



Министерство образования  
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

---

Кафедра «Экономика и организация энергетики»

**А.И. Лимонов**

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА.  
УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ  
(ЭНЕРГЕТИКА)**

*Методическое пособие*

Минск  
БНТУ  
2011

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Экономика и организация энергетики»

А.И. Лимонов

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА.  
УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ  
(ЭНЕРГЕТИКА)**

Методическое пособие для студентов  
специальности 1-43 01 01 «Электрические станции»,  
1-43 01 02 «Электрические системы и сети» и 1-53 01 04  
«Автоматизация и управление энергетическими процессами»

Минск  
БНТУ  
2011

УДК 621.311:658 (075.4)

ББК 31.27я73

Л 58

Рецензенты:

*И.А. Бокун, Л.Р. Чердынцева*

**Лимонов, А.И.**

Л 58 Организация производства. Управление предприятием (энергетика): методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электрические системы и сети» и 1-53 01 04 «Автоматизация и управления энергетическими процессами» / А.И. Лимонов. – Минск: БНТУ, 2011. – 25 с.

ISBN 978-985-525-513-1.

В пособии рассматриваются методика разработки плана основного производства энергосистемы. Целью методического пособия является закрепление у студентов теоретических знаний по курсу, освоение и практическое использование методов математического моделирования при проведении экономических расчетов в энергетике.

УДК 621.311:658 (075.4)

ББК 31.27я73

ISBN 978-985-525-513-1

© Лимонов А.И., 2011

© БНТУ, 2011

## ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование организации производства требует применения современных экономико-математических методов оптимизации управления. Для овладения этими методами предназначены практические работы, содержащие три взаимосвязанные задачи:

- 1) прогнозирование уровня электропотребления с использованием элементов теории игр;
- 2) планирование производства электроэнергии в энергосистеме на базе метода динамического программирования;
- 3) разработка оптимального плана топливоснабжения электростанций с использованием транспортной задачи линейного программирования.

При выполнении практических работ основное внимание должно уделяться анализу организационно-экономических условий и построению экономико-математических моделей. Выполненные и соответствующим образом оформленные работы подлежат защите.

## 1. ПЛАНИРОВАНИЕ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ (ТЕОРИЯ ИГР)

### 1.1. Методические указания

Управленческим решениям часто сопутствуют условия неопределенности. Неопределенность может быть связана с сознательными действиями противоположной стороны или зависеть от некоей заранее не известной объективной реальности. Ситуации, в которых эффективность принимаемого одной стороной решения зависит от действий другой стороны, называются *конфликтными*. Конфликтная ситуация будет антагонистической, если увеличение выигрыша одной из сторон на не-

которую величину приводит к уменьшению выигрыша другой стороны на такую же величину, и наоборот. Ситуации второго рода, когда противоположная сторона рассматривается как некоторая независимая инстанция, которая не выбирает себе оптимальных стратегий, принято именовать «игрой с природой».

Пусть оперирующей стороне необходимо выполнять операции в недостаточно известной обстановке, относительно которой можно сделать  $n$  предположений. Эти предположения  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$  будут рассматриваться как стратегии природы.

Опереирующая сторона, то есть сторона, принимающая решения, в своем распоряжении имеет  $m$  возможных стратегий:  $A_1, A_2, \dots, A_m$ . Выигрыш (или проигрыш) оперирующей стороны при каждой паре стратегий  $A_i$  и  $\Pi_j$  предполагается известным и заданым платежной матрицей в следующем виде:

$A \setminus \Pi$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\dots$	$\Pi_n$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$\dots$	$a_{1n}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$\dots$	$a_{2n}$
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$\dots$	$a_{mn}$

Анализ матрицы выигрыша игры с природой начинается с выявления и отбрасывания дублирующих и заведомо не выгодных стратегий оперирующей стороны. Что касается стратегий природы, то ни одну из них отбросить нельзя, так как каждое из состояний природы может произойти случайным образом, не зависимо от действий оперирующей стороны.

**Определение 1.** Если в матрице  $A = (a_{ij})$  игры все элементы одной строки равны соответствующим элементам другой строки, то соответствующие строки стратегии называются *дублирующими*.

**Определение 2.** Если в матрице  $A = (a_{ij})$  игры все элементы некоторой строки, осуществляющие стратегию  $A_i$  оперирующей

щей стороны, не больше (меньше или равны) соответствующим элементам другой строки, то стратегия  $A_i$  оказывается заведомо не выигрышной.

После упрощения (если это возможно) платежной матрицы игры с природой целесообразно не только оценить выигрыш при той или иной ситуации, но и определить разность между максимально возможным выигрышем при данном состоянии природы и выигрышем, который будет получен при применении стратегии  $A_i$  в тех же условиях. Эта разница в теории игр называется *риском*. Например, имеется платежная матрица:

$A \backslash \Pi$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_n$
$A_1$	250	200	100
$A_2$	200	230	120
$A_3$	100	240	160

Максимальный выигрыш в  $j$ -м столбце обозначим через  $\beta_j$ ,  $\beta_j = \max (a_{ij})$  (величина  $\beta_j$  характеризует благоприятность состояния природы). Риск игрока при применении им стратегии  $A_i$  в условиях состояния природы  $\Pi_j$  обозначим через  $R_{ij}$ . Тогда риск  $R_{ij} = (\beta_j - a_{ij})$ , а матрица рисков будет иметь следующий вид:

$A \backslash \Pi$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_n$
$A_1$	0	40	60
$A_2$	50	10	40
$A_3$	150	0	0

Часто неопределенность ситуации удается в некоторой степени ослабить. Это достигается нахождением вероятностей состояний природы на основе статистических наблюдений. Предположим, что вероятности состояний природы известны:

$$P(\Pi_1) = Q_1; \quad P(\Pi_2) = Q_2; \quad \dots \quad P(\Pi_n) = Q_n; \quad \text{где } \sum Q_j = 1. \quad (1.1)$$

Тогда среднее значение выигрыша  $\mathbf{a}_i$ , которое оперирующая сторона стремится максимизировать, определится:

$$\mathbf{a}_i = \mathbf{a}_{i1} Q_1 + \mathbf{a}_{i2} Q_2 + \dots + \mathbf{a}_{in} Q_n, \quad i = 1, n. \quad (1.2)$$

Оптимальную стратегию можно определить, используя показатель риска:

$$\mathbf{P}_i = \mathbf{P}_{i1} Q_1 + \mathbf{P}_{i2} Q_2 + \dots + \mathbf{P}_{in} Q_n, \quad i = 1, n. \quad (1.3)$$

В качестве оптимальной стратегии  $\mathbf{A}_i$  выбирается та из стратегий, которая соответствует максимальному среднему значению выигрыша или минимальному среднему значению риска:

$$\mathbf{a} = \max \mathbf{a}_i = \max \sum (\mathbf{a}_{ij} Q_j); \quad (1.4)$$

$$\mathbf{P} = \max \mathbf{P}_i = \max \sum (\mathbf{P}_{ij} Q_j). \quad (1.5)$$

Если объективную оценку состояний природы получить невозможно, то вероятности состояний природы могут быть оценены субъективно на основе следующих принципов:

1. Принципа недостаточного основания Лапласа, который применяется тогда, когда ни одно из состояний природы нельзя предпочесть другому ( $n$  – количество возможных состояний природы):

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = 1/n. \quad (1.6)$$

2. Принципа убывающей арифметической прогрессии:

$$Q_1 : Q_2 : \dots : Q_n = n : (n-1) : \dots : 1, \text{ где } Q_j = \frac{2(n-j+1)}{n(n-1)}. \quad (1.7)$$

Этот прием применяется, если можно расположить состояния природы в порядке убывания их правдоподобности (вероятности свершения).

3. Принципа получения средних значений вероятностей состояния природы с использованием экспертных оценок специалистов.

В условиях полной неопределенности сведений о состоянии природы используют следующие критерии:

1. **Максиминный критерий Вальда** – критерий крайнего пессимизма, в соответствии с которым оптимальной рекомендуется выбирать ту стратегию, которая гарантирует в наихудших условиях максимальный выигрыш:

$$\alpha = \max_i \min_j (\alpha_{ij}). \quad (1.8)$$

2. **Критерий Сэвиджа** (минимаксного риска) – как и критерий Вальда, критерий крайнего пессимизма, согласно которому рекомендуется выбирать ту стратегию, при которой в наихудших условиях величина риска принимает наименьшее значение:

$$P = \min_j \max_j (P_{ij}). \quad (1.9)$$

3. **Критерий Гурвица** – критерий обобщенного максимума или критерий пессимизма-оптимизма. Он имеет вид:

$$S = \max_j (\lambda \min_j (\alpha_{ij}) + (1-\lambda) \max_j (\alpha_{ij})), \text{ где } 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (1.10)$$

Очевидно, что при  $\lambda = 1$  критерий Гурвица превращается в критерий Вальда. Коэффициент  $\lambda$  выбирается на основании субъективных соображений (опыта, здравого смысла и т. д.).

## 1.2. Определение уровня электропотребления в системе

В табл. 1.1 приведены варианты заданий. Каждому варианту соответствует отдельный столбец таблицы, в котором указы-



вается состав электростанций энергосистемы. В прил. 1 указаны установленные мощности электростанций.

Таблица 1.1

Вариант	Состав электростанций (см. прил. 1)			
1	1	2	3	4
2	1	3	4	5
3	1	2	5	6
4	2	4	5	6
5	2	4	5	7
6	1	4	5	7
7	2	5	6	7
8	4	5	6	7
9	1	2	5	8
10	1	3	4	8
11	1	2	3	5
12	1	3	4	6
13	2	3	4	5
14	3	4	5	6
15	3	4	5	7
16	1	4	6	7
17	3	4	6	7
18	1	2	3	8
19	1	2	6	8
20	1	4	6	8
21	1	2	3	6

Окончание табл. 1.1

Вариант	Состав электростанций (см. прил. 1)			
22	1	2	4	6
23	2	3	4	6
24	1	2	3	7

25	1	3	4	7
26	2	3	4	7
27	3	5	6	7
28	1	2	4	8
29	1	2	7	8
30	1	5	6	8

Для выполнения практической работы необходимо знать объем и режим годового электропотребления в энергосистеме. С целью упрощения расчетов потребление электроэнергии за отчетный год представлено в виде трехступенчатого годового графика по продолжительности. При этом максимальная мощность нагрузки, которая продолжается 1000 ч, принимается равной 0,9 от суммарной установленной мощности энергосистемы. Полупиковая мощность продолжительностью 4760 ч, принимается равной 0,6 от суммарной установленной мощности. Базовая нагрузка продолжительностью 3000 ч принимается равной 0,4 от суммарной установленной мощности энергосистемы. В результате суммарное электропотребление в энергосистеме за отчетный год составит:

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = 0,9 P_{\Sigma} 1000 + 0,6 P_{\Sigma} 4760 + 0,4 P_{\Sigma} 3000, \quad (1.11)$$

где  $P_{\Sigma}$  – суммарная установленная мощность электростанций энергосистемы.

При прогнозировании объема электропотребления на следующий год учитываются два фактора. Первый фактор – *климатические условия*, которые могут быть:

- 1) на уровне прошлого года, при этом электропотребление сохранится на уровне прошлого года;
- 2) хуже прошлогодних, что приведет к увеличению электропотребления на 3 %;
- 3) лучше прошлогодних, что приведет к снижению электропотребления на 3 %.

Второй фактор, который необходимо учитывать, это *ожидаемый уровень деловой активности*, которая может:

1) сохраниться на уровне прошлого года, что не приведет к изменению объема электропотребления;

2) увеличиться, что повлечет увеличение электропотребления на 5 %;

3) снизиться, что приведет к снижению электропотребления на 5 %.

Таким образом, покупательный спрос на электроэнергию выступает в качестве второго игрока (то есть природы). Всего возможно девять комбинаций (стратегий) спроса на электроэнергию (3×3). Руководство энергосистемы при планировании выработки электроэнергии на следующий год должно учитывать возможность развития любой из девяти возможных ситуаций (стратегии) спроса на электроэнергию. При этом необходимо учитывать, что если запланированного объема выработки электроэнергии окажется недостаточно для удовлетворения спроса потребителей, то потребуются срочно заказывать и завозить дополнительное топливо на электростанции энергосистемы. И наоборот, если спрос на электроэнергию окажется ниже запланированного объема ее выработки, то нереализованное топливо будет храниться на складах, увеличивая стоимость нормативных оборотных средств. В обоих случаях энергосистема будет нести дополнительные издержки.

Необходимо составить платежную матрицу и матрицу рисков (размерностью 9×9) и с использованием критериев Вальда, Сэвиджа и Гурвица определить объем плановой выработки электроэнергии на следующий год, при котором ожидаемые дополнительные затраты, связанные как со срочным заказом и завозом дополнительного топлива, так и с его хранением на складах, будут минимальными.

Принимается, что дополнительные расходы, связанные с необходимостью заказа и завоза топлива на электростанции энергосистемы, приводят к увеличению себестоимости 1 кВт ·

ч на 2 руб, а дополнительные расходы, связанные с хранением лишнего топлива на складах энергосистемы, приводят к увеличению себестоимости 1 кВт · ч на 1 руб.

## 2. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ (ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ)

### 2.1. Методические указания

В основе вычислительного метода задачи динамического программирования лежат рекуррентные соотношения. В данном случае *рекуррентное соотношение* имеет следующий вид:

$$h_k(N) = \min_{N_{k-1}} \{ A_{k-1}(N - N_{k-1}) + B_k(N_{k-1}) \} \quad (2.1)$$

На первом шаге отыскивается функция  $h_1(N)$ , при этом  $h_1(N) = B_1(N_1)$ . То есть на первом шаге необходимо вычислить и запомнить значения для всех возможных значений  $N_1$ . Результаты всех расчетов заносятся в таблицу (табл. 2.1).

Таблица 2.1

$N$	$N_1$	$h_1(N_1)$	$N_2$	$h_2(N)$	$N_3$	$h_3(N)$	$N_4$	$h_4(N)$
$N_{\min}$								
...								
$N_{\max}$								

На втором шаге вычисляется функция для всех возможных значений  $N$  от минимального до максимального:

$$h_2(N) = \min_{N_2} \{ A(N - N_2) + B_2(N_2) \} \quad (2.2)$$

$$N = N_1 + N_2. \quad (2.3)$$

В четвертый столбец записываются те значения  $N_2$ , которые соответствуют минимуму  $B_2(N_2)$  при данных  $N$ , в пятый столбец – значения функции  $h_2(N)$ . Аналогично находятся функции  $h_3(N)$  и  $h_4(N)$  для всех возможных дискретных значений  $N$ .

Так, для  $h_3(N)$ :

$$N = N_1 + N_2 + N_3; \quad (2.4)$$

для  $h_4(N)$ :

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4. \quad (2.5)$$

Результаты расчетов заносятся в соответствующие столбцы и строки табл. 2.1. После заполнения таблицы для заданной величины  $N$  (первый столбец) находится соответствующее значение  $h_4(N)$  (девятый столбец) и значение  $N_4$  (восьмой столбец). Далее  $N$  (первый столбец) уменьшается на величину  $N_4$  и находятся соответствующие ей значения  $N_3$  и  $h_3(N)$  и т. д.

## 2.2. Планирование производства электроэнергии

При планировании производства электроэнергии необходимо ожидаемую суммарную потребность в электроэнергии всех потребителей, которая определяется в предыдущей задаче, распределить между выработкой электростанций энергосистемы. То есть определить выработку электроэнергии каждой электростанцией. Целевой функцией в задаче оптимизации распределения электрической нагрузки между электростанциями энергосистемы является минимум расхода топлива в энергосистеме:

$$\min B = \min \sum_{i=1}^n B_i(N_i); \quad (2.6)$$

где  $B_i$ ,  $N_i$  – расход топлива и нагрузка  $i$ -й станции;

$B_i(N_i)$  – зависимость расхода топлива  $i$ -й станции от нагрузки (топливная характеристика);

$n$  – количество электростанций в энергосистеме.

При этом необходимо учитывать ограничения на суммарную мощность электростанций, которая должна равняться мощности энергосистемы:

$$\sum_{i=1}^n N_i = N_{\text{эс}}, \quad (2.7)$$

где  $N_{\text{эс}}$  – суммарная мощность электростанций энергосистемы; а также ограничения по минимальной и максимальной нагрузке каждой станции:

$$N_{i\min} \leq N_i \leq N_{i\max}. \quad (2.8)$$

Топливные характеристики, а также минимальные и максимальные нагрузки электростанций приведены в прил. 2.

Для распределения нагрузки между электростанциями используем годовой график нагрузки энергосистемы на плановый год. С этой целью примем допущение, что продолжительности периодов пиковых, полупиковых и базовых нагрузок остались неизменными, то есть 1000, 4760 и 3000 ч, соответственно, а величины пиковой, полупиковой и базовой нагрузок потребителей изменяются пропорционально электропотреблению в соответствующих зонах.

Например, для пиковых нагрузок энергосистемы принимается соответствующее соотношение:

$$\frac{P_{\max}^{\text{п}}}{P_{\max}^0} = \frac{\mathcal{E}_{\Sigma}^{\text{п}}}{\mathcal{E}_{\Sigma}^0}; \quad P_{\max}^{\text{п}} = P_{\max}^0 \frac{\mathcal{E}_{\Sigma}^{\text{п}}}{\mathcal{E}_{\Sigma}^0}, \quad (2.9)$$

где  $\mathcal{E}_{\Sigma}^0$ ,  $\mathcal{E}_{\Sigma}^{\Pi}$  – соответственно суммарное потребление электроэнергии за отчетный год, подсчитанное в соответствии с (1.1), и ожидаемое плановое потребление электроэнергии, определяемое в первой задаче;

$P_{\max}^0$ ,  $P_{\max}^{\Pi}$  – максимальная нагрузка энергосистемы в пиковой зоне, равная 0,9 от суммарной установленной мощности электростанций, и искомая максимальная нагрузка энергосистемы в пиковой зоне в плановый период.

Аналогично определяются нагрузки энергосистемы в полупиковой и базовой части графика. Рассчитанные значения нагрузок округляются с точностью до 100 МВт. В дальнейшем необходимо соответствующую нагрузку каждой из трех зон годового графика по продолжительности распределить между выработкой на электростанциях энергосистемы и найти соответствующие этим нагрузкам часовые расходы топлива каждой электростанции энергосистемы.

В результате находится объем топлива, который необходимо запасти для каждой станции. Так, для первой станции этот объем топлива будет равен:

$$B_{\Sigma}^1 = B_{\Pi}^1 1000 + B_{\text{пп}}^1 4760 + B_{\text{б}}^1 3000, \quad (2.10)$$

где  $B_{\Sigma}^1$  – суммарный ожидаемый расход топлива первой станцией;

$B_{\Pi}^1$ ,  $B_{\text{пп}}^1$ ,  $B_{\text{б}}^1$  – ожидаемые расходы топлива первой станцией в пиковой, полупиковой и базовой части графика энергосистемы.

Суммарное ожидаемое потребление топлива станциями энергосистемы составит:

$$B_{\Sigma}^{\mathcal{E}C} = B_{\Sigma}^1 + B_{\Sigma}^2 + B_{\Sigma}^3 + B_{\Sigma}^4.$$

### 3. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ТОПЛИВОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ (ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДАЧА)

#### 3.1. Методические указания

Транспортная задача формулируется следующим образом. Имеется  $m$  пунктов производства однородного товара и  $n$  пунктов потребления данного товара. Заданы объемы производства  $Q_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) каждого источника и размеры потребления  $B_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) каждого пункта потребления. Известна стоимость перевозки  $C_{ij}$  единицы продукта из  $i$ -го пункта в  $j$ -й. Требуется построить наиболее экономичный план перевозок товара.

Математически задача формулируется следующим образом:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij}; \quad (3.1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = Q_i; \quad (i = 1, \dots, n); \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = B_j; \quad (j = 1, \dots, m); \quad (3.3)$$

$$x_{ij} \geq 0,$$

где  $x_{ij}$  – объем перемещения груза из  $i$ -го пункта производства в  $j$ -й пункт потребления.

Условие задачи может быть представлено в виде матрицы (табл. 3.1)

Таблица 3.1

	$B_1$	$B_2$	...	$B_m$	Объем
--	-------	-------	-----	-------	-------



					производства
1	2	3	4	5	6
$Q_1$	$X_{11} \setminus C_{11}$	$X_{12} \setminus C_{12}$	...	$X_{1m} \setminus C_{1m}$	$Q_1$
$Q_2$	$X_{21} \setminus C_{21}$	$X_{22} \setminus C_{22}$	...	$X_{2m} \setminus C_{2m}$	$Q_2$

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
...	...	...	...	...	...
$Q_n$	$X_{n1} \setminus C_{n2}$	$X_{n2} \setminus C_{n2}$	...	$X_{nm} \setminus C_{nm}$	$Q_n$
Объем потребления	$B_1$	$B_2$	...	$B_m$	$\sum_{j=1}^m B_j = \sum_{i=1}^n Q_i$

Равенство (3.2) гарантирует полный вывоз товара из всех пунктов производства. Если не ставятся требования баланса производства и потребления товара, то условие (3.2) запишется в виде неравенства

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq Q_i \quad (i = 1, \dots, n). \quad (3.4)$$

Транспортная задача, записанная в такой форме, называется *открытой транспортной задачей*. Для решения такой задачи в матрицу транспортной задачи отдельным столбцом вводится условный (фиктивный) потребитель, объем потребления которого равен превышению объема производства над потреблением. Стоимость перевозки товара из пунктов производства к данному фиктивному пункту потребления принимается равной нулю. Таким образом, транспортная задача из открытой превращается в закрытую. В результате решения такой задачи объемы товара, якобы доставленные из  $i$ -го пункта фиктивному потребителю, рассматриваются как произведенные в соответствующих пунктах производства.

Аналогично, открытая транспортная задача может быть сформулирована по-другому, когда условие (3.3) записано в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq B_j \quad (j = 1, \dots, m). \quad (3.5)$$

Для решения такой задачи необходимо ввести отдельной строкой условный (фиктивный) пункт производства, стоимость перевозки товара от которого также принимается равной нулю. И, аналогично, товары доставленные потребителям из данного пункта производства рассматриваются как непроеденные. Однако формулировка транспортной задачи, если речь действительно идет об оптимизации стоимости перевозок, в таком виде бессмысленна, так как в условиях дефицита распределение товара между потребителями должно производиться не по критерию минимизации стоимости перевозок, а из других соображений.

Решение транспортной задачи начинается с определения *опорного плана*, который находится различными методами, в том числе и диагональным методом (северо-западного угла). В соответствии с требованиями диагонального метода таблица транспортной задачи заполняется, начиная с левого верхнего угла, двигаясь далее по строке вправо и по столбцу вниз. В клетку (1,1) заносится меньшее из чисел  $B_1$  и  $Q_1$ :

$$x_{11} = \min(Q_1, B_1). \quad (3.6)$$

Если  $Q_1 > B_1$ , то  $x_{11} = B_1$  и заполнение первого столбца на этом заканчивается. Далее заполняется второй столбец матрицы транспортной задачи:

$$x_{12} = \min(Q_1 - B_1, B_2). \quad (3.7)$$

Если  $B_1 > Q_1$ , то  $x_{11} = Q_1$  и заполнение первой строки прекращается и начинается заполнение клетки (2.1) по критерию

$$x_{21} = \min(Q_2, B_1 - Q_1). \quad (3.8)$$

Далее переходим к заполнению следующей строки или столбца. Последней заполняется клетка  $(m, n)$  (при равенстве объемов производства и потребления). Если задача открытая, то последней заполняется клетка  $(m, n + 1)$ , в которую вносится остаток нераспределенного товара.

В дальнейшем рассмотрим решение транспортной задачи методом потенциалов. Каждому поставщику и потребителю товара ставятся в соответствие некоторые переменные  $U_i$  и  $V_j$ , которые в дальнейшем будут называться потенциалами. Далее для каждой загруженной клетки записываем уравнение

$$U_i + V_j = C_{ij}, \quad (3.9)$$

где  $C_{ij}$  – стоимость перевозки товара от  $i$ -го производителя к  $j$ -му потребителю.

Таких уравнений окажется  $(m + n - 1)$ , а неизвестных переменных  $U_i$  и  $V_j$  в системе уравнений  $(m + n)$ . В этом случае одной из переменных присваивается произвольное значение (с целью упрощения расчётов удобнее всего присвоить нулевое значение). И тогда система уравнений будет иметь единственное решение. Полученные значения  $U_i$  и  $V_j$  в дальнейшем используются для определения суммы потенциалов (косвенные штрафы) для свободных от груза клеток:

$$U_i + V_j = C_{ij}^1. \quad (3.10)$$

Далее для каждой свободной от груза клетки определяется разность

$$S_{ij} + S_{ij} = C_{ij}^1. \quad (3.11)$$

Если  $S_{ij} \geq 0$  для всех свободных от груза клеток, то полученный план перевозок оптимален, то есть обеспечивает минимум затрат на перевозки товара. Если хотя бы для одной из свободных клеток  $S_{ij} < 0$ , то в число занятых вводят клетку, для которой оценка по (3.11) оказалась минимальной, и в результате получают новый план перевозок.

Для введения в число занятых клетку, свободную от груза, необходимо осуществить перемещение груза по замкнутому циклу, в котором первой клеткой является выбранная свободная клетка, а все остальные клетки заняты грузом. Под замкнутым циклом понимается набор клеток матрицы перевозок, в котором две и только две клетки расположены в одной строке или одном столбце и последняя клетка набора лежит в той же строке и столбце, что и первая (совпадает с первой клеткой). При этом, если мы имеем допустимое базисное решение транспортной задачи, то для каждой свободной от груза клетки можно образовать, и при том только один, замкнутый цикл, в котором содержится одна свободная от груза клетка и некоторая часть занятых грузом клеток. Вторым условием опорного плана транспортной задачи является то, что из занятых грузом клеток невозможно образовать ни одного замкнутого цикла.

Для того, чтобы в число занятых ввести свободную клетку, необходимо для этой свободной клетки составить замкнутый цикл и переместить по циклу количество груза, равное наименьшему количеству, расположенному в четных клетках (четность определяется исходя из условия, что первой является свободная от груза клетка). То есть наименьшее количество груза в одной из четных клеток вычитается из количества груза остальных четных клеток и прибавляется к грузу, расположенному в нечетных клетках. В результате четная клетка, в которой находилось наименьшее количество груза, становится свобод-

ной, а ранее свободная клетка входит в число занятых грузом. Таким образом, создается новый опорный план, для которого все вычисления начинаются с уравнения (3.9) и продолжают до тех пор, пока не будет получен план, для которого  $S_{ij} \geq 0$ .

### 3.2. Разработка оптимального плана топливоснабжения

План топливоснабжения разрабатывается для четырех электростанций, объемы потребления топлива которых определяются в предыдущем разделе, и трех топливных баз. Запасы топлива на базах равны суммарному потреблению топлива станциями энергосистемы и принимаются равными 30 %, 50 % и 20 % от суммарного количества для каждой топливной базы. Стоимость топлива на базах одинакова и поэтому в расчетах не учитывается. Стоимость перевозки топлива от топливных баз до станций принимается для всех вариантов одинаковой и приведена в табл. 3.2. Необходимо составить оптимальный план перевозок топлива.

Таблица 3.2

	1	2	3	4	Запасы топлива
1	20	23	18	15	0,3 $B_{\Sigma}$
2	27	22	20	19	0,5 $B_{\Sigma}$
3	25	26	20	24	0,2 $B_{\Sigma}$
Потребность в топливе	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лимонов, А.И. Организация производства, управление предприятием: методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электрические системы и сети», 1-53 01 04 «Автоматизация и управление энергетическими процессами» / А.И. Лимонов. – Минск: БНТУ, 2008.

2. Падалко, Л.П. Математические методы оптимального планирования развития и эксплуатации энергосистем / Л.П. Падалко. – Минск, Высшая школа, 1973.

3. Костевич, Л.С. Теория игр, исследование операций / Л.С. Костевич, А.А. Лапко. – Минск: Высшая школа, 1982.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Топливные характеристики и предельные значения нагрузок электростанций

Станция 1.  $N_{\min} = 50$  МВт,  $N_{\max} = 300$  МВт

N/МВт	50	100	150	200	250	300			
<b>B</b> т у.т./ч	21	38	57	78	102	120			

Станция 2.  $N_{\min} = 300$  МВт,  $N_{\max} = 600$  МВт

N/МВт	300	350	400	450	500	550	600		
<b>B</b> т у.т./ч	92	107	122	138	152	169	191		

Станция 3.  $N_{\min} = 150$  МВт,  $N_{\max} = 500$  МВт

N/МВт	150	200	250	300	350	400	450	500	
<b>B</b> т у.т./ч	54	69	84	98	114	122	143	159	

Станция 4.  $N_{\min} = 600$  МВт,  $N_{\max} = 1000$  МВт

N/МВт	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
<b>B</b> т у.т./ч	190	203	215	230	245	260	273	287	310

Станция 5.  $N_{\min} = 400$  МВт,  $N_{\max} = 800$  МВт

N/МВт	400	450	500	550	600	650	700	750	800
<b>B</b> т у.т./ч	110	121	135	146	160	172	185	207	250

Станция 6.  $N_{\min} = 300$  МВт,  $N_{\max} = 650$  МВт

N/МВт	300	350	400	450	500	550	600	650	
<b>B</b>	91	105	116	130	145	164	180	196	

т у.т./ч									
----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Станция 7.  $N_{\min} = 500$  МВт,  $N_{\max} = 400$  МВт

$N$ МВт	500	550	600	650	700	750	800		
<b><i>B</i></b>	140	151	169	180	197	225	247		
т у.т./ч									

Станция 8.  $N_{\min} = 100$  МВт,  $N_{\max} = 250$  МВт

$N$ МВт	100	150	200	250	300	350	400		
<b><i>B</i></b>	35	55	75	93	113	120	135		
т у.т./ч									



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ПЛАНИРОВАНИЕ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ (ТЕОРИЯ ИГР) .....	4
1.1. Методические указания .....	4
1.2. Определение уровня электропотребления в системе .....	8
2. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ (ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ) .....	11
2.1. Методические указания .....	11
2.2. Планирование производства электроэнергии .....	12
3. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ТОПЛИВОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ (ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДАЧА) .....	15
3.1. Методические указания .....	15
3.2. Разработка оптимального плана топливоснабжения .....	19
ЛИТЕРАТУРА .....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	22

Учебное издание

ЛИМОНОВ Александр Иванович

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА.  
УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ  
(ЭНЕРГЕТИКА)

Методическое пособие для студентов  
специальности 1-43 01 01 «Электрические станции»,  
1-43 01 02 «Электрические системы и сети» и 1-53 01 04  
«Автоматизация и управление энергетическими процессами»

Редактор Т.А. Подолякова  
Компьютерная верстка Д.К. Измайлович

---

Подписано в печать 28.06.2011.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,45. Уч.-изд. л. 1,14. Тираж 50. Заказ 1154.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.