ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2003. Т. LVI, №2.

УДК 519.95

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

М.А. ЕСАЯН, А.А. АРАКЕЛЯН, С.А. МИНАСЯН, Г.П. МЕЛИКЯН

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Предлагается динамическая модель задачи распределения энергетических ресурсов (РЭР) в регионе, имеющем разнообразные секторы производства: промышленность, сельское хозяйство, а также секторы, объединяющие транспорт и связь, бытовые услуги, торговлю, науку и образование.

Ключевые слова: энергия, ресурсы, спрос, потребление, баланс.

Задача распределения ресурсов, в частности энергетических, является одной из актуальных проблем, решаемых в области исследования операций [1-3]. Естественно, что эта задача логически может быть включена в область оптимального управления. Несмотря на большое количество работ в области оптимального распределения ресурсов, проблема управления энергетическими ресурсами и их распределения между секторами экономики требует более углубленного описания и, следовательно, создания эффективных методов решения. Полагаем, что задача распределения энергетических ресурсов основана на следующих двух аргументах:

первый состоит на знаниях и опыте специалистов, занятых производством электроэнергии и ее сбытом;

второй определяется сложностью и динамической природой факторов, определяющих проблему распределения энергетических ресурсов, основанную на обеспечении баланса между спросом и потреблением, и управления динамикой изменения точки равновесия.

Несмотря на различия между этими утверждениями, тем не менее покажем, что создание модели, адекватно описывающей процесс распределения энергетических ресурсов в многосекторном производстве, является возможным. Более того, модель, приведенная в данной работе, позволяет решить задачи принятия решений планирования и получения оптимальных траекторий достижения планируемого состояния спроса/предложения.

Таким образом, задача, решаемая в данной работе, может быть сформулирована как задача поддержки принятия решений распределения энергетических ресурсов между секторами производства и является развитием подходов [4,5].

Динамическая модель РЭР. Динамическая модель РЭР рассматривает следующие секторы производства: промышленность, сельское хозяйство, а также секторы, объединяющие торговлю, транспорт и связь, бытовые услуги и др. Обозначим их в дальнейшем соответственно через i,a,o. В качестве видов энергетических ресурсов рассмотрим электроэнергию, получаемую от тепловых электростанций, гидроэлектростанций и атомных станций.

Виды электрической энергии обозначим через 1,2,3 соответственно.

В качестве факторов, определяющих условие равновесия, рассмотрим уравнение равновесия между спросом и его предложением.

Индексы, переменные и параметры.

Рассмотрим плановый период, обозначив его через $[t_0,T]$.

Обозначим переменные через:

$Q^D(t)$ - спрос на электроэнергию в момент времени $t€ [t_0,T]$;

$Q^D{}_i(t)$- спрос промышленности на электроэнергию в момент времени $t€ [t_0,T]$;

$Q^D{}_a(t)$- спрос сельского хозяйства на электроэнергию в момент времени $t€ [t_0,T]$;

$Q^D{}_o(t)$- спрос остальных секторов производства на электроэнергию в момент времени $t€[t_0,T]$;

$Q^D{}_f(t)$- экспортируемые объемы электроэнергии в момент времени $t€ [t_0,T]$;

$G(t)$- валовый внутренний продукт в момент времени $t€[t_0,T]$;

$G_i(t)$- продукция промышленности в момент времени $t€[t_0,T]$;

$G_a(t)$- продукция сельского хозяйства в момент времени $t€[t_0,T]$;

$G_o(t)$- продукция остальных секторов производства в момент времени $t€ [t_0,T]$;

$Q^S(t)$- предложение электроэнергии в момент времени $t€[t_0,T]$;

$Q^S{}_1(t)$- предложение электроэнергии ТЭЦ в момент времени $t€[t_0,T]$;

$Q^S{}_2(t)$- предложение электроэнергии ГЭС в момент времени $t€[t_0,T]$;

$Q^S{}_3(t)$- предложение электроэнергии атомными станциями в момент времени $t€[t_0,T]$.

Обозначим управления через:

$\varphi_i=Q^D{}_i/Q^D$ - доля спроса электроэнергии промышленностью;

$\varphi_a=Q^D{}_a/Q^D$ - доля спроса электроэнергии сельским хозяйством;

$\varphi_o=Q^D{}_o/Q^D$ - доля спроса электроэнергии остальными секторами;

$\varphi_f=Q^D{}_f/Q^D$ - доля экспортируемой электроэнергии;

$\eta_i=G_i/G$ - доля промышленной продукции;

$\eta_a=G_a/G$ - доля продукции сельского хозяйства;

$\eta_o=G_o/G$ - доля продукции остальных секторов;

$\eta_f=G_f/G$ - доля продукта, получаемого от экспортируемой электроэнергии;

$\psi=Q^D/G$ - спрос электроэнергии, приходящейся на одну единицу валового внутреннего продукта(ВВП);

$\psi_i=Q^D{}_i/G_i$ - спрос электроэнергии промышленностью, приходящейся на одну единицу промышленной продукции;

$\psi_a=Q^D{}_a/G_a$ - спрос электроэнергии сельским хозяйством, приходящейся на одну единицу сельскохозяйственной продукции;

$\psi_o=Q^D{}_o/G_o$ - спрос электроэнергии остальными секторами, приходящейся на одну единицу их продукции;

$\psi_f=Q^D{}_f/G_f$ - спрос на экспортируемую электроэнергию, приходящуюся на одну единицу экспортируемой продукции;

$\lambda=Q^D/Q^S$ - доля спроса электроэнергии относительно ее предложения;

$\mu = Q^S/G$ - доля предложения электроэнергии относительно ВВП;

$G_1(t)$ - продукция ТЭЦ в момент времени t€[t_0,T] ;

$G_2(t)$ - продукция ГЭС в момент времени t€[t_0,T] ;

$G_3(t)$ - продукция атомных станций в момент времени t€[t_0,T];

$\delta_1 = Q^S_1/Q^S$ - доля электроэнергии, предлагаемой ТЭЦ;

$\delta_2 = Q^S_2/Q_S$ - доля электроэнергии, предлагаемой ГЭС;

$\delta_3 = Q^S_3/Q$ - доля электроэнергии, предлагаемой атомными станциями;

$\nu_1 = G_1/G$ - доля продукции ТЭЦ в ВВП;

$\nu_2 = G_2/G$ - доля продукции ГЭС в ВВП;

$\nu_3 = G_3/G$ - доля продукции атомных станций в ВВП;

$\mu_1 = Q^S_1/G_1$ - доля предложения электроэнергии ТЭЦ относительно их продукции;

$\mu_2 = Q^S_2/G_2$ - доля предложения электроэнергии ГЭС относительно их продукции;

$\mu_3 = Q^S_3/G_3$ - доля предложения электроэнергии атомными станциями относительно их продукции.

$E(t) = Q^S(t) - Q^D(t)$ - величина потерь электроэнергии в момент времени t€[t_0,T].

Основная модель. Пусть $\Delta(X) = \dfrac{\Delta x}{x}$ есть процент изменения переменной X.

Рассмотрим обобщение модели для последовательности функций $\{X_\ell\}\ell = 0,1,\dots,n$:

$$\Delta(X_0) = \sum_{l=0}^{n-1} \Delta\left(\frac{X_l}{X_{l+1}}\right) + \Delta(X_n). \quad (1)$$

Отсюда получаем, что

$$\Delta(Q^D) = \Delta\left(\frac{Q^D}{Q_i^D}\right) + \Delta\left(\frac{Q_i^D}{Q_a^D}\right) + \Delta\left(\frac{Q_a^D}{Q_o^D}\right) + \Delta\left(\frac{Q_o^D}{Q_f^D}\right) + \Delta\left(\frac{Q_f^D}{G}\right) + \Delta(G), \quad (2)$$

$$\Delta(Q^S) = +\Delta\left(\frac{Q^S}{Q_1^S}\right) + \Delta\left(\frac{Q_1^S}{Q_2^S}\right) + \Delta\left(\frac{Q_2^S}{Q_3^S}\right) + \Delta\left(\frac{Q_3^S}{G}\right) + \Delta(G). \quad (3)$$

Из (2) и (3) с учетом обозначений переменных управлений получаем:

(а) систему уравнений движения:

$$\begin{gathered} \dot{Q}^D(1 - \frac{\psi}{\mu_\lambda}) = \left(\frac{1}{\varphi_i} - \frac{\psi}{\psi_i \eta_i}\right)\dot{Q}_i^D + \left(\frac{1}{\varphi_a} - \frac{\psi}{\psi_a \eta_a}\right)\dot{Q}_a^D + \\ + \left(\frac{1}{\varphi_o} - \frac{\psi}{\psi_o \eta_o}\right)\dot{Q}_o^D + \left(\frac{1}{\varphi_f} - \frac{\psi}{\psi_f \eta_f}\right)\dot{Q}_f^D + (\lambda\mu - \psi)\dot{G}, \end{gathered} \quad (4)$$

$$\dot{Q}^{S}(1-\frac{\lambda\mu}{\psi})=\left(\frac{1}{\delta_1}-\frac{\mu}{\nu_1\mu_1}\right)\dot{Q}_1^{S}+\left(\frac{1}{\delta_2}-\frac{\mu}{\nu_2\mu_2}\right)\dot{Q}_2^{S}+$$
$$+\left(\frac{1}{\delta_3}-\frac{\mu}{\nu_3\mu_3}\right)\dot{Q}_3^{S}+\left(\frac{\psi}{\lambda}-\mu\right)\dot{G}; \qquad (5)$$

(б) систему ограничений:

$$\begin{aligned}
&\varphi_i+\varphi_a+\varphi_o+\varphi_f\le 1,\\
&\lambda\in(0,1),\mu\in(0,1),\\
&\eta_i+\eta_a+\eta_o+\eta_f\le 1,\\
&Q_i+Q_a+Q_o+Q_f\le Q,\\
&\psi,\psi_i,\psi_a,\psi_o,\psi_f\in(0,1),\\
&\min\{\varphi_i,\varphi_a,\varphi_o,\varphi_f,\eta_i,\eta_a,\eta_o,\eta_f\}\ge 0,\\
&\delta_1+\delta_2+\delta_3=1,\\
&\nu_1+\nu_2+\nu_3=1,\\
&\mu+\mu_1+\mu_2+\mu_3=1,\\
&Q^S+Q^D\ge 0;
\end{aligned} \qquad (6)$$

(в) целевую функцию:

$$\min(Q^S - Q^D), \qquad (7)$$

где min берется по всем управлениям при условии выполнения системы ограничений (6);

(г) начальные условия:

$$\begin{aligned}
&Q^D(t_o)=Q_o^D Q_r^D(t_o)=Q_{ro}^D, r\in\{i,a,o,f\}\ ,\\
&Q^s(t_o)=Q_o^S, Q_r^s(t_o)=Q_{ro}^S, r\in\{1,2,3\},\\
&\varphi_r(t_o)=\varphi_{ro}, r\in\{i,a,o,f\},\\
&\lambda(t_o)=\lambda_o, \mu(t_o)=\mu_o,\\
&\psi(t_o)=\psi_b,\\
&\psi_r(t_o)=\psi_{ro}, r\in\{i,a,o,f\},\\
&\delta_r(t_o)=\delta_{ro}, r\in\{1,2,3\},\\
&\nu_r(t_o)=\nu_{ro}, r\in\{1,2,3\},\\
&\mu_r(t_o)=\mu_{ro}, r\in\{1,2,3\}.
\end{aligned} \qquad (8)$$

Приведем систему (4), (5) к виду

$$Q^D(t_{l+1}) = Q^D(t_l) + (\eta_i^D \dot{Q}_i^D + \eta_a^D \dot{Q}_a^D + \eta_o^D \dot{Q}_o^D + \eta_f^D \dot{Q}_f^D + \eta_G^D \dot{G})\Delta t_l\,, \quad (9)$$

$$Q^S(t_{l+1}) = Q^s(t_l) + (\eta_1^S \dot{Q}_1^S + \eta_2^S \dot{Q}_2^S + \eta_3^S \dot{Q}_3^S + \eta_4^S \dot{G})\Delta t_l\,, \quad (10)$$

$$\ell = 0,1,\ldots,n\,,$$

где

$$\begin{aligned}
\eta_i^D &= \left(\frac{1}{\varphi_i} - \frac{\psi}{\psi_i \eta_i}\right) \Big/ \left(1 - \frac{\psi}{\lambda\mu}\right),\\
\eta_a^D &= \left(\frac{1}{\varphi_a} - \frac{\psi}{\psi_a \eta_a}\right) \Big/ \left(1 - \frac{\psi}{\lambda\mu}\right),\\
\eta_o^D &= \left(\frac{1}{\varphi_o} - \frac{\psi}{\psi_o \eta_o}\right) \Big/ \left(1 - \frac{\psi}{\lambda\mu}\right),\\
\eta_G^D &= \lambda\mu,\\
\eta_1^S &= \left(\frac{1}{\delta_1} - \frac{\mu}{\nu_1\mu}\right) \Big/ \left(1 - \frac{\lambda\mu}{\psi}\right),\\
\eta_2^S &= \left(\frac{1}{\delta_2} - \frac{\mu}{\nu_2\mu}\right) \Big/ \left(1 - \frac{\lambda\mu}{\psi}\right),\\
\eta_3^S &= \left(\frac{1}{\delta_3} - \frac{\mu}{\nu_3\mu}\right) \Big/ \left(1 - \frac{\lambda\mu}{\psi}\right),\\
\eta_4^S &= \frac{\lambda}{\psi}.
\end{aligned} \quad (11)$$

Модель данных и результаты. Нетрудно убедиться, что полное множество входных переменных задачи (7)-(11) является объемистым, так как включает множество переменных управлений, характеризующих спрос и предложение электроэнергии.

Решение задачи (7)-(11) проведем при помощи метода случайного поиска с "пересчетом" [6]. Разобьем плановый период $[t_0,T]$ на части $[t_l,t_{l+1}]$, $l=0,1,...,p-1$, где $t_p=T$.

Определим вектор - функцию $\{J_i(t)\}$ i=1,2,...,24 следующим образом:

$$J_1(t)=\varphi_i(t),\quad J_2(t)=\varphi_a(t),\quad J_3(t)=\varphi_o(t),\quad J_4(t)=\varphi_f(t),$$
$$J_5(t)=\lambda(t),\quad J_6(t)=\mu(t),$$
$$J_7(t)=\eta_i(t),\quad J_8(t)=\eta_a(t),\quad J_9(t)=\eta_o(t),\quad J_{10}(t)=\eta_f(t),$$
$$J_{11}(t)=\psi(t),\quad J_{12}(t)=\psi_i(t),\quad J_{13}(t)=\psi_a(t),$$
$$J_{14}(t)=\psi_o(t), J_{15}(t)=\psi_f(t),$$
$$J_{16}(t)=\delta_1(t),\quad J_{17}(t)=\delta_2(t),\quad J_{18}(t)=\delta_3(t),$$
$$J_{19}(t)=\nu_1(t),\quad J_{20}(t)=\nu_2(t),\quad J_{21}(t)=\nu_3(t),$$
$$J_{22}(t)=\mu_1(t),\quad J_{23}(t)=\mu_2(t),\quad J_{24}(t)=\mu_3(t).$$

Общий шаг алгоритма состоит в следующем. Для значения t_ℓ определяем

$$J_j(t_{\ell+1})=J_j(t_\ell)+a_N \quad X(a_N,X_N,\xi_N)\xi_N,$$

$$X(a,x,y)=\begin{cases}1, & \text{если} \quad R(x+ay)<R(x),\\ 0, & \text{если} \quad R(x+ay)\geq R(x),\end{cases}$$

где $R(x)=Q^S(x)+Q^D(x)$, a_N,ξ_N - соответственно величина шага и случайный вектор, равномерно распределенный на n - мерной сфере.

Согласно [6], количество шагов N удовлетворяет следующему условию:

$$N=\log\frac{E/R_o(t_\ell)}{\log\left(1-\frac{c_1}{n}\right)},$$

где $E = Q^S - Q^D$, c_1 - коэффициент пропорциональности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Chen Y.W. and Tzeng G.H.** Fuzzy Multi-objective Approach to the supply Chain Model, Multiple Objective and Goal Programming, Recent Developments, Physica-Verlag, NewYork, 2002. - P. 221-234.
2. **Bierman H.Jr., Bonini Ch.P., Hausman W.H.** Quantitative Analysis for Business Decisions, Boston, Richard D. IRWIN, INC. 1991. - P. 742.
3. **Chu S.C.K.** Goal Programming Model for Airport Ground Support Equipment Parking, Multiple Objective and Goal Programming, Recent Developments, Physica-Verlag, New York, 2002. –P. 235-246.
4. **Arakelyan A.H., Grigoryan T.G., Sargsyan A.S.** Analysis of catching of information flows to provide the increase of the efficiency of the management of dynamic operations, Internet-based Enterprise Integration and Management, 31 October - 1 November, 2001 Proceedings, Newton, Massachusetts, USA. – P. 152-158.
5. **Arakelyan A.H., Simonyan H.S.** Dynamic multiple objective decision support system to provide the monitoring and management, the carbone dioxide emission, The Fourth International conference on Multiple objective programming and Goal programming, Proceedings, Poland, 2000. – P. 7-10.

6. **Растригин Л.А., Рипа К.К., Тарасенко Г.С.** Адаптация случайного поиска. - Рига: Зинатне, 1978. - 243 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.01.2003.

Մ.Ա. ԵՍԱՅԱՆ, Ա.Հ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ,
Ս.Ա. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Գ.Պ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿ ՄՈԴԵԼ

Առաջարկվում է էներգետիկ ռեսուրսների բաշխման խնդրի դինամիկ մոդել և լուծում: Որպես մոդելի գործոններ դիտարկվում են էլեկտրաէներգիայի պահանջարկը, առաջարկը և համախառն ներքին արդյունքը, իսկ որպես կառավարման փոփոխականներ՝ այդ գործոններով սահմանված մեծություններ: Ցույց է տրվում, որ ընդհանուր առաջարկի և պահանջարկի՝ ժամանակից կախված ածանցյալներով կարելի է նկարագրել էլեկտրաէներգիայի առաջարկի և պահանջարկի հավասարակշռության կետը:

Մշակված դինամիկ լավարկման խնդրի մոդելը և վերջինիս լուծման ալգորիթմը հնարավորություն են տալիս ստանալ սահմանափակումների համակարգին բավարարող լավարկված հետագծեր:

M.A. YESAYAN, A.H. ARAKELYAN,
S.A. MINASSYAN, G.P. MELIKYAN

DYNAMIC MODEL OF POWER RESOURCES DISTRIBUTION

A dynamic model is proposed for the problem of energy and power resources distribution in the region having diverse sectors of production: industry, agriculture as well as sectors involving transport and communication, public services, trade, science and education.