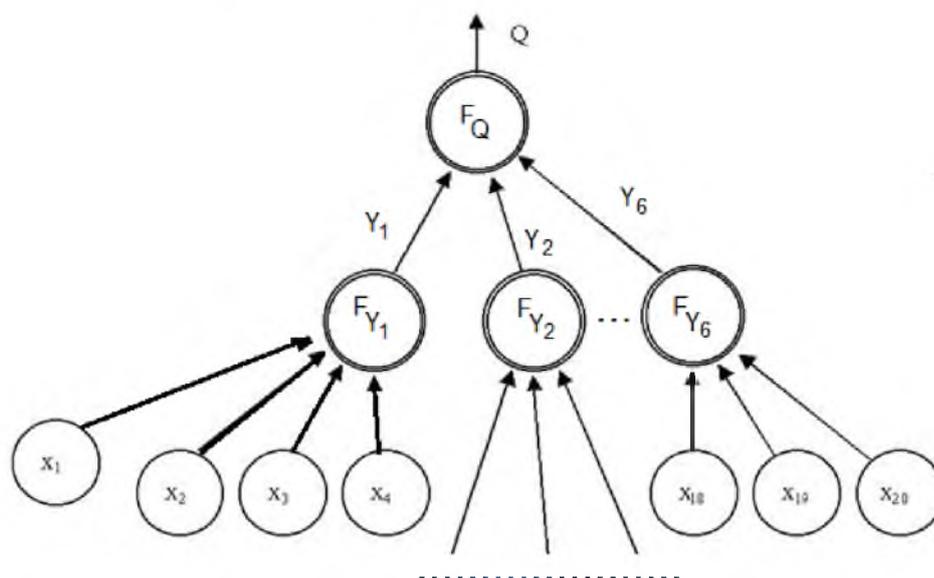


Рис. 1. Иерархическая классификация факторов, влияющих на эффективность работы ТЭЦ
Fig. 1. The hierarchical classification of the factors affecting the efficiency of the heat and power plant

- Элементы дерева интерпретируется так:
- корень дерева – эффективность работы рассматриваемого предприятия региональной энергетики Q ;
 - терминальные вершины – исходные данные (X_1, \dots, X_{20}) ;
 - нетерминальные вершины (двойные окружности) - свертки исходных данных или результаты промежуточных выводов;
 - дуги графа, выходящие из нетерминальных вершин – укрупненные нечеткие показатели (Y_1-Y_6) .

С учетом этого, модель эффективности работы ТЭЦ будет представлять функциональное отображение вида:

$$X = (X_1, \dots, X_{20}) \rightarrow Q[0,100] \tag{3}$$

Терминальные вершины представляют годовые расходы Y_1 , удельные расходы и КПД Y_2 , затраты на потребляемые ресурсы Y_3 , затраты на персонал Y_4 , расходы на оборудование Y_5 , стоимостные показатели произведенных энергоресурсов Y_6 .

Основные этапы функционирования нечеткого вывода (фаззификация, формирование баз знаний и т.д.) описаны во многих работах, покажем построение промежуточной и конечной баз знаний. В качестве примера промежуточной базы знаний рассмотрим группу затраты на потребляемые ресурсы или Y_3 . Они включают в себя:

- договорная цена на топливо, X_{12} ;
- издержки по топливу на технологические цели, X_{13} ;
- затраты по воде, X_{14} .

Разработанная база знаний приведена в таблице1.

Таблица 1
Table 1

Нечеткая база знаний для моделирования затрат на потребляемые ресурсы
The fuzzy knowledge base for simulation of the costs on the consumed resources

X_{12}	X_{13}	X_{14}	Y_3
Высокое	Высокое	Высокое	Низкое
Высокое	Среднее	Высокое	Низкое
Среднее	Среднее	Высокое	Среднее
Среднее	Среднее	Среднее	Среднее
Низкое	Высокое	Высокое	Среднее
Низкое	Низкое	Высокое	Среднее
Низкое	Низкое	Среднее	Среднее
Низкое	Низкое	Низкое	Высокое



Для формирования итогового вывода используется соответствующая база знаний, приведенная в таблице 2.

Таблица 2
Table 2

Нечеткая база знаний для формирования итогового результата
The fuzzy knowledge base for the formation of the final result

Y ₁	Y ₁	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Q
Высокое	Высокое	Высокое	Высокое	Высокое	Высокое	Низкое
Высокое	Высокое	Среднее	Высокое	Высокое	Высокое	Низкое
Среднее	Среднее	Высокое	Среднее	Среднее	Высокое	Среднее
Среднее	Среднее	Среднее	Среднее	Среднее	Среднее	Среднее
Низкое	Низкое	Среднее	Низкое	Среднее	Среднее	Среднее
Низкое	Низкое	Среднее	Низкое	Низкое	Низкое	Низкое

Заключение

Приведенная математическая модель позволяет получать оценку эффективности процессов использования энергетических ресурсов в региональных энергосистемах с учетом разнородной информации, часть которой может быть неопределенной. Это позволяет получать более достоверные результаты по сравнению с применением традиционных математических методов, использующих только количественные исходные данные. Например, состояние энергетического оборудования достаточно сложно определять количественными показателями. Но этот фактор может быть легко представлен в виде экспертной оценки и преобразован в лингвистическую переменную для использования в системе нечеткого вывода.

Список литературы

References

1. Мелентьев Л.А. 1983. Системные исследования в энергетике. М., Наука, 455 с.
Melent'ev L.A. 1983. Sistemnye issledovaniya v jenergetike. M., Nauka, 455 s.
2. Попырин Л.С., К.С.Светлов, Г.М.Беляева. 1989. Исследование систем теплоснабжения. М., Наука, 215 с.
Popyrin L.S., K.S.Svetlov, G.M.Beljaeva. 1989. Issledovanie sistem teplosnabzhenija. M., Nauka, 215 s
3. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. 1991. Управление производством при нечеткой исходной информации. М., Энергоатомиздат, 240 с.
Aliiev R.A., Cerkovnyj A.E., Mamedova G.A. 1991. Upravlenie proizvodstvom pri nechetkoj ishodnoj informacii. M., Jenergoatomizdat, 240 s.
4. Хорошев Н.И., Казанцев В.П. 2011. Применение правил нечеткой логики при эксплуатации электротехнического оборудования. Электротехника, 11: 59-64.
Khoroshev N.I., Kazantsev V.P. 2011. Primenenie pravil nechetkoj logiki pri ekspluatatsii elektrotekhnicheskogo oborudovaniya. Elektrotekhnika, 11: 59-64.
5. Катков Е.В., Бородин А.И., Стрельцова Е.Д. 2013. Нечеткая логика в оценке инвестиционной привлекательности проектов. Прикладная информатика, 46 (4): 19-24.
Katkov E.V., Borodin A.I., Strel'tsova E.D. 2013. Nchetkaya logika v otsenke investitsionnoy privlekatel'nosti projektov. Prikladnaya informatika, 46 (4): 19-24.
6. Серебровский, В.В. Информационная система детектирования ишемических кардициклов с использованием нечеткой логики / В.В. Серебровский, С.А. Филлист, О.В. Шаталова, А.А. Черепанов // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2014. №8(179). - Выпуск 30/1. С.71-75.
Serebrovskij, V.V. Informacionnaja sistema detektirovanija ishemicheskikh kardiociklov s ispol'zovanijem nechetkoj logiki / V.V. Serebrovskij, S.A. Filist, O.V. Shatalova, A.A. Cherepanov // Nauchnye vedo-mosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2014. №8(179). - Vypusk 30/1. S.71-75.
7. Kosko, Bart. Neural Networks and Fuzzy Systems/Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
Kosko, Bart. Neural Networks and Fuzzy Systems/Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
8. Зак Ю.А. 2013. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии. М., ЛИБРОКОМ, 352 с.
Zak Ju.A. 2013. Prinjatие reshenij v uslovijah nechetkih i razmytyh dannyh: Fuzzy-tehnologii. M., LIBROKOM, 352 s.
9. Леоненков А.В. 2005. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб., БХВ-Петербург, 736 с.
Leonenkov A.V. 2005. Nchetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. SPb., BHV-Peterburg, 736 s.
10. Штовба С.Д. 2007. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М., Горячая линия – Телеком, 228 с.
Shtovba S.D. 2007. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB. M., Gorjachaja linija – Telekom, 228 s.