

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Гаврилова А.А., Салов А.Г., Сагитова Л.А.

*Российская Федерация, г. Самара,
Самарский государственный
технический университет*

Аннотация. Повышение энергоэффективности производства энергии в условиях изменений внешней среды является одним из приоритетных направлений развития, поскольку энергетика оказывает существенное влияние на все отрасли промышленности и качество жизни людей. Исследование энергоэффективности проводилось на примере энергетического комплекса Самарской области на базе методов системного анализа. Построены математические модели, адекватно описывающие функционирование энергосистемы, в виде трехфакторных неоднородных степенных производственных функций. Сконструирована и предложена система управления, позволяющая прогнозировать детельность энергосистемы и получать научно-обоснованные решения в сфере инвестирования в энергетической отрасли.

Ключевые слова: управление, системный анализ, эффективность энергосистемы, математическое моделирование, производственная функция, имитационное моделирование.

Введение

Энергетическая отрасль оказывает существенное влияние на производственную деятельность предприятий и качество жизни людей. Поэтому оптимизация процесса управления энергосистемой в условиях изменений внешней среды является важной технико-экономической задачей, направленной на повышение эффективности функционирования энергообъекта [1,2].

В качестве объекта исследования рассматривалась энергосистемы Самарской области, объединяющая крупнейшие энергетические объекты региона.

Для повышения энергоэффективности энергетической системы необходимо комплексное исследование деятельности энергосистемы методами системного анализа.

Как показал системный анализ [3,4], после перехода к рыночной экономике, в годы «перестройки», тепловая и электрическая нагрузка энергосистемы

значительно снизилась, что привело к использованию основного и вспомогательного оборудования в нерасчетных малоэффективных режимах работы.

Построение имитационной модели энергосистемы

Для описания производственно-экономической деятельности энергосистемы было проведено моделирование ее функционирования на основе трехфакторных неоднородных степенных производственных функций типа Кобба-Дугласа, которые позволяют качественно и количественно связать результат деятельности энергосистемы – выпуск продукции, с входными воздействиями – основными ресурсами [5-7].

Энергосистема выпускает продукцию в виде тепловой $Y_i(t)$ и электрической $Y_e(t)$ энергии. Кроме этого, в качестве интегральной характеристики выпуска продукции определялось суммарное производство энергии $Y_s(t)$.

В качестве основных ресурсов, оказывающих существенное влияние на производство энергии, были приняты капитальные $K(t)$, трудовые $L(t)$ и топливные $B(t)$ ресурсы. Тогда модель энергосистемы примет вид:

$$Y_i(t) = A \cdot K(t)^\alpha \cdot L(t)^\beta \cdot B(t)^\gamma, \quad (1)$$

где A – масштабный коэффициент;

α , β и γ – коэффициенты эластичности по капитальным, трудовым и топливным ресурсам, соответственно, характеризующие эффективность использования ресурсов в производственных процессах:

$$\alpha = \frac{K}{Y} \cdot \frac{\partial Y}{\partial K} = \frac{\partial(\ln Y)}{\partial(\ln K)}, \beta = \frac{L}{Y} \cdot \frac{\partial Y}{\partial L} = \frac{\partial(\ln Y)}{\partial(\ln L)}, \gamma = \frac{B}{Y} \cdot \frac{\partial Y}{\partial B} = \frac{\partial(\ln Y)}{\partial(\ln B)}. \quad (2)$$

Идентификация параметров A , α , β и γ проводилась методом наименьших квадратов на основе статистических данных функционирования энергосистемы. В таблице 1 приведены результаты идентификации и показатели качества моделей для периода с 1990 по 2020 гг. [8].

Сходимость модельных и реальных данных для производства суммарной энергии приведена на рисунке 1.

Анализ показателей качества показал, что полученные модели адекватно описывают процесс производства энергии в рассматриваемый период и обладают удовлетворительными аппроксимативными и прогнозными свойствами [9,10].

Таблица 1. Результаты моделирования для трехфакторной производственной функции

Параметры и показатели моделей	Электроэнергия	Тепловая энергия	Суммарная энергия
A	716,20	24,95	15,11
α	-0,16	-0,07	-0,17
β	0,07	0,17	-0,06
γ	0,46	0,74	1,02
R^2	0,70	0,93	0,96
σ	0,09	0,07	0,04
F	20,99	126,42	229,13
DW	0,96	0,81	1,08

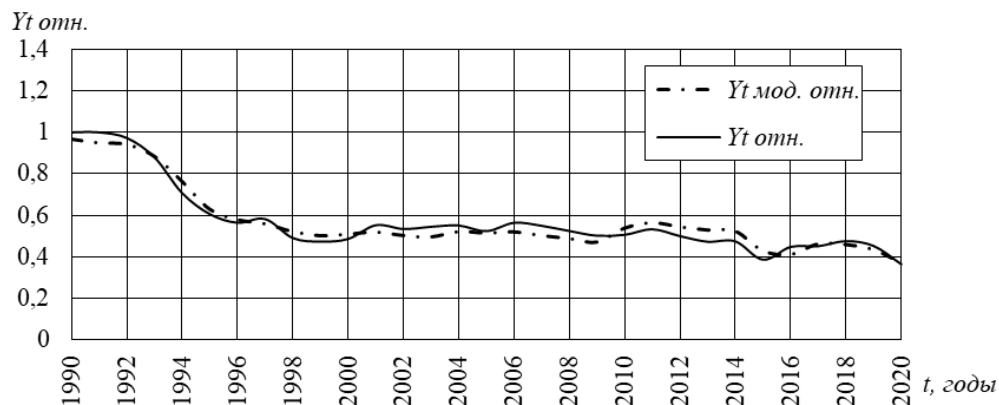


Рисунок 1. Энергосистема 1990-2020 гг. $Y_{s\text{ отн}}$ – относительный отпуск суммарной энергии; $Y_{s\text{ мод отн}}$ – модельные значения относительного отпуска суммарной энергии.

Эластичности α , β и γ показывают на сколько процентов увеличится производство энергии при увеличении затрат соответствующего ресурса на 1%. Полученные отрицательные значения факторных эластичностей α в рассматриваемый период определяют низкую эффективность использования капитальных ресурсов, а также свидетельствуют об избытке основных фондов. Значения эластичностей β для производства тепловой и электрической энергии являются положительными в этот период, однако для суммарного производства энергии эластичность по трудовым ресурсам является отрицательной $\beta = -0,06$. Наибольшее влияние на производство всех видов энергии оказывают топливные ресурсы: для электрической энергии $\gamma = 0,46$, для тепловой $\gamma = 0,74$, для суммарной $\gamma = 1,02$, что соответствует физическим законам производства энергии [11-13].

Построение системы управления

Для повышения эффективности использования капитальных ресурсов при производстве энергии актуальным является формирование инвестиций в обновление основных фондов системы [14,15, 16].

Для этого была сконструирована одноконтурная имитационная модель системы управления энергосистемой Самарской области. Структура управления энергосистемой Самарской области приведена на рисунке 2.

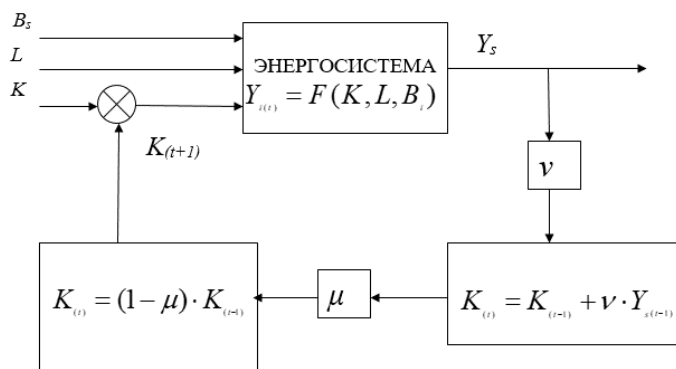


Рисунок 2. Имитационная система управления энергосистемой Самарской области.

В данной системе управления объектом управления является энергосистема Самарской области. Входными ресурсами являются капитальные K , трудовые L и топливные B_s ресурсы. На выходе объекта - произведенная суммарная энергия Y_s .

В контуре управления моделируется накопление инвестиций на обновление капитальных ресурсов K за счет доли прибыли от выпуска продукции Y_s , с помощью управляющей величины v . Кроме этого, на величину капитальных ресурсов влияет коэффициент выбытия фондов μ – доля капитальных ресурсов, выведенных из эксплуатации за отчетный период.

Для описания объекта управления была использована математическая модель в виде трёхфакторной степенной неоднородной производственной функции типа Кобба-Дугласа (1).

Объем инвестиций на обновление капитальных ресурсов определяется следующим образом:

$$K_{(t)} = K_{(t-1)} + v \cdot Y_{s(t-1)}. \quad (2)$$

На величину v накладывается естественное ограничение $0 \leq v \leq 1$.

Величина капитальных ресурсов с учетом амортизации основных фондов энергосистемы будет определяться как:

$$K_{(t)} = (1 - \mu) \cdot K_{(t-1)}. \quad (3)$$

Таки образом, величина капитальных ресурсов для следующего временного интервала будет определяться:

$$K_{(t)} = (1 - \mu) \cdot K_{(t-1)} + v \cdot Y_{s(t-1)}. \quad (4)$$

Используя математическую модель (1), определим необходимый объем инвестиций для обновления основных фондов, который позволит повысить эффективность производства энергии.

Будем считать, что базовый технологический цикл на производстве длится 1 год. Имитационную модель используем для исследования возможных вариантов производственной деятельности энергосистемы на период 2020-2026 гг.

Прогнозирование выпуска энергии будем производить в два этапа:

1) на первом этапе определим прогнозные значения трудовых и топливных ресурсов для анализируемого периода с помощью адаптивных методов прогнозирования, а также величину капитальных ресурсов с учетом доли инвестиций v в обновление и коэффициента выбытия основных фондов μ (4).

2) на втором этапе по формуле (1) определим прогнозное значение производства суммарной энергии на следующий год.

Численные значения управляющей величины v примем постоянными и рассмотрим три сценария развития энергосистемы на период 2021-2023 гг. при величине инвестиций в диапазоне от -0,15 до +0,15 доли от прибыли. На рисунке 3 представлены модельные прогнозные траектории производства энергии для анализируемого периода.

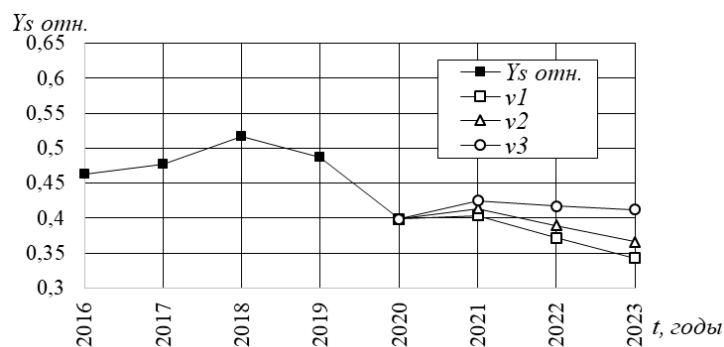


Рисунок 3. Прогноз функционирования энергосистемы на основе математической модели (1) при различной величине инвестиционных отчислений v на 2021-2023 гг. ($v_1=-0,15$; $v_2=0$; $v_3=+0,15$)

Значение коэффициента выбытия основных фондов для расчетов принималось постоянным $\mu = 0,05$ в соответствии с планом проведения текущих и капитальных ремонтов основных фондов энергосистемы.

При оптимистичном сценарии доля инвестиций в обновление капитальный фондов v принималась равной $-0,15$, и расчёт показал, что производство энергии в период 2021-2023 гг. возрастет на 3,4 %. При реалистичном прогнозном сценарии $v = 0$ прогнозная величина суммарного производства энергии сократится на 8,28 %, а при пессимистичном прогнозе $v = 0,15$ – величина Y_s снизится на 14,14%.

В целом, результаты имитационного моделирования свидетельствуют об отрицательном влиянии увеличения инвестиций на эффективность производства энергии, что подтверждает выводы о наличии избыточных фондов в энергосистеме. Для повышения эффективности работы энергосистемы необходимо сокращение неиспользуемого энергетического оборудования и его обновление, которое требует значительных капиталовложений

Выводы

Построенные математические модели адекватно описывают функционирование энергосистемы Самарской области. Анализ деятельности энергосистемы свидетельствует о наличии избыточных капитальных и трудовых ресурсов.

Построенная на основе имитационных моделей система управления позволяет прогнозировать деятельность системы с учетом управляющих воздействий в виде инвестиций в обновление основных фондов.

Список литературы

1. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. – М.: Высшая школа, 1982 – 319с.
2. Зайцев А.И., Митновицкая Е.А, Левин Л.А., Книгин А.Е. Математическое моделирование источников энергоснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат. 1991. 152с.
3. Дилигенский Н.В., Гаврилова А.А., Салов А.Г., Гаврилов В.К. Модельный анализ эффективности совместного производства тепловой и электрической энергии региональной энергосистемой. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия «Технические науки» - Новочеркасск. 2008. №5. С. 37-40.
4. Гаврилова А.А., Салов А.Г., Гаврилов В.К. Системный анализ влияния режимов работы энергетического оборудования на эффективность производства тепловой и электрической энергии энергосистемой. // В сб.: Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: Тр. Межд. науч. конф. «Современные научно-технические проблемы теплоэнергетики и пути их решения» / Саратовский научный центр РАН; СГТУ. Саратов. 2008. Вып. 5. С. 189-195.
5. Построение и идентификация математических моделей производственных систем: Учебное пособие / Н.В. Дилигенский, А.А. Гаврилова, М.В. Цапенко. – Самара: ООО «Офорт». 126 с.
6. Гаврилов В.К., Гаврилова А.А. Модельный анализ эффективности функционирования региональных энерго-производств. // Математическое моделирование и краевые задачи: Тр. III всеросс. науч. конф. с межд. уч. / Инж. акад. РФ; СамГТУ. Самара: РИО СамГТУ. 2006. С.43-45.
7. Салов А.Г., Гаврилова А.А., Чиркова Ю.В., Сагитова Л.А. Обобщенная оценка сравнительной эффективности работы котельного оборудования // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура: научно-технический журнал. 2016. №2. С. 140-146.
8. Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике. – М.: МГУ, издательство «ДИС», 1997. – 368 с.
9. A. Gavrilova, A. Salov and L. Sagitova. System Analysis of the Effectiveness of Regional Energy System Management in the Conditions of Transformation // 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Samara. 2019. pp. 736-741, doi: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976644. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8976644>
10. Gavrilova A. A., Salov A. G., Sagitova L.A. Assessment of the Efficiency of the Samara Region's Energy Complex Under Changing Conditions // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok. 2020. P. 1-4. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9271116> Салов А.Г., Гаврилова А.А., Сагитова Л.А. Системный анализ энергоэффективности территориальной генерирующей компании в период структурных преобразований // Энергетические системы: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф., 31 окт.–1 нояб. 2019 г. / Белгор. гос. технол. ун-т; отв. ред. П.А. Трубаев. – Белгород, 2019. – С. 95-101. URL: <http://es.bstu.ru/archive/2019>.

11. Салов А.Г., Сагитова Л.А. Системный анализ надёжности централизованного теплоснабжения города Самары // Вестник СамГТУ, серия «Технические науки», №2 (62) – 2019 / СамГТУ – Самара, 2019. – с. 77-87.

12. Салов А.Г., Гаврилова А.А. Системный анализ и моделирование деятельности энергетических генерирующих предприятий с целью оценки эффективности их функционирования в условия становления рыночных отношений / Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2008. - №1(30) с.86-91.

13. Гаврилова А.А. Организация управления энергетическим производством на основе комплексных критериев деятельности. / Вестник Волжского университета им. В.Н.Татищева, №1 (23), 2015. – с.11-16.

14. Салов А.Г., Гаврилова А.А., Иванова Д.В. Исследование экономических характеристик регионального промышленного комплекса методами статистического и модельного анализа. // Научное обозрение. 2015. №15. С. 327-332.

15. Сагитова Л.А. Структура алгоритма системы поддержки принятия решений повышения энергоэффективности регионального энергетического комплекса // Журнал «Инфокоммуникационные технологии», Т.19, №2 – 2021 / ПГУТИ – Самара, 2021. – С.256-262.

SYSTEM ANALYSIS AND CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE POWER COMPLEX OF THE SAMARA REGION

A.A. Gavrilova, A.G. Salov, L.A. Sagitova

*Samara State Technical University,
Samara, Russian Federation*

Abstract. Improving energy efficiency of energy production in the face of changes in the external environment is one of the priority areas of development, since energy has a significant impact on all industries and the quality of life of people. The study of energy efficiency was carried out on the example of the energy complex of the Samara region based on the methods of system analysis. The mathematical models that adequately describe the functioning, availability of the power system, in the form of three-factor non-uniform power production functions. A control system has been designed and proposed that allows predicting the power system's activity and obtaining scientifically based decisions in the field of investment in the energy industry.

Key words: management, system analysis, energy system efficiency, mathematical modeling, production function, imitation modeling.