

*Ermolaev Kirill Andreevich - senior lecturer of the Department of innovations and investments Kazan (Volga region) Federal University,
E-mail: ermolaev.kirill.a@gmail.com*

*Dyrdonova Alena Nikolayevna – PhD, assistant professor, leading researcher of the Center for research on the problems of the development of market relations in the conditions of the globalization of the world economy Kazan (Volga region)
Federal University, E-mail: danauka@lenta.ru*

*Kamaev Bulat Nailevich - laboratory assistant of the Center for research on the problems of the development of market relations in the conditions of the globalization of the world economy Kazan (Volga region) Federal University,
E-mail: kamaevbulat@mail.ru*

Methods of modeling in the context of energy saving management and increase of energy efficiency of industrial enterprises

Ермолаев Кирилл Андреевич – старший преподаватель кафедры инноваций и инвестиций ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», E-mail: ermolaev.kirill.a@gmail.com

*Дырдонова Алена Николаевна – к.э.н., доцент, ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра по исследованию проблем развития рыночных отношений в условиях глобализации мировой экономики ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
E-mail: danauka@lenta.ru*

Камаев Булат Наилевич – лаборант Научно-образовательного центра по исследованию проблем развития рыночных отношений в условиях

Методы моделирования в системе управления энергосбережением и повышением энергоэффективности промышленных предприятий

Энергосбережение и повышение энергоэффективности является одним из приоритетных направлений развития отечественной экономики, сориентированным на сокращение более чем двукратного разрыва между значением энергоемкости валового внутреннего продукта России и аналогичными показателями развитых стран. По оценкам ряда экспертов, наиболее значительный нереализованный потенциал энергосбережения и повышения энергоэффективности, по-прежнему, сосредоточен на уровне промышленных предприятий различных отраслей российской экономики¹. Во многом это связано с тем, что модели принятия управленческих решений в сфере энергосбережения и повышения энергоэффективности не отвечают современным условиям функционирования российских предприятий².

Деятельность энергетического хозяйства как управленческой подсистемы на уровне предприятия может быть смоделирована различными способами и с разным уровнем детализации. Наиболее часто используемая для этого модель называется «черным ящиком». В ней не рассматривается внутреннее устройство энергетического хозяйства и проходящие в нем процессы, а только лишь определяется перечень и взаимозависимость входов и выходов, например, потребления энергоресурсов и производственных показателей. Наиболее широко распространенным методом исследования таких моделей является корреляционный анализ, базирующийся на обработке

¹ Ермолаев К.А. Влияние процессов инновационного развития на повышение энергоэффективности функционирования регионального промышленного комплекса // Экономический анализ: теория и практика. – 2016. – №12(459) – с.84-96.

² Мельник А.Н., Лукишина Л.В. Методические основы оценки влияния энергетического фактора на результаты деятельности предприятия// Вестник Уральского государственного технического университета УПИ. - 2010. - №2. - С. 68-78.

статистической информации за прошедшие периоды времени. Такого рода исследования направлены на проведение анализа чувствительности, который заключается в оценке влияния изменения производственных показателей на потребление энергоресурсов. Проведение такого анализа позволяет определить критические переменные, которые в наибольшей степени могут повлиять на эффективное использование энергетических ресурсов. Однако, переход от полученной аналитики к управленческим решениям чрезвычайно сложен и требует серьезных экспертных знаний.

В работе Казаринова Л.С.¹ предложен метод комитетного подхода к прогнозирующему управлению энергетической эффективностью промышленных предприятий, позволяющий наилучшим образом организовать управление сложными технологическими объектами по критерию минимума технико-экономических потерь. Задача оптимального построения прогнозирующей модели решается на основе использования трех критериев: максимизация взвешенной суммы точек прогноза с заданной точностью; переход к решению задачи по нормативным методикам при неполном объеме статистических данных на основе минимизации регуляризирующей функции; минимизация технико-экономических потерь от ошибок прогноза. На основе построенных моделей прогнозирования потребления энергетических ресурсов можно решать разнообразные задачи энергетического менеджмента производства, включая оперативный контроль и управление, планирование объемов производства, планирование энергосберегающих мероприятий.

Возможной альтернативой для модели «черный ящик» является модель энергетического хозяйства, рассматриваемая в качестве производной от модели производственной системы. Так, например, в работах Гиационе Е.²

¹ Казаринов Л.С. Метод прогнозирующего управления энергетической эффективностью промышленного предприятия / Л.С.Казаринов, Т.А.Барбасова, А.А.Захарова // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2013. – Т. 13, №2. – С.12-24.

² E. Giacone, S. Mancò. 2012. Energy efficiency measurement in industrial processes, Energy, Volume 38, Issue 1, February 2012, Pages 331-345, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.054>.

предлагается следующая последовательность действий: сначала разрабатывается набор моделей, характеризующих энергетические параметры производственных процессов; затем создаются соответствующие модели, описывающие энергетическую эффективность производственных процессов; и, наконец, строится модель производственной системы, которая может быть представлена в виде матричного уравнения, отражающего связь между потребляемой энергией и так называемыми «энергетическими драйверами», в качестве которых могут выступать показатели производительности труда, погодные параметры и т.д. Далее предлагаются мероприятия по энергетическому бенчмаркингу, бюджетированию и целеполаганию, которые направлены, соответственно, на сравнение, контроль и повышение энергоэффективности производства. Однако, несмотря на глубокую методическую проработку вопросов формирования детализированного топливно-энергетического баланса предприятия, методические вопросы перехода от модели производственной системы к решению задач управления, а также вопросы эффективности принятия управленческих решений в этом исследовании не рассматриваются.

Широкий круг исследователей проводит моделирование с использованием метода анализа промышленных энергетических систем MIND (Method for analysis of INDustrial energy systems) на базе математических моделей смешанного целочисленного линейного программирования, который позволяет определить экономически эффективные управленческие воздействия в рамках промышленного предприятия любого размера для последующей оптимизации его производственных процессов. Так, например, в исследованиях Толландер П.¹ предлагается метод моделирования и оптимизации энергетического хозяйства промышленных предприятий в четыре этапа. На первом этапе энергетическое хозяйство предприятия структурируется для последующего

¹ Patrik Thollander, Nawzad Mardan, Magnus Karlsson, 2009. Optimization as investment decision support in a Swedish medium-sized iron foundry – A move beyond traditional energy auditing, Applied Energy, Volume 86, Issue 4, April 2009, Pages 433-440, ISSN 0306-2619, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.08.012>.

математического описания. На втором этапе формируется система уравнений и определяется целевая функция системы уравнений как формула себестоимости производства продукции. Система уравнений описывает работу энергетического хозяйства как совокупность взаимозависимостей показателей производственных процессов и расхода энергоресурсов, а также дополняется системой неравенств, описывающих ограничения. На третьем этапе применяются процедуры оптимизации в виде решения задачи линейного программирования. На последнем этапе модель проверяется и анализируются результаты.

В работе Карлссон М.¹ предлагается похожий метод моделирования и последующей оптимизации модели на основе смешанного целочисленного линейного программирования для оценки совокупности взаимосвязанных промышленных предприятий, также называемых промышленной экосистемой. В качестве целевой функции используется себестоимость производства продукции, включающая стоимость энергоресурсов и материалов. Отмечается, что этот метод можно использовать для моделирования как для промышленных экосистем, так и для отдельных промышленных предприятий. Также делается предположение о том, что в процессе моделирования можно использовать несколько целевых функций для более детального исследования. Однако не уточняется, какие это могут быть функции и как можно проводить анализ модели, включающей в себя несколько целевых функций?

В исследованиях Малатжи Е.М.² и Диакки К.³ рассматриваются модели оптимизации инвестиций в повышение энергоэффективности зданий. Модели позволяют решить задачу многокритериальной оптимизации и

¹ Magnus Karlsson, Anna Wolf, 2008. Using an optimization model to evaluate the economic benefits of industrial symbiosis in the forest industry, *Journal of Cleaner Production*, Volume 16, Issue 14, September 2008, Pages 1536-1544, ISSN 0959-6526, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.08.017>.

² Esrom Mahlatsi Malatji, Jiangfeng Zhang, Xiaohua Xia, 2013. A multiple objective optimisation model for building energy efficiency investment decision, *Energy and Buildings*, Volume 61, June 2013, Pages 81-87, ISSN 0378-7788, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.042>.

³ Christina Diakaki, Evangelos Grigoroudis, Nikos Kabelis, Dionyssia Kolokotsa, Kostas Kalaitzakis, George Stavrakakis, A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings, *Energy*, Volume 35, Issue 12, December 2010, Pages 5483-5496, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.012>.

направлены на поиск оптимального набора проектов из множества предложенных альтернатив, на котором достигается экстремум целевой функции в виде максимальной экономии энергии и минимизации срока окупаемости инвестиций в проекты модернизации и реконструкции зданий. И, хотя модели разработаны для выбора оптимального набора энергосберегающих мероприятий для модернизации здания и не относятся к промышленным системам, авторами отмечается, что сам подход и алгоритмы решения могут быть применены и для производственных предприятий.

Рассмотренные выше подходы к моделированию влияния деятельности энергетического хозяйства на повышение эффективности функционирования предприятия предполагают проведение работ по созданию соответствующих моделей в направлении от уровня производственных процессов к уровню предприятия. При этом в качестве основного критерия принятия решений по оптимизации производственных процессов принимается, как правило, экономическая эффективность за определенный период времени. Однако при решении управленческих задач в области энергосбережения и энергоэффективности в условиях инновационного развития такой подход оправдан далеко не всегда, так как зачастую необходимо учитывать не только характеристики производственной системы, но и внешние условия деятельности предприятия в конкурентной среде, а при принятии решений руководствоваться не только краткосрочным, но и долгосрочными экономическими эффектами, а также экологическими и репутационными эффектами, требованиями к надежности производства, стратегической целесообразностью¹ и т.д.

Проведенный нами анализ моделей, разработанных и описанных в различных исследованиях, позволил установить недостаточную полноту и проработанность методологических проблем, связанных с обоснованным принятием решений по выбору энергосберегающих мероприятий в условиях

¹ Melnik A.N., Ermolaev K.A., Antonova N.V. Stages in formalizing energy conservation and efficiency management in industrial enterprises// Mediterranean Journal of Social Sciences. - 2014. - Т. 5. - № 12. - С. 173-176.

инновационного развития экономики. В первую очередь это относится к экономико-математическому обоснованию выбора энергосберегающих проектов с учетом их влияния на реализацию стратегических целей развития предприятия. Существующие подходы к моделированию направлены на определение экономически эффективных управленческих воздействий на производственные процессы предприятия – в этом их достоинство, но это же и ограничивает сферу их применения. При использовании таких подходов четко прослеживается невозможность увязки стратегических и оперативных решений в единой системе управления энергосбережением на предприятии, что сдерживает повышение их конкурентоспособности в условиях инновационного развития отечественной экономики.

Источники финансирования: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-18-10227)

Список литературы:

1. Christina Diakaki, Evangelos Grigoroudis, Nikos Kabelis, Dionyssia Kolokotsa, Kostas Kalaitzakis, George Stavrakakis, A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings, *Energy*, Volume 35, Issue 12, December 2010, Pages 5483-5496, ISSN 0360-5442.
2. E. Giacone, S. Mancò. 2012. Energy efficiency measurement in industrial processes, *Energy*, Volume 38, Issue 1, February 2012, Pages 331-345, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.054>.
3. Esrom Mahlatsi Malatji, Jiangfeng Zhang, Xiaohua Xia, 2013. A multiple objective optimisation model for building energy efficiency investment decision, *Energy and Buildings*, Volume 61, June 2013, Pages 81-87, ISSN 0378-7788, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.042>.
4. Magnus Karlsson, Anna Wolf, 2008. Using an optimization model to evaluate the economic benefits of industrial symbiosis in the forest industry,

Journal of Cleaner Production, Volume 16, Issue 14, September 2008, Pages 1536-1544, ISSN 0959-6526, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.08.017>.

5. Melnik A.N., Ermolaev K.A., Antonova N.V. Stages in formalizing energy conservation and efficiency management in industrial enterprises// Mediterranean Journal of Social Sciences. - 2014. - Т. 5. - № 12. - С. 173-176.

6. Patrik Thollander, Nawzad Mardan, Magnus Karlsson, 2009. Optimization as investment decision support in a Swedish medium-sized iron foundry – A move beyond traditional energy auditing, Applied Energy, Volume 86, Issue 4, April 2009, Pages 433-440, ISSN 0306-2619.

7. Ермолаев К.А. Влияние процессов инновационного развития на повышение энергоэффективности функционирования регионального промышленного комплекса // Экономический анализ: теория и практика. – 2016. – №12(459) – с.84-96.

8. Казаринов Л.С. Метод прогнозирующего управления энергетической эффективностью промышленного предприятия / Л.С.Казаринов, Т.А.Барбасова, А.А.Захарова // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2013. – Т. 13, №2. – С.12-24.

9. Мельник А.Н., Лукишина Л.В. Методические основы оценки влияния энергетического фактора на результаты деятельности предприятия// Вестник Уральского государственного технического университета УПИ. - 2010. - №2. - С. 68-78.