

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Л.М. Четошникова, Е.А. Морозова

Статья посвящена определению уровня использования энергоресурсов, при котором энергозатраты достигают минимального значения. На примере автономной системы электроснабжения небольшого поселка, включающей несколько возобновляемых и резервный источники электроэнергии, обоснованы параметры автономного энергокомплекса и оптимизирована структура энергетических потоков с использованием методов математического моделирования, являющихся наиболее достоверными и обоснованными. Для исследования вопросов, связанных с оптимизацией структуры энергетических потоков, используется системный подход для выбора решений, при котором объект рассматривается как сложная система, состоящая из множества элементов, работа каждого элемента оптимизируется с учетом его связи с другими элементами и влияния на работу объекта в целом. Решение задачи оптимизации осуществляется с помощью аналитических и численных методов, в результате определяются оптимальные энергопотоки и удельные годовые приведенные затраты. Задача решается методом «ветвей и границ» дискретного программирования.

Ключевые слова: автономный энергокомплекс, возобновляемые источники энергии, оптимизация, дискретное программирование.

Введение

Рассматривается автономная система электроснабжения небольшого поселка, включающая несколько возобновляемых источников энергии: ветроэнергетическая установка, солнечная батарея и дизель-генератор в качестве резервного источника электроэнергии. Не исключается также подключение потребителей к централизованной сети. Потребителями являющиеся жилые дома загородного типа, магазин, школа, почта, исследовательская лаборатория, яхт-клуб. Потребители имеют возможность получать электроэнергию от собственных источников или по линии электропередачи 380 В от подстанции ТП яхт-клуба мощностью 320 кВА. Для обеспечения потребителей теплом и горячей водой служит котельная, работающая на природном газе. Газ поступает от газораспределительной станции, расположенной в 1,5 км от потребителей. Суммарное годовое электропотребление составляет 243 800 кВт·ч.

На основании общей характеристики и анализа энергопотребления можно сделать вывод, что основная доля в энергопотреблении поселка (60 %) приходится на тепловую энергию. Она же составляет наибольшую долю в стоимости годового потребления энергоносителей.

Моделирование и решения экономико-математических задач

Задача состоит в определении такого уровня использования энергоресурсов, при котором суммарные энергозатраты достигают минимального значения. Кроме того, необходимо обосновать параметры автономного энергокомплекса и оптимизировать структуру энергетических потоков. Такие задачи решаются с использованием методов математического моделирования, являющихся наиболее

достоверными и обоснованными. Адекватность принятой модели и действительности возможна при достаточно глубоком изучении закономерностей развития отдельных факторов, влияющих на энергопотребление.

Для моделирования и решения экономико-математических задач необходимо иметь информацию об энергоресурсах и их наличии, процессах производства, распределения и потребления энергии, а также нормативы и санитарно-гигиенические требования [1].

При исследовании вопросов, связанных с оптимизацией структуры энергетических потоков, используется системный подход при выборе решений, в котором объект рассматривается как сложная система, состоящая из множества элементов, и работа каждого элемента оптимизируется с учетом его связи с другими элементами и влияния на работу объекта в целом. Решение задачи оптимизации осуществляется с помощью аналитических и численных методов. Математическая модель представляет собой систему уравнений и неравенств, отражающих взаимосвязи различных факторов в отдельных элементах объекта и между элементами. Модель должна отвечать требованиям содержательности с одной стороны, и простоты описания с другой.

При оптимизации структуры энергетических потоков автономного энергокомплекса одной из основных задач является определение такого уровня использования энергоресурсов, при котором доминирующий экономический критерий – удельные энергозатраты – достигает минимума. При этом учитываются необходимые в каждом конкретном случае ограничения и соблюдаются все условия сопоставимости при сравнении раз-

Альтернативные источники энергии

личных вариантов энергоснабжения и энергоиспользования [2].

Использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии может рассматриваться как самостоятельная часть общей системы электроснабжения. При этом следует учитывать, что солнечная энергия (при существующих условиях и техническом решении) может производить электрическую и тепловую энергию, ветровая энергия – электрическую и механическую (например, водоподъем). Системы с использованием нетрадиционных возобновляемых источников энергии исключают элементы, связанные с добычей, транспортировкой и переработкой органического топлива и отсутствием выбросов в атмосферу. Кроме того, снижается радиус транспортировки энергии за счет отсутствия питающих сетей.

К недостаткам относится циклический характер поступления энергии от ВЭУ и СЭС в течение года, сезона и суток. Следовательно, использование этих источников энергии будут накладывать определенные ограничения, связанные с неравномерностью подачи энергии во времени. В связи с этим необходимо решать задачу о рациональном соотношении между различными источниками энергии при электроснабжении потребителей.

Математическая модель оптимизационной задачи

Энергетические потоки представляют собой передаваемую энергию в течение какого-либо промежутка времени. В основном это потоки электрической и тепловой энергии, которые могут быть получены от различных источников (рис. 1).

Потребители используют только электрическую энергию для целей освещения, привода механизмов, работы электробытовых приборов. Для отопления и горячего водоснабжения может быть

использована электрическая, тепловая энергия или газ. Для работы газовых плит – только газ. Структурная схема энергетических потоков исследуемого объекта показана на рис. 2. На рисунке стрелками показаны направления энергопотоков, количество потребляемой энергии – X_i . Цифрами на рисунке обозначены источники энергии (1–6) и потребители энергии (7–14). Котельная рассматривается одновременно как потребитель и источник энергии.

Математическая модель оптимизационной задачи представлена в виде целевой функции, минимум которой необходимо найти

$$J = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^p Z_{i,j,q} \alpha_{i,q} x_{i,j,q} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^p Z'_{i,j,q} + \sum_{l=1}^k Z_l C_l \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^p \alpha_{i,q} x_{i,j,q} = \lambda_{iq} y_i \pm C_i; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^p \alpha_{i,q} x_{i,j,q} = \pm C_j; \quad (3)$$

$$a_{i,j,q} \leq x_{i,j,q} \leq b_{i,j,q};$$

$$A_i \leq C_i \leq B_i;$$

$$A_j \leq C_j \leq B_j;$$

$$i = 1, 2, \dots, n;$$

$$j = 1, 2, \dots, m;$$

$$q = 1, 2, \dots, p,$$

где $Z_{i,j,q}$ – энергетические затраты j -го потребителя при использовании энергии вида q , поступающей от i -го источника, руб; $\alpha_{i,q}$ – удельный расход топлива на выработку энергии типа qi -м источником, т. у. т. на единицу энергии; $x_{i,j,q}$ – количество передаваемой энергии вида q от i -го источника к j -му потребителю, единиц энергии в

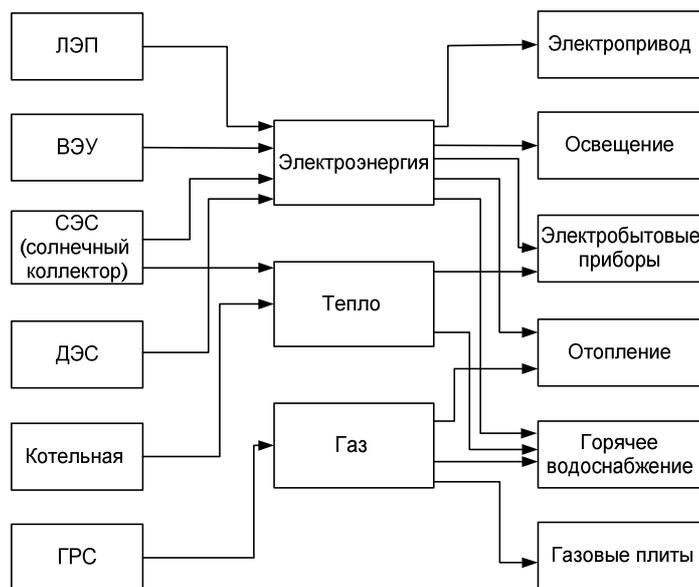


Рис. 1. Потоки энергии от различных источников

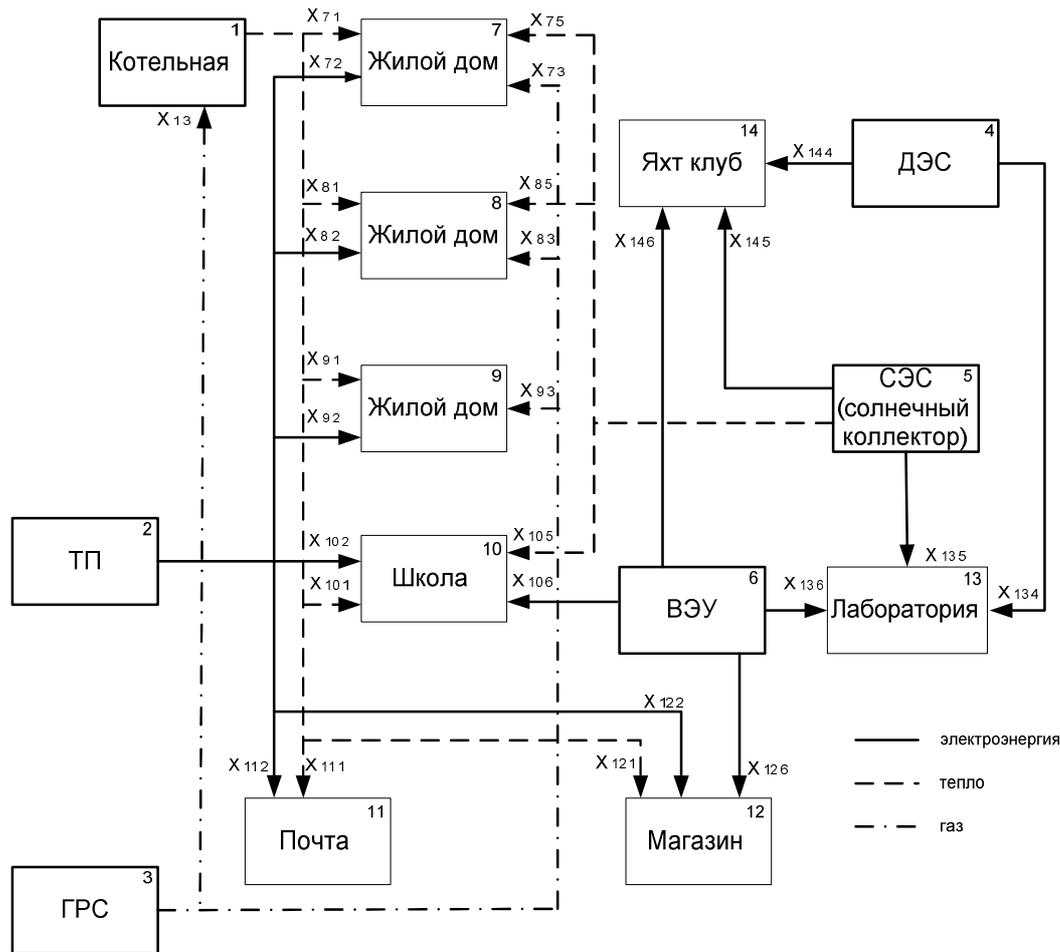


Рис. 2. Структурная схема энергетических потоков

год; $Z'_{i,j,q}$ – составляющая приведенных затрат, отражающая капиталовложения и эксплуатационные издержки без учета энергетической составляющей, руб./год; Z_l – затраты на энергию, поступающую дополнительно в систему или уходящую из системы по связи l , руб./т. у. т.; λ_{iq} – удельный расход энергии на производство 1 кВт·ч энергии, вырабатываемой i -м источником; y_i – количество произведенной продукции i -м источником, единиц энергии в год; $a_{i,j,q}, b_{i,j,q}$ – предельные значения величины $x_{i,j,q}$; $A_i(A_j)$, $B_i(B_j)$ – предельные значения величины $C_i(C_j)$; p – число видов энергоносителей [3].

Уравнения (2) и (3) записываются отдельно для источников и потребителей энергии. Ограничения представляют собой верхний (a) и нижний (b) пределы использования ресурсов. Переменными в модели являются связи x , выражающие годовое потребление энергоносителей потребителями.

Используя только первую составляющую целевой функции, можно определить энергозатраты в год без учета затрат на капиталовложения и эксплуатационные издержки, для учета которых не-

обходимо использовать вторую составляющую целевой функции. Если энергия поступает в рассматриваемую систему извне или передается из системы на сторону, расчет следует производить по трем составляющим.

Переменные x_i в уравнении целевой функции представляют собой количественное выражение того или иного энергетического потока. Их значения не постоянны и изменяются в определенных пределах. Нижний предел определяется минимальным количеством энергии, исходя из норм потребления и требований энергосбережения. Верхние пределы изменения величины x_i соответствуют существующему энергопотреблению, включая все виды потерь [3].

Ограничительные уравнения источников и потребителей энергии записываются согласно рис. 2.

Уравнения для источников энергии:

$$И1: \alpha_1(x_{71} + x_{81} + x_{91} + x_{101} + x_{111} + x_{121}) \leq \lambda_1 y_1; \quad (4)$$

$$И2: \alpha_2(x_{72} + x_{82} + x_{92} + x_{102} + x_{112} + x_{122}) \leq \lambda_2 y_2; \quad (5)$$

$$И3: \alpha_3(x_{13} + x_{73} + x_{83} + x_{93}) \leq \lambda_3 y_3; \quad (6)$$

$$И4: \alpha_2(x_{144} + x_{134}) \leq \lambda_4 y_4; \quad (7)$$

$$И5: \alpha_1(x_{75} + x_{85} + x_{105}) + \alpha_2(x_{145} + x_{135}) \leq \lambda_5 y_5; \quad (8)$$

$$И6: \alpha_2(x_{106} + x_{126} + x_{136} + x_{146}) \leq \lambda_6 y_6. \quad (9)$$

Альтернативные источники энергии

Уравнения для потребителей энергии:

$$\text{П7: } \alpha_1 x_{71} + \alpha_1 x_{75} + \alpha_2 x_{72} + \alpha_3 x_{73} \leq \beta_7 z_7; \quad (10)$$

$$\text{П8: } \alpha_1 x_{81} + \alpha_1 x_{85} + \alpha_2 x_{82} + \alpha_3 x_{83} \leq \beta_8 z_8; \quad (11)$$

$$\text{П9: } \alpha_1 x_{91} + \alpha_2 x_{92} + \alpha_3 x_{93} \leq \beta_9 z_9; \quad (12)$$

$$\text{П10: } \alpha_1 x_{101} + \alpha_1 x_{105} + \alpha_2 x_{102} + \alpha_2 x_{106} \leq \beta_{10} z_{10}; \quad (13)$$

$$\text{П11: } \alpha_1 x_{111} + \alpha_2 x_{112} \leq \beta_{11} z_{11}; \quad (14)$$

$$\text{П12: } \alpha_1 x_{121} + \alpha_2 x_{122} + \alpha_2 x_{126} \leq \beta_{12} z_{12}; \quad (15)$$

$$\text{П13: } \alpha_2 x_{134} + \alpha_2 x_{135} + \alpha_2 x_{136} \leq \beta_{13} z_{13}; \quad (16)$$

$$\text{П14: } \alpha_2 x_{144} + \alpha_2 x_{145} + \alpha_2 x_{146} \leq \beta_{14} z_{14}; \quad (17)$$

$$\text{П1: } \alpha_3 x_{13} \leq \beta_1 z_1. \quad (18)$$

удельные годовые приведенные затраты. Задача решается методом «ветвей и границ» дискретного программирования.

Литература

1. Аракелов, В.Е. *Методические вопросы экономики энергоресурсов* / В.Е. Аракелов, А.И. Кремер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 188 с.

2. Холод, Н.И. *Экономико-математические методы и модели* / Н.И. Холод, А.В. Кузнецов, Я.Н. Жихар. – Минск: БГЭУ, 2000. – 413 с.

3. Четошникова, Л.М. *Методы математического моделирования в решении вопросов энергосбережения на сельскохозяйственных предприятиях* / Л.М. Четошникова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – 82 с.

Заключение

В результате решения оптимизационной задачи определяются оптимальные энергопотоки и

Четошникова Лариса Михайловна, доктор технических наук, заведующая кафедрой автоматизации, Южно-Уральский государственный университет, Миасский филиал, г. Миасс, тел. 8-963-075-95-48, chlm@susu.miass.ru.

Морозова Екатерина Анатольевна, аспирант кафедры автоматизации, Южно-Уральский государственный университет, Миасский филиал, г. Миасс, тел.: 8-951-45-24-964, sly46@mail.ru.

*Bulletin of the South Ural State University
Series "Power Engineering"
2013, vol. 13, no. 2, pp. 41–44*

OPTIMIZATION OF POWER STREAMS IN SELF-SUFFICIENT SYSTEM OF POWER SUPPLY WITH NONCONVENTIONAL POWER SOURCES

L. M. Chetoshnikova, South Ural State University, Miass, Russian Federation, chlm@susu.miass.ru

E.A. Morozova, South Ural State University, Miass, Russian Federation, sly46@mail.ru

Article describes definition of energy resources uses level at which energy consumption reaches the minimum value. On the example of an self-sufficient power supply system of a small village including some renewable energy sources and an alternate energy source parameters of an self-sufficient power complex are proved, and the structure of power streams is optimized by using of mathematical modeling methods, which are the most reliable and valid. For the research of the questions connected with structure optimization of power streams, system approach is used at a choice of decisions, at which the object is considered as the difficult system consisting of elements set, work of each element is optimized taking into account its communication with other elements and influence on object work as a whole. The solution of optimization problem is carried out by means of analytical and numerical methods, optimum power streams and the specific annual given charges as a result are defined. The problem is solved by a method «branches and borders» discrete programming.

Keywords: self-sufficient power complex, renewable energy sources, optimization, discrete programming.

References

1. Arakelov V. E., Kremer A.I. *Methodical questions of Energy resources economy*, Moscow, 1990, 188p.
2. Holod N.I., Kuznetsov A.V., Zhikhar J.N. *Economic-mathematical methods and model*, Minsk, 2000, 413 p.
3. Chetoshnikova L.M. *Methods of mathematical modeling in the solution of energy saving questions on agricultural Enterprises*. Barnaul, 2005, 82 p.

Поступила в редакцию 08.04.2013 г.