

Пастушенко Ильнур Леонидович

аспирант кафедры менеджмента и предпринимательской деятельности
Казанского национального исследовательского технологического университета
pasileon@mail.ru

Ильнур Л. Пастушенко

Post graduate student of the Department of Management and Entrepreneurship
of Kazan National Research Technological University (KNRTU)
pasileon@mail.ru

**Имитационное моделирование оптимизации процесса потребления
энергетических ресурсов на предприятии**

**Simulative modelling of energy resources consuming
process optimization at the enterprise**

***Аннотация.** В данной статье рассматриваются проблемы энергосбережения на энергоемких предприятиях. Для оптимизации процесса энергопотребления предложено использовать метод имитационного моделирования. Отмечены достоинства имитационного моделирования. Обосновано, что энергосбережение - это сложная система взаимодействующих элементов. Показана эффективность интеллектуальных комплексных систем в сокращении эксплуатационных расходов. Представлен проект оптимизации процессов потребления энергетических ресурсов. Проведено экономическое обоснование этого проекта.*

***Ключевые слова:** система энергосбережения, имитационное моделирование, оптимизация потребления энергоресурсов, автоматизированная система контроля и учета, управление энергосбережением*

***Abstract.** We consider the problems of energy saving in the energy-intensive enterprises. To optimize the energy consumption of the process is proposed to use simulation. In this paper have been analyzed advantages of the simulation modeling. It is proved that energy efficiency is a complex system of interacting elements. The efficiency of integrated intelligent systems to reduce operating costs has been shown. The paper deals with the project of process optimization of consumption of energy resources.*

***Keywords:** energy system, simulation, simulation modeling, optimization of energy consumption, automated control and accounting system, energy management*

Современный период развития человечества иногда характеризуют через три «Э»: экономика, энергетика, экология. Данный проект касается всех трех направлений.

Инновационные мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в производственной деятельности предприятий,

следует рассматривать как один из основных источников экономической выгоды. Однако до настоящего времени этот источник был задействован лишь в малой степени. Во многих организациях нерациональное использование энергоресурсов оказывает значительное отрицательное влияние на бюджет предприятия. С данной точки зрения моделирование процессов энергосбережения необходимо для повышения обоснованности и достоверности прогнозов развития сложных технических и организационно-технических объектов. Особенно данная проблема затрагивает функционирование энергоемких систем, например, таких как ООО «Газпром трансгаз Казань». При этом практика показывает, что наиболее адекватным в этом случае являются имитационные модели.

Во многих публикациях отмечается, что потребность в имитационном моделировании возрастает по мере усложнения исследуемых систем [1; 2]. Ранее разрозненные факторы энергосбережения складываются в сложные системы, требующие системного подхода к их реализации. Имитационная модель процесса энергосбережения является не описанием или просто имитированием этого процесса, а пониманием его сущности во всей сложности.

Имитационное моделирование применяется в условиях исследования сложных систем, многофакторности среды их функционирования, нелинейные характеристики элементов системы, значительные количества случайных воздействий, которые часто создают трудности при аналитических исследованиях. В нашем случае оно позволяет исследовать большое число альтернативных вариантов управленческих решений по оптимизации процесса потребления энергетических ресурсов, проигрывать различные сценарии при любом сочетании входных данных [3].

Имитационное моделирование процесса потребления энергоресурсов на предприятии дает не только описание или просто имитирование этого процесса, а понимание его сущности во всей сложности, позволяя формировать подробную статистику о разных сторонах функционирования системы энергосбережения в зависимости от входных данных. Как отмечает О. И. Бабина, имитационное моделирование позволяет воспроизвести алгоритм функционирования системы энергосбережения во времени. При этом отражаются элементарные явления, составляющие этот процесс, сохраняются их логическая структура, последовательность протекания [1]. Это дает возможность по исходным данным сформировать информацию о состояниях процесса сбережения в определенные моменты времени. Таким образом, имитационное моделирование дает развернутую схему с детально описанной структурой и поведением изучаемого объекта [4].

Исходя из этого, можно сформулировать основные задачи имитационного моделирования в сфере энергосбережения на предприятии. К основным из них относятся такие: создание возможности связать все факторы повышения эффективности энергоресурсов в единую систему; повышение управляемости этой системы; снижение издержек на достижение оптимизации процесса потребления энергоресурсов; рационализация решения управленческих задач за счет внедрения математических методов обработки данных; повышение достоверности полученных количественных и качественных результатов по этой мо-

дели; экономия времени на планирование деятельности по энергосбережению.

На современном этапе можно выделить два основных направления энергосбережения: организация технических мероприятий, под которыми понимается модернизация оборудования с целью уменьшения потерь энергии и внедрение и использование автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов. Осуществление предложенных мероприятий позволит обеспечить постоянное снижение затрат на энергетические ресурсы, снизить негативное воздействие на окружающую среду.

На основании анализа производственных процессов и значимых энергосберегающих направлений, выделены мероприятия для каждого из этих направлений, которые можно классифицировать в зависимости от вида сберегаемого ресурса по следующим группам, представленным ниже.

1. Мероприятия по экономии электрической энергии

1.1 Сочетания надежных устройств, использующие технологии открытой сети. С функцией передачи данных и диагностики состояния по сети. Позволяющие знать динамику энергопотребления, чтобы контролировать и уменьшать затраты.

1.2. Большие возможности для экономии ресурсов открывает переход на современное светодиодное освещение. Потребляющие, в свою очередь, мощности примерно в 5 меньше, если сравнивать с лампами накаливания. Так как срок службы LED-светильников в 10 раз дольше, со временем их относительная дороговизна окупается.

1.3. Применение фотоакустических прожекторов на улице (т.е. освещение включается автоматически в темное время суток. Датчики движения не годятся для внешнего освещения из-за достаточно большой площади территории, которую датчик не охватит).

1.4. Установка различных датчиков для включения света в помещениях датчиков шума, датчиков «на хлопок», датчиков движения. Датчики позволят существенно экономить энергию, так как в зданиях администрации не все заботятся (или просто забывают) о выключении света при уходе из помещения.

1.5. Замена стандартных компьютеров (с отдельным процессором и монитором) на моноблоки. Мощность потребления обычного компьютера 500-600 W, а потребления моноблока намного меньше всего 150 W.

2. Мероприятия по повышению теплового сопротивления

2.1. Облицовка наружных стен, кровли, перекрытий над подвалом теплоизоляционными плитами (пенопласт под штукатурку, минераловатные плиты, плиты из вспененного стекла и базальтового волокна) – снижение тепловых потерь до 40%. Применение теплозащитных штукатурок.

2.2. Установка тепловых завес возле уличных дверей. Данная технология затрачивает немало энергии, однако она предотвращает выхолаживание помещения, что приносит большие энергопотери.

3. Мероприятия по повышению энергоэффективности системы отопления

3.1. Установка термостатов и регуляторов температуры.

3.2. Установка теплоотражающих экранов за радиаторами отопления. Эффект 1-3%.

3.3. Сезонная промывка отопительной системы.

3.4. Применение режима «дежурного отопления» в выходные и праздничные дни.

4. Мероприятия по экономии воды

4.1. Установка автоматизированных регуляторов с датчиком счета.

4.2. Установка кранов и смесителей с датчиками включения при движении.

4.3. Установка двухрежимных смывных бачков.

4.4. Повышение качества вентиляции. Снижение издержек на вентиляцию и кондиционирование. Применение автоматических гравитационных систем вентиляции.

4.5. Установка проветривателей в помещениях и на окнах.

4.6. Внедрение и использование систем микровентиляции с подогревом поступающего воздуха и клапанным регулированием подачи.

4.7. Применение контроллеров в управлении вентиляционных систем.

После проведения технических мероприятий, далее идет следующий этап, этап моделирования, который позволит управлять и получать необходимые данные от внедренных инновационных технических средств.

Программная платформа – автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов.

Использование программного обеспечения, где энергоресурсы контролируются и подчиняются единому центру управления. Система помогает контролировать распределение энергопотребления по зонам и типам нагрузок и визуализирует представление информации в простых и понятных графических формах (Рис.1). Обеспечивает упрощенный доступ к данным о рабочих параметрах, что улучшает управление энергией и оптимизирует энергопотребление [5].



Рис.1 - Модель автоматизированной системы контроля и учета энерго-ресурсов

Предложенная модель автоматизированной системы повышает эффективность использования энергоресурсов, способствует снижению удельных затрат их потребления за счет выявления основных источников потерь, снижения перерасхода.

Функции исследуемой системы:

- автоматизированный процесс сбора и обработки данных о потреблённых ресурсах;
- долговременное хранение и переработка данных в отдельной защищенной базе данных;
- предоставление информации о потреблении энергоресурсов в форме отображения, печатной форме и форме электронного документа (файла);
- контроль заданного режима потребления ресурсов;
- автоматический сбор информации о технологических параметрах;
- сбор и предоставление достоверной технологической информации о производстве и потреблении всех видов энергоресурсов в режиме реального времени;
- формирование фактических балансов энергетических ресурсов;
- формирование отчетности о фактических и удельных расходах энергоресурсов за указанный промежуток времени (месяц, декада, сутки и т.д.);
- планирование и прогнозирование потребления энергоресурсов на основе статистических данных;
- другие специфические функции в рамках конкретного решения.

Благодаря этой системе, больше не нужно снимать показания со счетчиков вручную. Она исключает человеческий фактор. С ней не будет случайных ошибок по невнимательности. Повысится и сама точность и оперативность сбора данных, а учет электроэнергии, газа, тепла, воды станет более эффективным и надежным.

Расчеты по использованию комплексных интеллектуальных систем в организациях ООО «Газпром трансгаз Казань» показали, что эти системы позволяют сократить эксплуатационные расходы на водоснабжение на 30%, отопление – на 35%, электроосвещение – на 40%.

Для того, чтобы определить будет ли проект энергосбережения прибыльным с учетом изменений, происходящих во внешней среде, необходимо рассчитать чистый дисконтированный доход (Net present value: NPV) и чистую текущую стоимость работы (Cash Flow: CF). Проект считается прибыльным и его можно принять к реализации, если значение CF положительное. Для дальнейшего расчета ожидаемых результатов необходимо определить дисконт. Он состоит из двух составляющих: уровень инфляции в стране, уровень риска работы.

Премия за риск рассчитывается исходя из среднего класса инновации (K), определяемого на основе морфологической таблицы: $K = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n}$

[1], где k_i – класс сложности инновации по i -му классификационному признаку; n – количество классификационных признаков. Расчет коэффициента дисконтирования производится по формуле для расчета: Дисконт = $a + b + c$, [2], где a - банковская льготная ставка: 8,25% годовых; b - уровень инфляции: $b = 5,5\%$; c - премия за риск: 5%. Дисконт = 18,75%.

Расчет чистой денежной стоимости и чистого дисконтированного дохода проводится по следующей формуле: $NPV = (R - Z) \times (1 + r)^{(1-t)}$ [3], где R – доходы,

тыс. руб. z – затраты, тыс.руб.; r – ставка дисконтирования, % t – год, $(R - Z)$ – денежный поток (Cash Flow; CF).

Расчет коэффициента дисконтирования по годам проводится следующим образом: 1 год: $(1 + 0,105)^{(1-1)} = 1$, 2 год: $(1 + 0,105)^{(1-2)} = 0,842$, t год: $(1 + r)^{(1-t)}$. Если $NPV > 0$, следовательно, проект рентабелен.

Расчеты эффективности внедряемого инновационного проекта энергосбережения с использованием имитационного моделирования на материалах ООО «Газпром трансгаз Казань» показали устойчивую положительную динамику дисконтированного дохода. Ее графическое изображение представлено ниже на рисунке 2.

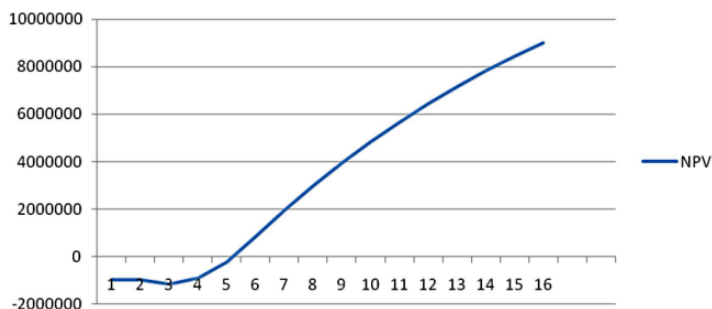


Рис. 2 - Динамика чистого дисконтированного дохода

Срок окупаемости (англ. Pay Back Period) — это период времени, который необходим для того, чтобы доходы, генерируемые инвестициями, покрыли затраты на инвестиции

Используя общедоступную формулу расчета срока окупаемости и данные по расчету динамики чистого дисконтированного дохода, можно определить реальный срок окупаемости проекта, учитывая, что по первоначальным расчетам он составлял 5 лет.

$$PBP = 5 - \frac{-360214}{427437 - (-360214)} = 4,54$$

Срок окупаемости проекта составляет 4,54, то есть приблизительно 4 года и 6 месяцев. Дальнейшие расчеты показали, что в результате внедрения рассматриваемого проекта экономия энергетических ресурсов в среднем составляет 44%. Такой проект даст возможность оптимизировать свои процессы потребления энергетических ресурсов, постоянно повышать энергоэффективность, значительно снизить затраты, улучшить систему обмена информацией и управления энергией, снизить риски возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций, избежать штрафов и других санкций за невыполнение актуального законодательства.

Таким образом, в настоящее время, когда продолжает обостряться проблема энергоресурсов, для энергоемких предприятий оптимизация процесса потребления энергоресурсов и ресурсосбережение становится приоритетной задачей. Поэтому наблюдается возрастание спроса на эффективные системы поддержки принятия и реализации управленческих решений во многих сферах [6]. Адекватным инструментом сегодня становится имитационное моделирова-

ние, которое служит основой для оптимизации процесса энергосбережения, позволяет в упрощенном варианте проводить аналитические исследования. Технологии компьютерного имитационного моделирования включают развитые графические оболочки конструирования моделей, представления результатов и файлов выходной статистики. Использование технологий имитационного моделирования показало, что сложный процесс энергосбережения на энергоемком предприятии можно разлагать на части, оперируя которыми можно создавать более простые или более сложные модели этого процесса во времени, изменяя приоритетность факторов оптимизации. Использование этого метода при разработке проекта энергосбережения на предприятии показало его доступность и эффективность в получении информации о поведении исследуемой системы.

Литература:

1. Бабина О. И. Сравнительный анализ имитационных и аналитических моделей [Электронный ресурс] // URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/immod-2009-1-73-77.pdf>

2. Макова А. С. Перспективы развития имитационного моделирования // *Современные наукоемкие технологии* . - №7. - 2014. - С. 59-61.

3. Шеннон Р. *Имитационное моделирование систем - искусство и наука*, М.: Мир, 1978. - 420 с.

4. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Павлов К.В., Хайруллин Н.Д. Моделирование бизнес-процессов в системе имитационного моделирования AutoMod // *Вестник Казанского технологического университета*. – Т.19. - №14. - 2016. - С.153-157.

5. Янковский К.П., Мухарь И.Ф. *Организация инвестиционной и инновационной деятельности*. – СПб: Питер, 2001. – 448 с.

6. И. М. Якимов, А. П. Кирпичников, Г. Р. Зайнуллина, З. Т. Яхина *Имитационное моделирование системы управления запасами предприятий с фиксированным объемом поставок* // *Вестник технологического университета*. - Т.19. - №18. - 2016. - С. 120-123.

Literature:

1. Babina O.I. *Comparative analysis of simulation and analytical models* [Electronic resource] // URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/immod-2009-1-73-77.pdf>

2. Makova A. S. *Prospects for the development of simulation modeling* // *Modern high technology*. - №7. - 2014. - P. 59-61.

3. Shannon R. *Simulation of systems - art and science*, Moscow: Mir, 1978. - 420 p.

4. Yakimov I.M., Kirpichnikov A.P., Pavlov K.V., Khairullin N.D. *Modeling of business processes in the simulation system AutoMod* // *Bulletin of Kazan Technological University*. - T.19. - № 14. - 2016. - P.153-157.

5. Yankovsky K.P., Mukhar I.F. *Organization of investment and innovation activities*. - St. Petersburg: Peter, 2001. - 448 p.

6. I.M. Yakimov, A.P. Kirpichnikov, G.R. Zainullina, Z.T. Yakhina. Simulation modeling of the inventory management system for enterprises with a fixed supply volume. Vestnik of the Technological University. - T.19. - № 18. - 2016. - P. 120-123.