

**С. В. ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц., каф. АСУ НТУ «ХПИ»,  
**А. М. ПИВНЕНКО**, студент НТУ «ХПИ»

### **ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

Робота присвячена дослідженню процесів формування планів виробництва і постачань електроенергії в енергосистемі на наступний період часу в умовах балануючого ринку. Затверджена методика визначення обсягів виробництва електроенергії для задоволення попиту на електроенергію в ринкових умовах не враховує багато факторів, що відображають динаміку процесів виробництва і постачання електроенергії, що призводить до нерационального використання ресурсів та значних збитків. В роботі пропонується підхід для визначення планованих обсягів виробництва і постачання електроенергії на основі даних про попит і динаміку процесів виробництва і її постачання з використанням математичного моделювання.

Работа посвящена исследованию процессов формирования планов производства и поставок электроэнергии в энергосистеме на последующий период времени в условиях балансирующего рынка. Утвержденная методика определения объемов производства электроэнергии для удовлетворения спроса на электроэнергию в рыночных условиях не учитывает многие факторы, отражающие динамику процессов производства и поставок электроэнергии, что приводит к нерациональному использованию ресурсов и значительным убыткам. В работе предлагается подход для определения планируемых объемов производства и поставок электроэнергии на основе данных о спросе и динамике процессов производства и поставок с использованием математического моделирования.

Work was to study the formation of production plans and supply of electricity in a power beyond that period of time in the balancing market. The approved method of determining the amount of electricity to meet the electricity demand in the market conditions do not take into account many factors that reflect the dynamics of production and supply of electricity, which leads to a misallocation of resources and significant financial losses. An approach to determine the planned production and supply of electricity on the basis of data on supply and demand dynamics of the processes of production and supply with the use of mathematical modeling.

**Введение.** Для управления производством и поставками электроэнергии Национальной комиссией регулирования электроэнергетики (НКРЭ) Украины в соответствии с практикой Евросоюза и России принята концепция оптового рынка электроэнергии и его участников [1]. По этой концепции в состав системы управления оптового рынка электроэнергии вводится действующее лицо – Распорядитель системы расчетов, выполняющий прием ценовых заявок на генерацию электроэнергии от производителей и выполняющий формирование текущей цены отпускаемой электроэнергии поставщикам и потребителям с учетом прогнозируемого уровня спроса и состояния электроэнергосистемы. Для этого Распорядитель системы расчетов формирует график нагрузки для энергоблоков производителей на каждый расчетный период следующих суток на основании данных спроса, текущего и

планируемого состояния. Решение этих задач требует учета ряда критериев, факторов, условий и особенностей, обеспечивающих эффективность функционирования системы «производитель – поставщик – потребитель» электроэнергии, включающих ее открытость и взаимодействие с другими аналогичными системами. Одной из основных особенностей и проблем использования электроэнергии как продукта производства являются существенные ограничения на возможности организации ее хранения и накопления, которые оказывают определяющее значение на эффективность функционирования электроэнергетики. В связи с этим основной задачей диспетчерского управления в электроэнергетической системе является поддержка баланса мощности производства и потребления. Для обеспечения решения этой задачи применяются автоматизированные системы диспетчерского управления различных уровней иерархии в сочетании с автоматизированными системами учета производства, поставок и потребления объемов электроэнергии и механизмы т.н. балансирующего рынка, предусматривающие использование процедур организации оперативной реализации имеющихся избытков электроэнергии или определения ее необходимой дополнительной генерации для удовлетворения возникающих потребностей с заключением двухсторонних договоров между производителями и потребителями электроэнергии.

**Постановка задачи.** В соответствии с решениями о переходе к рыночной экономике электроэнергетика реализует производство электроэнергии, используя рыночные механизмы [2]. Содержание так называемого балансирующего рынка для согласования объемов производства и потребления электроэнергии предполагает на основе собранных заявок от потребителя и производителя электроэнергии формирование плана производства электроэнергии на следующие сутки и распределения его между генерирующими и поставляющими компаниями.

Для решения этой задачи должна быть собрана информация о состоянии и возможностях маневрирования объемами производства всех генерирующих и поставляющих компаний. Учитывая различные динамические возможности указанных компаний, а также их состояние в ходе проведения плановых и не плановых ремонтов, данная задача должна рассматриваться в динамике изменений всех перечисленных факторов и показателей. Решения в такой постановке позволяют формировать планы производства и поставок электроэнергии на следующий промежуток времени, которые максимально адекватны реальным обстоятельствам и обладают требуемой эффективностью. Основным критерием при этом следует считать минимальные затраты на обеспечение сбалансированного спроса экономически рентабельным производством и поставками электроэнергии [3].

Предлагаемые процедуры в составе принятых методик не учитывают динамические особенности источников и производителей потребляемой

электроэнергии, использование которых может стать важным фактором для повышения эффективности функционирования всей энергосистемы

Будем считать, что известно множество предприятий  $J$ , субъектов процессов производства и поставок электроэнергии, обеспечивающих требуемые объемы потребления. Состояние каждого субъекта оценивается в фиксированные моменты времени  $t \in T$  планируемого периода (например, следующих суток) и представлено множеством  $K_j, j \in J$ .

Для каждого субъекта  $j \in J$  и состояния  $k \in K_j$  в момент времени  $t \in T$  известно:  $B_{kj}^{\min}, B_{kj}^{\max}$  – минимальная и максимальная мощность генерации или поставки электроэнергии;  $C_{kj}^t$  – цена генерации или поставки электроэнергии;  $r_{kj}$  – удельный расход топлива;  $R_j$  – запасы топлива  $j$ -го предприятия.

Будем считать, что момент времени  $t_0 \in T$  соответствует начальному состоянию энергосистемы.

Требуется определить объемы производства и поставок электроэнергии  $z_{kj}^t \geq 0$  для каждого  $j$ -го предприятия,  $j \in J$ , находящегося в  $k$ -м состоянии,  $k \in K_j$  в момент времени  $t, t \in T$ , и необходимые для этого изменения состояния.

Очевидно, в качестве критерия оптимальности принимаемых решений по определению объемов производства и поставок электроэнергии следует выбрать минимум связанных с ними суммарных затрат за весь рассматриваемый период времени  $T$ . Указанные затраты должны включать как затраты, непосредственно связанные с объемами генерации, так и затраты, вызванные необходимостью перехода из одного состояния – в другое состояние.

Введем в рассмотрение следующие булевы переменные

$$y_{kj}^t = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-е предприятие находится в } k\text{-м состоянии} \\ & \text{в момент времени } t \in T, k \in K_j, j \in J, \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

отражающие состояния предприятий энергосистемы.

Тогда  $Y_j^t = \{y_{kj}^t\}$  – вектор, компоненты которого определяют текущее состояние  $j$ -го предприятия в момент времени  $t \in T, j \in J$ . Очевидно, каждое предприятие в любой момент времени может находиться в одном состоянии. Поэтому

$$\sum_{k \in K_j} y_{kj}^t = 1, t \in T, j \in J. \quad (2)$$

Рассмотрим формирование ограничений, которым должны удовлетворять искомые переменные, определяющие искомые объемы электроэнергии. Прежде всего – это ограничения по объемам производства и поставок электроэнергии

$$\sum_j \sum_{k \in K_j} z_{kj}^t \geq \Omega_t, t \in T, \quad (3)$$

где  $\Omega_t$  – требуемый объем потребления электроэнергии на момент времени  $t \in T$ .

Объем производства и поставок электроэнергии  $z_{kj}^t$   $j$ -го субъекта зависит от текущего режима функционирования, который определяется его состоянием  $k \in K_j, j \in J$ . В таком случае имеем следующее неравенство

$$B_{kj}^{\min} \leq z_{kj}^t \leq B_{kj}^{\max}. \quad (4)$$

С учетом переменных состояния  $\{y_{kj}^t\}$  данное неравенство примет вид:

$$y_{kj}^t \cdot B_{kj}^{\min} \leq z_{kj}^t \leq y_{kj}^t \cdot B_{kj}^{\max}. \quad (5)$$

Рассмотрим ограничения, обеспечивающих связь периодов времени.

Пусть  $Y_j^0 = \{y_{kj}^0\}$  – вектор, компоненты которого, определяют начальное состояние энергосистемы для планируемого периода в соответствии с (1). Тогда

$$\sum_{k \in K_j(Y_j^{t-1})} y_{kj}^t = y_{\alpha_j}^{t-1}, j \in J, t \geq 1, t \in T. \quad (6)$$

Можно видеть, что система ограничений в виде (6) будет содержать ряд тривиальных ограничений, описывающих связь с начальным состоянием для  $t=0$  переменных состояния с нулевым значением верхнего индекса. Подобные ограничения могут быть исключены из рассмотрения при практическом применении данных построений.

Рассмотрим связь состояний системы с учетом времени переходов. Введем в рассмотрение  $\tau_{kj}(Y_j^{t-1})$  – время перехода из предыдущего состояния в  $k$ -е состояние,  $k \in K_j(Y_j^{t-1}) \subset K_j, j \in J, t \in T$ ;  $\Delta_j^t$  – интервал времени между контролируемыми состояниями  $j$ -го предприятия между  $(t-1)$ -м и  $t$ -м моментами времени,  $j \in J, t \geq 1, t \in T$ .

- Для перехода в соответствующее состояние необходимо выполнение условия, в соответствии с которым требуемое время перехода не

должно превышать соответствующего интервала времени между состояниями в  $(t-1)$ -й и  $t$ -й моменты времени. Имеем:

$$\sum_{k \in K_j(Y_j^{t-1})} \tau_{kj}(Y_j^{t-1}) \cdot y_{kj}^t \leq \Delta_j^t, j \in J, t \geq 1, t \in T. \quad (7)$$

Ограничения по запасам топлива для каждого предприятия можно представить следующим образом

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K_j} r_{kj} \cdot z_{kj}^t \leq R_j, j \in J. \quad (8)$$

Таким образом, математическая модель оптимизации производства и поставок электроэнергии может быть представлена в следующем виде.

Найти

$$S = \sum_t \sum_j \left( \sum_{k \in K_j} c_{kj}^t \cdot z_{kj}^t + \sum_{k \in K_j} a_{kj}^t \cdot y_{kj}^t \right) \rightarrow \min \quad (9)$$

при ограничениях:

$$\sum_j \sum_{k \in K_j} z_{kj}^t \geq \Omega_t, t \in T, \quad (10)$$

$$y_{kj}^t \cdot B_{kj}^{\min} \leq z_{kj}^t \leq y_{kj}^t \cdot B_{kj}^{\max}, \quad (11)$$

$$\sum_{k \in K_j(Y_j^{t-1})} y_{kj}^t = y_{\alpha j}^{t-1}, j \in J, t \geq 1, t \in T, \quad (12)$$

$$\sum_{k \in K_j(Y_j^{t-1})} \tau_{kj}(Y_j^{t-1}) \cdot y_{kj}^t \leq \Delta_j^t, j \in J, t \geq 1, t \in T, \quad (13)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K_j} r_{kj} \cdot z_{kj}^t \leq R_j, j \in J, \quad (14)$$

$$\sum_{k \in K_j} y_{kj}^t = 1, t \in T, j \in J, \quad (15)$$

$$y_{kj}^t \in \{0, 1\}, z_{kj}^t \geq 0, k \in K_j, j \in J, t \in T. \quad (16)$$

Здесь  $Y_j^0 = \{y_{kj}^0\} = \{y_{\alpha j}^{t-1}\}$  – начальное состояние  $j$ -го предприятия при  $t=0, j \in J$ ,  $a_{kj}^t$  – стоимость перехода в  $k$ -е состояние из предыдущего состояния для  $j$ -го предприятия в момент времени  $t, k \in K_j, j \in J, t \in T$ .

Задача (9) – (16) относится к классу задач частично–целочисленного программирования и для ее решения могут применяться соответствующие методы и алгоритмы, реализованные в пакетах решения оптимизационных задач с булевыми переменными.

**Выводы.** Современное состояние производства, распределения, поставок и потребления электроэнергии в условиях перехода к рыночным отношениям требует формирования новых механизмов балансирования спроса и предложений с позиций эффективности составляющих бизнес-процессов всех уровней. Проведенный анализ содержания и взаимодействия рассматриваемых процессов в электроэнергетике позволил выделить критерий и основные ограничения задачи планирования производства, поставок и потребления электроэнергии в рыночных условиях. Результаты решения формализованного представления данной оптимизационной задачи могут быть использованы для формирования графика нагрузки энергоблоков генерирующих компаний с учетом уровня поставок и потребления электроэнергии в рыночных условиях при составлении долгосрочных и краткосрочных контрактов, а также для поддержки функционирования балансирующего рынка электроэнергии в составе соответствующих функциональных подсистем.

**Список литературы:** 1. Постанова №1789 Про схвалення Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України. – К. : Каб. Мін. України, 2002. – 53 с. – (Концепція функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України). 2. Програма економічних реформ України на 2010–2014 гг. / Комитет по економічним реформам при Президенті України. – Офіц. изд. – К. : 2010 г. – 99 с. 3. Шевченко С. В. Моделирование процессов управления распределением производства и поставками электроэнергии в условиях рынка : работы конф. "Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе", (Гурзуф, 1–10 окт. 2010 г.), / С. В. Шевченко. – Х. : НТУ "ХПИ", 2010. – 2 с.

Надійшла до редколегії 28.10.2010