

УДК 514.752.44

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СИТУАЦИОННОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

У. Умбетов, профессор, Ху Вен-Цен, доцент

Южно-Казахстанский Государственный Университет им. М. Ауезова

e-mail: umbetov_2003@mail.ru

Представлены результаты экспериментального исследования предложенного метода декомпозиции для решения сложных многомерных задач управления, основанного на учете ситуаций в момент принятия управляющих решений. Метод предназначен для использования в системах управления технологическими процессами повышенной сложности, в которых использование традиционных методов управления и классических методов декомпозиции затруднено.

The results of experimental research of the suggested method of decomposition to solve complicated multidimensional management tasks are presented. The method is based on consideration of situations at the moment of making management decisions. This method is intended for employment in systems of technological processes management of increased complexity, where the traditional management methods and classical methods of decomposition are difficult for employment.

Ключевые слова: децентрализованное управление, децентрализованные системы управления, иерархические системы управления, декомпозиция задач оптимального управления.

Key words: decentralized control, decentralized control systems, hierarchical control systems, decomposition of optimal control problems.

Оптимальное управление сложными объектами часто основывается на использовании методов декомпозиции, позволяющих свести исходную задачу управления к совокупности более простых задач, решаемых совместно в рамках иерархической процедуры. Предложен метод ситуационной декомпозиции [1], имеющий ряд отличий от классических декомпозиционных методов. В статье рассмотрены результаты экспериментального исследования метода, позволяющие произвести оценку его эффективности.

Основное отличие предлагаемого метода заключается в том, что он не предъявляет особых требований к структуре задачи управления, в связи с чем может иметь более широкую область применения. Задача управления в данном случае формулируется в виде:

$$F(x, u, y) \rightarrow \max_{u \in U} \quad (1)$$

$$U = \{u : g(x, u, y) = 0; h(x, u, y) \geq 0\}$$

Данная задача сводится к совокупности модифицированных задач нижнего уровня, учитывающих ситуацию в момент принятия управляющих решений:

$$F_i(x_i, u_i, y_i) \rightarrow \max_{u_i \in U_i, i \in U} \quad (2)$$

$$U_i = \left\{ u_i : \begin{cases} g_i(x_i, u_i, y_i) = 0 \\ h_i(x_i, u_i, y_i) \geq 0 \end{cases} \right\}$$

$$\bigcup U_i = U$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

и задаче идентификации ситуаций, в качестве задачи координации верхнего уровня, вида:

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & R \\ (x, u, y) : & \rightarrow i, \overline{D_i} \end{matrix} \quad (3)$$

где $\overline{D_i}$ – множество переменных задачи управления (1), учитываемых в i -ой ситуации, $\overline{D_i} \subset D = X \cup U \cup Y$; X, U, Y – множества составов

компонент векторных переменных x, u, y – входов, управлений и выходов объекта управления соответственно; R – оператор отображения вектора заданных значений переменных задачи $\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ (x, u, y) \end{matrix}$ в пару $i, \overline{D_i}$.

Сведение задачи (1) в совокупность задач (2) осуществляется с целью ее упрощения, за счет исключения переменных, незначимых в учитываемых ситуациях.

Построение оператора R отображения $\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ (x, u, y) \end{matrix}$ в пару $i, \overline{D_i}$ для идентификации текущих ситуаций обычно затруднено. Задание его в аналитическом виде, в частности, в виде функции $R(x, u, y)$, как правило, не представляется возможным, поскольку сложно выявить закономерности, связывающие непрерывно изменяющиеся значения переменных задачи с дискретными значениями номеров ситуаций. Поэтому основным способом задания R становится селективный отбор признаков ситуаций.

Выработка управляющих решений чаще всего связана с возникновением возмущающих воздействий, в связи с чем оценка ситуаций может осуществляться по значениям переменной x . При этом, в случае большого числа возможных ситуаций могут учитываться только типовые ситуации, которых существенно меньше. Типовые ситуации характеризуются тем, что в них эффективна только определенная часть компонент вектора управлений u , которые учитываются как переменные, тогда как остальные считаются заданными константами, что позволяет упростить задачу (2). Возникающие текущие ситуации соотносятся с типовыми, и при определенных условиях их можно приравнять к конкретным типовым ситуациям.

Качество управления может быть повышено

за счет одновременного учета двух и более типовых ситуаций, когда текущая ситуация не может быть однозначно отнесена к одной из типовых ситуаций. На этот случай должен быть предусмотрен механизм выявления общих переменных для пересекающихся ситуаций, определяющих состав переменных модифицированной задачи.

Обозначим через D – множество ситуаций, учитываемых в задаче (2). Предположим, что множество D допускает разбиение на L подмножеств D_k , $k=1,2,...,L$, соответствующих типовым ситуациям. Для всех текущих ситуаций существует возможность оценки на принадлежность к определенному множеству D_k , $k=1,2,...,L$, и замена задачи (2) на эквивалентную для типовой ситуации D_k .

Задача координации для наиболее общего случая может быть сформулирована как задача определения отличительных признаков текущей ситуации, принадлежащих различным типовым ситуациям, с последующим объединением пересекающихся ситуаций:

$$\begin{aligned} d=0; a_j=0, j=1,2,...,L; \\ \exists k=1,2,...,L; p_s \in P_k, s=1,2,...,S \Rightarrow \\ \Rightarrow d=1; b_{ks}=1; a_k=1 \\ \bigcup \bar{D}_j = \bar{D}, j=1,2,...,L \end{aligned} \quad (4)$$

При отсутствии признаков пересечения ситуаций, задача сводится к последовательному перебору систем признаков типовых ситуаций

P_k с целью отыскания системы, полностью совпадающей с признаками текущей ситуации.

$$d=1 \Rightarrow \sum_{s=1}^S b_{ks} \rightarrow \max_k, k=1,2,...,L; \bar{D} = D_k^* \quad (5)$$

Решением задачи (5) является $k=k^*$, для которого сумма значимых признаков типовой ситуации $\sum_{s=1}^S b_{ks}$ – максимальна. Соответственно, множество учитываемых переменных модифицированной задачи управления – есть D_{k^*} .

Задачу (2) в этом случае можно представить в виде:

$$\begin{aligned} F_i(x_i, u_k, y_i) \rightarrow \max_{u_k \in U_k} \\ U_k = \left\{ u_k : \begin{aligned} g_k(x_i, u_k, y_i) &= 0 \\ h_k(x_i, u_k, y_i) &\geq 0 \end{aligned} \right\} \\ \bigcup U_k = U \\ i=1,2,...,N \\ k \in \{1,2,...,L\} \end{aligned} \quad (6)$$

На рис. 1 приведена блок-схема укрупненного алгоритма ситуационного управления, соответствующая наиболее общему случаю, связанному с совместным решением задач (4)-(6). На рис. 2 представлен алгоритм модуля идентификации ситуаций, который входит в качестве составной части в вышеуказанный алгоритм ситуационной декомпозиции.

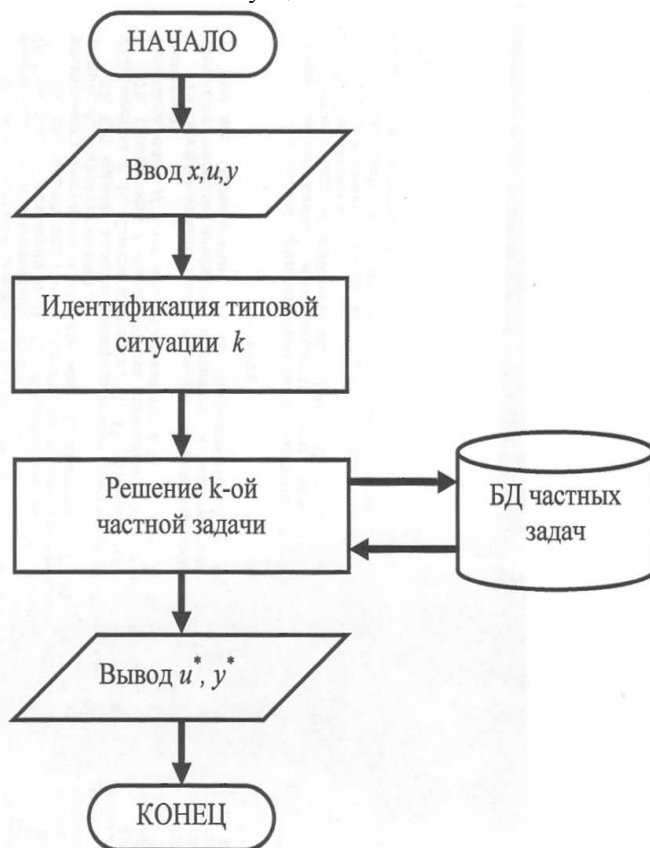


Рис. 1. Алгоритм ситуационного управления.

Рассмотренный метод может быть эффективен при управлении технологическими процессами, допускающими четкое разграничение ситуаций в момент принятия управляющих решений. В частности, когда процесс реализуется в последовательности агрегатов и допускает их использование в различном количественном составе и различных сочетаниях. К примеру,

процесс извлечения целевого продукта в последовательно соединенных однотипных химических реакторах. Способ извлечения целевого продукта может различаться. В одном случае – это может быть направленная абсорбция, во втором случае – избирательная экстракция, в третьем – повышение концентрации в растворе, за счет связывания сопутствующих примесей.

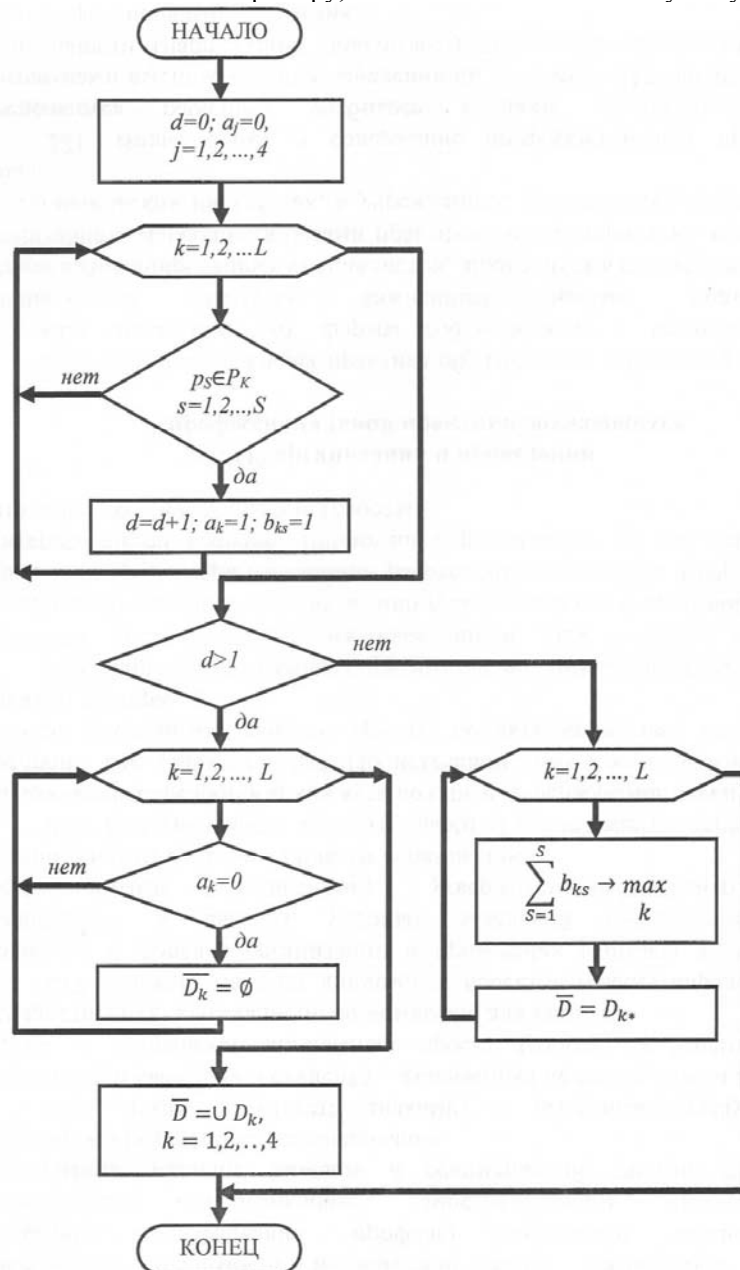


Рис. 2. Алгоритм идентификации ситуаций.

Для подобных технологических процессов в ряде случаев минимальная концентрация примесей, либо требуемая степень извлечения целевого продукта могут быть достигнуты уже на первых стадиях. Притом, что последующие стадии не оказывают существенного влияния на ход процесса и могут быть не задействованы. По мере изменения расхода и концентрации раствора на входе процесса количество задействованных стадий может изменяться как в сторо-

ну уменьшения, так и в сторону увеличения. Исходя из этого, выделение типовых ситуаций может связываться с концентрацией целевого продукта и подачей рабочего раствора на входе в каскад реакторов, а каждой ситуации ставиться в соответствие определенное число задействованных реакторов, подлежащих управлению.

Задача управления такой реакторной системой в общем виде может быть сформулирована следующим образом

$$\begin{aligned}
 C_N(u_i, i=1,2,\dots,N) &\rightarrow \max_{u_i} \\
 C_0 &= C_{зад}, \\
 C_i &\leq C^*, \\
 \frac{dC_i}{dt} &= f_i(C_i, g_i, u_i) \quad i=1,2,\dots,N,
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

где C_N – концентрация продукта на выходе из последнего реактора; u_i – управляющее воздействие в i -м аппарате, $C_{зад}$ – заданная входная концентрация; C_i – концентрация продукта в растворе на выходе i -го реактора; C^* – допустимые значения концентраций; g_i – расход реагента в i -м реакторе.

В наиболее простом случае, когда учитываются только типовые ситуации, задачу координации можно сформулировать следующим образом:

$$\begin{aligned}
 q, C_0 \in Q_1 \times C_0^1 &\Rightarrow k=1; i=1; \\
 q, C_0 \in Q_2 \times C_0^2 &\Rightarrow k=2; i=1,2; \\
 &\dots \\
 q, C_0 \in Q_N \times C_0^N &\Rightarrow k=N; i=1,2,\dots,N.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

где q – подача раствора на входе каскада реакторов, $Q_i \times C_0^i, i=1,2,\dots,N$ – декартово произведение множеств значений для q и C_0 , соответственно, i – число технологических стадий (реакторов каскада), задействованных в процессе и подлежащих управлению.

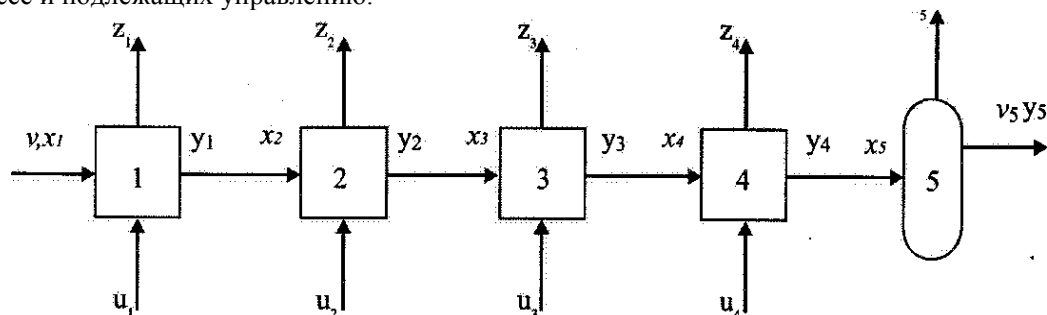


Рис. 3. Схема модельного процесса.

1,2,3,4 – проточные экстракторы; 5 – ректификационная колонна; v – нагрузка реакторной системы; $x_i, y_i, i=1,2,3,4,5$ – входы и выходы технологических аппаратов; z_i – концентрация целевого продукта; v_5 – выход по потоку обработанного раствора.

Результаты экспериментальных исследований показали, что такая систематизация учитываемых ситуаций, позволяет снижать затраты вычислительных ресурсов на 25% и 50%, вследствие сокращения количества обрабатываемых переменных и числа реализуемых вычислительных операций над ними. При этом решения частных задач отличаются от точных не более чем на 7%, что представляется вполне

Модифицированная или частная задача управления для k -й типовой ситуации будет иметь вид

$$\begin{aligned}
 C_k(u_i) &\rightarrow \max_{u_i} \\
 C_0 &= C_{зад}, \\
 C_i &\leq C^*, \\
 \frac{dC_i}{dt} &= f_i(C_i, g_i, u_i), \\
 i=1,2,\dots,k; k=1,2,\dots,N.
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Экспериментальное исследование предложенного метода и алгоритма ситуационной декомпозиции проводилось методом имитационного моделирования. При этом решалась модификация известной [2] модельной задачи управления процессом многоступенчатой экстракции, схема которого представлена на рис. 3.

Для рассматриваемой задачи была применена процедура декомпозиции по трем типовым ситуациям для различных значений x_1 и V . В ситуации 1 в процессе задействованы три из четырех реакторов, в ситуации 2 – два реактора, в ситуации 3 – все четыре реактора каскада. В результате задача (7) была сведена к задаче идентификации ситуаций, аналогичной задаче (8), и трем частным задачам управления вида задачи (9).

приемлемым для практики управления реальными технологическими процессами. А в отдельных случаях управление в условиях учитываемой ситуации даже дает более положительный эффект, чем полномасштабное управление.

Все это позволяет рекомендовать предложенный метод ситуационной декомпозиции для практического применения в системах управления сложными технологическими процессами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ху Вен-Цен. Оптимальное управление на основе ситуационной декомпозиции / Ху Вен-Цен // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Серия Технические науки. – 2008. – Т. 2, № 3 (13). – С. 50-54.
2. Володин, В. М. Об одном алгоритме декомпозиции в задачах оптимизации химико-технологических систем / В. М. Володин, Ху Вен-Цен // Теор. основы хим. технологии. – 1978. – Т. XII, № 6. – С. 889-895.