Ембулаев Владимир Николаевич – д-р экон. наук, профессор кафедры математики и моделирования Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (г. Владивосток). Тел.: (4232) 45 72 21

Тонких Анатолий Иванович – канд. экон. наук, доцент кафедры экономики и производственного менеджмента Дальневосточного Владивостокского государственного технического университета (г. Владивосток). E-mail: tai_43@mail.ru

Математическая модель управления предприятиями угольной промышленности российской федерации на региональном уровне

Для эффективного управления работой региональными угольными предприятиями рассматривается задача координации. Математическая модель решения этой задачи предусматривает использование как безытеративного, так и итеративного алгоритма координации.

Ключевые слова: регион, угольный бассейн, координированное управление, итеративный и безытеративный алгоритмы координации.

По объемам угледобычи Российская Федерация занимает пятое место в мире после Китая, США, Индии и Австралии. Начиная с 1999 года отмечается ежегодный прирост объемов угледобычи. В 2006 г. преодолен 300-миллионный рубеж годовой угледобычи (добыто 309 млн. т).

В угольной промышленности России действуют 240 угледобывающих предприятий (технических единиц), в том числе 97 шахт и 147 разрезов. Основной объем добычи угля (96%) обеспечивается частными предприятиями. В России уголь потребляется во всех 89 субъектах Федерации, а добывается – в 24. Основные потребители угля на внутреннем рынке – это электростанции и коксохимические заводы.

В настоящее время ведется работа по формированию энергетической стратегии России до 2030 г. В таблице 1 приведены данные потенциальных возможностей территориального развития угольной промышленности России до 2030 г. [1].

В Российской Федерации имеются достаточные ресурсы для наращивания объемов добычи угля в период до 2030 г. (до 890 млн. т), в том числе коксующегося (до 155 млн. т). Спрос на рядовой уголь в перспективе будет падать. Обогащенный уголь и продукты его глубокой переработки будут все в большей мере востребованы рынком. В этой связи, перспективными являются работы по созданию технологий глубокой переработки угольного сырья, производства из него продукции более высокого передела, в частности производство полукокса, газа и др.

Таблица 1

Прогноз потребности в угольном топливе по субъектам Федерации к 2030 г.

Федеральные округа	**Добыча угля к 2030 г., млн. т**
Сибирский федеральный округ	От 471 до 734
Дальневосточный федеральный округ	106
Северо-Западный федеральный округ	46,8
Южный федеральный округ	12
Центральный федеральный округ	5
Уральский федеральный округ	6,2
Итого	840

Рациональное использование топливно-энергетического ресурса невозможно без учета эффективности всех элементов производственного процесса от добычи, транспортировки, переработки и до его потребления в реальной экономической системе. Поэтому возникает необходимость системного подхода и системных оценок при выработке управленческих решений как в тактике, так и в стратегии.

Угледобывающая промышленность Российской Федерации, а соответственно, и система управления ею имеют трёхуровневую иерархическую структуру: федеральный – региональный – местный уровни (сверху вниз). В этом случае общая задача управления угледобывающими предприятиями разделяется на ряд локальных подзадач, которые решаются, соответственно, на уровне субъектов Федерации и угольных бассейнов. Важнейшей проблемой здесь является задача координации – как организовать взаимодействие между угольными предприятиями, чтобы их автономно функционирующая деятельность была бы направлена на достижение общей цели всей угледобывающей промышленности Российской Федерации [2].

Изучение задачи координации в двухуровневой системе, состоящей из координирующего органа на федеральном уровне и ряда угольных предприятий на региональном уровне, которые взаимодействуют друг с другом только через координирующий орган, позволило сфокусировать внимание на таких важных аспектах, как: различная частота решения задачи управления у координирующего органа и угольных предприятий субъектов Федерации; агрегирование информации, передаваемой угольными предприятиями координирующему органу; соотношение между целями координирующего органа и угольными предприятиями. С учетом этих аспектов можно предложить следующую процедуру координации: для каждого угольного предприятия конструируется задача векторной оптимизации и ищется решение, оптимальное для всей системы в пределах эффективного множества значений (множество Парето) этой задачи. На основе такой процедуры разработаны безытеративный и итеративный алгоритмы координации.

При использовании безытеративного алгоритма координации осуществляется однократный обмен информацией между уровнями: угольные предприятия субъекта Федерации передают координирующему органу набор вариантов своей работы, допустимых с точки зрения локальных ограничений и достаточно полно отражающих возможности угольных бассейнов, а координирующий орган определяет варианты, оптимальные для всей системы, и сообщает их угольным предприятиям и субъектам Федерации. При использовании итеративного алгоритма координации оптимальное решение определяется в ходе многократного обмена информацией между координирующим органом и угольными предприятиями.

В данной статье на основе рассматриваемых задач координации в двухуровневых системах рассмотрим обобщение результатов и для многоуровневой иерархической структуры, к которым относится, в частности, система угледобывающей промышленности Российской Федерации. Идея обобщения основана на том факте, что в многоуровневой иерархической структуре угледобывающей отрасли для двух рядом расположенных уровней на нижнем имеется несколько элементов, для которых на верхнем имеется один "координирующий орган", и по своей организационной структуре эта подсистема является двухуровневой. Следовательно, многоуровневую иерархическую структуру угледобывающей отрасли можно рассматривать как состоящую из конечного числа "элементарных" двухуровневых подсистем.

Следует отметить, что все рассматриваемые процедуры координации в угледобывающей отрасли и соответствующие им информационные взаимодействия являются детерминированными, т. е. предполагается, что к моменту решения задач координации на каждом слое исходная информация считается известной. В реальной же системе управления угледобывающей отрасли такое предположение далеко не всегда выполняется, и управляющее решение зачастую принимается в условиях неполной информации или неопределенности. Поэтому вопрос об информационном обеспечении решаемых задач в угледобывающей отрасли промышленности требуется исследовать отдельно.

1. Математическое описание задачи координации в многоуровневой системе

В работе [3] рассматривались процедуры координации в двухуровневой системе. Однако иерархия угледобывающей отрасли промышленности имеет трёхуровневую структуру: федеральный – региональный – местный уровни. В связи с этим, постараемся обобщить полученные результаты для иерархической системы, в которой имеется больше чем два уровня.

Рассмотрим пример системы с трехуровневой пирамидальной структурой, которая приведена на рис. 1.

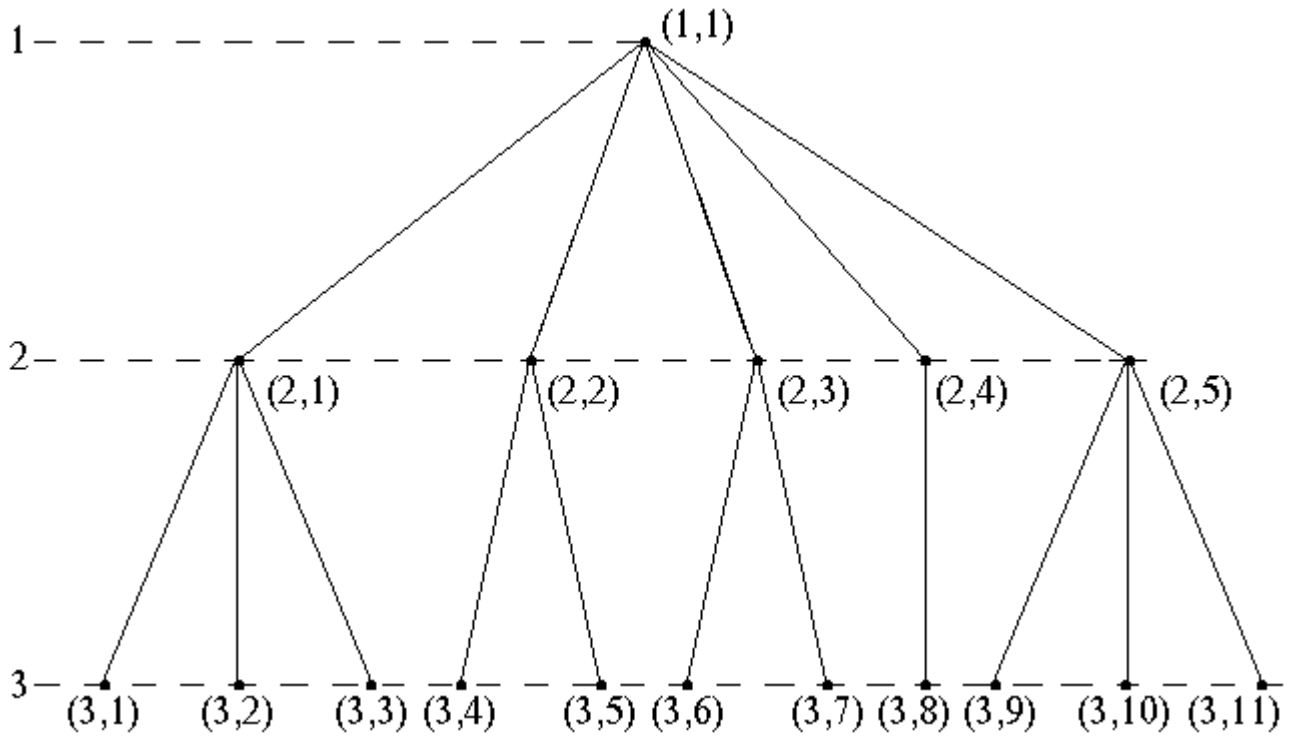


Рис. 1. Система с трехуровневой пирамидальной структурой

Представленная на рис.1 иерархическая структура характеризуется следующими признаками:

1) многоуровневостью (стратифицированностью);
2) субординацией внутренних связей: элементы данного уровня связаны только с элементами ближайшего нижнего уровня;
3) ветвистостью: элемент данного уровня связан только с одним элементом верхнего уровня и с несколькими элементами нижнего уровня;
4) пирамидальностью: на самом верхнем уровне имеется только один элемент;
5) субординацией внешних связей: элементы каждого уровня могут иметь связи с внешней средой, однако, эти связи контролируются элементами ближайшего верхнего уровня; внешняя связь самого верхнего элемента контролируется извне системы.

Следовательно, рассматриваемая иерархическая структура относится к классу идеальных структур.

На первом уровне в представленной иерархической структуре – федеральном – рассматривается всего один элемент (1,1), который выступает в качестве координирующего органа. На втором уровне – региональном – рассматривается пять элементов (2,1) – (2,5), которые выступают в качестве основных угольных бассейнов и территориальных округов: Сибирский федеральный округ, Дальневосточный федеральный округ, Северо-Западный федеральный округ, Южный федеральный округ, Уральский Федеральный округ. На третьем уровне – местном – рассматривается одиннадцать элементов

(3,1) – (3,11), которые выступают в качестве предприятий по добыче угля (шахты и разрезы).

Пусть общее число уровней в системе равно K (для системы на рис. 1 K=3). На k-м уровне $k \in [1, K]$ имеется N_k элементов, причем, на самом верхнем, первом уровне имеется всего один элемент (координирующий орган) $N_1 = 1$ (для нашего примера $N_2 = 5$, $N_3 = 11$). Будем обозначать i-й элемент k-го уровня через (k, i).

Элементы всех уровней, начиная со второго, относятся к одному из элементов вышестоящего уровня. Таким образом, для элемента (k, i) можно ввести множество индексов элементов (k+1)-го уровня, относящихся к элементу (k, i). Будем обозначать эти множества через J_{ki}, $k \in [1, K - 1]$. Множества J_{ki} обладают следующими свойствами:

$$\bigcup_{i \in [1, N_k]} J_{ki} = [1, N_{k+1}]; \quad J_{ki_1} \cap J_{ki_2} = \varnothing \text{ при } i_1 \neq i_2$$

(на рис. 1 $J_{11} = \{1; 2; 3; 4; 5\}$, $J_{21} = \{1; 2; 3\}$, $J_{22} = \{4; 5\}$, $J_{23} = \{6; 7\}$, $J_{24} = \{8\}$, $J_{25} = \{9; 10; 11\}$).

Далее, пусть x_{ki}, $k \in [1, K]$, $i \in [1, N_k]$ – вектор, характеризующий состояние элемента (k, i), $F_{ki}(x_{ki})$ – вектор показателей этого элемента, передаваемый на верхний уровень, а $\Phi_{ki}(x_{ki})$ – векторный критерий элемента.

Взаимосвязь между элементами разных уровней задается соотношением:

$$x_{ki} = \{F_{k+1\,j}, j \in J_{ki}\}, \quad k \in [1, K - 1], \quad i \in [1, N_k], \tag{1}$$

(на рис. 1 $x_{11} = (F_{21}, F_{22}, F_{23}, F_{24}, F_{25})$, $x_{21} = (F_{31}, F_{32}, F_{33})$ и т.д.). Таким образом, состояние элемента (k, i) определяется совокупным вектором показателей элементов нижнего $(k+1)$-го уровня, относящихся к элементу (k, i).

Остановимся теперь на ограничениях, которым должны удовлетворять векторы x_{ki}.

Для элементов самого нижнего K-го уровня ограничения записываются в виде:

$$x_{Ki} \in X_{Ki}, \quad i \in [1, N_K], \tag{2}$$

где X_{Ki} – некоторые множества.

Для $k \in [1, K - 1]$ векторы x_{ki} должны удовлетворять ограничениям:

$$x_{ki} \in X_{ki} = X_{ki}^1 \cap X_{ki}^2, \tag{3}$$

где $X_{ki}^1 = \langle x_{ki} = \{F_{k+1j}, j \in J_{ki}\} / F_{k+1j} = F_{k+1j}(x_{k+1j}); x_{k+1j} \in X_{k+1j} \rangle$;

$X_{ki}^2 = \langle x_{ki} / H_{ki}(x_{ki}) \geq b_{ki} \rangle$;

где H_{ki} – вектор-функции; b_{ki} – вектор-столбцы.

Так, для элемента при k=2 и i=1 имеем: $x_{21} = (F_{31}, F_{32}, F_{33})$;

$X_{21}^1 = \langle x_{21} = (F_{31}(x_{31}), F_{32}(x_{32}), F_{33}(x_{33})) / x_{3i} \in X_{3i}, i = 1, 2, 3 \rangle$;

$X_{21}^2 = \langle x_{21} / H_{21}(x_{21}) \geq b_{21} \rangle$.

Глобальная целевая функция системы совпадает с целевой функцией элемента первого уровня и имеет вид:

$$H_{11}(x_{11}) \to max. \qquad (4)$$

Итак, задачей координации является задача (1) – (4).

В процессе управления каждые элементы нижнего уровня передают соответствующему элементу верхнего уровня информацию о своём состоянии на рассматриваемый момент времени. На основе поступившей информации элемент верхнего уровня (координирующий орган) вырабатывает оптимальные варианты решений для каждого элемента нижнего уровня в отдельности (с точки зрения оптимальности для всей иерархической структуры в целом) и передаёт эти решения для их практической реализации.

В этом случае может оказаться так, что поступившие решения для конкретного элемента вполне удовлетворительны для их практической реализации, и данный элемент приступает к их реализации (безытеративный алгоритм координации). Но если выработанное решение не удовлетворяет какой-то элемент, то начинается процесс согласования между ним и координирующим органом в целях достижения необходимого решения с точки зрения оптимальности как для элемента, так и для всей иерархической структуры в целом (итеративный алгоритм координации).

2. Безытеративные алгоритмы координации

Общая схема безытеративных алгоритмов координации в многоуровневой системе является обобщением соответствующей схемы для двухуровневой системы и выглядит следующим образом.

Для элементов самого нижнего K-го уровня вводятся в рассмотрение задачи векторной оптимизации:

$$\Phi_{Ki}(x_{Ki}) \to max; \quad x_{Ki} \in X_{Ki},\ i \in [1, N_K]. \qquad (5)$$

Пусть $S_{Ki} = \left\{ F_{Ki}(x_{Ki}),\ x_{Ki} \in P_{Ki}^{X} \right\}$ – вектор решения задачи. На верхний $(K-1)$-й уровень передается множество Q_{Ki}, являющееся некоторым подмножеством множества S_{Ki}. В частности, может быть $Q_{Ki} = S_{Ki}$.

Укажем несколько возможных вариантов задания множества Q_{Ki}.

1. Множества X_{Ki} состоят из конечного числа точек. В этом случае множество Q_{Ki} также состоит из конечного числа точек. В случае, если число точек в множестве S_{Ki} не слишком велико, то $Q_{Ki} = S_{Ki}$. В противном случае, с использованием методов кластерного анализа производится "сжатие" информации, в результате чего передаваемое множество Q_{Ki} будет содержать заданное число точек.

2. Задачи (5) являются задачами многокритериального линейного программирования, а показатели $F_{Ki}(x_{Ki})$ также являются линейными функциями [3]. В этом случае в качестве множества Q_{Ki} можно использовать

линейную комбинацию эффективных крайних точек многогранника $Y_{Ki} = \{F_{Ki}(x_{Ki}), x_{Ki} \in X_{Ki}\}$.

3. В случае, когда задача (5) является нелинейной многокритериальной задачей, можно аппроксимировать множество S_{Ki} конечной ε-сетью или проводить многогранную аппроксимацию [3].

3. Итеративные алгоритмы координации

Схему итеративных алгоритмов координации в многоуровневой системе проиллюстрируем на примере системы, приведенной на рис. 1.

Пусть $\omega^1 = (\omega_{21}, \omega_{22}, \omega_{23}, \omega_{24}, \omega_{25})$ – координирующий сигнал, вырабатываемый элементом самого верхнего первого уровня и посылаемый элементам второго уровня. Элемент (2, i), $i \in [1, 5]$ получает координирующий сигнал ω_{2i}, условие оптимальности функционирования которого можно представить в виде:

$$R(\omega_{2i}, x_{2i}) \to max; \quad x_{2i} = \{F_{3j}, j \in J_{2i}\}; \quad H_{2i}(x_{2i}) \geq b_{2i};$$
$$F_{3j} \in Y_{3j} = \{F_{3j}(x_{3j}), x_{3j} \in X_{3j}\}. \qquad (6)$$

Легко видеть, что задача (6) является задачей координации в двухуровневой системе [3]. Процедура решения этой задачи заключается в том, что "координирующий орган" (в данном случае – элемент (2, i)) формирует координирующие сигналы для подчиненных ему элементов третьего уровня. Эти координирующие сигналы позволяют осуществить свертку многокритериальных задач элементов третьего уровня в задачи математического программирования:

$$R(\omega_{3j}, x_{3j}) \to max; \quad x_{3j} \in X_{3j}, \ j \in J_{2i} \ . \qquad (7)$$

Используя результаты решения задач (7), элемент (2, i) решает координирующую задачу, в результате чего вырабатываются новые координирующие сигналы для элементов третьего уровня. Таким образом, в результате итеративного обмена информацией между элементом (2, i) и подчиненными ему элементами третьего уровня определяется решение задачи (6), которое зависит от координирующего сигнала ω_{2i}.

Далее формируется и решается координирующая задача элемента первого уровня. Решением этой задачи является новое значение координирующего сигнала ω^1. После получения этого сигнала элементы (2, i) начинают вновь решать задачи координации подчиненных им элементов из третьей группы. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет найден оптимальный координирующий сигнал ω^{1*}.

Литература и источники:

1. Плакиткина, Л. С. Прогнозная оценка потенциальных возможностей территориального развития угольной промышленности России до 2030 г. / Л. С. Плакиткина // Уголь. – 2007. – № 11. – С. 18 – 23.

2. Тонких, А. И. Организационно-экономические основы повышения конкурентоспособности угольной промышленности Дальневосточного экономического региона: монография / А. И. Тонких. – Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2005. – 187 с.

3. Ембулаев, В. Н. Теоретические основы и методы управления транспортной системой крупного города : монография / В. Н. Ембулаев. – Владивосток : Дальнаука, 2004. – 212 с.