

можно за счет повышения конкурентоспособности производимой совместными предприятиями продукции, создания высокоэффективных энергетических парогазовых установок, позволяющих обеспечить экономию до 20 % и более сжигаемого топлива по сравнению с традиционными тепловыми электростанциями, а также в результате совместной работы на рынках третьих стран. Как уже было изложено ранее, кредит западных банков для первоначальной деятельности совместных предприятий может быть погашен поставками из СССР в западные страны части электроэнергии, выработанной на созданных по кооперации парогазовых установках, на что потребуется менее 15 % дополнительно вырабатываемой на ПГУ электроэнергии в течение 7—10 лет, а остальные 85 % могут использоваться для покрытия нужд народного хозяйства СССР. Возможны и другие варианты покрытия валютной части затрат, что подтверждает реальность совместной с передовыми фирмами деятельности по ускоренному созданию в СССР экономичных тепловых электростанций нового поколения.

#### ВЫВОДЫ

1. Внедрение на отечественных электростанциях парогазовых установок, являющихся наиболее чистым с экологической точки зрения и энергосберегающим способом производства электроэнер-

гии, позволит существенно повысить эффективность энергетики.

2. Сотрудничество с инофирмами по кооперированному производству газовых турбин и другого оборудования ПГУ позволит на 3—4 года ускорить их серийное производство на машиностроительных заводах СССР.

3. Финансовая модель этого сотрудничества позволяет создать дополнительные мощности, которые будут обеспечивать растущую потребность электроэнергии в СССР, и направить поступления в валюте и прибыль от деятельности совместных предприятий на дальнейшее развитие энергетики, производство товаров народного потребления, решение жилищной программы и др.

4. Важное преимущество проекта сотрудничества заключается в том, что совместное предприятие будет выполнять все работы по проектированию, ведению контрактов, закупке оборудования, строительству, монтажу и вводу в эксплуатацию на условиях «под ключ», на условиях паритетной ответственности с инофирмами, что является гарантией выполнения работ в установленные сроки со своевременным вводом в эксплуатацию объектов.

Сотрудничество может иметь и большое политическое значение, так как для передачи электроэнергии в западные страны потребуются объединение двух электроэнергетических систем Восточной и Западной Европы.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА В ОТРАСЛИ

УДК 621.311.09.3

### ОПТИМИЗАЦИЯ ГОДОВОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ

Барыкин Е. Е., Воропаева Ю. А., инженеры, Косматов Э. М., канд. техн. наук, Ногин В. Д., канд. физ.-мат. наук, Харитонова Н. Е., инж.  
Ленэнерго — Ленинградский государственный технический университет

В новых экономических условиях значительно возросла роль итоговых экономических показателей производственных энергетических объединений. В то же время повышение оснащенности управленческих подразделений производственных энергетических объединений и их структурных единиц современной вычислительной техникой (ПЭВМ) позволяет широко использовать экономико-математические модели анализа и прогнозирования показателей производственно-хозяйственной деятельности. Это позволяет существенно снизить трудоемкость разработки плана и повысить его обоснованность.

Для Ленэнерго была разработана и внедрена имитационная модель анализа и прогнозирования показателей производственно-хозяйственной деятельности.

Имитационная модель для прогнозирования показателей производственно-хозяйственной деятельности энергетического объединения представляет собой совокупность балансовых, регрессионных и алгебраических уравнений, которые обеспечивают взаимосвязь основных показателей производственно-хозяйственной деятельности энергосистемы.

Основные показатели производственно-хозяйственной деятельности энергетического объединения можно разделить на следующие группы.

**I группа** — показатели, характеризующие производственную программу энергетического объединения (выработка электро- и теплоэнергии, полезный отпуск электро- и теплоэнергии, перетоки энергии в другие энергетические объединения, технологический расход энергии на собственные нужды и передачу ее по сетям и др.).

**II группа** — экономические показатели (объем реализованной продукции, себестоимость энергии, прибыль, отчисления от прибыли в бюджет и фонды экономического стимулирования и др.).

**III группа** — показатели, характеризующие уровень загрязняющих веществ и вредных выбросов от электростанций (выбросы твердых частиц, окислов углерода, окислов ванадия и др.).

**IV группа** — оценочные показатели (коэффициент эффективности использования рабочей мощности для энергетического объединения, рабочая мощность для электростанций).

Перечисленные показатели находятся в тесной зависимости друг от друга. I группа показателей образует систему балансовых уравнений.

#### Баланс электроэнергии

$$W_{\text{потр}} + W_{\text{эксп}} + W_{\text{сн}} + W_{\text{пот}} = W_{\text{эл. ст}} + W_{\text{пок}};$$

$$W_{\text{эл. ст}} = W_{\text{ТЭС}} + W_{\text{ГЭС}};$$

$$W_{\text{пок}} = W_{\text{АЭС}} + W_{\text{бл. ст}} + W_{\text{имп}},$$

где  $W_{\text{потр}}$  — потребление электроэнергии в регионе энергетического объединения;  $W_{\text{эксп}}$  — передача электроэнергии в другие энергетические объединения;  $W_{\text{сн}}$  — расход электроэнергии на собственные нужды электростанций;  $W_{\text{пот}}$  — потери электроэнергии в сетях;  $W_{\text{эл. ст}}$  — суммарная выработка электроэнергии электростанциями энергетического объединения;  $W_{\text{ТЭС}}$  — суммарная выработка электроэнергии на тепловых электростанциях энергетического объединения;  $W_{\text{ГЭС}}$  — суммарная выработка электроэнергии на гидроэлектростанциях энергетического объединения;  $W_{\text{пок}}$ ,  $W_{\text{АЭС}}$ ,  $W_{\text{бл. ст}}$ ,  $W_{\text{имп}}$  — покупная электроэнергия, соответственно суммарная, от атомных электростанций, блок-станций, от других энергетических объединений.

#### Баланс теплоэнергии

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отоп}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{вдр}} + Q_{\text{гвс}} + Q_{\text{тех}};$$

$$Q_{\text{отп}} = \sum Q_i = Q_{\text{пол}};$$

$$Q_{\text{сети}} = Q_{\text{отп}} + Q_{\text{пок}};$$

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{сеть}} - Q_{\text{пол}},$$

где  $Q_{\text{пол}}$  — полезный отпуск теплоэнергии потребителям от ТЭС энергетического объединения;  $Q_{\text{отоп}}$  — годовая тепловая отопительная нагрузка;  $Q_{\text{вент}}$  — годовая тепловая вентиляционная нагрузка;  $Q_{\text{вдр}}$  — годовая тепловая нагрузка в непосредственном водоснабжении;  $Q_{\text{гвс}}$  — годовая тепловая нагрузка в горячем водоснабжении;  $Q_{\text{тех}}$  — годовая тепловая технологическая нагрузка;  $Q_{\text{отп}}$  — суммарный годовой отпуск теплоэнергии от ТЭС энергетического объединения;  $Q_i$  — годовой отпуск теплоэнергии от  $i$ -й ТЭС;  $Q_{\text{сеть}}$  — годовой отпуск теплоэнергии в сеть;  $Q_{\text{пок}}$  — покупная теплоэнергия;  $Q_{\text{пот}}$  — потери теплоэнергии при транспортировке в сетях.

Показатели II группы связаны с показателями I группы через систему алгебраических уравнений, коэффициентами которых являются цены, тарифы, экономические и прочие нормативы. Основные из уравнений следующие:

$$O_p = \sum_{i=1}^m C_{zi} W_i + \sum_{j=1}^n C_{tj} Q_j + O_p^{\text{нр}};$$

$$P_p^o = O_p - I;$$

$$I = \sum_{k=1}^p I_k + I_{\text{пок}} = I_m + I_t + I_a + I_{\text{з.п}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{пок}};$$

$$P_p^p = P_p^o - (P_{\text{ф}} + P_{\text{б. кр}} + P_{\text{ф. пл}});$$

$$\Phi ЭС = \frac{H_{\text{фэс}}}{100} P_p^p + O_{\text{тч}}^{\text{нр}},$$

где  $O_p$  — объем реализованной продукции;  $i = 1, \dots, m$  — число групп потребителей;  $C_{zi}$  — тариф за электроэнергию  $i$ -й группы потребителей;  $W_i$  — потребление электроэнергии  $i$ -й группой потребителей;  $C_{tj}$  — тариф за теплоэнергию  $j$ -й группы потребителей;  $Q_j$  — потребление теплоэнергии  $j$ -й группой потребителей;  $O_p^{\text{нр}}$  — объем прочей реализованной продукции по энергетическому объединению;  $P_p^o$  — балансовая прибыль энергетического объединения;  $I$  — суммарные затраты энергетического объединения на производство продукции;  $I_k$  — суммарные затраты на производство продукции в  $k$ -й производственной единице, входящей в энергетическое объединение;  $I_m, I_t, I_a, I_{\text{з.п}}, I_{\text{пр}}$  — суммарные затраты энергетического объединения соответственно на материалы, топливо, амортизационные отчисления, заработную плату и прочие;  $I_{\text{пок}}$  — затраты на покупную энергию;  $P_p^p$  — расчетная прибыль энергетического объединения;  $P_{\text{ф}}$  — плата за фонды;  $P_{\text{б. кр}}$  — плата за банковский кредит;  $P_{\text{ф. пл}}$  — фиксированные платежи;  $\Phi ЭС$  — фонды экономического стимулирования;  $H_{\text{фэс}}$  — суммарный норматив отчислений от прибыли в  $\Phi ЭС$ ;  $A$  — прочие поступления в  $\Phi ЭС$ .

Показатели III группы (экологические) связаны с показателями II группы через стоимостные оценки вредных выбросов потребляемых ресурсов и загрязняющих веществ.

В качестве оценочных показателей в электроэнергетике в настоящее время используются:

на уровне энергетического объединения — коэффициент эффективности использования установленной мощности

$$K_{\text{эф}} = N_p / N_y,$$

где  $N_p$  — суммарная рабочая мощность энергетического объединения;  $N_y$  — суммарная установленная мощность энергетического объединения;

на уровне энергетических предприятий — рабочая мощность

$$N_p = N_{\text{уст}} - N_{\text{пл. рем}} - N_{\text{вын. рем}} - N_{\text{конс}} - N_{\text{тех. пер}} - N_{\text{огр}},$$

где  $N_{\text{уст}}$  — установленная мощность оборудования энергетического предприятия;  $N_{\text{пл. рем}}$  — снижение мощности из-за плановых ремонтов оборудования;  $N_{\text{вын. рем}}$  — снижение мощности из-за вынужденных ремонтов оборудования (определяемая по нормативам в процентах от установленной мощности, оставшихся в работе после вывода в плановый ремонт агрегатов);  $N_{\text{конс}}$  — снижение мощности из-за консервации оборудования;  $N_{\text{тех. пер}}$  — снижение мощности из-за останова оборудования для выполнения работ по техническому перевооружению;  $N_{\text{огр}}$  — ограниче-

ние мощности по техническим причинам сезонного и временного характера.

Оценочные показатели используются при формировании фондов экономического стимулирования и являются основными показателями премирования для инженерно-технических работников энергетических предприятий.

Изложенная взаимосвязь показателей производственно-хозяйственной деятельности положена в основу построения имитационной модели.

Для разработанной модели нижним иерархическим уровнем является энергопредприятие, в качестве которого может быть электростанция любого типа или система электрических или тепловых сетей. Все технико-экономические показатели определяются на уровне энергетического объединения в целом. Интервалом прогнозирования является год, но им может быть и месяц, и квартал. Среди входных переменных можно выделить переменные, которые находятся в компетенции руководства моделируемого объекта, и переменные, которые находятся в компетенции вышестоящих организаций. К задаваемым извне переменным относятся также и характеристики моделируемого объекта при начальных условиях прогнозирования, т. е. переменные, характеризующие объект в год, предшествующий первому прогнозируемому году. Меняя исходную информацию, можно получить различные варианты функционирования энергетического объединения и тем самым ответить на вопрос: что будет, если будут реализованы те или иные управленческие решения?

На рис. 1 приведена обобщенная блок-схема модели прогнозирования показателей производственно-хозяйственной деятельности энергетического объединения. Подробное описание блок-схемы содержится в [1].

Данная модель реализована в Ленэнерго на ЭВМ IBM PC на языке BASIC, объем занимаемой памяти 60 кбайт и ЕС-1033 на языке FORTRAN, объем занимаемой памяти — 250 кбайт.

Программная реализация модели позволяет получать результаты в графической форме на период от 1 года до 5 лет. Используя имитационную модель, можно проводить единичные расчеты при определенных условиях функционирования энергетического объединения, просчитывать различные варианты с целью выбора наилучшего или проводить исследование взаимовлияния основных технико-экономических факторов.

На основе имитационной модели предусмотрена возможность проведения оптимизационных расчетов с целью выявления наиболее предпочтительного варианта среди нескольких имеющихся. Разработаны алгоритмы одно- и многокритериальной оптимизации годовой производственной программы энергетического объединения. В первом случае в качестве критерия оптимальности используется функция прибыли. Для поиска оптимального варианта применяется метод координатного спуска.

Предлагаемый алгоритм многокритериальной оптимизации в качестве критериев содержит следующие показатели: суммарные затраты на производство энергии, вредные выбросы, надежность

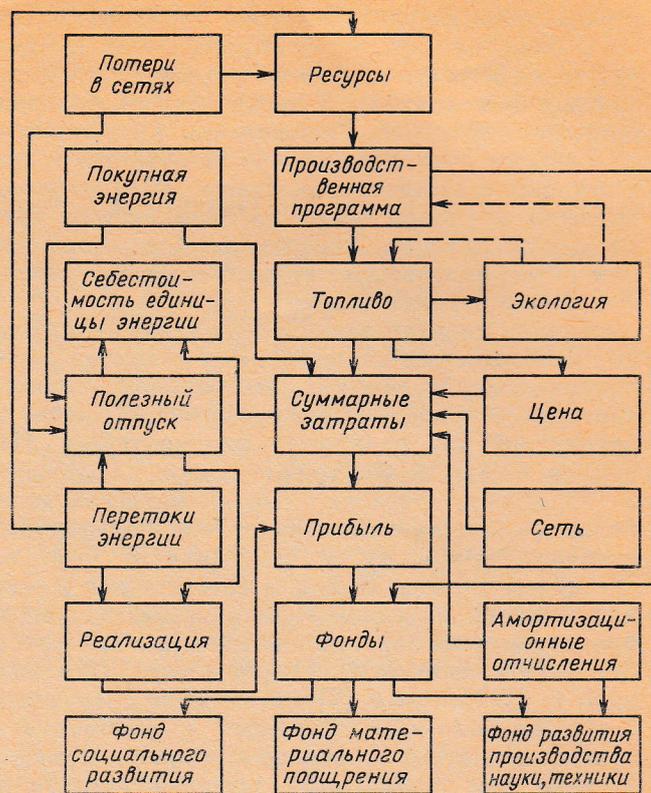


Рис. 1. Обобщенная блок-схема прогнозирования показателей производственно-хозяйственной деятельности энергетического объединения

энергетического оборудования, расходы дефицитных ресурсов и др.

Принципиальная новизна алгоритма заключается в сочетании известного метода целевого программирования с идеями и понятиями аксиоматической теории важности критериев. Причем, для более полного учета информации об относительной важности критериев вводится новое понятие, дающее возможность использовать количественные характеристики важности критериев.

Опишем используемый алгоритм многокритериальной оптимизации. Для этого обозначим значение  $i$ -го показателя для  $j$ -го решения через  $x_{ij}$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ , где  $N$  — число возможных (допустимых) решений. Матрица  $X(x_{ij})_{M \times N}$ , столбцы которой далее будем обозначать в виде  $x, x'$ , вычисляется по указанной имитационной модели.

Общепризнано, что в многокритериальных задачах оптимальное решение следует выбирать лишь среди эффективных (оптимальных по Парето) решений. Напомним [2], что решение (столбец)  $x^{(0)} \in X$  называется эффективным, если не существует такого решения (столбца)  $x \in X$ , что для компонент этих решений выполняются неравенства  $x_i \leq x_i^{(0)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ , причем хотя бы для одного номера  $i$  неравенство должно быть строгим. Таким образом, первый этап выбора оптимального решения заключается в удалении из матрицы  $X$  всех неэффективных столбцов (если таковые найдутся). Здесь удаляются решения, которые по экологическим показателям лежат за пределами ПДК.

Так как указанные критерии являются явно

неравноценными с точки зрения лица, принимающего решение (кратко ЛПР), то далее следует учесть информацию об относительной важности критериев в рамках аксиоматического подхода, предложенного В. В. Подиновским [3—5].

Заметим, что прежде чем использовать информацию о важности критериев, их необходимо привести к единой шкале, в этом состоит суть второго этапа алгоритма. Для этого все строки матрицы следует разделить на максимальные в этих строках элементы.

Анализ многокритериальной задачи оптимизации производственной программы энергетического объединения показывает, что важность одного критерия в сравнении с другим оказывается не одинаковой для различных пар критериев. Например, важность критерия издержек в сравнении с критерием расхода сырья представляется большей, чем важность какого-нибудь критерия величины выбросов в сравнении с тем же критерием расхода сырья. В соответствии с этим для решения исходной задачи требуется ввести более «сильное» определение важности критериев, чем определение В. В. Подиновского. Для этой цели В. Д. Ногиным [6] предложено следующее

Определение. Критерий с номером  $i$  будем называть  $\alpha$  — важнее критерия с номером  $k$ , если для любых двух решений (столбцов)  $x, x'$  матрицы  $X$  вида

$$x_i < x_k;$$

$$x'_i = x_i + \frac{x_k - x_i}{\alpha};$$

$$x'_k = x_i;$$

$$x'_p = x'_p;$$

$$p = 1, 2, \dots, M; p \neq i; p \neq k.$$

ЛПР решению  $x'$  предпочитает решение  $x$  ( $\alpha \geq 1$ ).

В частном случае  $\alpha = 1$  данное определение совпадает с определением В. В. Подиновского. При  $\alpha > 1$  указанные два определения различны. На рис. 2 изображены два решения  $x$  и  $x'$ , удовлетворяющие определению двойной важности

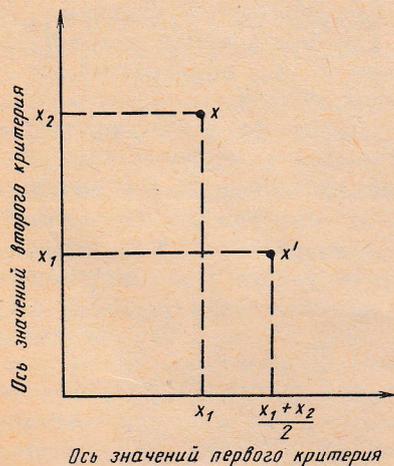


Рис. 2. Иллюстрация к определению двойной важности первого критерия в сравнении со вторым критерием

первого критерия в сравнении со вторым критерием (в случае  $\alpha = 2$ ). Этот рисунок иллюстрирует введенное определение.

Таким образом, третий этап алгоритма выбора оптимального решения заключается в исключении из столбцов матрицы решений всех тех, которые не удовлетворяют выявленной для данной задачи иерархии важности критериев. При этом учитывается количественная информация о равноценности и об относительной важности критериев, а также количественная информация об относительной важности в смысле приведенного определения. Для вычисления конкретных значений  $\alpha$  используется метод экспертных оценок.

После выполнения третьего этапа все оставшиеся решения можно считать равноценными с точки зрения важности критериев и на последнем, четвертом этапе, использовать метод целевого программирования. Согласно этому методу оптимальным считается решение, которое находится ближе всех остальных решений к так называемому «утопическому» (или «идеальному») решению. В данном случае таким «утопическим» решением естественно считать решение, все компоненты которого являются нулевыми.

На основе изложенного выполнена серия расчетов.

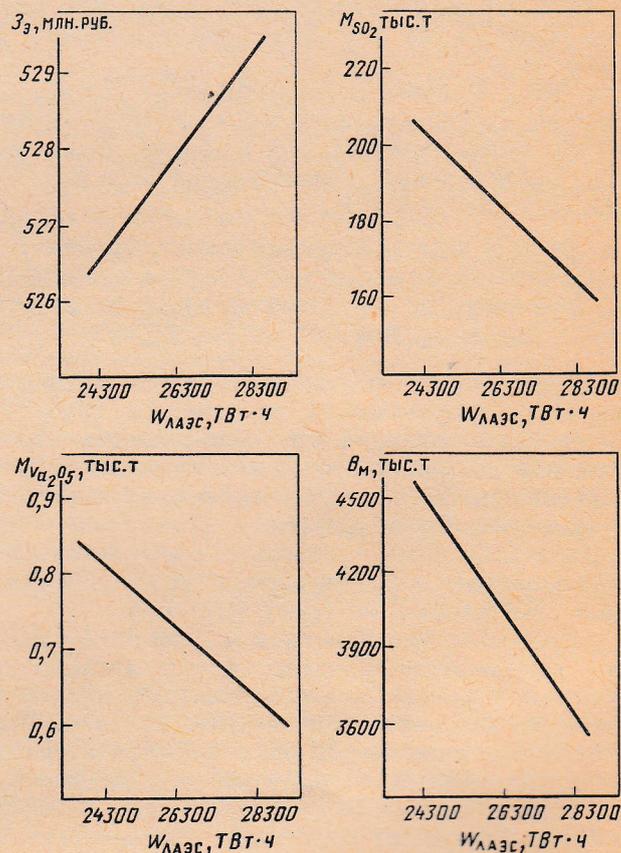


Рис. 3. Влияние величины покупной энергии от Ленинградской АЭС  $W_{\text{ЛАЭС}}$  на показатели производственно-хозяйственной деятельности Ленэнерго:  $a$  — суммарные затраты на производство электроэнергии;  $b$  — объем выбросов окислов серы  $M_{\text{SO}_2}$ ;  $c$  — объем выбросов окислов ванадия  $M_{\text{VA}_2\text{O}_5}$ ;  $d$  — расход мазута  $B_m$

В качестве примера на рис. 3 приведены зависимости показателей производственно-хозяйственной деятельности Ленэнерго от величины покупной энергии от ЛАЭС. Для обеспечения баланса электроэнергии от ЛАЭС уменьшалась выработка электроэнергии на замыкающей тепловой электростанции (ГРЭС-19). Из рис. 3 видно, что увеличение покупной энергии от ЛАЭС при действующих тарифах ведет к росту издержек на производство электроэнергии в Ленэнерго. Одновременно снижаются объемы вредных выбросов и расходы дефицитного ресурса (мазута). В результате расчетов по изложенному алгоритму в качестве оптимального был выбран вариант, соответствующий максимальной выработке ЛАЭС, т. е. вариант с максимальными затратами, но минимальными выбросами в атмосферу и расходами дефицитных ресурсов.

#### ВЫВОДЫ

1. При формировании годовой производственной программы энергетического объединения необходимо учитывать экологические факторы, на-

дежность энергетического оборудования, расходы дефицитных ресурсов и другие.

2. При отсутствии экономических оценок по вредным выбросам и другим показателям для их учета можно использовать предложенный алгоритм многомерной оптимизации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ и прогнозирование показателей производственно-хозяйственной деятельности энергосистемы / Шевкоплясов П. М., Барыкин Е. Е., Косматов Э. М. и др. — Электрические станции, 1990 г., № 1.
2. Основы теории оптимизации / Ногин В. Д. и др. М.: Высшая школа, 1986.
3. Подиновский В. В. Многокритериальные задачи с однородными равноценными критериями. — ЖВМ и МФ, 1975, т. 15, № 2.
4. Подиновский В. В. Двухкритериальные задачи с неравноценными критериями. — Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1977, № 5.
5. Подиновский В. В. О построении множества эффективных стратегий в многокритериальных задачах с упорядоченными по важности критериями. — ЖВМ и МФ, 1978, т. 18, № 4.
6. Ногин В. Д. Модифицированный алгоритм целевого программирования. — В кн.: Интеллектуальное программное обеспечение ЭВМ. Ростов-на-Дону: Терскол, 1990, ч. 1.

#### ОТ РЕДАКЦИИ

Публикуя статью Барыкина Е. Е. и др. «Оптимизация годовой производственной программы энергетического объединения», редакция считает, что предлагаемая модель оптимизации годовой производственной программы энергосистемы может представлять интерес для руководителей и работников планово-экономических отделов энергообъединений. Вместе с тем редакция обращает внимание на необходимость корректировки модели в части распределения прибыли в соответствии с изменениями, вводимыми в практику планирования с 1/1 1991 г. (отмена платы за фонды, введение системы налогообложения и др.). В модели целесообразно конкретизировать связи показателей третьей группы (экологических) с показателями второй группы (экономическими).

Модель и алгоритм решения задачи достаточно сложны, а результаты представлены в виде простейших линейных зависимостей, которые на первый взгляд могут быть получены на основе решения элементарных уравнений. К сожалению, в статье преимущества предлагаемой модели не показаны.