

УДК 536.7 + 519.85
ББК 78.34

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С НЕСКОЛЬКИМИ АВТОНОМНЫМИ ЭНЕРГОУСТАНОВКАМИ

Майков И.Л.¹ Директор Л.Б.², Зайченко В.М.³

(Учреждение Российской академии наук

*Объединенный Институт высоких температур РАН,
Москва)*

Представлен метод решения задач, связанных с эффективным энергоснабжением, с учетом реальных графиков энергетических нагрузок и взаимосвязи компонентов схемы: потребителя энергии, внешних источников электрической и тепловой энергии, нескольких автономных энергетических установок, традиционных источников теплоснабжения (водогрейной котельной) и вспомогательных элементов схемы.

Разработаны специальные алгоритмы, позволяющие свести задачу оптимизации с несколькими автономными энергетическими установками, к задаче линейного программирования.

¹ Игорь Леонидович Майков, доктор физико-математических наук, в.н.с. (maikov_i@mail.ru).

² Леонид Бенцианович Директор, доктор технических наук, в.н.с. (director@oivtran.ru).

³ Виктор Михайлович Зайченко, доктор технических наук, зав. лаб. (zaitch@oivtran.ru).

Ключевые слова: математическое моделирование, оптимизация, численные методы, энергокомплекс, линейное программирование.

1. Введение

В связи с динамичным развитием распределенной и автономной энергетики в странах ЕС и в США в последние годы большое внимание уделяется созданию так называемых интеллектуальных энергосетей (Smart Grid). Под интеллектуальными энергосистемами Smart Grid понимается такая система производства, передачи и распределения энергии, которая сочетает в себе элементы традиционной энергетики и новейшие энергетические технологии, комплексные инструменты контроля и мониторинга, а также информационные технологии и средства коммуникации, обеспечивающие более высокую производительность энергосети [1].

Вопросам математического и технико-экономического анализа эффективности комбинированных технологий, прежде всего, в энергетике, сегодня уделяется особое внимание. Разработка подходов к моделированию подобных технологий, методов оптимизации и соответствующего программного обеспечения позволит выбирать эффективные схемные решения, соответствующее оборудование [2], и тем самым создать основы технологии Smart Grid для автономных энергокомплексов, оптимально обеспечивающих переменные энергетические нагрузки потребителя. Алгоритмы решения таких оптимизационных задач в рамках технологии Smart Grid нужно рассматривать как часть алгоритмов, включаемых в систему управления энергокомплексом, что накладывает жесткие условия на их быстроедействие и компьютерные ресурсы в связи с необходимостью многократного и быстрого решения локальных задач оптимизации. В связи с этим представляется актуальным возможность сведения общей нелинейной задачи оптимизации к задаче

линейного программирования в рамках тех или иных предположений (без потери основных особенностей задачи) и использования соответствующих методов решения задач оптимизации.

Настоящая работа является продолжением работ, представленных в [3, 4], и обобщает разработанную модель энергокомплекса в рамках линейного программирования на случай совместной работы нескольких автономных источников электрической и тепловой энергии (газопоршневых когенерационной установок).

2. Постановка задачи

В практических схемах энергокомплексов при значительном диапазоне изменения требуемой электрической мощности оптимальные схемы могут содержать две и более газопоршневые установки (ГПУ).

Рассмотрим следующую схему электроснабжения потребителя электроэнергии (ПЭЭ) (рис. 1).

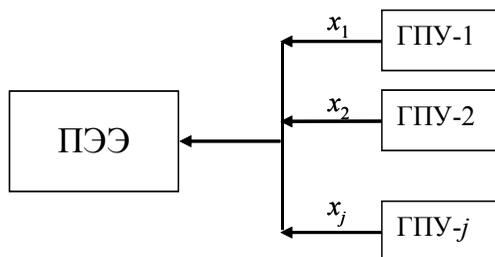


Рис. 1. Схема электроснабжения: $x_1 \dots x_j$ – потоки электрической энергии от соответствующих ГПУ

Для лучшего понимания логики оптимизационных процедур рассмотрим простейший случай, когда все ГПУ, входящие в схему энергокомплекса, имеют одинаковую зависимость КПД от

текущей относительной мощности, которую можно представить в виде [3, 4]

$$(1) \quad k_{ГПУ}^j = k(y^j),$$

где $k_{ГПУ}^j$ – текущий КПД j -той установки; $y^j = N_{ГПУ}^j / N_j$; $N_{ГПУ}^j$ – текущая электрическая мощность j -той установки; N_j – номинальная электрическая мощность j -той установки.

Тогда целевая функция для j -той установки F^j за единственный промежуток времени запишется в виде

$$(2) \quad F^j = Ck(y^j)x_j = CN_jk(y^j)y^j,$$

где x_j – поток j -ой установки, C – константа (цена единицы потока x_j). В дальнейшем положим ее равной 1. Для учета нелинейности целевой функции (зависимость КПД от мощности) используем кусочно-линейную аппроксимацию [5]. Проведем разбиение функции F^j : $y^k = a_k$, где $k = 0 \dots K$ – количество точек разбиения. Не теряя общности, положим $a_0 = 0$. Введем безразмерную целевую функцию

$$(3) \quad f^j = \sum_{k=1}^K y^{jk} \rho_k + f(0),$$

где $y^j = \sum_{k=1}^K y^{jk}$, $\rho_k = (f^k(a_k) - f^{k-1}(a_{k-1})) / (a_k - a_{k-1})$, $f(0)$ – представляет из себя постоянную составляющую стоимости электроэнергии (амортизационные, эксплуатационные и т.д. составляющие), вырабатываемой ГПУ.

Новые переменные y^{jk} удовлетворяют ограничениям

$$(4) \quad 0 \leq y^{jk} \leq a_k - a_{k-1}.$$

Тогда целевая функция имеет вид

$$(5) \quad F^j = N_j f^j.$$

Таким образом, любая целевая функция представима соотношением (5) и отличается только входящей в нее номинальной мощностью ГПУ.

Пусть имеется две ГПУ одного номинала N_1 . Представим общую целевую функцию в виде

$$(6) \quad F^{12} = F^1 + F^2 = N_1 f_1 + N_1 f_2.$$

С учетом (3) уравнение (6) можно переписать в виде

$$(7) \quad F^{12} = N_1 \left(2f(0) + \sum_{k=1}^K y^{1k} \rho_k + \sum_{k=1}^K y^{2k} \rho_k \right) = N_1 \left(2f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k (y^{1k} + y^{2k}) \right).$$

Дополнительно к ограничениям (4) переменные y^{jk} должны удовлетворять условию

$$(8) \quad \sum_{k=1}^K (y^{1k} + y^{2k}) = N_{\exists},$$

где N_{\exists} – требуемая мощность за рассматриваемый промежуток времени.

Задача нахождения минимума целевой функции (7) с ограничениями (4), (8) является задачей линейного программирования и может быть решена симплекс-методом.

Если $N_{\exists} > N_1$, то получаем решение, которое минимизирует целевую функцию (7). При $N_{\exists} \leq N_1$ решение не является оптимальным, т.к. целевая функция одной ГПУ, удовлетворяющая условию $N_{\exists} \leq N_1$, имеет меньшее значение. Покажем это

$$(9) \quad \begin{aligned} F^1 &= N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k y^{1k} \right) < N_1 \left(2f(0) + \sum_{k=1}^K y^{1k} \rho_k + \sum_{k=1}^K y^{2k} \rho_k \right) = \\ &= N_1 \left(2f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k (y^{1k} + y^{2k}) \right) = 2N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k y^{1k} \right) = 2F^1 = F^{12}. \end{aligned}$$

Справедливость равенства $\sum_{k=1}^K \rho_k (y^{1k} + y^{2k}) = 2 \sum_{k=1}^K \rho_k y^{1k}$ следует из условия выпуклости функций F^1 и F^2 . При этом $\rho_1 < \rho_2 < \dots < \rho_K$ и в задаче минимизации при $p < q$ переменная y^p оказывает большее влияние на значение целевой функции, чем y^q .

Следовательно, до достижения ограничений (4) решение будет определяться переменными y^{1p} и y^{2p} (при этом $y^{1q}=0$, $y^{2q}=0$).

Пусть решение задачи (7) имеет вид

$$y^{1k} = y^{2k} = a_k - a_{k-1}, k = 1 \dots p,$$

$$(10) \quad \left. \begin{array}{l} 0 < y^{1k} \leq a_k - a_{k-1}, \\ 0 \leq y^{2k} \leq a_k - a_{k-1}, \end{array} \right\} k = q = p + 1,$$

$$y^{1k} = y^{2k} = 0, k = q + 1 \dots K.$$

Запишем новое решение при $k=q=p+1$

$$(11) \quad y_{new}^{1k} = y_{new}^{2k} = 0,5(y^{1k} + y^{2k}).$$

Очевидно, что полученное решение не изменяет значение целевой функции. С учетом (10) и (11) получается соотношение (9).

Т.е. представление целевой функции нескольких ГПУ в виде суммы целевых функций отдельных ГПУ и дальнейшая минимизация этой функции не дает минимального решения. Полученные результаты легко обобщаются на произвольное число ГПУ.

Это связано с тем, целевая функция задачи (6) должна быть представлена в виде

$$(12) \quad F^{12} = \alpha F^1 + \beta F^2,$$

где коэффициенты α , β принимают значение 0 или 1, $\alpha + \beta \geq 1$ и определяются в процессе решения общей оптимизационной задачи. Задача становится нелинейной и частично-целочисленной, что требует разработки специальных методов решения [5].

3. Основные алгоритмы

Построим метод решения, основанный на у методе линейного программирования [4], с дополнительным шагом.

Задача 1. Пусть имеется две ГПУ с одинаковой номинальной мощностью N_1 .

Как было показано выше, решение задачи разделяется на две подзадачи (рис. 2), каждая из которых решается симплекс-методом.

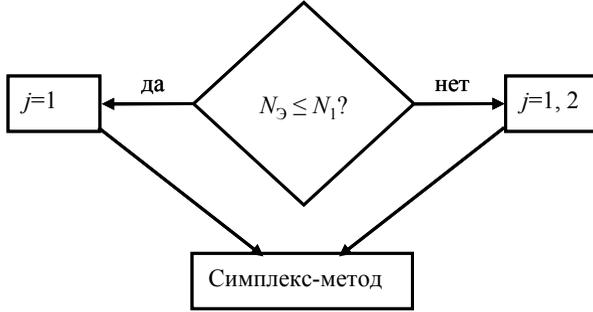


Рис. 2. Блок-схема решения задачи оптимизации с двумя ГПУ одинаковой номинальной мощности (j – номер ГПУ)

Задача 2. Рассмотрим случай, когда имеется две ГПУ различной номинальной мощности: N_1, N_2 ; $N_2 = \varepsilon N_1$; $\varepsilon > 1$.

С учетом (6) и (7) общая целевая функция имеет вид

$$(13) F^{12} = N_1 \left((1 + \varepsilon) f(0) + \sum_{k=1}^K y^{1k} \rho_k + \varepsilon \sum_{k=1}^K y^{2k} \rho_k \right).$$

С учетом выпуклости целевых функций, получаем:

1. Если $N_э \leq N_1$, то

$$(14) F^1 = N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k y^{1k} \right) < \varepsilon N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K y^{2k} \rho_k \right) = F^2 = \varepsilon F^1,$$

т.е. $j=1$ (N_1).

2. Если $N_1 < N_э \leq N_2$, то

$$(15) F^2 = \varepsilon F^1 < (1 + \varepsilon) N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k y^{1k} \right) = (1 + \varepsilon) F^1 = F^{12},$$

т.е. $j=2$ (N_2).

3. Если $N_2 < N_э$, то $j=1, 2$ (N_1, N_2).

Блок-схема алгоритма решения задачи 2 представлена на рис. 3.

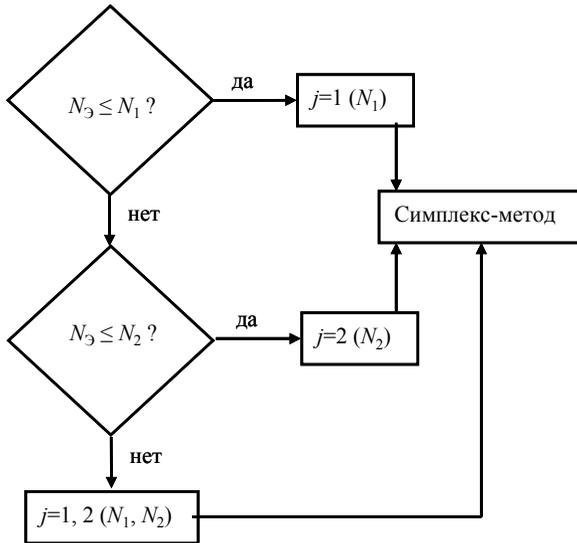


Рис. 3. Блок-схема решения задачи оптимизации с двумя ГПУ разной номинальной мощности

Алгоритм легко обобщается на случай нескольких ГПУ с соответствующими номинальными мощностями $N_j, j=1 \dots J$.

Задача 3. Рассмотрим задачу, когда имеется несколько (α) одинаковых ГПУ мощности N_1 и одна ГПУ номинальной мощности N_2 , причем

$$(16) N_2 = \alpha N_1$$

Запишем целевую функцию для нескольких ГПУ одной номинальной мощности N_1

$$(17) F^1 = N_1 \left(\alpha f(0) + \sum_i \sum_{k=1}^K \rho_k y^{\alpha k} \right).$$

Аналогично для второй ГПУ (N_2)

$$(18) F^2 = N_2 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k y^{2k} \right) = \alpha N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k y^{2k} \right).$$

Согласно (18) имеется только одно оптимальное решение для всех нагрузок потребителя при $N_3 \leq N_2$.

Другая ситуация с целевой функцией (17). Она состоит из нескольких слагаемых, следовательно, общая целевая функция не будет давать оптимальное решение. Построим его на различных интервалах. Используя построенные алгоритмы (задачи 1 и 2), получим следующие оптимальные решения:

1. Если $N_3 \leq N_1$, тогда

$$(19) F^1 = N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k y^{1k} \right) < 2N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K y^{2k} \rho_k \right) = 2F^1,$$

т.е. $j=1 (N_1)$.

2. Если $N_1 < N_3 \leq 2N_2$, тогда

$$(20) F^1 = 2N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k y^{1k} \right) < 3N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k y^{1k} \right) = 3F^1,$$

т.е. $j=2 (2N_1)$ и т.д.

3. Последний шаг. Если $(\alpha-1)N_1 < N_3 \leq \alpha N_2$, тогда

$$(21) F^1 = \alpha N_1 \left(f(0) + \sum_{k=1}^K \rho_k y^{1k} \right) = \alpha F^1,$$

т.е. $j=\alpha (\alpha N_1)$.

Можно показать, что одинаковые решения для минимума целевых функций (18) и (21) получаются только на последнем шаге. Во всех остальных случаях решения (19), (20) дают меньшее значение целевой функции.

Основной вывод состоит в том, что при принятых допущениях (все ГПУ имеют одинаковый номинальный КПД и одинаковую зависимость КПД от текущей относительной мощности) существуют области решения, где целевые функции одной ГПУ с номинальной мощностью N_2 и α ГПУ с номинальной мощностью N_1 при выполнении соотношения (16) имеют одно и то же минимальное значение. Таким образом, равноценна замена

любых β ГПУ (N_1) на одну ГПУ (N_2) при выполнении условия $N_2 = \beta N_1$. Тогда оптимальное решение определяется по схеме рис. 3 (задача 2). Общий принцип применения описанных выше алгоритмов состоит в задании дополнительных ограничений в задаче линейного программирования при определении количества и номинальных мощностей ГПУ на каждом временном интервале.

4. Модельные расчеты

В качестве исходных данных использовалась зависимость кпд от безразмерной мощности [4], аппроксимированная на 4 точках ($k = 0 \dots 3$; $a_0=0$, $a_1=0.375$, $a_2=0.6$, $a_3=1$).

Рассмотрим режимы работ двух ГПУ одинаковой номинальной мощности (N_1) и одной ГПУ мощностью ($N_2=2N_1$) и рассчитаем оптимальные режимы по разработанным алгоритмам. Результаты представлены на рис. 4. Оптимальным является режим работы одной ГПУ номинала N_1 при нагрузке $w < 0.5$, а при нагрузке $w > 0.5$ – либо 1 ГПУ (N_2), либо 2 ГПУ (N_1). Уменьшение стоимости (кривая 1) достигается за счет полного исключения одной из ГПУ согласно (7).

Один из оптимальных режимов работы двух ГПУ ($N_1 + N_1$) представлен на рис. 5. На участке до $w < 0.5$ работает одна ГПУ, $w > 0.5$ – две ГПУ, причем имеется участок, когда каждая ГПУ работает примерно с половинной нагрузкой.

Любая замена одной ГПУ другой дает следующее оптимальное решение (с тем же значением целевой функции, но с другим режимом работы).

Рассмотрим режимы работ двух ГПУ разной мощности (N_1 и N_2 , $N_2=2N_1$) и одной ГПУ $N_3=3N_1$. Зависимость целевой функции от нагрузки потребителя представлена на рис. 6.

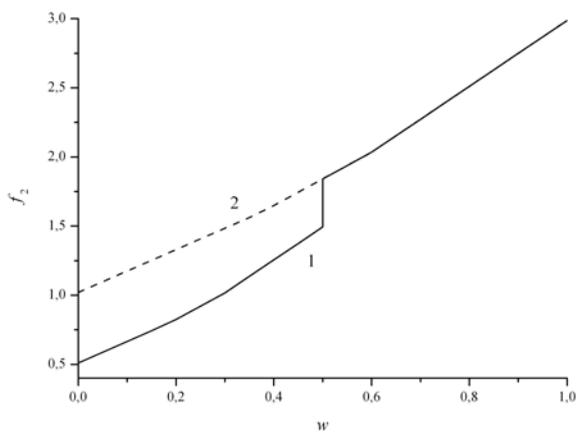


Рис. 4. Зависимости f_2 от нагрузки потребителя $w = N_3 / N_2$:
 1 – $N_1 + N_1$, 2 – N_2

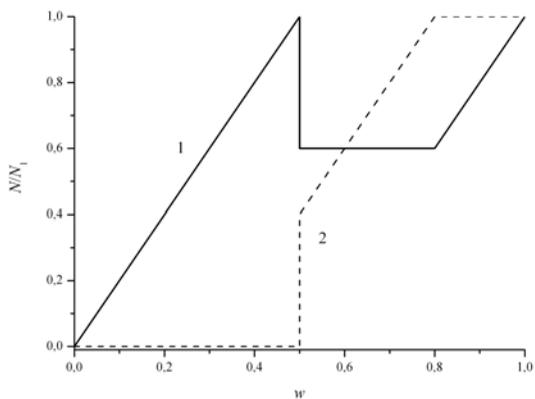


Рис. 5. Оптимальный график работы двух ГПУ (1 – N_1 , 2 – N_1)

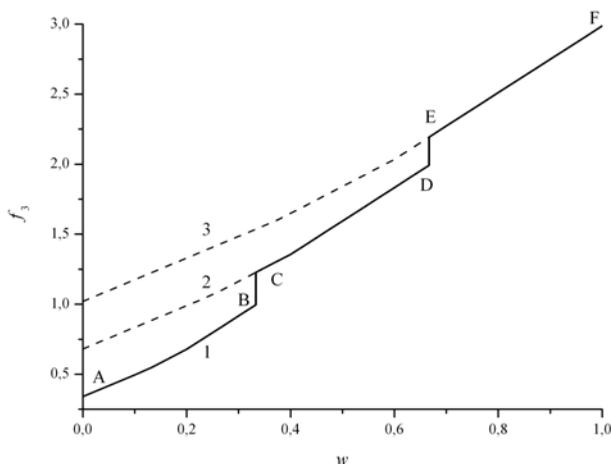


Рис.6. Зависимости f_3 от нагрузки потребителя $w = N_2 / N_3$:
 1 – N_1 , 2 – N_2 , 3 – N_3 . Кривая ABCDEF – оптимальный режим

Оптимальные режимы работы (кривая ABCDEF): режим работы одной ГПУ (N_1) при нагрузке $w < 1/3$, при нагрузке от $1/3 < w < 2/3$ – ГПУ (N_2), при $w > 2/3$ – $N_1 + N_2$. Работа только одной ГПУ (N_3) менее эффективна (кривая 3), как это следует из рассмотрения задач 2 и 3.

Участок АВ представляет собой оптимальное решение для одной ГПУ (N_1). Участок CD – оптимальное решение для одной ГПУ (N_2). Участок EF – оптимальное решение для одной ГПУ (N_3). На участке CD совпадают оптимальные решения двух задач: $N_1 + N_1$, N_2 . На участке EF оптимальные решения трех задач совпадают: $N_1 + N_1 + N_1$, $N_1 + N_2$, N_3 . Полученные результаты соответствуют общему решению задачи 3.

Оптимальные режимы работы двух ГПУ ($N_1 + N_2$) представлены на рис. 7.

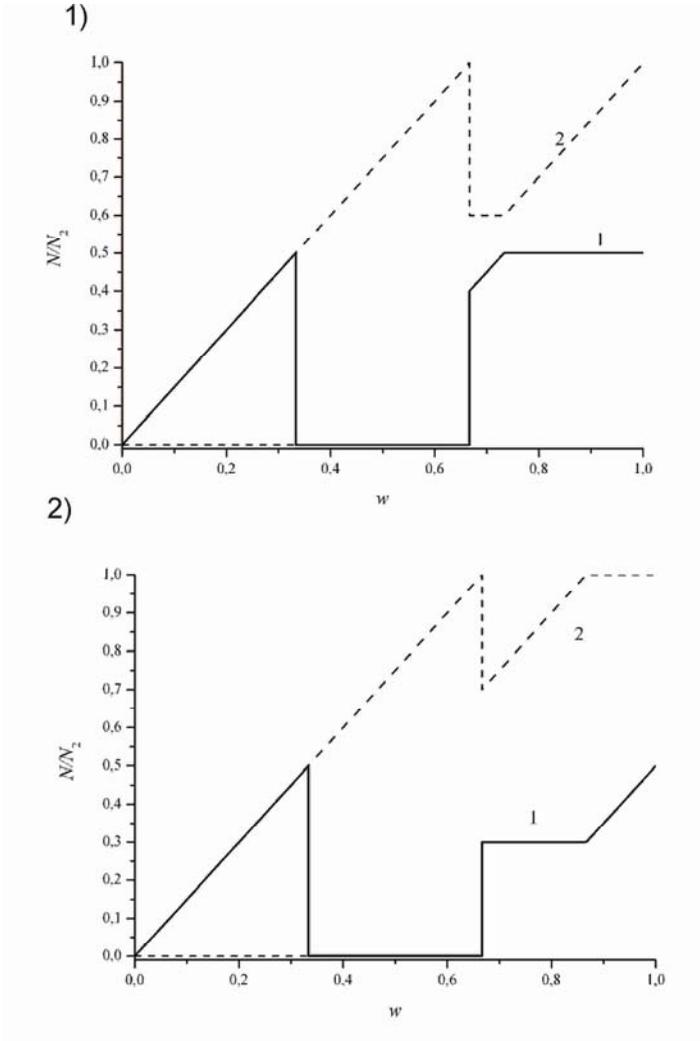


Рис. 7. Оптимальный график работы двух ГПУ (1 – N_1 , 2 – N_2), $w = N_3 / (N_1 + N_2)$. Два различных решения

Имеется два одинаковых решения по значению целевой функции, но с различными графиками работы каждой ГПУ (рис.7).

5. Результаты моделирования

Рассмотрим обобщенную схему энергокомплекса, в состав которой входят газопоршневые мини-ТЭЦ (ГПУ-1, ГПУ-2, ..., ГПУ- j), электродвигатель (ЭК), водогрейная котельная (ВК), аккумулятор тепловой энергии (АК), электрическая (ВЭС) и тепловая (ВТС) внешние сети, потребитель электрической (ПЭЭ) и тепловой (ПТЭ) энергии (рис. 8).

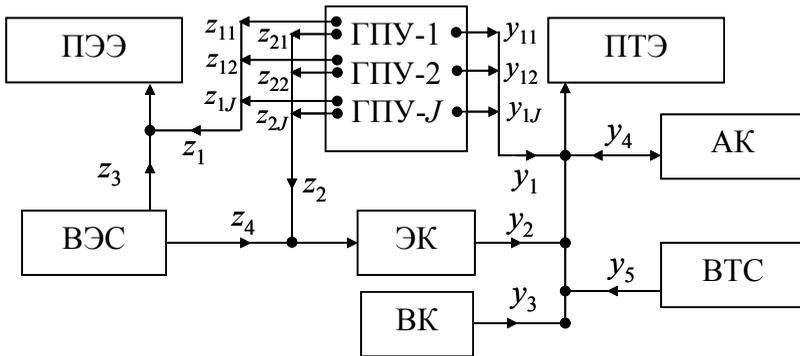


Рис. 8. Обобщенная схема электро- и теплоснабжения: $z_1 \dots z_4$, $z_{11} \dots z_{1j}$, $z_{21} \dots z_{2j}$ – потоки электрической энергии; $y_1 \dots y_5$, $y_{11} \dots y_{1j}$ – потоки тепловой энергии

Математическая модель строится из условий баланса потоков электрической и тепловой энергии, аналогично [3, 4] с учетом совместной работы нескольких мини-ТЭЦ.

Численная модель строится на основе численной модели, разработанной в [3, 4] с использованием разработанных выше алгоритмов. При заданном графике энергопотребления опреде-

ляется максимальное (пиковое потребление). Далее, с учетом известных номинальных характеристик ГПУ, определяется количество ГПУ, обеспечивающих максимальное электропотребление, и выделяются интервалы мощности, определяемые номинальными мощностями ГПУ. По сути, вводятся дополни-

тельные ограничения для $\sum_{i=1}^J \sum_{k=1}^K y^{ik}$. При проведении процедуры

оптимизации на каждом временном интервале определяется, в какой интервал мощности попадает N_{Σ} , и по приведенным алгоритмам определяются количество и номинальная мощность ГПУ, обеспечивающих минимум целевой функции.

В оптимизируемой схеме рассматриваются все возможные ГПУ из предварительного анализа. При решении задачи симплекс-методом в процедуре оптимизации дополнительно используются приведенные выше алгоритмы. Имеется две возможности построения симплекс-таблицы: 1 – неиспользуемые на выбранном интервале времени ГПУ входят в целевую функцию с большими коэффициентами; 2 – построение симплекс-таблицы на каждом временном интервале реализуется только для используемых ГПУ. В работе применен второй вариант, т.к. при этом возможно значительное уменьшение объема симплекс-таблицы.

В качестве исходных для расчета рассмотрим следующие варианты мини-ТЭЦ: газопоршневая мини-ТЭЦ АГ-315-Т400-1Р номинальной электрической мощностью 315 кВт и тепловой мощностью 410 кВт и газопоршневая мини-ТЭЦ АГ-200-Т400-1Р номинальной электрической мощностью 180 кВт и тепловой мощностью 280 кВт.

Рассмотрим случай, когда тепловая энергия мини-ТЭЦ заведомо не обеспечивает тепловой график потребителя, а пиковая электрическая мощность превышает номинальную мощность ГПУ АГ-315. Очевидно, что существует несколько возможных вариантов покрытия требуемых графиков нагрузки: пиковая электрическая мощность может обеспечиваться либо несколь-

кими агрегатами ГПУ, либо компенсироваться за счет электрической сети. Что касается дефицита тепловой нагрузки, то он может обеспечиваться или пиковой котельной, или электрокотлом, причем на нагрев воды в электрокотле может использоваться электроэнергия как от ГПУ, так и от электрической сети.

Один из возможных графиков изменения нагрузок потребителя в течение суток представлен в таблице 1.

Таблица 1. График изменения энергетических нагрузок потребителя

Интервал времени	0 – 6 ч	6 – 12 ч	12 – 18 ч	18 – 24 ч
Электрическая мощность	200	300	250	400
Тепловая мощность	400	600	500	800

Результаты оптимизационных расчетов представлены на рис. 9 и 10. Если принять стоимость энергоресурсов для первой схемы равным 1, тогда стоимость энергоресурсов для второй схемы – 0,87.

Для первой схемы с одной газопоршневой установкой ГПУ работает в номинальном режиме весь период времени, соответственно коэффициент использования мощности ГПУ равен 1. В вечерние часы недостаток мощности компенсируется пиковой котельной (около 300 кВт) и за счет централизованной электрической сети (около 100 кВт). При этом коэффициент использования топлива для энергокомплекса составил 0,78, а коэффициент использования мощности котельной не превышает 25 %.

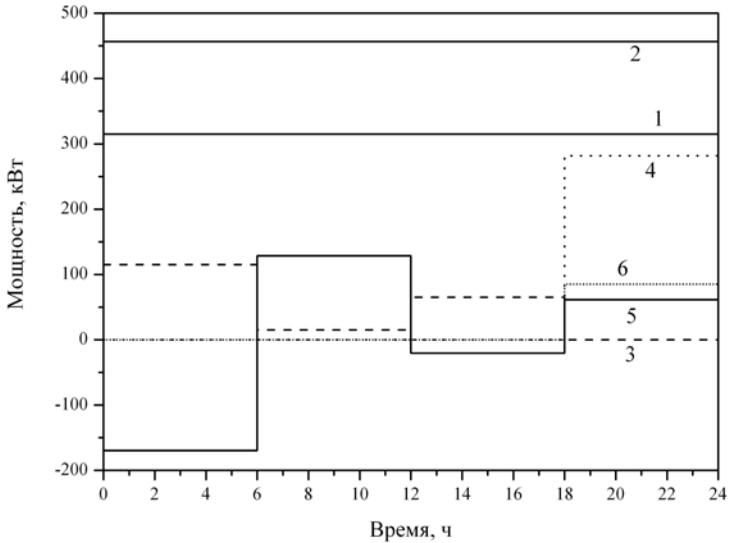


Рис. 9. Режимы работы оборудования с одной ГПУ (АГ-315): 1 – ГПУ (электроэнергия), 2 – ГПУ (тепло), 3 – ЭК, 4 – ВК, 5 – АК, 6 – ВЭС)

Для второй схемы с двумя ГПУ (АГ-315 и АГ-200) в оптимальном режиме работы оборудования котельная и внешняя электрическая сеть не требуется. Вторая схема с точки зрения себестоимости производимой энергокомплексом электроэнергии выгоднее, чем первая. К недостаткам такой схемы относится низкий коэффициент использования мощности ГПУ АГ-200, что будет сказываться на сроки окупаемости.

Проведенный анализ показывает, что в зависимости от целевых установок, определяемых потенциальным собственником энергокомплекса, может быть выбрана и первая, и вторая схемы.

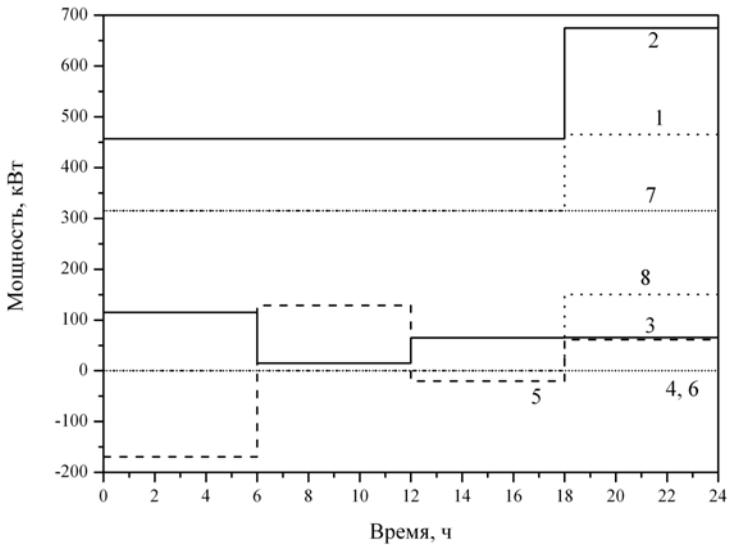


Рис. 10. Режимы работы оборудования с двумя ГПУ (АГ-315+АГ-200): 1 – суммарная электроэнергия (ГПУ), 2 – суммарное тепло (ГПУ), 3 – ЭК, 4 – ВК, 5 – АК, 6 – ВЭС, 7 – АГ-315 (электричество), 8 – АГ-200 (электричество)

6. Выводы

В работе показано, что простое обобщение модели с одним энергоисточником на несколько автономных источников (представление целевой в виде суммы целевых функций отдельных источников) в рамках задачи линейного программирования не дает корректного решения, и требуется решение более общей задачи оптимизации.

В работе предложены дополнительные шаги (алгоритмы), которые позволяют свести задачу к задаче линейного програм-

мирования. В практических расчетах (количество автономных источников не больше трех и их номиналы различны) последовательно решаются 19 задач, из решения которых выбирается решение с минимальной целевой функцией. Каждая задача является задачей линейного программирования с включенными в нее разработанными алгоритмами.

Представленные результаты показывают возможность проведения оптимизационных расчетов особенностей схемы энергоснабжения, включающей несколько автономных источников.

Работа выполнялась в соответствии с заданием государственного контракта с Федеральным агентством по науке и инновациям № 02.516.11.6198.

Литература

1. <http://www.rsci.ru/sti/news/208879.php> (дата обращения: 15.10.2010).
2. КАГАНОВИЧ Б.М., ФИЛИППОВ С.П. *Теоретические основы анализа эффективности комбинированных технологий* // Изв. РАН. Энергетика. – 2008. – №6. – С. 116-126.
3. ДИРЕКТОР Л.Б., МАЙКОВ И.Л. *Решение задач оптимизации сложных энергетических систем* // Управление большими системами. Сборник трудов. Выпуск 28: М.: ИПУ РАН. – 2010. С. 274-291. ISSN 1819-2440.
4. ДИРЕКТОР Л.Б., ЗАЙЧЕНКО В.М., МАЙКОВ И.Л. *Метод оптимизации нестандартных схем энергокомплексов с когенерационными энергетическими установками* // Изв. РАН. Энергетика. 2010. № 6. С. 121-132.
5. ХЕМДИ А. ТАХА. *Ведение в исследование операций*. – 7-е издание. – М.: Издательский дом Вильямс, 2005. – 912 с.

THE SOLUTION METHOD OF POWER SYSTEMS OPTIMIZATION WITH SEVERAL INDEPENDENT POWER SOURCES

Igor Maikov, Joint Institute for High Temperatures of RAS, Moscow, professor (*maikov_i@mail.ru*).

Leonid Director, Joint Institute for High Temperatures of RAS, Moscow, professor (*director@oivtran.ru*).

Victor Zaitchenko, Joint Institute for High Temperatures of RAS, Moscow, professor, head of a laboratory (*zaitch@oivtran.ru*).

Abstract: The solution method of problems connected with effective power supply of isolated consumers taking into account real schedules of power loadings and interrelation of all possible components of the scheme (the consumer of energy, external sources electric and thermal energy, traditional sources of a heat supply (a water-heating boiler-house) and auxiliary elements of the scheme, several power sources) is presented.

The special algorithms, allowing to reduce a problem of optimization with several independent power sources, to a problem of linear programming are developed.

Keywords: mathematical modeling, optimization, numerical methods, power-generating unit, linear programming.