

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ПО ВЫБОРУ МИКРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

*А.Ю. Куделевич, О.А. Пичугова*

Целью исследований является анализ и поиск путей снижения энергозатрат на производство продукции. Создана математическая модель оптимизационной задачи, позволяющая подобрать необходимое количество микротурбин для выработки нужного объема электроэнергии с учетом мощности и стоимости микротурбин.

Ключевые слова: топливно-энергетические ресурсы, экономия энергоресурсов, микротурбинные установки, выработка электроэнергии, оптимизационная задача.

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов является важнейшей составляющей успешного развития предприятий любой отрасли промышленности.

Нерациональная загрузка производственных мощностей, нарушение техрегламентов, использование неэффективного оборудования и некачественного сырья приводят к необоснованно высоким затратам на топливо и энергию при производстве строительных материалов и изделий. По причине низкой энергоэффективности производства истощается бюджет предприятия, замедляется его технологическое развитие. За счет средств, полученных благодаря экономии топливно-энергетических ресурсов, сегодня можно проводить модернизацию и расширение производства, что, в свою очередь, положительно скажется и на росте доходов работников предприятий.

В настоящее время потенциал легко внедряемых организационно-технических мероприятий практически исчерпан, поэтому оптимальным способом экономии топливно-энергетических ресурсов является повышение энергоэффективности самой технологии производства с учетом имеющихся энергетических потоков.

Объектом исследования в данной научной работе является ЗАО «Могилевский комбинат силикатных изделий».

Как известно, электроэнергия в основном вырабатывается на природном газе, единственным поставщиком которого для нашей страны является Российская Федерация. В связи с повышением российской стороной цены на природный газ, растет цена и для энергоснабжающих организаций концерна «Белэнерго».

На ЗАО «Могилевский КСИ» функционирует автоматизированная система контроля и учёта электроэнергии. Она предполагает, что стоимость электроэнергии разделяется на зоны в зависимости от времени суток. Максимальный тариф приходится на время с 8.00 до 11.00 и с 17.00 до 20.00. Минимальный тариф приходится на время с 23.00 до 6.00. В связи с этим предприятию необходимо переносить наиболее энергоёмкое производство продукции в ночное время суток, что не всегда бывает возможным [1].

При проведении анализа было выявлено что потребление электроэнергии по годам существенно не изменяется, однако затраты на покупку энергии увеличиваются в разы. Следовательно, возникает необходимость оценки возможности генерации собственной электроэнергии.

Таким образом, для ЗАО «Могилевский КСИ» возможно реализовать такой энергоэффективный проект как внедрение микротурбинной установки в целях выработки для нужд предприятия электроэнергии по цене меньшей, чем аналогичная цена, действующая в энергосистеме.

Микротурбинные установки – это современное оборудование для автономного теплоэнергоснабжения потребителей, сочетающее в себе отличные технические и эксплуатационные характеристики. Непревзойденные потребительские свойства и тщательная проработка всех элементов с применением инновационных технологий позволяют выделить микротурбины в отдельный класс энергогенерирующего оборудования. Микротурбины идеально отвечают нуждам современной распределенной энергетики, прежде всего за счет своих конструктивных особенностей.

Прогрессивные технологии позволили добиться высокой надежности и экономичности за счет отсутствия в конструкции турбины трущихся частей и использования воздушных подшипников, экологичности за счет низких рабочих температур и отсутствия масла, простоты обслуживания за счет высокой степени автоматизации энергосистем [2].

В ходе анализа рынка производителей энергогенерирующего оборудования были выбраны микротурбины трех крупнейших фирм-производителей: «Capstone Turbine Corporation» (США), «2G Energietechnik» (Германия), «Intersoll Rand» (США). Фирмы готовы предоставить турбины различные по вырабатываемой электрической мощности (от 200 до 2000 кВт), объемам потребляемого топлива (природного газа) и, соответственно, по стоимости.

Таким образом, для того чтобы выбрать оптимальное количество микротурбинных установок с нужными характеристиками, необходимо разработать математическую модель оптимизационной задачи [3].

Пусть  $x_i$  – количество турбин  $i$ -го вида со следующими характеристиками:

$q_i$  – электрическая мощность турбины, кВт;

$t_i$  – расход топлива турбиной, м<sup>3</sup>;

$p_i$  – цена турбины, млн. р.

Тогда общий вариант комплектования будет определяться по формуле:

$$X = \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где  $n$  – количество турбин.

Выработка электроэнергии турбинами  $i$ -го вида в  $j$ -м месяце определяется как:

$$E_{ij} = x_i \cdot q_i \cdot 24 \cdot k_j, \quad (2)$$

где  $k_j$  – количество рабочих дней в  $j$ -м месяце.

Суммарная выработка электроэнергии всеми турбинами за  $j$ -й месяц составит:

$$E_j = \sum_{i=1}^n E_{ij}. \quad (3)$$

Суммарная выработка электроэнергии турбинами должна гарантированно покрывать весь необходимый объём энергопотребления для производственных нужд предприятия. Таким образом, возникает ограничение:

$$E_j \geq \Pi_{Ej}, \quad (4)$$

где  $\Pi_{Ej}$  – потребление энергии предприятием в  $j$ -ом месяце, тыс. кВт·ч.

Пусть  $C_{Ej}$  – стоимость электроэнергии за 1 кВт·ч в  $j$ -ом месяце, р.

Тогда экономия от выработки электроэнергии всеми турбинами в  $j$ -ом месяце определяется по формуле:

$$D_j = C_{Ej} \cdot E_j. \quad (5)$$

Экономия в год составит:

$$D = \sum_{j=1}^{12} D_j . \quad (6)$$

Для генерации электроэнергии микротурбинная установка потребляет определённое количество газа. В зависимости от вида турбины потребление газа находится по формуле:

$$G_{ij} = x_i \cdot t_i \cdot 24 \cdot k_j . \quad (7)$$

Суммарное потребление газа всеми турбинами в  $j$ -ом месяце составляет:

$$G_j = \sum_{i=1}^n G_{ij} . \quad (8)$$

Если принять  $C_{Gj}$  как среднюю цену газа за 1 тыс.м<sup>3</sup> в  $j$ -ом месяце, то затраты, связанные с потреблением газа всеми турбинами в  $j$ -ом месяце, будут рассчитываться по формуле:

$$Z_j = C_{Gj} \cdot G_j . \quad (9)$$

Суммарные затраты в год составляют:

$$Z = \sum_{j=1}^{12} Z_j . \quad (10)$$

Общая стоимость инвестиционных затрат по закупке микротурбинных установок составляет:

$$P = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i . \quad (11)$$

Таким образом, критериями оптимальности являются:

- 1) годовая экономия от выработки электроэнергии всеми турбинами, которую необходимо максимизировать ( $D \rightarrow \max$ );
- 2) годовые суммарные затраты, связанные с потреблением газа всеми турбинами, которые необходимо минимизировать ( $Z \rightarrow \min$ );
- 3) общая стоимость инвестиционных затрат, связанных с покупкой микротурбин, которую необходимо минимизировать ( $P \rightarrow \min$ ).

Управляемыми параметрами являются количество турбин определённого вида ( $x_i$ ).

Целевая функция представляет собой аддитивную свертку критериев оптимальности, представленных в денежном выражении, и имеет вид:

$$F(x) = D - (Z + P) . \quad (12)$$

Ограничения, налагаемые на целевую функцию, описываются системой:

$$\begin{cases} E_j \geq \Pi_{Ej}; \\ x_i - \text{целое}; \\ x_i \geq 0. \end{cases} \quad (13)$$

В ходе решения оптимизационной задачи были выполнены расчёты, которые позволили определить величину полученной прибыли от внедрения той или иной микротурбинной установки по месяцам, при которых учитывалась работа турбин на полную мощность (при этом излишки электроэнергии могут отпускаться на сторону), а также вариант работы, когда выработка электроэнергии не превышает её потребление.

#### Литература

1. Бизнес-план за 2012 г. ЗАО «Могилевский комбинат силикатных изделий». – Могилев, 2012 – 92 с.
2. ВРС Group Power Systems [Электрон. ресурс] / Режим доступа: <http://www.bpcenergy.ru/oborudovanie/capstone/> – Дата доступа: 22.06.2013.
3. *Кузнецов, А.В.* Руководство к решению задач по математическому программированию: Учеб. пособие / *А.В. Кузнецов, Н.И. Холод, Л.С. Костевич.*; Под общ. ред. *А.В. Кузнецова.* – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Выш. шк., 1995. – 382 с.

#### **Куделевич Александра Юрьевна**

Выпускница 2013 года экономического факультета

Белорусско-Российский университет, г. Могилев

Тел.: +375(0174) 25-24-78

Е-mail: [\\_Sanika-1\\_@mail.ru](mailto:_Sanika-1_@mail.ru)

#### **Пичугова Ольга Анатольевна**

Старший преподаватель кафедры «Экономическая информатика»

Белорусско-Российский университет, г. Могилев

Тел.: +375(0222) 48-13-64

Е-mail: [olga\\_mogilev@mail.ru](mailto:olga_mogilev@mail.ru)