

УДК 621.311.25

Ефимов А.В., Потанина Т.В., Белов И.С., Гаркуша Т.А.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОЕКЦИИ ГРАДИЕНТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК МЕЖДУ ЭНЕРГОБЛОКАМИ АЭС

**Введение.** Одним из направлений решения проблемы эффективной, надежной и безопасной эксплуатации действующих энергоблоков ТЭС и АЭС является автоматизация задач технологического управления процессами и объектами – создание АСУ ТП на уровне энергоблоков, электростанций и энергосистем. В то же время, несмотря на имеющуюся текущую информацию в АСУ ТП энергоблоков, ее использование для решения таких важных задач, как оперативный анализ технико-экономических показателей, определение энергетических характеристик оборудования, интеллектуальной поддержки оператора, экологического мониторинга и других, не всегда является достаточно эффективным [1]. Из-за недостаточной надежности средств управления, неподготовленности технологического оборудования и отсутствия необходимого алгоритмического обеспечения в эксплуатирующихся АСУ ТП используются практически только информационно-вычислительные системы. Поэтому возникает необходимость интеграции в рамках АСУ ТЭС и АЭС задач технологического и экономического управления, которое реализуется с помощью алгоритмов оптимального управления, математических программ и, помимо задач поддержания заранее заданных величин регулируемых параметров, решает задачу определения оптимальных стратегий при любом изменении внешних условий.

**Постановка задачи.** Настоящая статья посвящена разработке методики применения оптимизационного метода проекции градиента для решения с помощью автоматизированного комплекса программ [2] задачи автоматизированного оптимального распределения нагрузок между энергоблоками АЭС с ВВЭР-1000 на основании их эксплуатационных характеристик.

Параметры и характеристики основного и вспомогательного оборудования энергоблоков АЭС, элементов их тепловых схем изменяются в процессе эксплуатации в результате действия различных факторов. Факторы, оказывающие влияние на электрическую мощность и тепловую экономичность энергоблока, можно разбить на следующие группы: 1) энергосистемные условия, определяющие график электрической нагрузки во времени; 2) условия отпуска теплоты, определяющие график теплофикационной нагрузки, количество и качество пара, отпускаемого потребителям; 3) условия циркуляционного водоснабжения, определяющие давление в конденсаторах (температура и качество охлаждающей воды, периодичность чистки трубных пучков конденсаторов и т.д.); 4) эксплуатационные ухудшения экономических характеристик проточной части турбины, теплообменного оборудования, насосов и т.п. в результате изменения их состояния в межремонтный период; 5) показатели надежности основного и вспомогательного оборудования, которые определяют необходимость плановых и аварийных отключений этого оборудования. Оценить результат воздействия перечисленных факторов на основные показатели выработки электрической и тепловой энергии позволяют эксплуатационные характеристики энергоблоков. Они являются исходной информацией при решении задач поиска оптимальных режимов управления работой энергетиче-

ского оборудования, в том числе и задач оптимального распределения нагрузок между энергоблоками АЭС.

В работе [3] были получены интегральные зависимости влияния параметров на электрическую мощность  $\bar{N}$  и тепловую экономичность (удельный расход теплоты)  $\bar{q}$  турбоустановок энергоблоков АЭС на частичных режимах их работы в диапазоне нагрузок  $0,4 \div 1,0 \bar{D}$  ( $\bar{D} = D / D_0$ , где  $D$  – расход свежего пара на исследуемом режиме,  $D_0$  – расход свежего пара на номинальном режиме):

$$\bar{N} = F(\bar{D}, \Delta X_i), \quad \bar{q} = \Phi(\bar{D}, \Delta X_i), \quad i = \overline{1, p}, \quad (1)$$

где  $\Delta X_i$  – отклонения основных и гидравлических параметров от номинальных значений,  $p$  – число параметров, изменение влияния которых учитывается в характеристиках (1).

При эксплуатации энергоблоков АЭС расход свежего пара может отклоняться от номинальных значений в силу различных причин. Важное место среди различных факторов, определяющих уменьшение выработки электроэнергии и на зарубежных, и на отечественных АЭС, занимают повреждения парогенераторов. Поэтому математическая модель эксплуатационных характеристик паротурбинных энергоблоков АЭС должна быть построена с учетом изменяющихся во время эксплуатации параметров этих агрегатов. Из ряда эксплуатационных характеристик парогенераторов ПГВ-1000 определение и исследование зависимостей паропроизводительности (расхода пара) этих агрегатов от изменения в процессе эксплуатации тепловых и гидравлических параметров теплоносителя и рабочего вещества представляют наибольший интерес, так как оказывают основное влияние на эффективность работы энергоблоков [4].

На основании результатов серии численных экспериментов, проведенных на разработанном автоматизированном комплексе программ, имитирующем функциональное состояние энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 [2], и их обработке с помощью методов регрессионного и дисперсионного анализа, были получены функциональные зависимости абсолютного значения электрической мощности  $N$  энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 при изменении параметров его основного и вспомогательного оборудования:

$$\begin{aligned} N = N_0 - [N_0 - f_1(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})] \times \\ \psi(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) - \\ - f_2(\overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) \times \\ \psi(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) - \\ - [N_0 - \psi^T(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})] \times \\ f_3(\overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $N_0$  – электрическая мощность, вырабатываемая турбоустановкой при  $1,0 \bar{D}$ ;  $\overline{\Delta X} = (\Delta X_1, \dots, \Delta X_p)$  – вектор отклонений тепловых и гидравлических параметров проточной части турбины, системы сепарации и промежуточного перегрева пара, системы регенеративного подогрева питательной воды от номинальных значений;  $\overline{\Delta X}_K$  – вектор отклонений параметров конденсатора от номинальных значений;  $\overline{\Delta X}_T$  – вектор от-

клонений параметров системы теплофикации;  $\overline{\Delta X}_{PGi} = (\Delta t'_1, \Delta t_{PV}, \Delta p_2, \Delta p_1)$  – вектор отклонений параметров  $i$ -го парогенератора ( $i = 1, \dots, 4$ ); функция  $f_1(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$  определяет зависимость влияния на мощность энергоблока отклонений КПД отсеков проточной части турбины, параметров сепаратора-пароперегревателя, гидравлических и тепловых параметров подогревателей систем регенерации высокого и низкого давлений, параметров теплоносителя и рабочего вещества каждого парогенератора; функция  $f_2(\overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$  определяет зависимость отклонения мощности в зависимости от условий работы конденсационной установки с учетом изменяющихся параметров парогенераторов; функция  $f_3(\overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$  учитывает влияния на мощность энергоблока отклонений параметров системы теплофикации на различных режимах, при условии что последние определяются отклонением параметров парогенераторов;  $\psi(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$  – мощность энергоблока на номинальном или частичном режимах, определяемая только отклонением параметров парогенераторов;  $\psi^T(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$  – то же при подключенной системе теплофикации.

В обобщенной форме (2) можно представить в виде функциональной зависимости следующего вида:

$$N = N_0 - \Delta N(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}). \quad (3)$$

Удельный расход теплоты  $q$  при изменении параметров основного и вспомогательного оборудования энергоблока АЭС представляет собой следующее функциональное соотношение:

$$\begin{aligned} q = q_0 - [q_0 - \varphi_1(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) \times \\ \upsilon(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})] - \\ - \varphi_2(\overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) \times \\ \upsilon(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) - \\ - [q_0 - \upsilon^T(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) \times \\ \varphi_3(\overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})], \end{aligned} \quad (4)$$

где функция  $q_0$  – удельный расход теплоты при  $1,0 \bar{D}$ ;  $\varphi_1(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$  определяет зависимость влияния на удельный расход теплоты энергоблока отклонений КПД отсеков проточной части турбины, параметров сепаратора-пароперегревателя, гидравлических и тепловых параметров подогревателей систем регенерации высокого и низкого давлений, параметров теплоносителя и рабочего вещества каждого парогенератора; функция  $\varphi_2(\overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$  определяет зависимость отклонения удельного расхода теплоты энергоблока от условий работы конденсационной установки с учетом изменяющихся параметров парогенераторов;  $\varphi_3(\overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$  учитывает влияния на  $q$  отклонений параметров теплофикационной установки на раз-

личных режимах, при условии что последние определяются отклонением параметров парогенераторов;  $\upsilon(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$  – удельный расход теплоты энергоблока на номинальном или частичном режимах, определяемый только отклонением параметров парогенераторов;  $\psi^T(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$  – то же при подключенной системе теплофикации.

В обобщенной форме (4) можно представить в виде функциональной зависимости следующего вида:

$$q = q_0 - \Delta q(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}). \quad (5)$$

Полученные зависимости (2)–(5) позволяют оценивать влияния различных факторов: изменений тепловых и гидравлических параметров теплоносителей и рабочих веществ основного и вспомогательного оборудования, энергосистемных параметров на работу энергоблока АЭС с ВВЭР-1000, климатических условий (температуры охлаждающей воды, температуры окружающего воздуха), оптимизировать режимы работы энергоблока, использовать полученные функциональные соотношения для решения задачи оптимального распределения нагрузок между энергоблоками электростанций.

Задача оптимального распределения электрических нагрузок между параллельно работающими энергоблоками АЭС представляет собой достаточно сложную задачу управления, обусловленную неопределенностью исходной информации, многовариантностью, сложностью учета фактического состояния оборудования энергоблоков и других факторов, и в общем виде может быть сформулирована следующим образом:

$$Q_{CT} = \sum_{j=1}^n Q_j(N_j) \xrightarrow{u} Q_{CT}^{\min}, \quad (6)$$

где  $Q_{CT}$  – суммарный расход теплоты на всех энергоблоках АЭС,  $Q_j(N_j)$  – расход теплоты  $j$ -го энергоблока ( $j=1, \dots, n$ ),  $Q_{CT}^{\min}$  – минимум общего расхода теплоты,  $u = \{u_j\} \in U$  – множество допустимых управляющих воздействий в виде задания по электрической мощности отдельным энергоблокам.

Задача (6) является классической задачей нахождения условного экстремума функции нескольких переменных.

Эксплуатационные характеристики энергоблока АЭС (2)–(5) позволяют представить расход теплоты  $Q_j$  по отдельному энергоблоку в виде функции отклонений параметров энергетического и тепломеханического оборудования от номинальных значений и аппроксимировать ее квадратичным полиномом:

$$Q_j(N_j) = \alpha_j + \beta_j N_j + \gamma_j N_j^2, \quad (7)$$

где  $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$  – постоянные коэффициенты, определяемые для каждого режима работы  $j$ -го энергоблока методом наименьших квадратов,  $N_j$  – электрическая нагрузка  $j$ -го энергоблока.

Задача оптимального распределения заданной суммарной электрической нагрузки между  $n$  энергоблоками формулируется следующим образом:

$$\text{функция цели} \quad Q_{CT}(N_{CT}) = \sum_{j=1}^n Q_j(N_j) \rightarrow \min, \quad (8)$$

где  $Q_{CT}(N_{CT})$  – общий расход теплоты на всех энергоблоках АЭС, зависящий от суммарной нагрузки  $N_{CT}$ ,  $Q_j(N_j)$  – расход теплоты  $j$ -го энергоблока, зависящий от нагрузки  $N_j$  этого энергоблока.

Ограничения по допустимым электрическим нагрузкам энергоблоков и суммарной электрической нагрузке на всех энергоблоках АЭС:

$$\left. \begin{aligned} N_j^{\min} \leq N_j \leq N_j^{\max} \\ N_{CT} = \sum_{j=1}^n N_j \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Задача (8)–(9) является задачей оптимального управления, в которой под оптимальным процессом управления будем понимать распределение нагрузок (то есть получение набора  $N_1^*, \dots, N_n^*$ ), обеспечивающее заданную величину суммарной нагрузки  $N_{CT}$  и минимальный общий расход теплоты  $Q_{CT}$ . Значения  $N_1^*, \dots, N_n^*$  выбираются среди всевозможных комбинаций  $N_j$ , для которых выполняется (9).

С учетом (7) поставленная задача (8)–(9) является, вообще говоря, задачей невыпуклого программирования с линейными ограничениями типа равенств и неравенств.

Достаточно эффективным алгоритмом решения задачи (8)–(9) является метод проекционного градиента (метод проекции градиента Розена) [5], который был включен в состав логико-числового оператора  $\text{var}(\chi, \Sigma)$ , входящего в разработанный автоматизированный программный комплекс, имитирующий функциональное состояние энергоблока АЭС [2]. Известно, что направлением наискорейшего спуска является антиградиент целевой функции. Однако при наличии ограничений движение вдоль такого направления может привести в точки, не принадлежащие множеству возможных решений. В методе проекции градиента, предложенном Розеном, антиградиент проектируется на границу области. Недостатком данного метода является необходимость проведения операции проектирования, которая в общем случае эквивалентна некоторой задаче поиска экстремума. Если же множество ограничений является параллелепипедом, задача проектирования решается просто и в явном виде.

Преобразуем задачу (8)–(9) к следующему виду:

$$\begin{aligned} Q(N) = \sum_{j=1}^n Q_j(N_j) \rightarrow \min; \\ A \cdot N \leq B, \quad H \cdot N = h, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $A$  – матрица размерности  $2n \times n$ :  $A = \begin{pmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix}$ ,

$$N - n\text{-мерный вектор: } N = \begin{pmatrix} N_1 \\ \dots \\ N_n \end{pmatrix}, B - 2n\text{-мерный вектор: } B = \begin{pmatrix} -N_1^{\min} \\ N_1^{\max} \\ \dots \\ -N_n^{\min} \\ N_n^{\max} \end{pmatrix},$$

$H - n\text{-мерный вектор: } H = (1 \ 1 \ \dots \ 1), h = N_{CT}.$

Предположим, что точка  $N^* = (N_1^*, \dots, N_n^*)$  является допустимой, то есть принадлежит множеству возможных решений задачи (10). Пусть в этой точке выполняется условие:

$$A_1 \cdot N^* = B_1, A_2 \cdot N^* < B_2, \tag{11}$$

где  $A_1 -$  матрица размерности  $q \times n$ , соответствующая ограничениям, насыщенным в точке  $N^*$ ;  $A_2 -$  матрица размерности  $(n - q) \times n$ ;

$$A^T = (A_1^T; A_2^T), B^T = (B_1^T; B_2^T). \tag{12}$$

Метод проекции градиента основан на двух утверждениях:

1) если  $P = I - M^T \cdot (M \cdot M^T)^{-1} \cdot M -$  матрица проектирования, где  $I -$  единичная матрица,  $M^T = (A_1^T; H^T) -$  матрица ранга  $q$ , и  $P \cdot \nabla Q(N^*) \neq 0$ , где  $\nabla Q(N^*) = \left( \frac{\partial Q}{\partial N_1}, \dots, \frac{\partial Q}{\partial N_n} \right) \Big|_{N=N^*} -$  градиент функции  $Q(N)$  в точке  $N^*$ , то вектор

$S = -P \cdot \nabla Q(N^*) -$  возможное направление спуска функции  $Q(N)$  в точке  $N^*$ .

2) если  $P = I - M^T \cdot (M \cdot M^T)^{-1} \cdot M -$  матрица проектирования, где  $I -$  единичная матрица,  $M^T = (A_1^T; H^T) -$  матрица ранга  $q$ , и  $P \cdot \nabla Q(N^*) = 0$ , тогда в случае  $U \geq 0$  в матрице  $W^T = (U^T, V^T) = -(M \cdot M^T)^{-1} \cdot M \cdot \nabla Q(N^*)$  и выпуклости функции цели точка  $N^*$  является точкой Куна-Таккера (оптимальное решение). Если же  $\exists j : u_j < 0$ , то в качестве вектора возможного направления спуска принимается вектор  $S = -P \cdot \nabla Q(N^*)$ , где  $P = I - M^T \cdot (M \cdot M^T)^{-1} \cdot M$ ,  $M^T = (\tilde{A}_1^T; H^T)$ , а матрица  $\tilde{A}_1$  получена из матрицы  $A_1$  вычеркиванием строки, соответствующей  $u_j$ .

Исходя из этого, алгоритм решения задачи оптимального распределения нагрузок между энергоблоками АЭС (8)–(10) методом проекции градиента предполагает выполнение следующих этапов (рис. 1):

1. Предварительный этап – итерация  $k = 0 -$  выбор допустимой точки  $N^1$  и представление матриц  $A^T$  и  $B^T$  в виде (12).

2. Основной этап – текущая  $k$ -я итерация в точке  $N^k$ .

Первый шаг. Пусть  $M^T = (A_1^T; H^T)$ . Если  $M = \emptyset$ , то положить  $P = I$ . В противном случае –  $P = I - M^T \cdot (M \cdot M^T)^{-1} \cdot M$ . Задать  $S_k = -P \cdot \nabla Q(N^k)$ . Если  $S_k \neq 0$ , то перейти ко второму шагу. Если  $S_k = 0$  и  $M = \emptyset$ , то остановиться. Если же  $M \neq \emptyset$ , то положить  $W = -(M \cdot M^T)^{-1} \cdot M \cdot \nabla Q(N^k)$ . Пусть  $W^T = (U^T, V^T)$ . Если  $U \geq 0$ , то остановиться – точка  $N^k$  является оптимальным решением. Иначе, выбрать отрицательную компоненту этого вектора  $u_j$  и переопределить матрицу  $A_1$ , вычеркивая строку, соответствующую  $u_j$ , и повторить первый шаг.

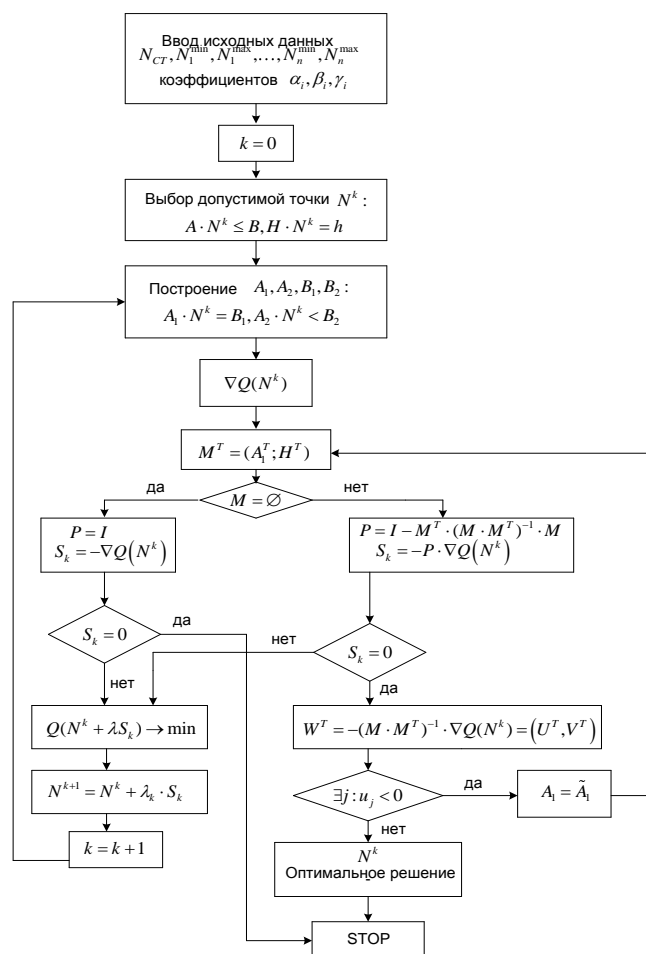


Рисунок 1 – Алгоритм решения задачи оптимального распределения нагрузок между энергоблоками АЭС методом проекции градиента

Второй шаг. Определить шаг  $\lambda_k$  как оптимальное решение задачи линейного поиска:

$$Q(N^k + \lambda S_k) \rightarrow \min, \tag{13}$$

$$\text{при условии } \lambda \in [0; \lambda_{\max}], \text{ где } \lambda_{\max} = \begin{cases} \min_{\tilde{S}_i > 0} \left\{ \frac{\tilde{b}_i}{\tilde{S}_i} \right\}, \\ \infty, \text{ если } \tilde{S}_i \leq 0 (\forall i) \end{cases}, \quad (14)$$

$\tilde{b}_i$  – элемент матрицы  $B = B_2 - A_2 \cdot N^k$ ,  $\tilde{S}_i$  – элемент матрицы  $S = A_2 \cdot S_k$ .

Тогда точка  $N^{k+1}$  определяется как

$$N^{k+1} = N^k + \lambda_k \cdot S_k. \quad (15)$$

Далее следует положить  $k \leftarrow k + 1$  и перейти к первому шагу.

**Выводы.** Разработанная методика применения оптимизационного метода проекции градиента для решения задачи автоматизированного оптимального распределения электрических нагрузок между энергоблоками АЭС основана на возможности применять данный метод оптимизации для любого вида эксплуатационных характеристик энергоблоков и учитывать любые ограничения, налагаемые на оптимизируемые параметры, что позволяет автоматизировать процессы управления режимами работы энергоблоков атомных электростанций.

#### Литература

1. Дуэль М.А. Концептуальные основы построения интегрированной АСУ электростанцией // Энергетика і електрифікація. – 2007. – № 8. – С. 16–24.
2. Ефимов А.В., Потанина Т.В. Разработка имитационной модели энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 для решения задач анализа, управления и диагностики // Энергетика: економіка, технології, екологія. – К.: НТУУ «КПІ». – 2006. – № 2. – С. 84–91.
3. Палагин А.А., Ефимов А.В., Меньшикова Е.Д. Моделирование функционального состояния и диагностика турбоустановок. – К.: Наук. думка, 1991. – 201 с.
4. Потанина Т.В., Ефимов А.В. Разработка модели влияния изменения параметров теплоносителя и рабочего вещества на паропроизводительность парогенераторов ПГВ-1000 энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – № 9. – С. 60–65.
5. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1988. – 522 с.

УДК 621.311.25

Єфімов О.В., Потаніна Т.В., Бєлов І.С., Гаркуша Т.А.

### **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДА ПРОЕКЦІЇ ГРАДІЄНТА ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕНЬ МІЖ ЕНЕРГОБЛОКАМИ АЕС**

В статті запропоновано методику застосування оптимізаційного методу проекції градієнта для розв'язання задачі автоматизованого оптимального розподілу електричних навантажень між енергоблоками АЕС. Методика заснована на можливості застосовувати даний метод оптимізації для будь-якого виду експлуатаційних характеристик енергоблоків і враховувати будь-які обмеження, що накладаються на параметри.