МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

УДК 681.3.06

Ольга Владимировна Сизова

ФГБОУВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и цифровой экономики, Россия, Иваново, e-mail: siz-olga@yandex.ru

Анастасия Витальевна Жаворонкова

ФГБОУВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», магистр кафедры информационных технологий и цифровой экономики, Россия, Иваново, e-mail: zhav-nastya@yandex.ru

Вадим Евгеньевич Мизонов

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики, Россия, Иваново, e-mail: mizonov46@mail.ru

Моделирование процесса расчета показателей тепловой экономичности оборудования ГРЭС

Авторское резюме

Состояние вопроса. При эксплуатации ГРЭС возникает необходимость расчета технико-экономических показателей работы оборудования на основе результатов измерения параметров потоков теплоносителей. В частности, такие задачи решаются при проведении тепловых (балансовых, функциональных) испытаний теплоэнергетического оборудования, а также при составлении ежегодной технической отчетности ГРЭС о тепловой экономичности. В связи с этим актуальной является разработка моделей процесса расчета показателей тепловой экономичности оборудования ГРЭС на основе использования современных компьютерных средств.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи используются методы моделирования бизнес-процессов и математического моделирования. Построенная модель проекта использует принципы и подходы системного анализа. Она адаптирована к конкретной предметной области и позволяет оптимизировать процесс расчета ключевых параметров эффективности функционирования ГРЭС: мощности станции, тепловой нагрузки, удельного расхода топлива и общего КПД электростанции.

Результаты. Разработана модель информационной системы, позволяющая решить задачу повышения эффективности расчета показателей ТЭП за счет сокращения времени и стоимости этого процесса. На основе анализа построенных моделей разработан проект автоматизации процесса расчета ТЭП для обеспечения более экономной эксплуатации оборудования, прогнозирования его ремонта, оценки качества работы эксплуатационного персонала. Представлены архитектура решения информационной системы учета ТЭП, модель подсистемы модулей расчета, структурная схема работы модуля сбора данных, интерфейс проектируемой информационной системы.

Выводы. Разработанная модель проекта автоматизации расчета ТЭП позволяет повысить эффективность деятельности предприятия за счет повышения оперативности принятия управленческих решений, снижения затрат на топливо, экономии на расходных материалах и сокращения штатного персонала.

Ключевые слова: математическое моделирование, показатели тепловой экономичности, автоматизация расчета, оптимизации загрузки оборудования, архитектура решения

Olga Vladimirovna Sizova

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Information Technologies and Digital Economy Department, Russia, Ivanovo, e-mail: siz-olga@yandex.ru

Anastasia Vitalievna Zhavoronkova

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Master Degree Student of Information Technologies and Digital Economy Department, Russia, Ivanovo, e-mail: zhav-nastya@yandex.ru

Vadim Evgenievich Mizonov

Ivanovo State Power Engineering University, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Applied Mathematics Department, Russia, Ivanovo, e-mail: mizonov46@mail.ru

Modeling the process of calculating indicators of thermal efficiency of state district power station equipment

Abstract

Background. During the operation of state district power station, it is necessary to calculate the technical and economic performance (TEP) of the equipment operation based on the results of measuring the parameters of heat carrier flows. In particular, such tasks are solved during thermal (balance, functional) tests of heat and power equipment, as well as during the preparation of monthly technical reports of the state district power station on thermal efficiency. Therefore, the urgent task is to develop the model of calculating the indicators of the thermal efficiency of the equipment of the state district power station using modern computerized tools.

Materials and methods. Methods of business processes modelling, and mathematical modeling are used to solve this problem. The developed model of the project is based on the principles and approaches of systems analysis. The model is adapted to a specific subject area and allows you to optimize the process of calculating the key parameters of the efficiency of the state district power station operation: power plant capacity, heat load, specific fuel consumption and overall efficiency of the power plant.

Results. An information system model was developed to automate the process of calculating the TEP to ensure a more economic operation of equipment due to reducing the time and cost of this process. Based on the analysis of the developed models, a project was developed to automate the process of TEP calculating to ensure more economical equipment operation, to predict equipment repair, and assess the quality of operating personnel work. The paper presents the architecture of the solution of the information system for TEP accounting, the model of the subsystem of calculation modules, the structural diagram of the operation of the data collection module, the interface of designed information system.

Conclusions. The developed model of the project for automation of the TPE calculation process allows us to increase the efficiency of the enterprise due to increasing the efficiency and promptness of managerial decisions, reducing fuel costs, saving on consumables, and personnel cuts.

Key words: mathematic modeling, calculation, indicators of thermal efficiency, automation of calculating, equipment loading optimization, solution architecture

DOI: 10.17588/2072-2672.2021.3.042-050

Состояние вопроса. Для успешного управления таким промышленным предприятием, как ГРЭС, в современных условиях руководству необходимо обладать достоверной и оперативной информацией. Одним из основных потоков информации, влияющим на принятие качественного управленческого решения, являются сведения о работе и текущем состоянии системы теплоснабжения [1].

Сегодня в России активно идет процесс автоматизации систем теплоснабжения. Использование автоматизированных систем позволяет более качественно контролировать расход ресурсов, своевре-

менно реагировать на изменения внешних условий, определять температурные режимы для каждого помещения в отдельности [2]. Все это дает возможность существенной финансовой экономии для предприятия.

Существует строгая зависимость между эффективностью деятельности предприятия и его инновационным потенциалом [3]. Анализируя опыт современных предприятий, можно сказать, что использование информационных технологий позволяет оперативно пересматривать планы работы предприятия, пользоваться пре-

имуществами централизации и децентрализации одновременно [4].

Моделирование бизнес-процессов предприятия реализует управленческую методологию, позволяющую существенно повысить эффективность его деятельности [5]. Модели позволяют формализовать полученное представление о процессах в количественную оценку, что является основой для их автоматизации [6].

Объектом исследования стал процесс расчета показателей тепловой экономичности оборудования ГРЭС.

Материалы и методы. Современные средства автоматизации систем расчета показателей тепловой экономичности оборудования предназначены для поддержки производственной деятельности персонала, связанной с обеспечением отчетов по технико-экономическим показателям работы оборудования ГРЭС. Автоматизация сбора и расчета показателей за произвольный период обеспечит оперативное получение достоверных данных для анализа работы ГРЭС и выработки решений, позволяющих снизить расходы топлива за счет своевременного вмешательства в режимы загрузки оборудования и устранения причин потерь тепла, электроэнергии, топлива в процессе производства [1].

Для формирования алгоритма расчета фактических показателей в среде информационной системы ТЭП ГРЭС необходимо структурированное описание всей методики расчета фактических показателей на станции [7].

Целью расчета ТЭП является представление информации для обеспечения более экономной эксплуатации оборудования, прогнозирования его ремонта, оценки качества работы эксплуатационного персонала, а также для составления отчетности о тепловой экономичности энергоблока. Модель процесса расчета ТЭП энергоблока представлена на рис. 1.

Алгоритм расчета ТЭП реализуется с использованием массивов входной информации и массивов информации, формируемых алгоритмом¹.

Массивы входной информации включают:

- массивы дискретной информации;

- массив стандартных процедур обработки входной информации;

- массив входной аналоговой информации;

- массив нормативно-справочной информации.

Массивы информации, формируемые алгоритмом, включают:

- массив стандартных и специальных процедур для контроля достоверности входной информации;

- массив вспомогательных величин для контроля достоверности входной информации;

- массив недостоверной аналоговой информации;

- массив исходной информации для расчета ТЭП на оперативном интервале;

- массивы накапливаемых величин;

- массивы информации пусковых режимов;

- массивы информации для восполнения пропусков.

На основе соответствующего массива накапливаемых величин и массива нормативно-справочной информации образуется массив выходных показателей (оперативного, сменного, суточного и месячного интервалов).

Результаты. В ходе проектирования системы автоматизации процесса расчета показателей тепловой экономичности оборудования ГРЭС был проведен анализ информационных продуктов, представленных на рынке. Для исследования были выбраны 3 компании, осуществляющие разработку и продажу ИС: Расчет ТЭП, ИНФОПРО, ТехноДок.

По результатам анализа было принято решение использовать программное решение «ИНФОПРО: Планирование режимов», так как оно требует минимальной доработки в части полноценного тонкого Веб-клиента, имеет все варианты расчетов, а также его стоимость и срок реализации заметно меньше, чем у конкурентов. Информационная система «ИНФОПРО: Планирование режимов» является коробочным решением, построенным по модульному принципу, что позволяет осуществлять внедрение поэтапно.

Схематически архитектура решения ИС представлена на рис. 2.

¹ Типовой алгоритм расчета технико-экономических показателей мощных отопительных ТЭЦ / СПО Союзтехэнерго. – М., 1983.

Рис. 1. Модель процесса расчета ТЭП энергоблока

Рис. 2. Модель подсистемы модулей расчета

Основной комплекс компонентов системы для использования в энергетике включает:

центр сбора технологической информации;

– модуль для построения технологической модели ГРЭС, выполнения расчетных задач ТЭП и аналитики;

– модуль планирования производства и оптимизации;

– систему формирования корпоративной отчетности;

– технологический портал;

– систему обслуживания и ремонтов оборудования.

Технологический портал построен на базе платформы Microsoft SharePoint с программными компонентами ИНФОПРО, состав и вид которых можно изменять в зависимости от поставленных задач и предпочтений пользователя.

Разработка автоматизированной системы начиналась с построения единой информационной платформы, с помощью которой предоставляются необходимые технологические данные для выполнения расчетных и аналитических задач. Высокопроизводительные алгоритмы сбора, объединения и обработки информации позволяют получить все необходимые данные для вычислений в режиме реального времени. В случае нестабильной связи с источниками есть возможность использовать дополнительные коллекторы сбора тегов, которые сохраняют и восстанавливают данные, в том числе, и в случаях сетевых отказов, обеспечивая гарантированное получение системой каждого экземпляра нужной информации. Схема работы «ИНФОПРО: Планирование режимов» представлена на рис. 3.

Рис. 3. Структурная схема работы модуля сбора данных «ИНФОПРО: Планирование режимов»

Высокая скорость доступа к базе данных реального времени обеспечивается через бинарный файл на диске, надежность – через многоуровневую схему резервирования серверов и коллекторов. Дополнительным преимуществом является ядро высокоскоростных вычислений, которое возможно применить для обработки полученных данных или для проведения расчетов параллельно с этапом сбора ин-

формации, что существенно упрощает выполнение аналитических задач.

Реализация модуля планирования производства и оптимизации позволит на экране и графиках отображать не текущие данные из имитационной математической модели, а будущие параметры работы станции на ближайший расчетный период, например на ближайшие сутки (рис. 4).

Рис. 4. Расчетные показатели эффективности работы электростанции

Таким образом производится оценка затрат на топливо и расчет себестоимости производства электроэнергии на основании прогнозного суточного графика электрической нагрузки электростанции при заданной тепловой нагрузке и заданном составе работающего оборудования.

Если полученные результаты не устраивают эксплуатационный и руководящий состав компании, то в пакете математического моделирования производится оптимизационный расчет с учетом отклонения от планируемого нормативного режима (рис. 5).

С помощью блока имитационной модели можно выбрать подходящий состав и распределение нагрузки основного и вспомогательного оборудования в соответствии с заданным диспетчерским графиком. Итогом работы системы и грамотного оперативного управления является нулевой перерасход топлива с получением максимального маржинального эффекта работы генерирующей компании.

Особенностью системы является возможность решения задачи оптимизации загрузки оборудования в целях выполнения заданного графика диспетчерской нагрузки как в статике, так и в динамике. То есть оптимизационный алгоритм способен учитывать динамические характеристики оборудования и загружать в переходный режим более маневренные и менее экономичные агрегаты в целях обеспечения выхода станции на новый режим за заданный промежуток времени с максимальной экономичностью.

Использование математической платформы позволяет решать любые формализованные задачи оптимизации, например классические, такие как формирование оптимальных производственных долгосрочных и краткосрочных планов и выбор оптимального состава оборудования по заданным критериям: минимизация топливной составляющей, максимизация маржинальной прибыли.

Отчетность по готовым встроенным или настраиваемым пользователем шаблонам подготавливается через модуль «Визуализация данных», который, благодаря интегрированному в Microsoft Excel коннектору, представляет нужные данные в привычном и понятном для пользователя виде. Этот генератор отчетов позволяет пользователю создавать их в форме электронных таблиц по данным измерений, прогнозов и результатам оптимизации.

Текущие и расчетные данные выводятся в технологический портал на графические мнемосхемы, диаграммы, тренды и отчеты. С помощью графических мнемосхем можно просматривать и анализировать состояние тепловых и электрических схем каждого блока электростанции с указанием производительности, КПД и расхода топлива. Если оператору недостаточно текущих цифр на мнемосхеме, рекомендуется провести дополнительный анализ с вызовом тренда по щелчку на любом целевом объекте (рис. 6).

Рис. 5. Оптимизация работы электростанции

Рис. 6. Тренд для целевого объекта, вызываемого с мнемосхемы энергоблока

Сводная информация по всем подключенным к системе энергоблокам отображается в виде всплывающих окон с указанием ключевых параметров эффективности: мощности станции, тепловой нагрузки, удельного расхода топлива и общего КПД электростанции (рис. 7).

С помощью визуальной, графической и отчетной информации проводится оценка удельных расходов топлива и удельных затрат на него при производстве электроэнергии на текущий момент времени при заданной тепловой нагрузке и заданном составе работающего оборудования.

Рис. 7. Текущие показатели эффективности работы ГРЭС

Выводы. Внедрение программы «ИНФОПРО: Планирование режимов», позволяет ожидать экономический эффект по следующим основным составляющим:

- экономия за счет оптимизации работы оборудования и процессов и в связи с этим снижение стоимости топлива;
- повышение эффективности работы эксплуатационного персонала ГРЭС благодаря интеграционным инструментам и предоставлению своевременного доступа к информации из одной точки;
- проведение факторного анализа текущего режима эксплуатации оборудования;
- максимально эффективное использование имеющихся технологических ресурсов;
- обеспечение устойчивого развития бизнеса за счет среднесрочного и долгосрочного планирования;
- сокращение времени плановых и внеплановых простоев;
- предотвращение неисправностей оборудования посредством обнаружения ухудшающихся условий работы на уровне компонентов.

Экономическая эффективность внедрения проектируемой системы обусловлена повышением точности прогнозирования технико-экономических показателей ГРЭС при формировании заявок на оптовом рынке электроэнергии и мощности, возможностью оперативного обнаружения неисправностей в работе элементов системы мониторинга показателей работы оборудования, а также выявленными резервами тепловой экономичности.

Экономия топлива, обусловленная внедрением программного модуля, оценена специалистами на уровне 30 % в год в условном исчислении.

Снижение трудозатрат также произойдет за счет автоматизации процесса работы с документами, снижения затрат на поиск информации. Это позволит сократить одного работника производственно-технического отдела. Также сократятся годовые затраты на расходные материалы в среднем на 1 %.

Оценка экономической целесообразности внедрения системы ИНФОПРО показала, что за счет снижения расходов на расходные материалы, трудозатрат на поиск и подготовку документов, сокращения работника планово-технического отдела, а

также за счет эффективного и оперативно-го принятия управленческих решений в год будет экономиться 11369671 руб.

Сроки окупаемости инновационных разработок достаточно высокой степени радикальности составляют не менее одного–двух бизнес-циклов (от четырех до семи лет) [8]. Расчеты показали, что данное капиталовложение окупится через 3 года.

Таким образом, использование автоматизированных систем расчета технико-экономических показателей позволит компании повысить рентабельность и конкурентоспособность своего бизнеса, сократить затраты на выработку электроэнергии и тепла.

Список литературы

1. **Щепетильников М.И.** Влияние режимных факторов на коэффициенты ценности тепла // Электрические станции. – 1977. – № 3. – С. 41–44.
2. **Ибрагимова Л.Р., Идиатуллина А.М.** Программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности как инструмент стратегии устойчивого развития города // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2017. – № 2. – С. 198–213.
3. **Бабикова А.В., Корсаков М.Н., Сарфанов А.Д.** Оптимизация бизнес-процессов промышленного предприятия на основе внедрения процессного подхода // Креативная экономика. – 2017. – Т. 11, № 11. – С. 1195–1208.
4. **Михеева Е.З.** Реинжиниринг бизнес-процессов как метод управления предприятием на базе информационных технологий // Российское предпринимательство. – 2007. – Т. 8, № 11. – С. 62–66.
5. **Логовская И.С.** Совершенствование структуры управления организации на основе моделирования бизнес-процессов // Российское предпринимательство. – 2007. – Т. 8, № 9. – С. 82–87.
6. **Калиновская И.В.** Совершенствование экономико-организационных методов конкурентоспособного развития нефтегазостроительных компаний // Креативная экономика. – 2010. – Т. 4, № 10. – С. 78–82.
7. **Селевцов Л.И.** Автоматизация технологических процессов: учебник. – М.: Academia, 2019. – С. 114.
8. **Савзиханова С.Э., Ибрагимова А.Х.** Инновационные процессы – путь к успешному развитию предприятий // Креативная экономика. – 2011. – Т. 5, № 5. – С. 71–75.

References

1. Shchepetil'nikov, M.I. Vliyanie rezhimnykh faktorov na koeffitsienty tsennosti tepla [Influence

of regime factors on heat value coefficients]. *Elektricheskie stantsii*, 1977, no. 3, pp. 41–44.

2. Ibragimova, L.R., Idiatullina, A.M. Programma energosberezheniya i povysheniya energeticheskoy effektivnosti kak instrument strategii ustoychivogo razvitiya goroda [Energy Saving and Energy Efficiency Program as a Tool of the City's Sustainable Development Strategy]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2017, no. 2, pp. 198–213.

3. Babikova, A.V., Korsakov, M.N., Sarafanov, A.D. Optimizatsiya biznes-protssessov promyshlennogo predpriyatiya na osnove vnedreniya protsessnogo podkhoda [Optimization of business processes of an industrial enterprise based on the implementation of a process approach]. *Kreativnaya ekonomika*, 2017, vol. 11, no. 11, pp. 1195–1208.

4. Mikheeva, E.Z. Reinzhiniring biznes-protssessov kak metod upravleniya predpriyatiem na baze informatsionnykh tekhnologiy [Reengineering of business processes as a method of enterprise management based on information technologies]. *Rossiyskoe predprinimatel'stvo*, 2007, vol. 8, no. 11, pp. 62–66.

5. Logovskaya, I.S. Sovershenstvovanie struktury upravleniya organizatsii na osnove modelirovaniya biznes-protssessov [Improvement of the management structure of the organization based on the modeling of business processes]. *Rossiyskoe predprinimatel'stvo*, 2007, vol. 8, no. 9, pp. 82–87.

6. Kalinovskaya, I.V. Sovershenstvovanie ekonomiko-organizatsionnykh metodov konkurentosposobnogo razvitiya neftegazostroitel'nykh kompaniy [Improvement of economic-myco-organizational methods of competitive development of oil and gas construction companies]. *Kreativnaya ekonomika*, 2010, vol. 4, no. 10, pp. 78–82.

7. Selevtsov, L.I. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protssessov* [Automation of technological processes]. Moscow: Academia, 2019, p. 114.

8. Savzikhanova, S.E., Ibragimova, A.Kh. Innovatsionnye protsessy – put' k uspeshnomu razvitiyu predpriyatiy [Innovative processes – the way to successful development of enterprises]. *Kreativnaya ekonomika*, 2011, vol. 5, no. 5, pp. 71–75.