

МЕТОД АДАПТИВНОГО МНОГОЗОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ В ПОРЯДКОВЫХ ШКАЛАХ

Е.В. Вставская, Л.С. Казаринов

Рассматривается метод адаптивного многозонального управления энерготехнологическими объектами в порядковых шкалах. Метод основан на введении порядковых оценок качества распределенных выходных характеристик многозонального энерготехнологического объекта. Оценки определяются на основе использования дискриминантных функций качества, которые выделяют на множестве распределенных характеристик объекта области их допустимых значений. Предложен алгоритм идентификации дискриминантных функций объекта на основе данных эксплуатации. Для устойчивого решения задачи идентификации использована регуляризация в виде минимизации нормы уклонения текущих оценок структурных параметров дискриминантных функций от их номинальных значений. Нахождение оптимальных значений режимных параметров энерготехнологического объекта осуществляется на основе двух этапов принятия решений. На первом этапе решается задача построения области эффективных значений режимных параметров в порядковых шкалах. Данная задача сводится к нахождению максимально совместных подсистем взвешенных неравенств, выделяющих область эффективных значений режимных параметров объекта. На втором этапе в построенной области определяются оптимальные значения параметров по критерию минимума потребления энергии. В целом на основе указанных задач решается нестационарная задача оперативного принятия решений по управлению режимами энерготехнологического объекта при изменении его состояния в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: адаптивное многозональное управление, порядковые шкалы, дискриминантная функция, энерготехнологический объект, оценка качества.

Введение

Перспективным направлением развития энерготехнологических комплексов в настоящее время является их построение в виде адаптивных реконфигурируемых структур, позволяющих решать задачи энергосбережения и надежности при нестационарных режимах работы. Данные направления определены как перспективные в Федеральном законе от 23 ноября 2009 года №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные Законодательные акты Российской Федерации», п. 24 «Перечня научных исследований и опытно-конструкторских разработок», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.12.2008 № 988 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 6 февраля 2012 г. № 96).

Указанное направление развития представляет собой серьезную техническую проблему не только с энергетической точки зрения, но и с точки зрения построения адаптивных систем управления указанными энерготехнологическими объектами. В рамках решения поставленной проблемы в данной статье рассматривается метод адаптивного многозонального управления энерготехнологическими объектами в порядковых шкалах.

Принципиальные идеи, связанные с методом ограничений, развивались академиком В.М. Глушковым [1] в виде концепции «системной оптимизации». На этой основе метод ограничений получил дальнейшее развитие в работах В.С. Михалева, В.Л. Волковича [2] применительно к задачам исследования и проектирования сложных систем управления. Математический аппарат нестационарных процессов математического программирования, ориентированный на решение задач противоречивой постановке, получил развитие в работах И.И. Еремина и В.Д. Мазурова [3–5]. Применительно к задаче распознавания образов здесь следует отметить работы К. Эйблау и

Д. Кэйлора [6], Л.А. Расстригина, Р.Х. Эренштейна [7]. Для адаптивных систем управления метод ограничений на основе решения рекуррентных целевых неравенств развивался в работах В.А. Якубовича [8, 9]. Алгоритмы для решения задач проектирования сложных систем на основе решения систем взвешенных неравенств рассмотрены в работах Л.С. Казаринова, А.Б. Бордецкого, Н.В. Омельченко, Е.В. Вставской [10–15].

1. Постановка задачи адаптивного многозонального управления энерготехнологическими объектами

Распределенный энерготехнологический объект представляет собой многосвязный объект с распределенными параметрами. Особенностью управления таким объектом является то, что каждая выходная величина характеризуется не конкретным значением, а некоторой зоной распределения значений, представленной в виде зональной характеристики. Управление распределенным энерготехнологическим объектом осуществляется с помощью изменения вектора входных управляющих воздействий. Причем изменение даже одного управляющего воздействия из распределенного набора приводит к изменению всех выходных зональных характеристик. Поэтому необходимо говорить о многозональном управлении, формирующем вектор входных управляющих воздействий на основании анализа выходных зональных характеристик и внешних условий.

В общем случае распределенный энерготехнологический объект можно представить структурной схемой, представленной на рис. 1.

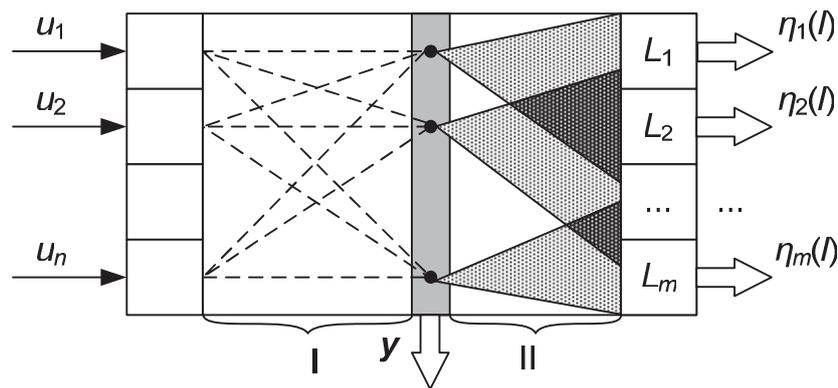


Рис. 1. Структура распределенного энерготехнологического объекта:
 $u = (u_1; u_2; \dots; u_n)^T$ – вектор силовых управляющих воздействий; y – вектор измеряемых режимных параметров; l – пространственная характеристика зон; L_i – метрическая область i -й зоны; $\eta(l) = (\eta_1(l); \eta_2(l); \dots; \eta_n(l))^T$ – вектор режимных параметров

В общем случае распределенный энерготехнологический объект можно представить в виде двух областей. Область I определяет взаимосвязь между силовыми управляющими воздействиями и измеряемыми режимными параметрами. Данная область характеризуется связями с сосредоточенными параметрами. Область II характеризуется связями с распределенными параметрами. Она определяет воздействие режимных параметров на формирование распределенных зональных характеристик.

Система многозонального управления распределенным энерготехнологическим объектом содержит два контура регулирования (рис. 2).

Внутренний контур автоматического регулирования обеспечивает точное слежение режимных параметров объекта y за оптимальным значением y_0 . Внешний контур оперативного регулирования на основе оперативного принятия решений по оптимизации режимных параметров объекта задает оптимальные значения режимных параметров y_0 на основе анализа показателей качества технологического процесса на объекте в порядковых шкалах.

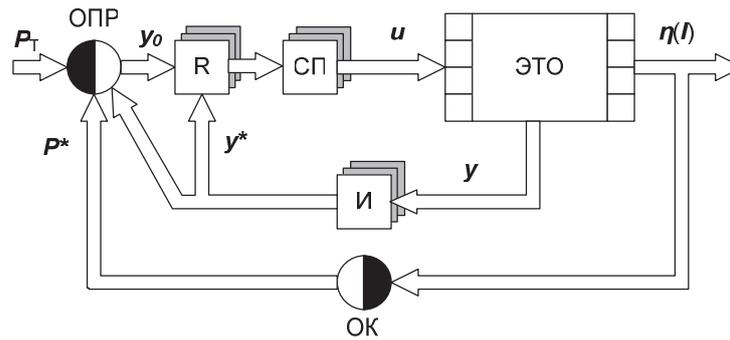


Рис. 2. Система многозонального управления распределенным энерготехнологическим объектом: ЭТО – энерготехнологический объект; СП – силовые преобразователи; И – измерители; R – локальные регуляторы; ОК – оперативный контроль; ОПР – оперативное принятие решений

2. Метод принятия эффективных решений в порядковых шкалах

Для оценки качества многозонального энерготехнологического объекта вводятся качественные показатели, принимающие значения на множестве порядковых оценок, например

$$p_i \in H, H = \{\text{отлично; хорошо; допустимо; недопустимо}\}, i \in I_Z, \quad (1)$$

где I_Z – индексное множество зон.

Метод принятия эффективных решений в порядковых шкалах основан на введении зональных дискриминантных функций качества в форме

$$q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}) \geq 0; i \in I_Z, \quad (2)$$

где \mathbf{a}_i – вектор структурных параметров дискриминантной функции; \mathbf{y} – вектор режимных параметров объекта.

Порядковые оценки связаны с дискриминантными функциями неравенствами. Например, для порядковых оценок (1) оценочные неравенства имеют вид:

$$\begin{aligned} q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}) \geq q_{\text{отл}} &\Rightarrow p_i = \langle \text{отл} \rangle; \\ q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}) \geq q_{\text{хор}} &\Rightarrow p_i = \langle \text{хор} \rangle; \\ q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}) \geq q_{\text{доп}} &\Rightarrow p_i = \langle \text{доп} \rangle; \\ q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}) < q_{\text{доп}} &\Rightarrow p_i = \langle \text{нд} \rangle. \end{aligned} \quad (3)$$

В этом случае дискриминантные функции могут представлять собой поверхности 2-го порядка, определяемые базовыми граничными значениями $q_{\text{отл}}$, $q_{\text{хор}}$, $q_{\text{доп}}$. Граничные значения могут быть назначены априори, например $q_{\text{отл}} = 0,75$, $q_{\text{хор}} = 0,5$, $q_{\text{доп}} = 0,25$.

В общем случае порядковая градация качества режимных параметров распределенного энерготехнологического объекта может быть иной, однако общий подход остается неизменным.

3. Идентификация дискриминантных функций

Задача идентификации дискриминантных функций формулируется на основе данных эксплуатации, представленных в виде протоколов

$$(\mathbf{y}_s, \{p_{is}\}), s \in S, \quad (4)$$

где S – индексное множество протоколов с данными эксплуатации.

В соответствии с данными эксплуатации составляется система неравенств:

$$\begin{cases} q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s) \geq q_{\text{отл}}, & s \in S_{\text{отл}}; \\ q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s) \geq q_{\text{хор}}, & s \in S_{\text{хор}}; \\ q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s) \geq q_{\text{доп}}, & s \in S_{\text{доп}}; \\ q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s) < q_{\text{доп}}, & s \in S_{\text{нд}}; \quad i \in I_Z. \end{cases} \quad (5)$$

Для решения системы неравенств (5) определяем квадратичную невязку решения:

$$Q_i = \sum_{s \in S_{отл}} (q_{отл} - q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s))^+{}^2 + \sum_{s \in S_{хор}} (q_{хор} - q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s))^+{}^2 + \\ + \sum_{s \in S_{доп}} (q_{доп} - q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s))^+{}^2 + \sum_{s \in S_{нд}} (q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s) - q_{доп})^+{}^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

где индекс «+» означает, что рассматриваются только положительные компоненты, отрицательные компоненты обнуляются.

При совместном решении системы неравенств (5) по критерию (6) возникает вопрос о сходимости решения. Поскольку данные эксплуатации могут быть неполными, решение системы неравенств (5) может быть неоднозначным. В этом случае отсутствует сходимость рекуррентных алгоритмов минимизации невязки (6). С целью обеспечения сходимости рекуррентных алгоритмов минимизации невязки (6) вводится дополнительное условие

$$\|\mathbf{a}_i - \mathbf{a}_{iH}\|^2 \rightarrow \min, \quad (7)$$

где \mathbf{a}_{iH} – номинальное значение вектора структурных параметров i -й дискриминантной функции. Номинальное значение вектора структурных параметров \mathbf{a}_{iH} определяется на основе специальных исследований номинальных режимов работы энерготехнологического объекта при наладке автоматизированной системы управления. Введение дополнительного условия (7) осуществляет регуляризацию постановки задачи минимизации квадратичной невязки (6) решения системы неравенств (5).

С учетом составляющей регуляризации (7) целевая функция при решении задачи идентификации будет иметь вид

$$Q_i = \sum_{s \in S_{отл}} (q_{отл} - q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s))^+{}^2 + \sum_{s \in S_{хор}} (q_{хор} - q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s))^+{}^2 + \\ + \sum_{s \in S_{доп}} (q_{доп} - q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s))^+{}^2 + \sum_{s \in S_{нд}} (q_i(\mathbf{a}_i; \mathbf{y}_s) - q_{доп})^+{}^2 + \lambda \|\mathbf{a}_i - \mathbf{a}_{iH}\|^2 \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для минимизации целевой функции (8) можно использовать рекуррентное соотношение градиентного метода:

$$\mathbf{a}_{i,k} = \mathbf{a}_{i,k-1} + \gamma \left(\sum_{s \in S_{отл}} (q_{отл} - q_i(\mathbf{a}_{i,k-1}; \mathbf{y}_s))^+ \text{grad} q_i(\mathbf{a}_{i,k-1}; \mathbf{y}_s) + \right. \\ + \sum_{s \in S_{хор}} (q_{хор} - q_i(\mathbf{a}_{i,k-1}; \mathbf{y}_s))^+ \text{grad} q_i(\mathbf{a}_{i,k-1}; \mathbf{y}_s) + \\ + \sum_{s \in S_{доп}} (q_{доп} - q_i(\mathbf{a}_{i,k-1}; \mathbf{y}_s))^+ \text{grad} q_i(\mathbf{a}_{i,k-1}; \mathbf{y}_s) - \\ \left. - \sum_{s \in S_{нд}} (q_i(\mathbf{a}_{i,k-1}; \mathbf{y}_s) - q_{доп})^+ \text{grad} q_i(\mathbf{a}_{i,k-1}; \mathbf{y}_s) \right) + \lambda (\mathbf{a}_{i,k-1} - \mathbf{a}_{iH}), \quad (9)$$

где γ, λ – коэффициенты релаксации, $\gamma \geq 0, \lambda \geq 0, \gamma + \lambda = 1$.

Коэффициенты релаксации выбираются из условия сходимости рекуррентной процедуры (9). При указанных условиях рекуррентная процедура (9) сходится к искомому решению задачи идентификации.

4. Оптимизация значений режимных параметров нестационарного энерготехнологического объекта

Нахождение оптимальных значений режимных параметров нестационарного энерготехнологического объекта осуществляется на основе последовательного решения двух задач. На первом этапе решается задача оптимального построения области допустимых значений режимных параметров в порядковых шкалах. Данная задача сводится к нахождению максимально совместных

подсистем взвешенных неравенств, определяемых дискриминантными функциями. На втором этапе в построенной области допустимых значений режимных параметров определяется оптимальное значение параметров по критерию минимума потребления энергии.

Формирование области допустимых решений осуществляется на основе метода последовательных уступок. При этом каждому неравенству ставится в соответствие весовой коэффициент α_i :

$$q_i(\mathbf{y}) \geq q_{\text{отл}} : \alpha_i, \quad i \in I_Z. \quad (10)$$

где весовой коэффициент α_i определяет важность выполнения i -го неравенства.

Решение системы неравенств (10), построенной для всех рассматриваемых зон, осуществляется на основе взвешенного критерия совместности:

$$C = \sum_{i \in I_Z} \alpha_i \mu_i \rightarrow \max, \quad (11)$$

где $\mu_i = \{0; 1\}$ – характеристическая функция (при выполнении i -го неравенства $\mu_i = 1$, в противном случае $\mu_i = 0$).

Задача (10)–(11) является многоэкстремальной задачей дискретно-непрерывного программирования. Алгоритм решения данной задачи состоит из двух частей. Дискретная часть алгоритма осуществляет ускоренный перебор максимально совместных подсистем системы неравенств (10). Непрерывная часть алгоритма реализует процесс определения совместного решения подсистем неравенств.

Для определения совместного решения подсистем неравенств (10) формулируется квадратичная невязка решения:

$$Q_H = \sum_{i \in I_Z} \alpha_i \mu_i (q_{\text{отл}} - q_i(\mathbf{y}))^2 \rightarrow \min. \quad (12)$$

Здесь значения характеристических функций μ_i определяются дискретной частью алгоритма.

Решение задачи (12) осуществляется, например, градиентным методом на основе рекуррентного соотношения

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{y}_{k-1} + \gamma \left(\sum_{i \in I_Z} (\alpha_i \mu_i (q_{\text{отл}} - q_i(\mathbf{y})))^+ \text{grad } q_i(\mathbf{y}) \right). \quad (13)$$

В результате решения не все неравенства системы (10) будут выполнены. В этом случае для невыполненных неравенств значение характеристических функций $\mu_i = 0$, $i \in I_H$, где I_H – индексное множество невыполненных неравенств. Для получения максимально совместной подсистемы неравенств к выполненным неравенствам последовательно подключаются невыполненные неравенства, и в каждом случае снова решается задача (12)–(13). В результате будет получена максимально совместная подсистема неравенств, которая характеризуется множеством выполненных неравенств $\{\mu_i : \mu_i = 1; i \in I_B\}$ и множеством невыполненных неравенств $\{\mu_i : \mu_i = 0; i \in I_H\}$.

Дискретная часть алгоритма осуществляет перебор совместных подсистем системы неравенств (10). С этой целью составляется таблица **Tab** всевозможных значений вектора характеристических функций $\boldsymbol{\mu} = (\mu_1, \mu_1, \dots, \mu_n)^T$. Каждому значению $\boldsymbol{\mu}_r$ вектора $\boldsymbol{\mu}$ соответствует r -я подсистема неравенств (10) и конкретное значение C_r целевой функции (11). Ставится задача определить оптимальное значение $\boldsymbol{\mu}_{\text{opt}}$ вектора $\boldsymbol{\mu}$ по критерию максимума целевой функции (11). Решение определяется на основе метода фильтрующих ограничений. Метод состоит в следующем.

1. Выбирается исходное значение вектора $\boldsymbol{\mu}$ из условия $\forall \mu_i = 1$. При данном условии решается задача нахождения максимально совместной подсистемы с использованием соотношений (12)–(13). В результате определяется конкретное значение $\boldsymbol{\mu}_1$ вектора $\boldsymbol{\mu}$ и достигнутое на шаге 1 значение C_1 критерия (11). Из таблицы **Tab** исключаются все значения вектора $\boldsymbol{\mu}$, для которых ожидаемые значения критерия (11) $C_{\text{ож},r} < C_1$.

2. Для оставшихся перспективных вариантов поиска решений таблицы **Tab** выбирается наиболее перспективное решение, соответствующее конкретному значению $\boldsymbol{\mu}_2$ вектора $\boldsymbol{\mu}$ и ожидаемому значению критерия $C_{\text{ож},2}$. При значении $\boldsymbol{\mu}_2$ вектора $\boldsymbol{\mu}$ снова решается задача определения

максимально совместной подсистемы неравенств. В результате решения определяется реальное значение критерия C_2 . Из таблицы **Tab** исключаются все значения вектора μ , для которых ожидаемые значения критерия (11) $C_{ож,r} < C_2$.

3. Описанный выше итеративный процесс поиска максимально совместных подсистем неравенств заканчивается на оптимальном решении, для которого значение критерия (11) принимает максимальное значение C_{max} .

В результате полученного решения часть неравенств системы (10) не будут выполнены. Это свидетельствует о том, что невозможно выбрать значения вектора режимных параметров из условия обеспечения во всех зонах объекта максимального значения качества, определяемого порядковой оценкой «отлично». В этом случае для невыполненных неравенств осуществляется ослабление требований с учетом их веса. Например, выделяется подсистема неравенств, для которых устанавливается требование качества, определяемое порядковой оценкой «хорошо». В этом случае система неравенств (10) преобразуется к виду

$$\begin{cases} q_i(\mathbf{y}) \geq q_{отл} : \alpha_i, & i \in I_Z^{отл}; \\ q_i(\mathbf{y}) \geq q_{хор} : \alpha_i, & i \in I_Z^{хор}. \end{cases} \quad (14)$$

Далее решается задача определения оптимальной максимально совместной подсистемы по критерию (11). В результате решения задачи в общем случае снова не все неравенства выполняются. Для невыполненных неравенств осуществляется уступка по требованию качества зон с порядковой оценки «хорошо» на порядковую оценку «допустимо». Система неравенств (10) преобразуется к виду

$$\begin{cases} q_i(\mathbf{y}) \geq q_{отл} : \alpha_i, & i \in I_Z^{отл}; \\ q_i(\mathbf{y}) \geq q_{хор} : \alpha_i, & i \in I_Z^{хор}; \\ q_i(\mathbf{y}) \geq q_{доп} : \alpha_i, & i \in I_Z^{доп}, \end{cases} \quad (15)$$

и снова решается задача определения оптимальной максимально совместной подсистемы неравенств.

В итоге будет получено значение вектора режимных параметров, которое обеспечивает для подмножества наиболее важных зон энерготехнологического объекта уставку с порядковой оценкой «отлично». Для менее важного подмножества зон обеспечивается порядковая оценка качества «хорошо», для наименее критичного подмножества зон – порядковая оценка качества «допустимо».

В целом решаемая задача формирует эффективную область допустимых значений режимных параметров энерготехнологического объекта.

5. Оптимизация режимных параметров многозонального технологического объекта

Постановка задачи оптимизации режимных параметров многозонального энерготехнологического объекта основана на использовании критерия минимума энергетических затрат на управление. Данный критерий можно сформулировать, например, в следующем виде:

$$C_E = \|\mathbf{u}\|^2, \quad (16)$$

где \mathbf{u} – вектор силовых управляющих воздействий.

Искомое решение – вектор оптимальных значений \mathbf{y}_{opt} режимных параметров \mathbf{y} . Для решения данной задачи необходимо определить зависимость вектора силовых управляющих воздействий \mathbf{u} от уставок \mathbf{y}_0 автоматической системы регулирования значений режимных параметров \mathbf{y} (см. рис. 2). Данная зависимость является статической, поскольку динамика процесса регулирования определяется при проектировании указанной следящей системы. Дополнительные энергетические потери, возникающие вследствие динамики процесса регулирования, минимизируются повышением точности автоматической системы регулирования, которая обеспечивается известными методами.

$$\mathbf{u} = f(\mathbf{y}). \quad (17)$$

Зависимость (17) может быть получена экспериментально на основе обработки статистики наблюдений за поведением автоматической системы регулирования режимных параметров энерготехнологического объекта.

В результате постановка задачи оптимизации будет иметь следующий вид:

$$\min_{\mathbf{y}} C_E(\mathbf{u}), \mathbf{u} = f(\mathbf{y}); \quad (18)$$

$$\begin{cases} q_i(\mathbf{y}) \geq q_{\text{отл}}, & i \in I_Z^{\text{отл}}; \\ q_i(\mathbf{y}) \geq q_{\text{хор}}, & i \in I_Z^{\text{хор}}; \\ q_i(\mathbf{y}) \geq q_{\text{доп}}, & i \in I_Z^{\text{доп}}. \end{cases} \quad (19)$$

Здесь ограничения (19) представляют собой решение задачи формирования эффективной области допустимых значений режимных параметров.

Задача (18)–(19) является типовой задачей математического программирования и решается известными методами.

Выводы

1. Особенностью функциональных характеристик многозональных энерготехнологических объектов является наличие областей с сосредоточенными параметрами и областей с параметрами, распределенными по зонам. Вследствие сложности определения характеристик областей с параметрами, распределенными по зонам, оперативное управление подобными объектами представляет серьезную проблему. Одним из подходов к решению данной проблемы является применение методов управления, основанных на использовании порядковых оценок качества.

2. Управление многозональными энерготехнологическими объектами с использованием порядковых оценок качества при нестационарных характеристиках объектов базируется на решении двух задач. На первом этапе решается задача формирования эффективной области допустимых значений режимных параметров энерготехнологического объекта. Решение на первом этапе сводится к нахождению максимально совместных подсистем взвешенных неравенств, выделяющих область эффективных значений режимных параметров объекта. На втором этапе в построенной области допустимых значений режимных параметров определяется оптимальное значение параметров по критерию минимума потребления энергии. В целом на основе указанных задач решается нестационарная задача оперативного принятия решений по управлению режимами энерготехнологического объекта при изменениях его состояния в процессе эксплуатации.

3. Предложены алгоритмы решения указанных задач. Алгоритмы основываются на использовании теории нестационарных задач математического программирования.

Литература

1. Глушков, В.М. О диалоговом методе решения оптимизационных задач / В.М. Глушков // *Кибернетика*. – 1975. – № 4. – С. 2–6.
2. Михалевич, В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. – 288 с.
3. Еремин, И.И. О несовместных системах линейных неравенств / И.И. Еремин // *Доклады АН СССР*. – 1961. – Т. 138, № 6. – С. 1280–1283.
4. Мазуров, В.Д. О построении комитетов системы выпуклых неравенств / В.Д. Мазуров // *Кибернетика*. – 1967. – № 2. – С. 56–59.
5. Еремин, И.И. Нестационарные процессы математического программирования / И.И. Еремин, В.Д. Мазуров. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – 288 с.
6. Ablow, С.М. Inconsistent homogeneous linear inequalities / С.М. Ablow, D.J. Kaylor // *Bulletin of American Mathematical Society*. – 1965. – Vol. 71, no. 1. – P. 724.
7. Расстригин, Л.А. Метод коллективного распознавания // Л.А. Расстригин, Р.Х. Эренштейн. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 80 с.
8. Якубович, В.А. Рекуррентные конечно-сходящиеся алгоритмы решения систем неравенств / В.А. Якубович // *Доклады АН СССР*. – 1966. – Т. 166, № 6. – С. 1308–1311.
9. Якубович, В.А. К теории адаптивных систем / В.А. Якубович // *Доклады АН СССР*. – 1968. – Т. 182, № 3. – С. 518–521.

10. Казаринов, Л.С. Алгоритм оптимизации для задач проектирования при противоречивом техническом задании / Л.С. Казаринов, А.Б. Бордецкий // Информационные и управляющие элементы и системы: сб. тр. ЧПИ. – Челябинск: ЧПИ, 1979. – № 231. – С. 27–31.

11. Казаринов, Л.С. Об определении комитета системы взвешенных неравенств / Л.С. Казаринов, А.Б. Бордецкий // Кибернетика. – 1981. – № 5. – С. 44–48.

12. Казаринов, Л.С. Нестационарные процессы синтеза сложных систем / Л.С. Казаринов. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 1985. – 88 с.

13. Казаринов, Л.С. Системные исследования и управление (когнитивный подход): науч.-метод. пособие / Л.С. Казаринов. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ: Изд. Т. Лурье, 2011. – 524 с.

14. Вставская, Е.В. Комитетный метод настройки технологических процессов в порядковых шкалах / Е.В. Вставская, Л.С. Казаринов // Приборостроение: темат. сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 117–120.

15. Вставская, Е.В. Метод адаптивного управления освещением распределенных объектов / Е.В. Вставская, Л.С. Казаринов // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер. «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – Вып. 16, № 23 (282). – С. 70–75.

Вставская Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматики и управления, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); elena_vstavskaya@mail.ru.

Казаринов Лев Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, декан приборостроительного факультета, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); kazarinov@ait.susu.ac.ru.

**Bulletin of the South Ural State University
Series “Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics”
2013, vol. 13, no. 4, pp. 94–102**

AN ADAPTIVE POLYZONAL CONTROL METHOD IN ORDINAL SCALES FOR ENERGOTECHNOLOGICAL OBJECTS

E.V. Vstavskaya, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
elena_vstavskaya@mail.ru,

L.S. Kazarinov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
kazarinov@ait.susu.ac.ru

An adaptive polyzonal control method in ordinal scales for energotechnological objects is considered. The method is based on using ordinal scales for quality estimation of the object output characteristics. Discriminant functions are used for quality grades estimation which determine the corresponding output characteristics domains. A discriminant functions identification algorithm based on object operation data is offered. Robust solution of identification problem is achieved using a regularization method based on minimizing the deviation norm of the estimates of discriminant function parameters from its nominal values. Solving for optimum values of work-process parameters is based on successive solutions of two subproblems. At the first stage a construction problem of efficient work-process parameters values domain in ordinal scales is solved. The problem is brought to determination of maximum consistent inequalities set of discriminant functions. At the second stage optimum values of work-process parameters are determined using minimum energy consumption criterion. As a whole, a non-stationary on-line decision-making problem for energotechnological objects with variable parameters using the above-considered subproblems is solved.

Keywords: adaptive polyzonal control, ordinal scales, discriminant function, energotechnological object, quality estimation.

References

1. Glushkov V.M. About Dialog Method of Optimization Tasks Decision Method [O dialogovom metode resheniya optimizatsionnykh zadach]. *Cybernetics [Kibernetika]*, 1975, no.4, pp. 2–6.
2. Mikhalevich V.S., Volkovich V.L. Computing Methods of Complex Systems Research and Design [Vychislitelnye metody issledovaniya i proektirovaniya slozhnykh sistem]. *Moscow, Science [Nauka]*, 1982. 288 p.
3. Eremin I.I. About Non-joint Systems of Linear Inequalities [O nesovmestnimykh sistemakh lineinykh neravenstv]. *Reports of Science Academy USSR [Doklady Akademii Nauk SSSR]*, 1961, t. 138, no. 6, pp. 1280–1283.
4. Mazurov V.D. About the Creation of Convex Inequalities System Committee [O postroenii komiteta sistemy vypuklykh neravenstv]. *Cybernetics [Kibernetika]*, 1967, no.2, pp. 56–59.
5. Eremin I.I., Mazurov V.D. Non-stationary Processes of Mathematical Programming [Nestatsionarnye protsessy matematicheskogo programmirovaniya]. *Moscow, Science [Nauka]*, 1979. 288 p.
6. Ablow C.M., Kaylor D.J. Inconsistent Homogeneous Linear Inequalities. *Bulletin of American Mathematical Society*, 1965, 71, no.1, p. 724.
7. Rasstrigin L.A., Erenstain R.H. Collective Recognition Method [Metod kolektivnogo raspoznavaniya]. *Moscow, Energoatomizdat*, 1981. 80 p.
8. Yakubovich V.A. Recurrent Final-Meeting Algorithms of the Inequalities Systems Decision [Rekurrentnye konechno-skhodyaschiesya algoritmy resheniya system neravenstv]. *Reports AN USSR [Doklady Akademii Nauk SSSR]*, 1966, t. 166, no. 6, pp. 1308–1311.
9. Yakubovich V.A. For the Adaptive Systems Theory [K teorii adaptivnykh sistem]. *Reports AN USSR [Doklady Akademii Nauk SSSR]*, 1968, t. 182, no.3, pp. 518–521.
10. Kazarinov L.S., Bordetskiy A.B. Optimization Algorithm for Problems of Design at the Inconsistent Specification [Algoritm optimizatsii dlya zadach proektirovaniya pri protivorechivom tekhnicheskome zadanii]. *Information and control elements and systems. CPI transactions [Informatsionnye i upravlyauschie elementy i sistemy, Trudy CHPI]*. Chelyabinsk, 1979, no. 231, pp. 27–31.
11. Kazarinov L.S., Bordetskiy A.B. About Determination of Weighed Inequalities System Committee [Ob opredelenii komiteta sistemy vzveshennykh neravenstv]. *Cybernetics [Kibernetika]*, 1981, no. 5, pp. 44–48.
12. Kazarinov L.S. Nonstationary Processes of Complex Systems Design [Nestatsionarnye protsessy sinteza slozhnykh sistem]. *Irkutsk, ISU [IGU]*, 1985. 88 p.
13. Kazarinov L.S. System Research and Control / Cognitive Approach: scientific and methodical grant [Sistemnye issledovaniya i upravlenie / kognitivnyi podhod/: nauchno-metodicheskoe posobie]. *Chelyabinsk, Publ. center SUSU: Publisher T. Lourie [Izdatelskiy tsentr YUUrGU: izdatel T. Lurie]*, 2011. 524 p.
14. Vstavskaya E.V., Kazarinov L.S. Committee Method of Technological Processes Settings in Ordinal Scales // Thematic collection of scientific works [Komitetnyi metod nastroiiki tekhnologicheskikh protsessov v poryadkovykh shkalakh, Tematicheskii sbornik nauchnykh trudov]. *Chelyabinsk: Publ. center SUSU [Izdatelskiy tsentr YuUrGU]*, 2002, pp. 117–120.
15. Vstavskaya E.V., Kazarinov L.S. A Distributed Objects Adaptive Lighting Control Method [Metod adaptivnogo upravleniya osvescheniem raspredelennykh ob'ektov], *Bulletin of the South Ural State University. Series "Computer Technologies, Automatic Control & Radio electronics"*, 2012, vol. 16, no. 23 (282), pp. 70–75. (in Russian)

Поступила в редакцию 12 сентября 2013 г.