

И.Ю. ПАНФЕРОВА

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Отличительной особенностью методов синтеза иерархических структур организационно-технологических комплексов является необходимость декомпозиции глобальной оптимизационной задачи управления в ряд иерархически связанных подзадач. Традиционный подход к созданию таких структур [1, 2] предусматривает формулировку сначала локальных подзадач, которые обеспечивают достижение локальных целей структурных подразделений объекта управления, а затем — синтез дополнительных подзадач, которые обеспечивают координацию локальных решений, направленную на достижение глобальной цели всей системы. В этих методах глобальная цель системы формально не выражается в явном виде, а обеспечивается только качеством процедур координации. Кроме того, координационные методы не дают строго формализованного подхода к получению локальных подзадач введением упрощений и эволюционного изменения глобальной цели в случае недостаточности исходной информации об объекте управления на момент проектирования и опытной эксплуатации. В координационном подходе упрощения глобальной цели производятся в неявном виде при построении процедур координации, что может привести к недооценке степени взаимодействия подзадач и плохой координируемости всей системы.

В противоположность традиционным подходам проектирования иерархических структур организационно-технологических комплексов предлагается исследовать глобальную цель функционирования, чтобы на формальном уровне показать необходимость и возможность получения иерархически связанных оптимизационных подзадач, достижение локальных целей которыми обеспечит достижение глобальной цели всей системы.

Одним из важных преимуществ предлагаемого подхода является то, что всегда при замене глобальной цели на локальные формально учитываются любые допустимые упрощения, при этом в явном виде учитываются все взаимосвязи между подзадачами. Кроме того, синтезированные в соответствии с предлагаемым подходом, основанным на принципе “от глобальной цели к иерархии подцелей”, структуры организационно-технологических комплексов могут не совпадать с естественной композиционной природой объекта, что может служить основанием для реорганизации объекта с целью его совершенствования.

Во многих случаях, когда глобальная оптимизационная задача содержит связующие переменные и ограничения, возникает необходимость применения методов замены переменных и множителей Лагранжа, позволяющих заменить соединяющие ограничения переменными взаимосвязи, а потом, используя параметрическую декомпозицию, ослабить действие соединительных переменных и, наконец, получить структуру, которая допускает разделение на иерархически связанные подзадачи.

Для иллюстрации предлагаемого подхода рассмотрим следующую оптимизационную задачу.

Пусть объектом управления является организационно-технологический комплекс, в состав которого входит N пооперационно специализированных участков и обрабатывающих центров. В соответствии с пооперационной специализацией и технологией изготовления деталей и сборочных единиц между участками и обрабатывающими центрами существуют взаимосвязи через потоки деталей и общие ресурсы (материалы, энергетические ресурсы, людские ресурсы, финансовые и др.). Общей целью функционирования организационно-технологического комплекса является минимизация затрат на производство или максимизация прибыли при заданных расходах ресурсов и при заданном качестве выпускаемой продукции. Формально это можно выразить следующим образом.

Задача 1:

$$\min_{u_1, \dots, u_N} \sum_{i=1}^N f_i(x_i, u_i); \quad (1)$$

$$x_i = \sum_{j=1}^N k_{ij} G_j(x_j, u_j); \quad (2)$$

$$y_i = Y_i(x_i, u_i); \quad (3)$$

$$R_i(x_i, u_i) \geq 0; \quad i=1, \dots, N; \quad (4)$$

где организационно-технологический объект управления в своем составе имеет N взаимосвязанных технологических участков и обрабатывающих центров;

x_i — входы i -го участка или обрабатывающего центра, связанные с выходами других структурных единиц;

y_i — выход i -го участка или обрабатывающего центра;

u_i — управляющий вход i -го участка или обрабатывающего центра;

R_i , Y_i — определяют связывающие ограничения на входные и управляющие воздействия i -го участка или обрабатывающего центра;

G_j — определяет структуру взаимосвязей i -го участка или обрабатывающего центра с j -м;

k_{ij} — коэффициенты взаимосвязи i -го и j -го участка или обрабатывающего центра;

f_i — критерий эффективности функционирования i -го участка или обрабатывающего центра.

Отметим, что в заданном соотношениями (1)—(4) виде оптимизационная задача не может быть декомпозирована на N независимых подзадач вследствие наличия технологических взаимосвязей (2) между участками и обрабатывающими центрами, а также связующих ограничений на способы функционирования, выраженные соотношениями (3), (4).

Прежде всего, для ослабления структурных связей (2) воспользуемся методом замены переменных. Тогда задача 1 может быть преобразована к виду:

Задача 2:

$$\min_{u_1, \dots, u_N} \sum_{i=1}^N f_i(x_i, u_i); \quad (5)$$

$$x_i = \sum_{j=1}^N k_{ij} z_j; \quad (6)$$

$$z_i = G_i(x_i, u_i); \quad (7)$$

$$y_i = Y_i(x_i, u_i); \quad (8)$$

$$R_i(x_i, u_i) \geq 0; \quad i=1, \dots, N. \quad (9)$$

Связывающие ограничения (6) можно убрать, используя метод множителей Лагранжа, включив их в критериальную функцию.

Задача 3:

$$\max_{\lambda_1, \dots, \lambda_N} \min_{u_1, \dots, u_N} \sum_{i=1}^N f_i(x_i, u_i) + \lambda_i^T \left[\sum_{j=1}^N k_{ij} z_j - x_i \right]; \quad (10)$$

$$z_i = G_i(x_i, u_i); \quad (11)$$

$$y_i = Y_i(x_i, u_i); \quad (12)$$

$$R_i(x_i, u_i) \geq 0; \quad i=1, \dots, N. \quad (13)$$

Следует отметить, что хотя предпринятые изменения задачи и сняли связующие ограничения (6), тем не менее задачу 3 нельзя разделить на ряд независимых подзадач из-за связующих переменных $\lambda_1, \dots, \lambda_N$. Для решения этой проблемы воспользуемся методом параметрической декомпозиции,

выбрав в качестве параметров множители Лагранжа. При этом задача 3 преобразуется в две взаимосвязанные подзадачи вида:

Подзадача ПЗ4:

$$\max_{\lambda_1, \dots, \lambda_N} \sum_{i=1}^N L_i(x_i^*, u_i^*, z_i^*, \lambda); \quad (14)$$

Подзадача ПЗ5:

$$\min_{u_i, \dots, u_N} \sum_{i=1}^N L_i(x_i, u_i, z_i, \lambda^*); \quad (15)$$

при условии

$$z_i = G_i(x_i, u_i); \quad (16)$$

$$y_i = Y_i(x_i, u_i); \quad (17)$$

$$R_i(x_i, u_i) \geq 0; \quad i=1, \dots, N, \quad (18)$$

где $L_i(x_i, u_i, z_i; \lambda) = f_i(x_i, u_i) + \sum_{j=1}^N \lambda_j^T k_{ji} z_i - \lambda_i^T x_i$,

x_i^*, u_i^*, z_i^* — решение подзадачи ПЗ5, а λ^* — решение подзадачи ПЗ4.

Полученные в результате параметрической декомпозиции оптимизационные подзадачи (14), (15) должны решаться совместно. Подзадача ПЗ4 является оптимизационной задачей без ограничений, а подзадача ПЗ5 может быть представлена в виде N не связанных локальных оптимизационных подзадач с разделенными критериальными функциями и ограничениями.

Подзадача ПЗ5(i):

$$\min_{u_i} L_i(x_i, u_i, z_i, \lambda^*), \quad (19)$$

при ограничениях

$$z_i = G_i(x_i, u_i); \quad (20)$$

$$y_i = Y_i(x_i, u_i); \quad (21)$$

$$R_i(x_i, u_i) \geq 0. \quad (22)$$

Локальные оптимизационные подзадачи ПЗ5(i) пониженной размерности могут быть решены с применением методов линейного или нелинейного программирования в зависимости от формы выражений (19)—(22).

Ни один из рассмотренных методов декомпозиции не дает структур, которые обеспечивали бы один из важных признаков иерархии — односто-

ронную подчиненность решаемых подзадач. Подзадачи, полученные методом разделения, являются независимыми и не требуют вмешательства координатора, т.е. не требуют иерархии в организации их совместного решения. Подзадачи, полученные в результате применения параметрической и структурной декомпозиции, являются взаимозависимыми друг от друга и не имеют приоритета влияния. Поэтому для получения иерархии подзадач необходимо преобразовать двустороннюю зависимость в одностороннюю или, по крайней мере, значительно ослабить одну из них. Рассмотрим один из возможных подходов к построению таких зависимостей на основе декомпозиции, полученной методом параметризации.

В результате применения метода параметрической декомпозиции глобальная оптимизационная задача разделяется на две взаимосвязанные подзадачи $ПЗ1$ и $ПЗ2$. Результатом решения $ПЗ1$ является оптимальное значение $x_2^*(x_1)$ при $x_1=x_1^*$, а результатом решения $ПЗ2$ — x_1^* при $x_2=x_2^*(x_1)$. Условно это можно показать в виде следующей схемы (рис. 1).

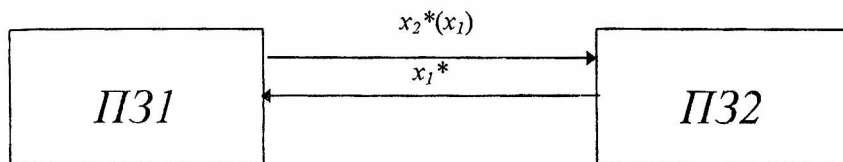


Рис. 1

Для обеспечения приоритета влияния $ПЗ2$ относительно $ПЗ1$ необходимо избавиться от взаимосвязи $x_2^*(x_1)$ или хотя бы ослабить эту взаимосвязь. Предположим, что имеется возможность сформировать модифицированную подзадачу $ПЗ2_0$, которая имеет всю информацию для получения решения x_1^* , и эта информация не противоречит $ПЗ1$. В этом случае подзадача $ПЗ2_0$ станет независимой от $ПЗ1$ и будет иметь приоритетное влияние на нее (см. рис. 2.).

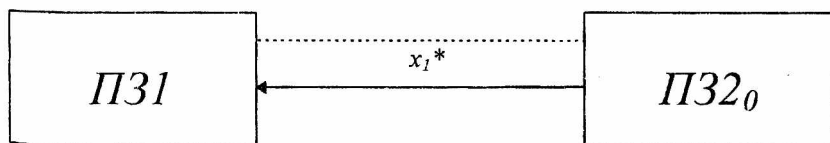


Рис. 2

В показанной структуре $P32_0$ сможет определить x_1^* без обратной связи с $P31$ только в случае, если она будет содержать в себе часть подзадачи $P32$ и часть $P31$. Для обоснования этого положим, что $P31$ может быть разделена на две идентичные подзадачи $P31.1$ и $P31.2$ (рис. 3). При этом $P31.1$ обеспечивает информацией ($x_2^*(x_1)$) $P32$, необходимой для ее решения, а $P31.2$ обеспечивает нахождение оптимального значения x_2 соответствующего оптимальному значению x_1 , т.е. определенис ($x_2^*(x_1^*)$). Если при этом объединить $P32$ и $P31.1$, то получившаяся подзадача $P32_0$ была бы независимой от $P31.2$ и имела бы приоритет воздействия на нее. Поэтому подзадачи $P32_0$ и $P31.2$ образуют иерархию. Однако эта иерархия в связи с идентичностью подзадач $P31.1$ и $P31.2$ не имеет практического значения, ибо решение глобальной оптимизационной задачи было бы получено при решении только подзадачи $P31_0$. Поэтому для того, чтобы иерархия имела практический смысл, подзадачи $P31.1$ и $P31.2$ не должны быть идентичны т.е. функции этих подзадач должны иметь значительное различие. Это может быть достигнуто на практике соответствующим подбором параметра x_1 при первоначальной декомпозиции глобальной задачи на подзадачи $P31$ и $P32$. Например, при параметризации глобальной задачи можно разделить ее таким образом, чтобы к подзадаче $P31$ отнести быстро изменяющиеся переменные, а к подзадаче $P32$ — медленно изменяющиеся переменные. Тогда появится возможность в $P31.2$ не учитывать медленно изменяющиеся процессы, а в $P31.1$ не учитывать быстро изменяющиеся процессы, что обеспечит их различие.

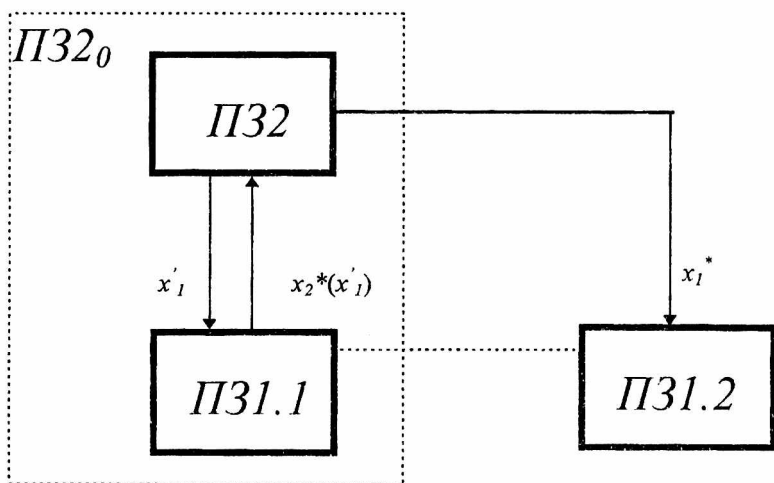


Рис. 3

Следует отметить, что подзадачи, показанные на рис. 3, образуют иерархию даже тогда, когда они не объединены в подзадачу $P32_0$. В этом случае они образуют пару подзадач ($P32, P31.1$), которая имеет приоритет влияния на $P31.2$. На практике это бывает удобным в человеко-машинных системах, когда подзадачу $P32$ решает человек, а подзадачу $P31.1$ решает компьютер (например, уставки регулирования для данного режима функционирования технологического объекта задаются оператором-технологом, а задачу цифрового управления решает ЭВМ). При этом, период вмешательства в процесс управления оператора значительно больше, чем принятая дискретизация в методах непосредственного цифрового управления.

Список литературы: 1. Волик Б.Г., Буянов Б.Б., Лубков Н.В. и др. Методы анализа и синтеза структур управляющих систем/ Под ред. Б.Г. Волика. М.: Энергоатомиздат, 1988. 296 с. 2. Васильев В.И., Гусев Ю.М., Ефанов В.Н. и др. Многоуровневое управление динамическими объектами. М.: Наука, 1987. 309 с. 3. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с. 4. Макаров А.А. Методы и модели согласования иерархических решений. Новосибирск: Наука: Сиб.отд-ние, 1979. 240 с. 5. Козуб В.М. Иерархические системы моделей планирования. М.: Радио и связь, 1984. 176 с. 6. Лэсдон Л. Оптимизация больших систем. М.: Наука, 1975. 532 с. 7. Чернышев М.К., Гаджиев М.Ю. Математическое моделирование иерархических систем с приложением к биологии и экономике. М.: Наука, 1983. 192 с.

Поступила в редколлегию 20.10.97