

УДК 338.26(47+57)

ОБ ОПЫТЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

В.М.Кауров, С.М.Лавлинский, А.И.Певницкий

К началу 1982 года в энергосистеме Сибири сложилась напряженная ситуация, вызванная быстрым ростом общего объема потребления электроэнергии и интенсивным срабатыванием водохранилищ ГЭС в течение засушливых маловодных лет 1979-1981 гг. Отсутствие значительных резервов энергопроизводящих мощностей, необходимость восстановления нормальных объемов водохранилищ и особенности управления процессами производства и потребления электроэнергии привели к вынужденному ограничению электропотребления хозяйством ряда областей, в том числе Новосибирской, в первые месяцы 1982 года. В этих условиях перед местными органами управления встала задача разработки мероприятий по обеспечению рационального использования электроэнергии и организации бесперебойного функционирования хозяйства подведомственной им территории.

При разработке таких мероприятий необходимо учитывать следующие особенности процессов производства и потребления электроэнергии. Во-первых, электроэнергия является нескладируемым ресурсом, объем производства которого определяется в каждый момент в зависимости от числа подключенных к энергосистеме потребителей. При этом одновременное включение в одном районе потребителей, чья суммарная мощность превышает некоторый допустимый уровень, приводит к перегрузке электростанций, межсистемных линий передач и их автоматическому отключению¹⁾.

1) Экономический ущерб от такого аварийного отключения чрезвычайно велик и поэтому необходимо принимать все возможные меры по недопущению подобных ситуаций.

Во-вторых, недельный график потребления электроэнергии как отдельными предприятиями, так и областью в целом, характеризуется тем, что в рабочие дни оно существенно выше, чем в выходные. Такая неравномерность обычно покрывается за счет дополнительной выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях, поскольку тепловые станции работают на стационарных режимах, быстрое изменение которых технически неосуществимо.

В-третьих, срабатывание водохранилищ не позволяет по-прежнему широко маневрировать объемами производства гидроэлектроэнергии. Это переводит всю энергосистему на практически постоянный по дням недели и времени суток режим выработки энергии, что не позволяет удовлетворить обычные пиковые потребности хозяйства и заставляет подстраивать потребителей под такой равномерный, жестко лимитированный режим электроснабжения.

И, наконец, поскольку регулирование электропотребления многих мелких предприятий, а также населения не представляется возможным, ограничения приходится вводить в основном для промышленных предприятий.

Таким образом, в хозяйстве Новосибирской области сложилась ситуация, когда, с одной стороны, есть привычный, технологически и организационно обусловленный, неравномерный недельный цикл энергопотребления, изменение которого для отдельного предприятия практически невозможно. С другой стороны, введены жесткие, одинаковые для всех дней недели и недостаточные для удовлетворения обычных потребностей лимиты электро-снабжения, превышение которых приводит к автоматическому отключению целых групп потребителей или отдельных районов. Единственным выходом из создавшегося положения могли бы стать мероприятия, компенсирующие "избыточное" потребление в рабочие дни за счет недоиспользуемой электроэнергии, вырабатываемой в субботние и воскресные дни.

В связи с этим перед Облисполкомом, Горисполкомом и Энергонадзором встал вопрос о таком изменении графиков работы (расписаний выходных и рабочих дней) промышленных предприятий области, которое позволило бы уложиться в выделенные области лимиты и в то же время обеспечить эффективное функционирование всех отраслей хозяйства. Как и всякое крупное хозяйственное решение, такое изменение расписания работы предприятий затрагивает все сферы регионального хозяйства и требует тщательной

проработки социально-экономических аспектов подготавливаемых мероприятий, учета ограничений, накладываемых сложившейся практикой хозяйствования, а также прогнозирования возможных последствий.

Настоящая работа посвящена изложению одного из возможных подходов к решению данной проблемы. В его основе лежит соединение модели, генерирующей варианты расписания работы предприятий, с моделью процесса функционирования хозяйства области. Это позволяет получить вариант организации энергоснабжения вместе с комплексной оценкой последствий его реализации и за счет этого уже на этапе принятия решения предвидеть, в частности, негативные системные эффекты намечаемых мероприятий: диспропорции в сфере производства, сбои в работе инфраструктуры, межведомственные конфликты и т.д.

Накопленный практический опыт реализации такого подхода может оказаться полезным при решении и более общих задач, связанных с распределением дефицитных ресурсов многоцелевого назначения в хозяйстве области.

§1. Общая схема решения задачи

Можно выделить три группы ограничений, которые необходимо учитывать при разработке расписания энергоснабжения.

(А) Ограничения технологического характера.

(В) Особенности функционирования общерегиональной социальной структуры.

(С) Внутрорегиональные кооперативные связи.

Первая группа ограничений связана с тем, что технология большинства производств ориентирована на семидневный рабочий цикл, изменения которого либо вообще невозможны, либо требуют больших дополнительных затрат. Поэтому практически единственной возможностью маневра является сдвиг недельного рабочего цикла. Таким образом, исходная задача сводится к определению графика работы (величины сдвига недельных циклов отдельных предприятий), обеспечивающего для хозяйства области в целом равномерное по дням недели потребление электроэнергии в рамках выделенных лимитов.

Среди социальных факторов, ограничивающих свободу выбора расписания, экспертно были выделены следующие. Во-первых, существенно могут быть изменены лишь графики работы предприятий, имеющих ведомственные дошкольные учреждения. Во-вторых, при

изменения расписания должны быть учтены интересы вторых членов семей - желательно, чтобы и при новом графике работы выходные дни в семье совпадали. И, в-третьих, должны быть учтены возможности перестройки работы пассажирского транспорта в новых условиях.

Чрезвычайно важно при разработке расписания учитывать и производственные связи предприятий по линии внутрирегиональной кооперации. Сдвиг графика работы предприятия-поставщика, как правило, приводит к изменению графика поступления ресурсов смежников и отражается на выполнении их производственной программы. Необходимо подобрать взаимные сдвиги графиков работы предприятий-смежников, обеспечивающие "хорошие" результаты функционирования хозяйства области по целому ряду показателей: уровню выполнения планов, ритмичности производства, "фактическому" потреблению электроэнергии и т.д.

Как учесть в процессе разработки расписания все вышеперечисленные требования? Если первая группа ограничений может быть достаточно просто учтена в рамках методов календарного планирования, то учет социальных факторов и кооперативных связей требует принципиально другого подхода.

Ввиду сложности поставленной задачи и необходимости учета множества факторов, в том числе и трудноформализуемых, к разработке планов электроснабжения были привлечены эксперты. С их помощью была организована итеративная человеко-машинная процедура, на каждом шаге которой:

- а) генерировался график работы предприятий;
- б) прогнозировались последствия его реализации;
- в) производилась комплексная экспертная оценка графика.

Техническое обеспечение такой процедуры было основано на использовании модели, генерирующей допустимые в смысле первых двух групп ограничений расписания, и последующем "погружении" полученного графика в модель функционирования экономики региона (см. рис. 1).

Такая схема решения исходной задачи оказалась весьма эффективной - отказ от попытки формализовать все ограничения и решать единую сложную задачу позволил преодолеть ряд технических трудностей и использовать опыт и интуицию экспертов при получении "социально приемлемого" расписания, обеспечивающего высокие производственные результаты.

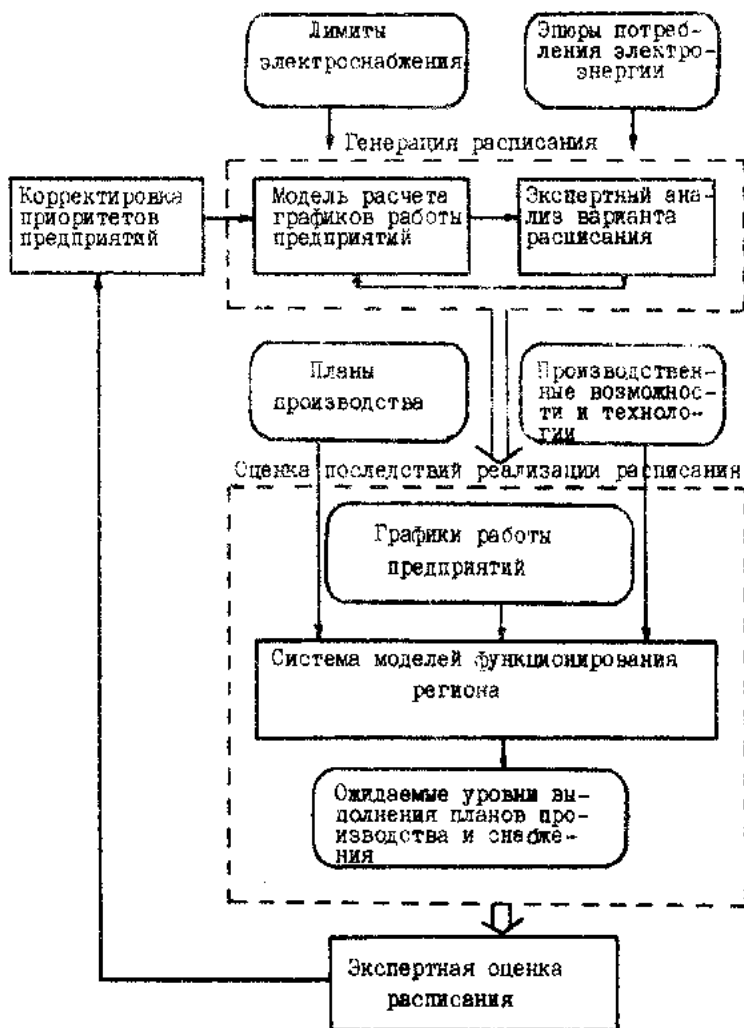


Рис. 1. Схема итеративной процедуры разработки графика работы предприятий

§ 2. Генерация расписания

Формализуем задачу нахождения расписания, удовлетворяющего ограничениям (А) и (В). Обозначим через M число предприятий в области; $i, i=1, 2, \dots, M$, - номер предприятия; N_i - номер дня недели, с которого начинается рабочий цикл предприятия i ; $\{\xi_{ij}\}, j=1, 2, \dots, T$, - объем потребления электроэнергии предприятием i по дням недельного рабочего цикла (эпюры потребления). Ограничения технологического характера могут быть записаны следующим образом:

$$\underline{L} \leq \sum_{i=1}^M \bar{\xi}_{ij} \leq \bar{L}, \quad j=1, 2, \dots, T;$$

$$\bar{\xi}_{ij} = \xi_{ij_0}, \quad j_0 = \begin{cases} j + N_i - 1, & \text{если } j + N_i \leq 8; \\ j + N_i - 8, & \text{если } j + N_i > 8. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь \underline{L}, \bar{L} - предельные уровни суточного потребления электроэнергии в области¹⁾.

Ограничения социального характера удалось формализовать лишь частично. Во-первых, для части предприятий было экспертно зафиксировано начало рабочей недели N_i . Во-вторых, в каждом из районов были выделены группы предприятий, у которых выходные дни нового расписания должны совпадать:

$$N_\eta = N_\mu \quad \text{для } \eta \in V_k, \mu \in V_k, \quad k=1, 2, \dots, K. \quad (2)$$

Здесь K - число групп предприятий с единым режимом работы,

V_k - множество номеров предприятий, входящих в группу k . В эти группы входили предприятия с общими коммунальными детскими садами, заводы, расположенные около крупных микрорайонов, предприятия с высоким удельным весом работников - вторых членов семей и т.д.

Большую часть ограничений, связанных с возможностями транспортной сети, в таком простом виде формализовать не удастся. Эти ограничения были непосредственно заложены в машинную модель генерации расписания и алгоритмически проверялись в про-

1) Ограничение на нижний уровень энергопотребления (\underline{L}) также имеет смысл, поскольку при малом удельном весе ГЭС в энергобалансе существенное снижение потребления вынуждает скачкообразно менять режим работы тепловых электростанций, что технически трудноосуществимо и приводит к большим дополнительным затратам.

цессе вычислений.

Таким образом, задача нахождения допустимого расписания сводится к определению номеров N_i дней начала недельных рабочих циклов предприятий, для которых выполняются соотношения (1), (2). Для расчета таких расписаний использовался вариант алгоритма календарного планирования [1], в основе которого лежит следующая вычислительная процедура.

Все предприятия делятся на две части. Для одной из них, включающей Θ_0 предприятий, экспертно закрепляются дни начала рабочих циклов:

$$N_v = N_v^0, \quad v \in V_0.$$

Среди оставшихся предприятий каждой группы $V_k, k=1, \dots, K-1$, и каждому из Θ предприятий $\ell_1, \dots, \ell_\Theta$, не входящих ни в одну из групп ($\ell_i \notin \bigcup_{k=0}^K V_k$), поставим в соответствие приоритет π_s :

$$\sum_{s=1}^{\hat{K}} \pi_s = 1, \quad 0 \leq \pi_s \leq 1, \quad s=1, \dots, \hat{K}, \quad \hat{K} = K + \Theta,$$

который можно интерпретировать как уровень нецелесообразности изменения исходного расписания работы²⁾.

Процедура расчета варианта расписания, предлагаемого на рассмотрение экспертов, состоит в следующем. Организуется итерационный процесс последовательного улучшения расписания - минимизация суммарного по всем предприятиям разброса величины потребления энергии по дням недели:

$$F = \sum_{j=1}^7 \left| \sum_{i=1}^{\hat{K}} \bar{\xi}_{ij} - \left(\sum_{i=1}^{\hat{K}} \sum_{n=1}^7 \bar{\xi}_{in} \right) / 7 \right|.$$

Начиная с произвольного, допустимого в смысле ограничений (А) и (В) расписания на каждом шаге процесса на основе вектора $\{\pi_s\}$ случайным образом генерируются изменения графиков работ предприятий. Для данного расписания проверяется выполнение ограничений типа (А) и (В) и вычисляется значение функции F .

- 1) В силу ограничений (2) группа предприятий K с единым графиком работы может быть представлена в расчетах как одно "предприятие", чье электропотребление равно суммарному потреблению реальных предприятий.
- 2) Или вероятность того, что расписание работы предприятия останется прежним.

Если уменьшения функционала не произошло, то еще раз генерируем изменение старого расписания. Процесс заканчивается в том случае, если на протяжении заранее заданного числа итераций не происходит улучшения значения F .

Вышеописанная процедура многократно реализуется и из множества полученных вариантов выбирается расписание, обеспечивающее наиболее равномерное энергопотребление по дням недели.

Если полученное таким образом расписание не удовлетворяет по каким-либо причинам экспертам, то могут быть изменены входные параметры алгоритма: $\theta_0, V_0, \{N_i^0\}_{i \in V_0}, \{X_i\}_{i=1}^K$. Так, эксперт может изменить перечень предприятий с фиксированным началом рабочего цикла, "закрепить" другое расписание их работы, увеличить приоритет X_i предприятия, график которого целесообразно сдвинуть к началу недели, и т.д.

§ 3. Оценка последствий реализации расписания

После того как получен вариант расписания работы предприятий, удовлетворяющий ограничениям (А) и (В), перед экспертами встает задача комплексной оценки социально-экономических последствий его реализации. В частности, необходимо проверить, насколько учтены в этом расписании кооперативные связи предприятий, т.е. выполняются ли ограничения (С).

Такую оценку можно провести с помощью системы моделей функционирования экономики региона [2], "настроенной" с учетом специфики данной задачи¹⁾. Задав на ее входе вариант электроснабжения предприятий, на выходе мы получаем набор показателей, характеризующих детальную динамическую (по дням) картину развития хозяйства области. Эти показатели (траектория развития) содержат исчерпывающую информацию об:

- ожидаемых уровнях выполнения планов производства и снабжения;
- ритмичности и своевременности поставок между предприятиями-смежниками;

¹⁾ К числу принципиальных особенностей использовавшейся модификации системы моделей относятся следующие: прогнозные расчеты велись на срок 3-6 месяцев, причем в качестве единичного периода времени были выбраны одни сутки; детально были представлены только те предприятия, относительно которых рассматривался вопрос о возможном изменении режима работы (промышленные предприятия, а также строительные и транспортные организации, являющиеся крупными потребителями энергии); использовалась номенклатура учета продукции и ресурсов, в которой в натуральных измерителях фигурировали только электроэнергия и особо важные ресурсы, поставляемые в рамках внутрирегиональной кооперации.

- возникновением сбоев в работе предприятий;
- уровнем "фактического" расхода электроэнергии и т.д.

Анализ результатов расчетов позволяет экспертам оценить экономическую эффективность выработанного расписания, выявить потенциальные источники нежелательных социальных явлений и наметить пути дальнейшего изменения режима энергоснабжения.

§ 4. Некоторые результаты численных экспериментов

В соответствии с описанной методикой были проведены много-вариантные расчеты по 107 предприятиям и 18 районам города Новосибирска и области. В качестве экспертов привлекались работники Облсполкома, Горсполкома, Энергонадзора и главные энергетики крупных предприятий.

На рис. 2 приведены графики энергопотребления предприятий. Вариант 1 соответствует обычному расписанию, при котором все предприятия начинают работу с понедельника. Расписание, обеспечивающее максимально равномерное по дням недели потребление электроэнергии, соответствует варианту 2. Однако этот режим энергоснабжения не учитывает ни кооперативных связей предприятий, ни ограничений социального характера, что приводит к низкому уровню выполнения плановых заданий по области в целом (83,1%). Вариант 3 строился с учетом всех сформулированных выше требований и обеспечил более высокий (94,7%) уровень выполнения планов¹⁾. Отдельный фрагмент графика работы предприятий при этом режиме электроснабжения приведен в табл. 1.

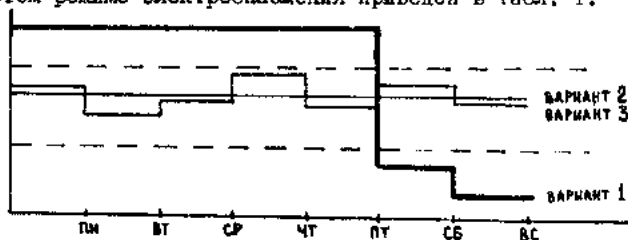


Рис. 2. Потребление электроэнергии хозяйством области по дням недели

1) Этот вариант использован Горсполкомом и Облсполкомом при разработке мероприятий по обеспечению бесперебойного функционирования промышленных предприятий в условиях дефицита электроэнергии.

Т а б л и ц а I

Распределение выходных дней по району 3

Дни недели Пред- приятие	пон.	вт.	ср.	чт.	пт.	сб.	вс.
57						*	*
58						*	*
73	*						*
84	*						*
99	*						*
100	*						*
82	*	*					
91					*	*	
102						*	*
107					*	*	
103					*	*	

П р и м е ч а н и е. Звездочкой обозначены выходные дни.

ЛИТЕРАТУРА

1. КАУРОВ В.М. Об одном подходе к планированию строительного производства. - Оптимизация, 1980, вып. 25(42), с.99-III.
2. ЛАВЛИНСКИЙ С.М., ПЕВНИЦКИЙ А.И., ПЕРМИНОВ С.Б. Система моделей функционирования экономики региона. - Новосибирск, 1982. - 50 с. (Препринт/ ИМ СО АН СССР: № 21).

Поступила в ред.-изд. отдел
15.10.1985 г.