© Д.К. Потресов, С.И. Сапожников, 2006

УДК 622.001.57:51

Д.К. Потресов, С.И. Сапожников

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ДОСТИЖИМЫХ ЦЕЛЕЙ НА СЛУЧАЙ НЕПРЕРЫВНЫХ ШКАЛ КРИТЕРИЕВ

Семинар № 14

Одним из наиболее актуальных в современной прикладной математике является класс задач многокритериальной оптимизации (МКО) [4, 5, 8, 11, 12 и др.]. Приведём её математическое описание [8, 9].

1. Постановка задачи многокритериальной оптимизации

Рассмотрим некоторое пространство решений W, определённое на n-мерном линейном пространстве действительных чисел R^n:

$$W = \{ (x_1, x_2, \ldots, x_n)_t \in R^n \}, \quad x_i \in R,\ i = \overline{1,n},\ t = 1, 2, \ldots \tag{1}$$

Пусть на W наложены некоторые ограничения в виде областей Ω_{x1}, Ω_{x2}, … Ω_{xn} допустимых значений $x_1, x_2, \ldots x_n$:

$$x_i \in \Omega_{xi},\ i = \overline{1,n} \tag{2}$$

Тогда, с учётом (1) и (2), множество допустимых решений X может быть записано в виде:

$$X = \{ X_q \in W : x_i \in \Omega_{xi},\ i = \overline{1,n} \},\quad q = 1, 2, \ldots \tag{3}$$

Будем считать, что совокупность критериев Y, характеризующих качество решения X_q, является m-мерным вектором, определённым в m-мерном линейном пространстве R^m, и связь между решениями и значениями критериев устанавливается отображением f, действующим из пространства решений W в критериальное пространство R^m. Т.е.

$$f : X \to Y \subseteq R^m \tag{4}$$

Таким образом, множество достижимости Y в критериальном пространстве R^m может быть задано следующим образом:

$$Y = \{ (y_1, y_2, \ldots, y_m)_r \in R^m \},\quad y_j = f_j(X_q) \in R,\ j \in J = \overline{1,m},\quad r = 1, 2, \ldots \tag{5}$$

Принимая во внимание то, что задачи многокритериальной оптимизации и максимизации могут быть сведены к задаче многокритериальной минимизации путём изменения знака некоторых критериев на противоположный [9], далее в статье будем рассматривать задачи многокритериальной минимизации, т.е.:

$$f(X) \to \min \tag{6}$$

Для решения задач МКО разработано большое количество методов [9, 13 и др.]. Целесообразность применения того или иного метода определяется типом решаемой задачи. В данной статье будем рассматривать тип задач, характеризуемый следующими положениями:

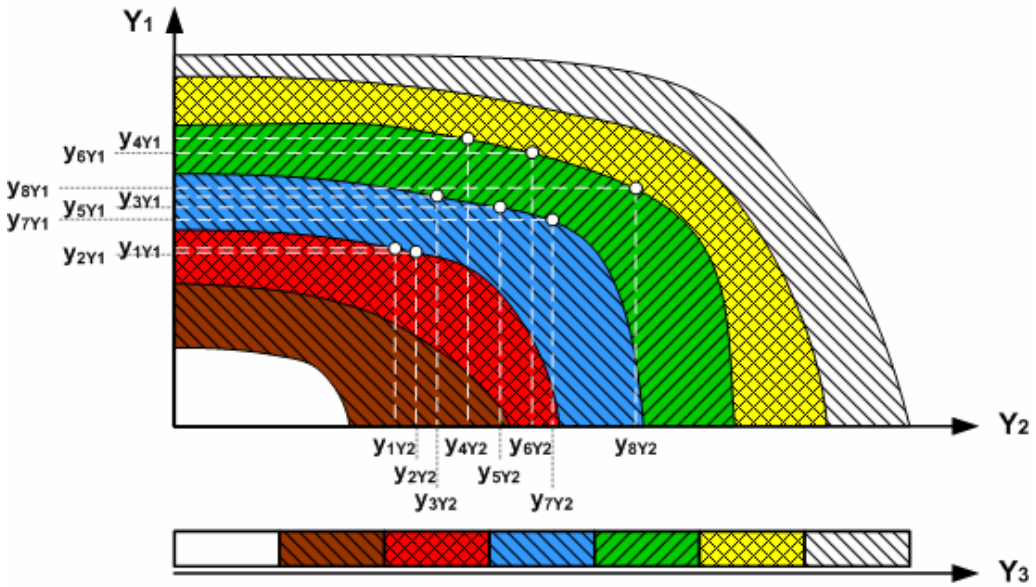


Рис. 1. Пример кривых объективного замещения

1) множества аргументов критериальных функций частично пересекаются, т.е. сложность задачи состоит в том, что при изменении значения конкретного аргумента для оптимизации решения по одному из критериев, значения других критериев также изменяются по неявной зависимости;

2) анализу подвергаются критерии, выраженные математическими функциями и формирующие невыпуклые множества достижимых целей;

3) функции критериев задачи не отвечают условиям унимодальности, что не позволяет использовать для их анализа хорошо разработанные градиентные методы оптимизации.

Условно назовём этот тип задач случаем непрерывных шкал критериев (НШК). В данной статье рассматривается развитие метода достижимых целей (МДЦ) [8] на этот случай.

2. Классический метод достижимых целей

МДЦ предполагает визуальное представление множеств достижимых целей в пространстве критериев через кривые объективного замещения между различными парами критериев в виде карт решений. Ниже, на рис. 1, представлен иллюстрирующий пример кривых объективного замещения между различными парами критериев для задачи с тремя критериями.

При фиксации значения одного из критериев строится область достижимых целей для пары других критериев, причём множество недоминируемых решений лежит на эффективной границе данной области.

Наиболее выигрышным случаем применения классического МДЦ является решения задач МКО с фиксированным количеством стратегий (вариантов решений), в которых возможно или представление лицу, принимающему решение (ЛПР), всего множества достижимых целей, или, по крайней мере, множество достижимых целей может

Рис. 2. Блок-схема общего алгоритма решения задачи МКО

быть получено перебором всех решений. В ряде же задач, как, например, в задачах, рассмотренных в [17] и [19], анализу подвергаются критерии, выраженные математическими функциями и формирующие невыпуклые множества достижимых целей. Поэтому, целесообразным является развитие МДЦ на случай рассмотренного типа задач.

3. Развитие метода достижимых целей на случай непрерывных шкал критериев

Построим алгоритм решения произвольной задачи МКО с помощью МДЦ. Его блок-схема представлена на рис. 2.

В данном алгоритме наибольшую трудность представляет блок 2. Это обуславливается тем, что в задачах рассматриваемого типа число возможных вариантов решений стремиться к бесконечности. Это затрудняет фазу построения множества достижимых целей. Для уменьшения числа рассматриваемых ЛПР вариантов решений необходимо найти оптимальное количество фиксированных значений каждого из критериев, которое определяет число формируемых областей для пары других критериев, а также сами эти значения. Алгоритм, предлагаемый в таком случае авторами МДЦ для отбора точек в пространстве критериев, существенных с точки зрения задачи построения $f(X)$, основан на глобальном зондировании множества X [8]. Результатом работы этого алгоритма является набор небольшого числа точек $f(X)$ объединение окрестностей которых даёт аппроксимацию $f(X)$ заданной точностью и полнотой. Точность определяется как отклонение фактически полученной критериальной оценки $f(x^*)$ при допустимом решении x^* от выбранной точки y сформированного множества достижимых целей. Полнота определяется соотношением меры фактического множества критериальных оценок с мерой полученной выборки. Алгоритм базируется на идеях вариантного расчёта. Для зондирования множества X используется закон равномерного распределения. Рассмотрим отличный подход.

В качестве стратегий будем использовать классы целей, выявляемые путём анализа функции третьего (не рассматриваемого в текущем графике кривых объективного замещения) кри-терия. При этом, следуя исследованиям, проведённым Дж. Миллером [16], а позже, и Г. Саймоном [20], за оптимальное принимается количество класс-сов разбиения, равное 7±2, т.к. это число является максимальным количеством чанков для одновременно-го анализа в кратковременной памяти человека.

При формировании множества достижимых целей сначала будем выполнять разбиение функции анализируемого критерия на интервалы одним из методов Монте-Карло. Далее полученные интервалы рассматриваются как унимодальные. В каждом из полученных интервалов с помощью градиентного ме-

тода находится минимум [6]. Далее полученное множество максимумов интервалов сортируется, и его элементы объединяются в классы целей таким образом, чтобы

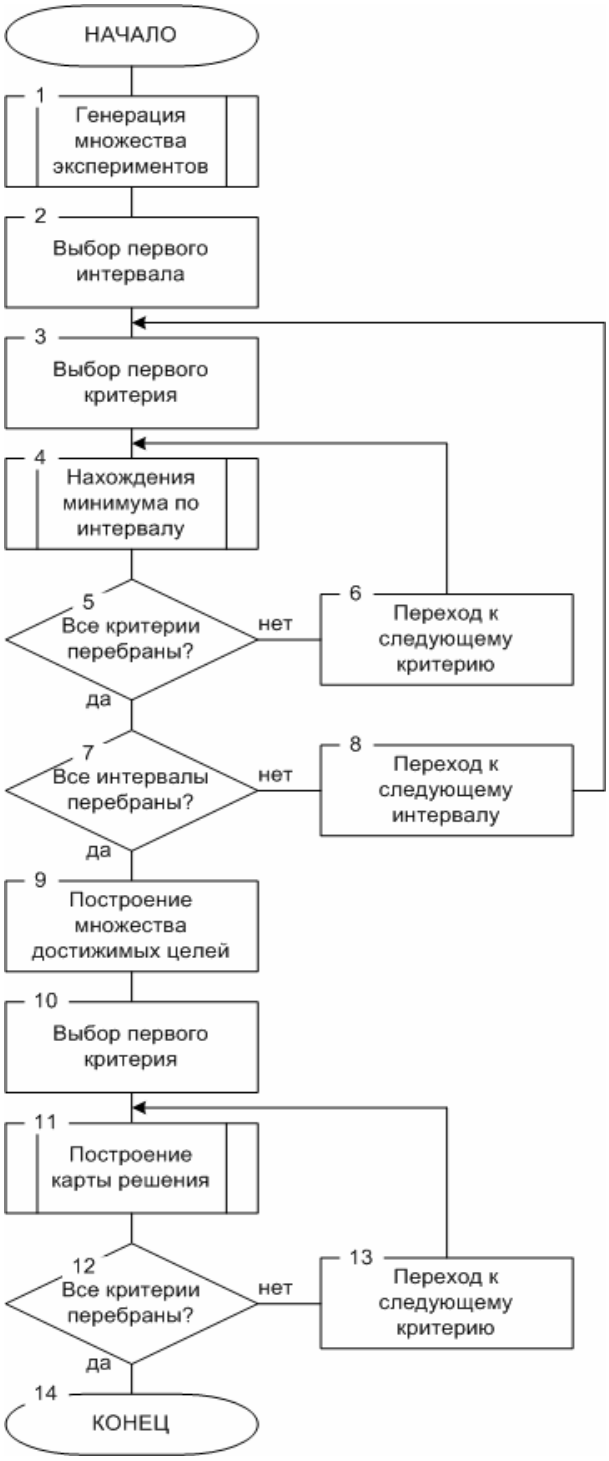


Рис. 3. Блок-схема алгоритма построения карт решений

итоговое количество полученных классов было равно 7±2. После этого для каждого класса целей строится область множества достижимых целей для двух других критериев. Наложение друг на друга областей, соответствующих различным классам целей, образует карту решений. На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма построения карт решений.

Рассмотрим составляющие блоки алгоритма построения карт решений более подробно.

3.1. *Генерация множества экспериментов*

Генерация множества экспериментов основывается на законе равномерного распределения. Блок-схема этого процесса представлена на рис. 4.

3.2. *Нахождение минимума по интервалу*

Для нахождения минимума по интервалу используется метод скорейшего спуска с определением шага по правилу Армихо. Дадим его математическую формулировку [6].

Выбираем $x^0 \in R^n$ и полагаем $k = 0$. Выбираем параметры α, ε и θ для правила Армихо (см. ниже).

1. Вычисляем α_k в со-

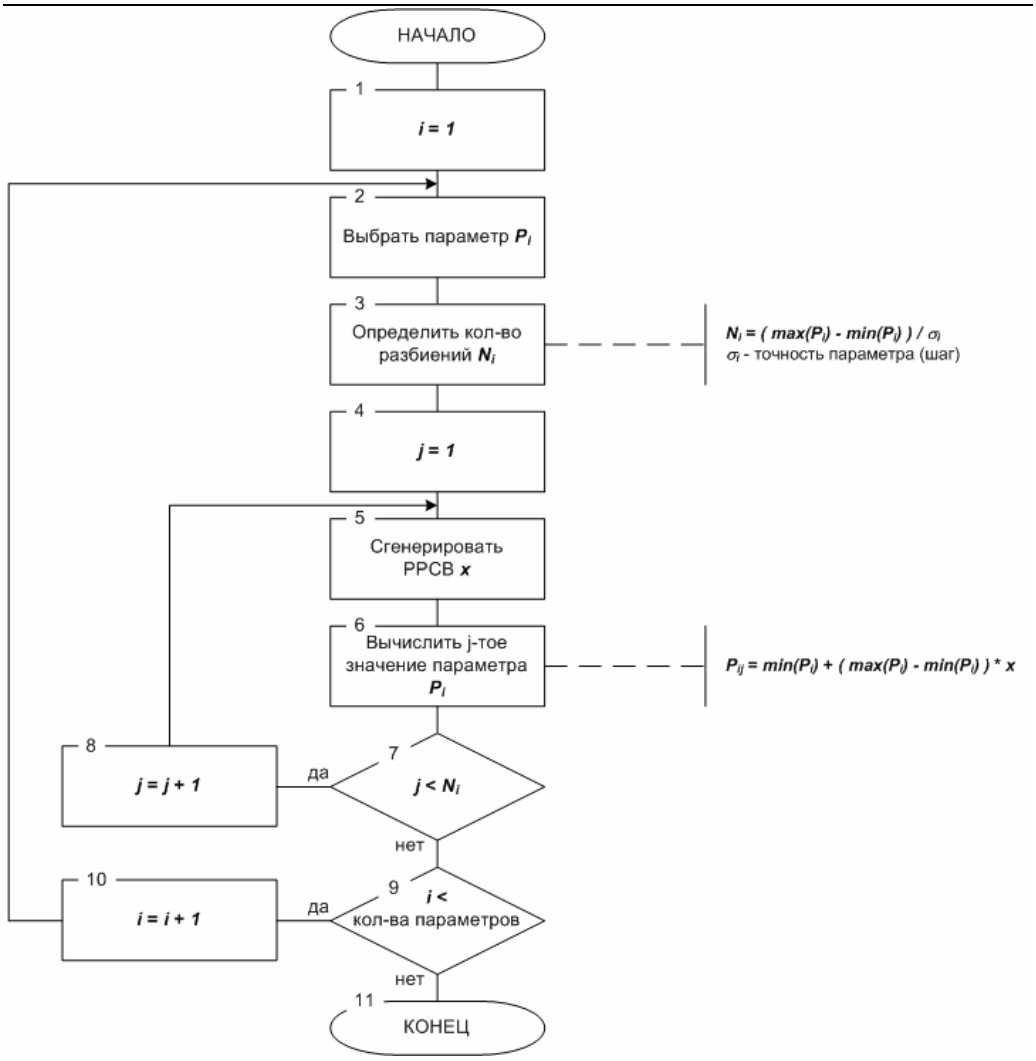


Рис. 4. Блок-схема алгоритма генерации множества экспериментов

ответствии с правилом Армихо по направлению $d^k = -f'(x^k)$ ($f'(x^k)$ – градиент функции в точке x^k; если $f'(x^k) = 0$, то точка x^k является стационарной и работа метода заканчивается).

2. Вычисляется по формуле (7).

$$x^{k+1} = x^k - \alpha_k f'(x^k), k = 0,1,\ldots \quad (7)$$

3. Увеличиваем номер шага k на 1 и переходим к п. 1.

Рассмотрим правило Армихо. Фиксируются числа $\alpha_k > 0$, ε, $\theta \in (0,1)$.

Блок-схема алгоритма нахождения минимума по интервалу представлена на рис. 5.

1. Проверяем выполнение неравенства (8).

$$f(x^k + \alpha_k d^k) \le f(x^k) + \varepsilon\alpha_k \left\langle f'(x^k), d^k \right\rangle \quad (8)$$

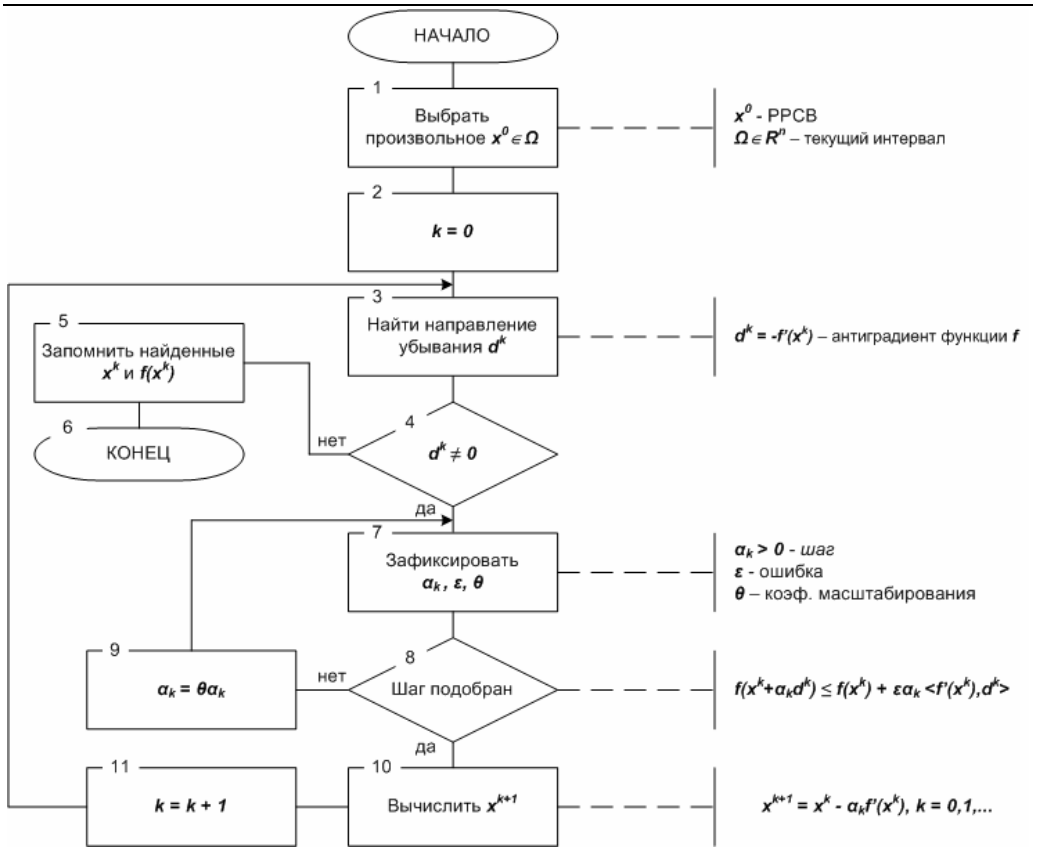


Рис. 5. Блок-схема алгоритма нахождения минимума по интервалу

2. Если (8) не выполнено, то заменяем $\boldsymbol{\alpha_k}$ на $\boldsymbol{\theta\alpha_k}$ и переходим к п. 1.

Блок-схема метода скорейшего спуска с определением шага по правилу Армихо показана на рис. 5.

3.3. *Построение карты решения*

Блок-схема алгоритма построения карты решения представлена на рис. 6.

Определение границ классов целей производится на основании нормального распределения. Это обуславливается предположением о том, что для ЛПР наибольшим интересом является изучение взаимного влияния критериев друг на друга в центральной области пространства критериев, в то время, как предпочтения ЛПР в граничных критериальных точках могут быть выявлены и без применения МДЦ.

Построение карты решений основано на использовании понятия эффективной границы множества. Дадим математическое описание эффективной границы.

В поставленной задаче предпочтения ЛПР, описываются квазипорядком R_0, который, в свою очередь, порождает систему бина+рных отношений квазипорядка R_j на значениях частных критериев y_j, $j \in J$. В свою очередь, эта система частных бинарных отношений порождает на множестве Y такой квазипорядок R, что

$$y' R y'' \Leftrightarrow y_j' \leq y_j'', j \in J \qquad (9)$$

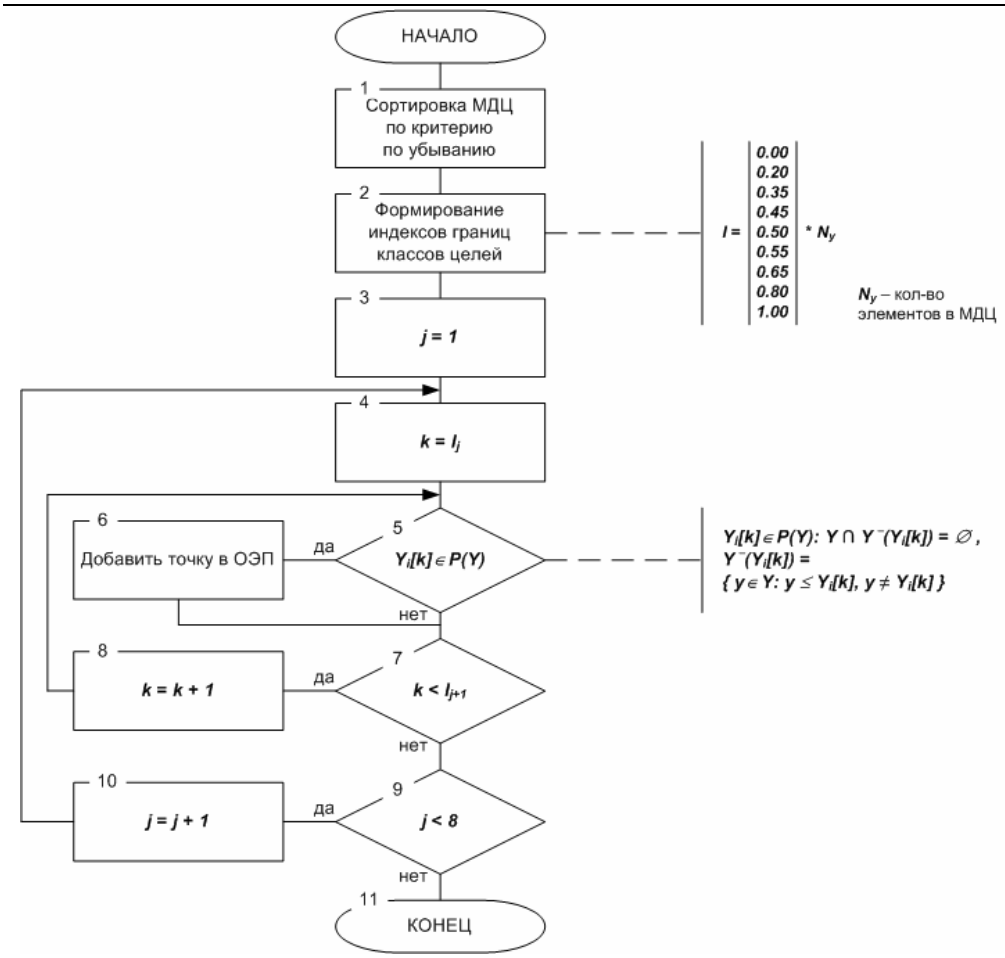


Рис. 6. Блок-схема алгоритма построения карты решения

Квазипорядок R, в свою очередь, порождает квазипорядок R_x на $X \subset W$, который является подмножеством исходного квазипорядка R_0. Квазипорядок R порождает отношения эквивалентности I и качественного порядка P.

Рассмотрим бинарное отношение эквивалентности $I(\approx)$ на Y. Оно имеет следующий вид:

$$y' \approx y'' \Leftrightarrow y' = y'' \qquad (10.1)$$

При этом на множестве допустимых решений X выделяются некоторые многообразия эквивалентных решений:

$$x' \approx x'' \Leftrightarrow f(x') = f(x'') \qquad (10.2)$$

Строгий порядок $P = R \setminus I$ есть доминирование по Парето, обозначаемое f_P :

$$y' \, f_P \, y'' \Leftrightarrow y'_j \le y''_j, y' \ne y', j \in J \qquad (11.1)$$

Множеством Парето-оптимальных критериальных векторов, определяющим недоминируемую, или эффективную, границу, будем называть множество $Max_P Y$, введённое для бинарного отношения P, и обозначаемое $P(Y)$.

Рассмотрим бинарное отношение строгого порядка на множестве допустимых решений X:

$$x' \mathrm{f}_P\ x'' \Leftrightarrow f(x') \le f(x'') \qquad (11.2)$$

Через $P(X)$ обозначается множество минимальных элементов на множестве X. Это множество принято называть множеством эффективных или Парето-оптимальных решений.

Для того чтобы узнать, принадлежит ли точка y множеству $P(Y)$, достаточно выяснить, попадают ли другие точки множества Y в $\{ y + R^m_- \} \setminus \{ y \}$, где R^m_- – отрицательный ортант пространства R^m. Другими словами, пересечение множества Y и множества всех точек $Y^+(y^0)$, лучших чем y^0, должно быть пусто:

$$Y^0 = \{y^0 \in Y : Y^+(y^0) \cap Y = \varnothing\}, \quad Y^+(y^0) = \{y \in Y : y \le y^0, y \ne y^0\} \qquad (12)$$

Оболочка Эджворта-Парето (ОЭП) определяется следующим образом:

$$Y_P = Y + (-R^m_-) \qquad (13.1)$$

Множество Y_P можно представить в эквивалентном виде:

$$Y_P = \{y \in R^m : y \ge f(x), y \ne f(x), x \in X\} \qquad (13.2)$$

Важным свойством ОЭП является следующая теорема:

$$P(Y_P) = P(Y) \qquad (14)$$

Выводы

Предложенное развитие МДЦ даёт следующие преимущества:

1) при зондировании пространства решений происходит более жёсткий отбор интересующих ЛПР точек за счёт применения градиентного метода;

2) как следствие п. 1, наблюдается снижение количества экспериментальных точек во множестве достижимых целей;

3) за счёт применения нормального закона распределения формируемая карта решений обладает боль-шей информативностью для ЛПР.

Изложенные в статье идеи могут применяться для решения задач многокритериальной оптимизации и анализа сложных многокритериальных моделей с непрерывными шкалами критериальных оценок в различных предметных областях.

Рассмотренное в статье развитие МДЦ было успешно применено при решении задачи многокритериального прогноза качества взрывных работ на карьере [19]. Использование описанных методов и алгоритмов при многокритериальном прогнозировании качества взрывных работ на карьере позволило в визуальной форме исследовать зависимости между достижимыми значениями критериев технико-экономи-ческих показателей взрыва в условиях непрерывности шкал критериев и выбирать из них наиболее оптимальные с точки зрения ЛПР. Выбранные при составлении модели технико-экономических показателей критерии позволили при относительно небольших вычислительных затратах формировать решения, обеспечивающие оптимальную кусковатость и состояние развала горной массы с соблюдением необходимого уровня безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Батищев Д.И.* Методы оптимального проектирования.: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с., ил.

2. *Бахвалов Л.А.* «Компьютерное моделирование систем», учебное пособие, электронная версия.

3. *Выгодский М.Я.* Справочник по высшей математике. Издание четырнадцатое. М., ООО «Большая медведица» АПП «Джангар», 1998, 864 с.

4. *Вычислительные* методы исследования и проектирования сложных систем. Михалевич В.С., Волкович В.Л. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982.

5. *Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н.* Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 296 с. – (Теория и методы системного анализа.)

6. *Измаилов А.Ф., Солодов М.В.* Численные методы оптимизации: Учеб. пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 304 с. – ISBN 5-9221-0045-9.

7. *Каменев Г.К., Чернов А.В.* Алгоритм построения контура объединения изотетичных прямоугольников// Исследование операций. М.: ВЦ РАН, 1996.

8. *Компьютер* и поиск компромисса. Метод достижения целей / Лотов А.В., Бушенков В.А., Каменев Г.К., Черных О.Л. – М.: Наука, 1997 - 239 с. (Серия «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения»).

9. *Конспект* курса лекций по дисциплине «Методы оптимальных решений», проф., д.ф.-м.н. Лотов А.В., кафедра Высшей математики, Государственный университет – Высшая школа Экономики, 2004.

10. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. М., 1974 г., 832 стр. с илл.

11. *Куприянов В.В., Исаев А.Б.* «Теория принятия решений», уч. пособие, часть I, М., МГГУ, 2000 г.

12. *Ларичев О.И.* Объективные модели и субъективные решения. – М.: Наука, 1987.

13. *Ларичев О.И.* Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: Учебник. Изд. второе, перераб. и доп. – М.: Логос, 2002. – 392 с.: ил.

14. *Ларичев О.И., Мошкович Е.М.* Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 208 с.

15. *Лотов А.В.* Численный метод построения множеств достижимости в линейных системах ИЖВМиМФ. – 1972. – Т.12, N 3.

16. *Миллер Дж. А.* Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию // Инженерная психология. М.: Прогресс, 1964.

17. *Ниязбаева С.В.* «Моделирование и многокритериальная оптимизация зарядов буровзрывной скважины на карьере», магистерская диссертация, руководитель проф., д.т.н. Потресов Д.К., М.: МГГУ 2004.

18. *Подиновский В.В., Ногин В.Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982.

19. *Потресов Д.К., Белин В.А., Сапожников С.И.* «Виртуальное моделирование взрывных работ на карьере». Москва. Изд-во МГГУ. Горный информационно-аналитический бюллетень, № 5, 2005 г., с. 165 – 169.

20. *Simon H.A.* How big is a chunk // Science. 1974. № 183.

21. *Systems* simulation – the art and science. Robert E. Shannon. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1975.

Коротко об авторах

Потресов Дмитрий Кириллович – профессор, доктор технических наук,
Сапожников Станислав Игоревич – магистрант

кафедра «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.

© Т.А. Кувашкина, 2006

УДК 65.012.122

Т.А. Кувашкина

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Семинар № 14

Неотъемлемой частью добычных работ является механизация основных процессов и операций, начиная от отбойки и заканчивая доставкой на поверхность полезного ископаемого и руды, которая позволяет повысить нагрузку на лаву и производительность труда.

При проведении добычных работ, в зависимости от геологических и горнотехнологических условий (глубина залегания, физические свойства ПИ и вмещающих пород, возможности вскрытия и отработки месторождения), выбирают тот или иной тип оборудования. Без автоматизации приходится вручную из справочных материалов проводить выбор оборудования под конкретные геологические условия и инженерные взыскания, причем по нескольким параметрам.

Задачи, связанные с автоматизированным планированием и проектированием горных работ [1], неизбежно наследуют все особенности производственной жизни горного предприятия: динамический характер производства, рабочие места перемещаются в процессе жизни предприятия. Затраты, связанные с разработкой месторождений горнодобывающими предприятиями, и технологические решения, принимаемые при их эксплуатации, имеют огромное влияние на экономическое и социальное положение целых регионов страны. Поэтому велика цена решений, которые зачастую необходимо принимать в сжатые сроки, в постоянно меняющихся экономических и социальных условиях. Для получения экономически и технологически целесообразных решений необходимо иметь средства их реализации, основанные, как правило, на моделировании горной технологии и использовании алгоритмов подбора оборудования при проектировании и планировании горных работ.

Рассмотрим технологию проектирования очистных работ (оснащение выработок технологическим оборудованием) в условиях угольных шахт для схемы горных выработок, состоящей из людского ходка, транспортного и вентиляционного уклонов, транспортного и вентиляционного штреков.

Процесс проектирования начинается с выбора типов крепи, которые предназначены для механизации операций по поддержанию кровли, поддержанию головки конвейера и ее передвижения по мере подвигания лав, оборудованных очистными комбайнами (комплексами). При этом крепи входят в состав очистных комплексов, в которые, помимо крепей различного типа (лавные, крепи сопряжений) входят комбайн, конвейер, насосные станции, оборудование ороси-

Технические характеристики крепей сопряжения

Показатели	Типы крепей				
	Для пологих и наклонных (до 35°) пластов				≥ 35°
	КСД90	КСШ5А	М81СК	1ОКП70	КГУ-Д
Рабочее сопротивление крепи, кН	6080	2760	3840	1900	980
Рабочее сопротивление стойки, кН	760	460	480	600	490
Давление на почву, МПа	≤ 2,0	≤ 1,5	≤ 2,6	-	-
Усилие передвижки секции, кН	-	172	240-320	240	≤ 78
Шаг установки секций, м	-	-	-	1,1	1,0
Шаг передвижки секций, м	0,63; 0,8	0,8	0,63	0,63	0,9
Угол поворота головки забойного кон-вейера, ° в вертикальной плоскости в плоскости пласта	0-35 -	≤ 35 ± 15	-	-	-
Габаритные размеры секции, мм: длина с козырьком ширина минимальная высота минимальная высота максимальная, м	7500 - 12900 2900	7500 1000 2200 3100	6530 812 1800 2600	3350 1060 1750 2670	3100 1000 (900 1600) (III типоразмер)
Масса комплекта крепи, кг	3100	8000	11400	5620	2200
Применимость:					
Форма сечения выработки	*)	трапециевидные, прямоугольные, арочные	трапециевидные, прямоугольные	-	-
Модель очистного оборудования (комбайн, комплекс)	МКД90	КМК97М, КМТ и др.	КМ130	1ГШ68, КШЗМ, 1КШЭ и др.	«Поиск-2», «Темп-1А»

*) сечение прилегающих к лаве штреков в свету в зоне влияния очистных работ: откаточного – 11 м^2; вентиляционного – 8,9 м^2

тельной системы и электрооборудование.

Выбор крепи зависит от горнотехнологических условий, а именно:

мощности угольного пласта, формы сечения выработок (трапециевидные, прямоугольные и арочные) и размеров выработок (длина, ширина, высота).

При этом также необходимо учитывать шаг установки секций, шаг их передвижки и давление на почву.

Так, например, крепь сопряжения штрековая М81СК может применяться в выработках шириной поверху 2350-2700 мм и высотой 1800-2400 мм трапециевидного и прямоугольного сечения, на пластах средней мощности, пологого и наклонного (до 35º) падения.

При этом выбор оборудования осуществляется как из одиночных представителей типа (КСД90, КСШ5А, М81СК и др.), так и из семейств (ОКП70).

В таблице приведены технические характеристики некоторых моделей крепей сопряжения.

Помимо крепей сопряжения для очистных забоев выделяют металлические индивидуальные крепи (стойки призабойные гидравлические, стойки трения, посадочные).

Стойки призабойные гидравлические (типа ГВУ, ГВКУ, ГВД, ГКУ) предназначены для крепления и укрепления кровлей в очистных забоях с узкозахватной и широкозахватной технологией выемки угля на пластах пологого и наклонного падения с возможностью извлечения крепи для многократного использования. Данный тип стоек не применим в лавах с жесткими посадочными крепями, при буровзрывном способе отбойки, уп-равлении кровлей с помощью буровзрывных работ, а также при слабой непосредственной кровле, если основная кровля представлена труднообрушаемыми породами.

Стойки трения (типа СТ) предназначены для крепления призабойного пространства в очистных забоях пологих и наклонных пластов с вынимаемой мощностью 0,88-2,5 м.

Посадочные стойки (тип ОКУ) предназначены для многократного использования в качестве посадочной крепи при управлении кровлей полным или частичным обрушением в очистных забоях пологих и наклонных (до 25º) пластов с вынимаемой мощностью от 0,45 до 1,3 м, крепь 2СПТМ («Спутник») – для пологих пластов с углами падения до 15º. Крепь КП-350 рационально применять для механизации процессов и управления кровлей способом полного обрушения при буровзрывной выемке в лавах, в которых применение механизированных комплексов экономически нецелесообразно затруднено из-за наличия неблагоприятных условий (с трудноуправляемой и тяжелообрушаемой кровлей).

Выбрав определенный тип крепи, необходимо выбрать машины для доставки и транспортирования угля и горной массы, которыми в основном являются передвижные и переносные скребковые конвейеры.

Преимуществом конвейера является возможность простой привязки к машинам для выемки, к секциям механизированной крепи, навесным кон-струкциям, без необходимости внесения значительных изменений в узлах базовой модели.

Выбор модели скребкового конвейера зависит от следующих параметров: мощность и угол наклона пласта, длина лавы, тип крепи, модель выемочной машины.

Передвижные конвейеры предназначены для транспортирования угля и горной массы в лавах с узкозахватными выемочными машинами.

Так, например, передвижной скребковый конвейер СП48М предназначен для доставки угля из лав длиной до 200 м на пологих пластах мощностью 0,7-0,9 м с углом падения до 20º, оборудованных комбайнами типа К101У (или очистными комплексами типа КМК97) и индивидуальной металлической крепью.

Переносные (разборные) конвейеры предназначены для работы в лавах, оборудованных широкозахватными комбайнами и индивидуальными крепями.

Переносные конвейеры изготавливаются для сравнительно небольшой производительности, длины доставки и спокойной гипсометрии места их установки.

Основными параметрами при выборе очистного комбайна являются характеристики угольного пласта: угол падения и мощность, сопротивляемость угля резанию, а также тип крепи и скребкового конвейера [2, 3, 4, 5].

Базируясь на характеристиках угольного пласта, выделяют очистные комбайны для выемки угля пологих и наклонных (до 35º) и крутых пластов.

Комбайны для выемки угля пологих и наклонных пластов в длинных очистных забоях разделяются по ширине захвата, типу исполнительного органа и др.

По ширине захвата различают комбайны широкозахватные (ширина захвата 1,2-2 м) и узкозахватные (ширина захвата 0,5-1 м) (модели КА80, К103М, 1ГШ68 и др.), которые больше приспособлены к применению с механизированными крепями.

По типу исполнительного органа комбайны выделяют со шнековым, вертикально-барабанным и буровым исполнительными органами.

Предпочтения отданы шнековым исполнительным органам, так как этот вид наиболее производителен по погрузке, прост по конструкции, не требует дополнительного устройства для оформления забоя, обеспечивает большой диапазон и оперативное регулирование по вынимаемой мощности пласта и слежение за гипсометрией его залегания, легко изменяется ширина захвата и удобен для создания семейства унифицированных комбайнов блочной сборки (очистные комплексы) [5].

При этом главным параметром очистного комбайна, определяющим интенсивность выемки угля, является его энерговооруженность, которая учитывается при выборе передвижной трансформаторной подстанции.

Вторым параметром комбайнов является вынимаемая мощность пласта, которая первоначально составляла 0,9-2,8 м, а в настоящее время равна 0,75-4,5м.

В настоящее время продолжается выпуск в небольших количествах широкозахватных комбайнов «Кировец-2К» и 2КЦТГ для добычи угля весьма тонких (0,5-0,8 м) пологих пластов. Для выемки этих пластов узкозахватные комбайны не созданы.

Для борьбы с пылью, образующейся при работе очистного комбайна, применяют насосные станции (типа СНТ); для обеспечения работы гидродомкратов – установки (типа 2УЧНС13, УНДО4-125, УНР-02, УНГ и др.), которые нагнетают рабочую жидкость (водомасляная эмульсия, вода, водные растворы поверхностно-активных веществ) в гидросистему очистных агрегатов и механизированных крепей.

Выбор данного оборудования зависит, прежде всего, от собственных характеристик: скорость подачи жидкости, максимальное рабочее давление, диапазон настройки давления, вместимость гидробака, габариты, и др., а также производительности добычного участка.

Таким образом, выбрав под определенные горнотехнологические условия набор оборудования, получаем комплекс для очистных работ.

Важным элементом в системе внутришахтного оборудования является оборудование, обеспечивающее внутришахтную вентиляцию (вентиляторы местного проветривания, газоотсасывающие).

Выбор данного оборудования осуществляется в зависимости от горно-геологических условий (склонность к

возгоранию, температура в выработках, влажность, запыленность, метанообильность), сечения и длины выработок, необходимого объема подаваемого свежего воздуха.

Далее осуществляем выбор машин и оборудования подземного транспорта (ленточные конвейеры, электровозы, грузовые и вагонетки для перевозки людей, монорельсовые и моноканатные дороги), которым оснащаем транспортный штрек.

Модель выбранного ленточного конвейера зависит от параметров, предъявляемых инженерными взысканиями в зависимости от шахтных условий (вид выработок (уклон, бремсберг)): максимальная производительность, приемная способность, ширина и тип ленты, длина транспортирования, угол наклона выработок, срок службы.

При выборе электровозов учитывают ширину рельсовой колеи, габаритные размеры, тяговое усилие, продолжительность рейса и др.

Тип выбранной грузовой вагонетки зависит от необходимой вместимости сосуда, грузоподъемности, проходимой колеи, габаритов (для людских учитывают количество людей, работающих в забое в смену).

Как видно из вышеизложенного, выбор оборудования зависит как от множества параметров, задаваемых геологическими условиями, так и совместимости видов оборудования друг с другом. При этом, уточняя данные параметры, увеличиваем количество вариантов (моделей) оснащения горных выработок в геометрической прогрессии.

При ручном методе проектирования системы шахтного оборудования возникают сложности и ошибочные решения, поэтому во избежании данных проблем целесообразно применять автоматизированные системы проектирования и программирования, базирующихся на объектно-ори-ентированной методологии и СОМ-технологии. Масштабируемый банк данных (МБнД), предназначенный для работы с пространственно-атрибу-тивными данными об объектах, позволит устранить указанные затруднения. При этом существует возможность просмотра характеристик и внешнего вида выбранного оборудования на плане горных работ посредством указания на визуализируемый объект курсором манипулятора (мыши).

Задав определенные горно-технологические условия (длина лавы, столба, производительность конвейера по углю, газоотдача пласта, сечение выработок), с помощью МБнД можно сформировать несколько вариантов (моделей) по подбору оборудования под заданные условия в виде сводных таблиц с перечислением совместимых механизмов (крепи, конвейеры, комбайны, электрооборудование, насосные станции и т.д.). То есть программный комплекс проектирования с МБнД работает в режиме советующей системы. При этом упрощается процесс решения задач связанных с учетом оборудования, анализ простоев оборудования; контроль сроков службы технологического оборудования; контроль движения породы и угля и др.

Полученные модели в ходе проектирования позволяют рационально использовать технологическое оборудование, то есть избегать простоев и аварийных ситуаций, связанных с неправильным использованием оборудования, а также правильно настроить технологический процесс.

МБнД – универсальный механизм, позволяющий получать модели любой совокупности и сложности объектов (модели-объекты и модели-процессы),

будь это модель подсчета запасов ПИ или модель оснащения выработок.

Процесс проектирования комплекса шахтного оборудования итеративен в силу того, что горный объект развивается (отрабатывается повторяющими процедурами для каждой лавы: выбор и установка крепей, очистного комбайна, конвейеров и т.д.) в течение всего периода своего суще-ствования, а также общих правил и принципов, применяемых к процессу оснащения выработок независимо от размеров и географического положения горного объекта. При этом существует возможность получения сводки о количественном и качественном составе технологического оборудования на различных уровнях иерархии, начиная от выемочного участка и заканчивая данными по всему месторождению.

Последовательность комплексирования объектов показана на рис. 1.

При применении объектно-ориентированной методологии и МБнД отпадает необходимость обращения к источникам справочного характера, в которых не всегда отражены все интересующие параметры. Так, например, по данным справочников достаточно трудно выбрать необходимый тип оборудования, поскольку данные разобщены, не сведены в сводные таблицы. Подтверждением сказанного служит таблица, в которой отражены характеристики крепей, где знак прочерка (-) означает отсутствие информации. По аналогии можно осуществить комплексирование и для проходческих работ.

Использование разработанных моделей и алгоритмов стало возможным в результате встраивания в МБнД цифровой модели месторождения ПИ, созданной на базе ГИС-техно-логий. Анализ конкретных производственных технико-экономических ситуаций и принятие наилучших решений фактически должны быть основаны на моделировании состояния и поведения горных объектов с использованием этой модели.

Так, на рис. 2 представлена геоинформационная модель участка пласта i4, отрабатываемого шахтой «Северная» ОАО «Воркутауголь».

Ее использование в рамках предлагаемой объектно-ориентированной технологии обработки пространственно-атрибутивной информации мо-жет осуществляться следующим образом (рис. 3).

Модуль-процесс «Добыча» МДс планирует с учетом имеющихся директив и ограничений (например, по производительности скипового ствола Ск. с. Сев. и Гл. с. А-Я) уровень добычи с южного крыла пласта i4.

Через модуль-моникер ММДс задание на планирование добычных работ этого крыла получает модуль-процесс МДз (уровень блоков). Используя геоинформационные модули обработки пространственно-атрибутивной информации (основные типы которой приведены в условных обозначениях рис. 2), модуль-процесс МДв осуществляет оптимальный раскрой участка на выемочные столбы по простиранию (лава 544-ю) и падению (лавы 444-ю, 644-ю и др.). При этом производится предварительное комплексирование оборудования для выемочных столбов.

Вызываемый через модуль-моникер ММДв модуль-процесс уровня «Лава» МДл с учетом конкретных горно-геологических условий выемочного столба (гипсометрия пласта, наличие пропластков и нарушений, состояние непосредственной и основной кровли, крепость угля и пород пропластков и др.) определяет окончательный состав выемочного комплекса, средств автоматизированного контроля среды и связи,

подачи электроэнергии и воды, составляет паспорт лавы.

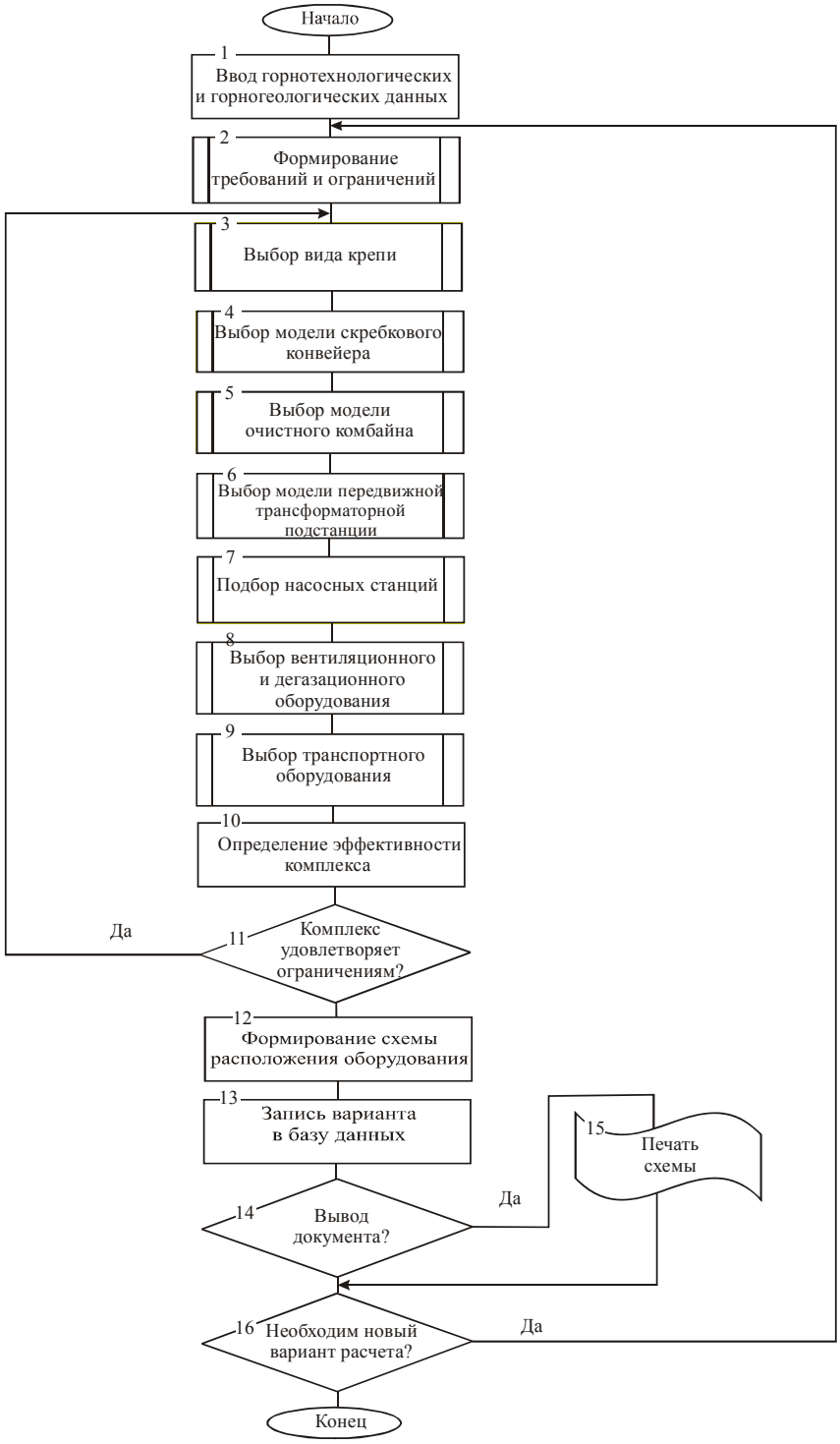
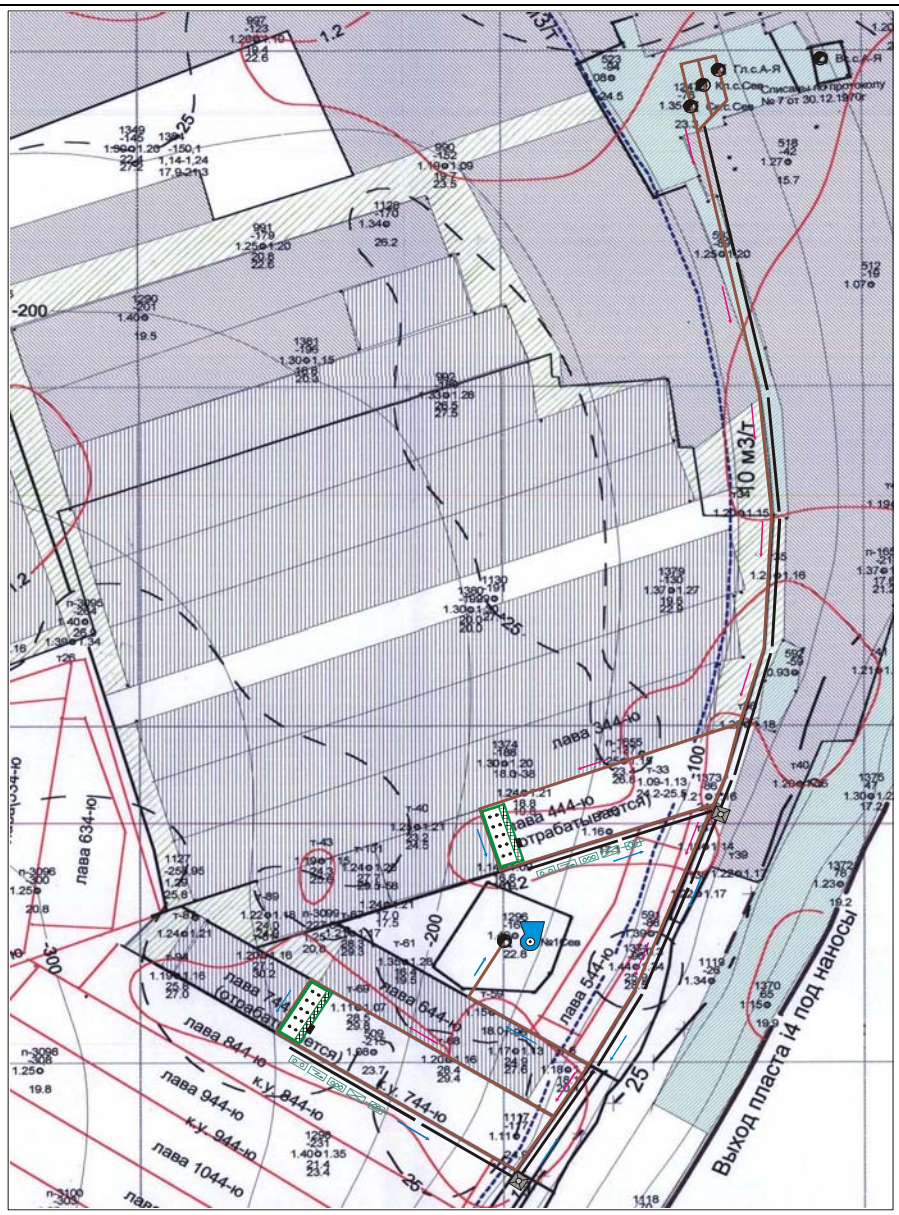


Рис. 1. Алгоритм комплексирования объектов для очистных работ



Условные обозначения

Надписи возле скважины: в центре: о - устье скважины; - точка пересечения почвы пласта
1361 - Номер скважины, номер точки опробования в горной выработке
-357 - Абсолютная отметка почвы пласта, м
1,25 .о 1,20 - Мощность пласта, м (слева - угольн. масса, справа - общепластовая)
21,6 - Зольность угольной массы, %
23,8 - Зольность общепластовая, %
Надписи характеристики скважины, точки опробования (снесенные от пункта):
п-2953 - Номер скважины, горной выработки, точки опробования в горной выработке
-342,28 - Абсолютная отметка почвы пласта, м
0,75 - Мощность угольной и горной массы, м
24,5 - Зольность угольной и горной массы, %
- 300 - Изогипса пласта, м
1,2 - Изопахита пласта
25 - Изолиния пластовой зольности, %
- Линия выхода пласта под наносы
- Горизонтальная горная выработка
- Техническая граница шахтного поля;
Гл. с - Вертикальный ствол и его назначение
- Контур охранного целика
- Контур отработанных запасов до 1990 г
- Контур отработанных запасов после 1990 г
- Контур списанных запасов
- Проектные горные выработки
- Сброс "Л" - тектонические нарушения
10 м3/т - Изогаза пласта
25 - Линия разделения по углу падения 25°
- Транспортное оборудование (ленточные конвейеры)
- Бункер перегружатель
- Исходящая струя воздуха
- Комплекс датчиков
- Свежая струя воздуха
- Комплекс очистного оборудования (комбайн, секции крепи, скребковый конвейер)
- Вентилятор главного проветривания
- Дегазационное оборудование
- Передвижная трансформаторная подстанция

Рис. 2. Схема горных выработок с технологическим оборудованием

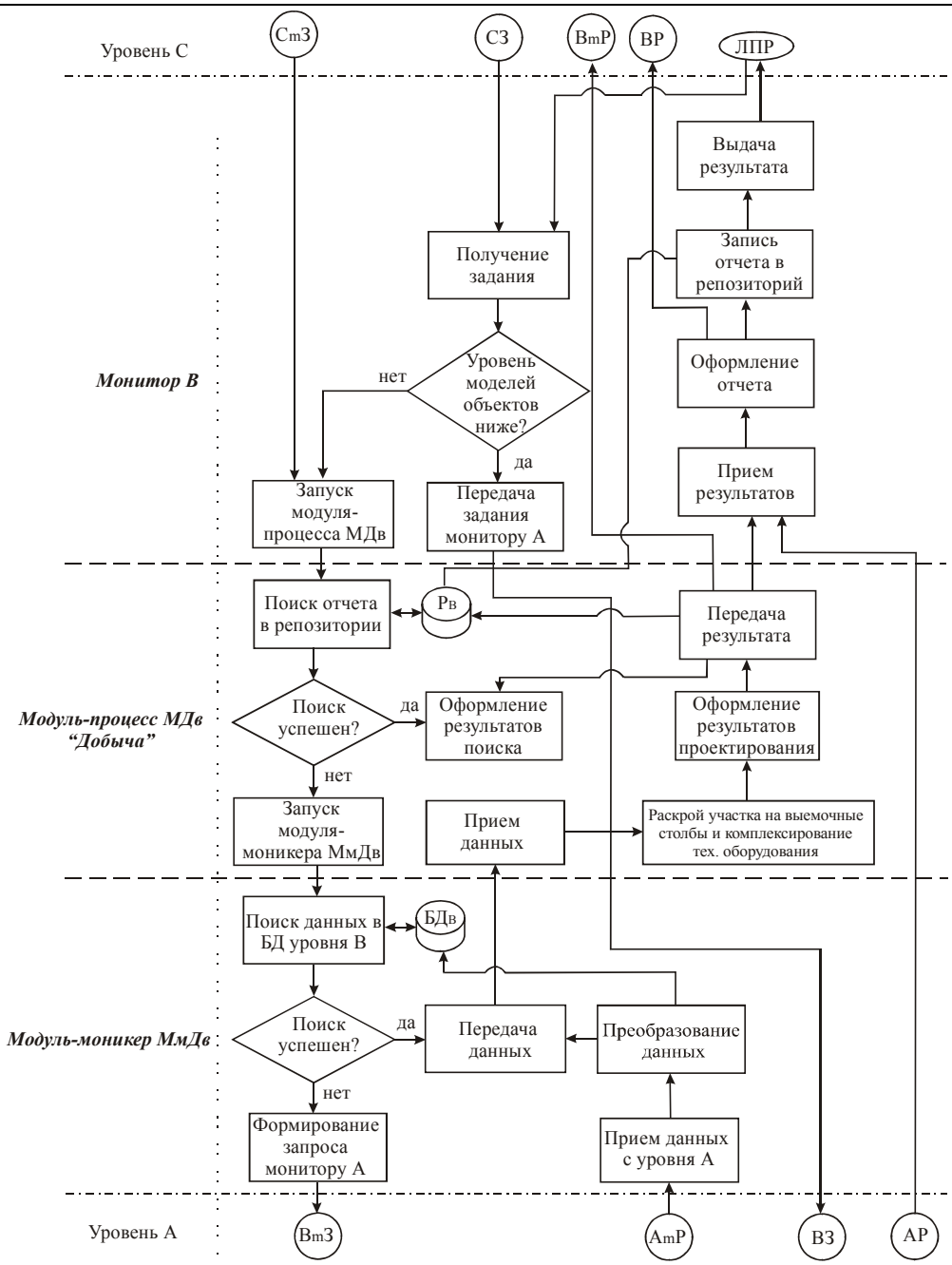


Рис. 3. Алгоритм функционирования модулей при проектировании технологических схем

В обратном порядке составляются уточненные планы добычных работ крыла (МДв) и шахты (МДс).

После этого запускается монитор «Транспорт угля» МТс для расчета конвейерной линии горизонта -80 м. По

описанному выше алгоритму подключаются модули-мониторы МТв и МТсi, рассчитывающие соответственно параметры конвейерных линий крыла и конвейерных уклонов 444-ю и 644-ю. В дальнейшем (через определенный период времени) мониторы МТсi будут рассчитывать параметры (производительность, длину ставов, пункты перегрузки, автоматику, силовое оборудование) транспортеров по конвейерным уклонам 544-ю и 844-ю.

Далее, «поднимаясь» по уровням иерархии, система транспорта корректируется и реализуется.

Так же рассчитываются системы вентиляции, энергоснабжения, водоснабжения, поддержания горных выработок, обеспечения безопасности производства (план ликвидации аварий, профилактические работы), связи и др.

Цифровая модель Воркутинского угольного месторождения, построенная с учетом объектно-ориентиро-ванной методологии (ООМ), использовалась при отработке мульдовой части данного месторождения.

Выводы

Процесс проектирования системы шахтного оборудования носит итеративный характер, поэтому целесообразно этот процесс автоматизировать.

Полученные модели в ходе автоматизированного проектирования позволяют рационально использовать технологическое оборудование, то есть избегать простоев и аварийных ситуаций, связанных с неправильным использованием оборудования, а также правильно настроить технологический процесс.

Созданные алгоритмы и технология обработки геоинформации с использованием МБнД позволяют работать с пространственно-атрибутивной горной информацией в реальном времени.

МБнД – универсальный механизм, позволяющий получать модели любой совокупности и сложности объектов (модели-объекты и модели-процессы) например, модель оснащения выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лукичев С.В., Наговицын О.В.* Система компьютерного моделирования объектов горной технологии GeoTech-3D // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ. – 2002. - № 5. - с. 204-207.

2. *Машины* и оборудование для шахт и рудников. Справочник С.Х. Клорикьян, В.В. Старичнева, М.А. Сребный М.: издательство Московского государственного горного университета. – 1994. – 471 с.

3. ОСТ 12.44.258-84 Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. 1984. – 107 с.

4. *Отраслевая* инструкция по выбору шнековых исполнительных органов очистных комбайнов. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1997. – 33 с.

5. *Шек В.М., Линник В.Ю.* Автоматизированная система оценки характеристик угольных пластов и расчета параметров шнеков очистных комбайнов. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ. – 2002. - № 5. - С. 211-214.

Коротко об авторах

Кувашкина Татьяна Анатольевна – ассистент кафедра «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.

© А.М. Валуев, 2006

УДК 622.271

А.М. Валуев

КВАЗИИНВАРИАНТНЫЙ СИНТЕЗ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ КАРЬЕРОВ

Семинар № 14

Реальный производственный процесс открытой разработки месторождений даже при поточных технологиях (многоковшовый экскаватор, погружающий полезное ископаемое на конвейер), а тем более при цикличных технологиях на любом временном промежутке, затрагиваемом календарным планированием, представляет собой совокупность нескольких типов производственных циклов. В моделях планирования протекание процессов обоснованно сглаживается по тем циклам, продолжительность которых много меньше отдельного этапа планового периода, однако при реализации плановых решений циклический характер процессов является одним из источников неопределенности получаемых результатов, т.е. вносит возмущения в производственный процесс.

Идея метода инвариантного синтеза [1] состоит в построении специального способа компенсации возмущений с момента их возникновения, а не в силу возникших под их действием отклонений траектории; при дискретном управлении и наличии многообразных производственных циклов, характерном для производственных систем, она является в определенном смысле даже более заманчивой, чем для непрерывного управления техническими системами (где метод только и находил применение). Для таких производственных систем воздействие возмущения на результаты функционирования можно зафиксировать и измерить (и компенсировать традиционными способами) не через короткое время с начала его действия (как в технических системах), а не ранее окончания того или тех циклов, на которые оно воздействует.

Существует, однако, значительный набор отличий характерных условий для производственных систем карьеров от тех, для которых разработан метод инвариантного синтеза:

- цель производства состоит не только в достижении заданного состояния в конце процесса (описываемого набором терминальных целевых показателей), но и в достижении требуемых значений (скорее, интервалов допустимых значений) этапными целевыми показателями, характеризующими прежде всего объем и качество поставок продукции карьера;
- динамика системы описывается двумя категориями соотношений: разностные уравнения (могущие быть выведенными из дифференциальных) для описания количественной динамики в фиксированном качественном состоянии и уравнения перехода при достижении границ качественного состояния; в методе инвариантного синтеза преимущественно употребляются дифференциальные, реже разностные уравнения, но динамика качественного состояния не рассматривается;

- управления являются дискретными во времени, т.е. относятся не к моментам времени, а к временным интервалам; однако этими интервалами могут быть не только календарные этапы, но и этапы между двумя переключениями качественного состояния производственной системы;
- возмущения параметров сказываются не только в уравнениях динамики, но и в ограничениях (на производственные возможности) и даже, возможно, в требуемых значениях этапных и терминальных целевых показателей; формальная природа этих возмущений может быть различной (для производительности оборудования и требуемых объемов поставок — скалярные величины, относимые к календарным этапам, для оценки полей геологических признаков — функции от положений забоев, для аварийности оборудования и производственных цепочек — ряды моментов отказа и восстановления; как функции времени, они являются дискретными, как и управления;
- возмущения могут быть наблюдаемыми с момента возникновения (и даже с опережением), а могут, как погрешности реализации плана, не обладать наблюдаемостью; последние не регистрируются сами по себе, а регистрируются расхождения между плановым (прогнозным) и фак-тическим состоянием по окончании этапа.

Форма модели производственного процесса для задачи коррекции плана будет наиболее адекватной, если она явно будет учитывать качественные переключения производственного про-цесса, как в силу возникновения возмущений дискретной природы, так и в силу достижения состояния окончания отдельных работ. Модель такого типа была предложена автором в работе [2]; в задачах коррекции планов, решаемых при осуществившейся реализации случайных возмущений, используется ее детерминированный вариант. В этих задачах известны для текущего момента времени (или рационально прогнозируются) уже произошедшие и происходящие возмущения, но, вообще говоря, не до конца планового периода, а также текущее состояние. Целью настоящей работы является построение такой модификации метода инвариантного синтеза, которая позволяет в определенном диапазоне возмущений обеспечить интервальную инвариантность целевых показателей не с заданной вероятностью, а гарантированно. В связи с этой целью не возникает и необходимости включения стохастических зависимостей в рассматриваемую модель.

Следует отметить, что плановое управление, которое в рассматриваемых условиях при произвольных возмущениях (в ограниченном диапазоне значений) можно скорректировать для обеспечения интервальной инвариантности целевых показателей, должно обладать ресурсами коррекции двоякого рода. Во-первых, компенсировать ненаблюдаемые возмущения невозможно, поэтому на плане значения целевых показателей не должны находиться на границах требуемых интервалов. Во-вторых, управляемые переменные, т.е. нагрузки на забои и величины грузопотоков для отдельных этапов, также не должны быть на границе своих диапазонов, т.е. достигать максимального или же нулевого значения.

Описание динамики производственных процессов как разностными (что обычно практикуется), так и обыкновенными дифференциальными уравнениями в равной мере соответствует сглаженным по коротким циклам траекториям процесса; однако принятие дифференциальных уравнений для исходно-

го описания процесса имеет преимущество как большей точности в ряде случаев (например, динамика формирования штабеля), так и более естественного описания количественной динамики системы. В соответствии с дискретным характером управления в пределах этапа каждую компоненту управления следует считать скалярной величиной, а не функцией времени. В качестве переменных управления выбираются:

1. интенсивности выемочно-погрузочных работ по отдельным забоям (участкам);
2. интенсивности отдельных грузопотоков.

Изредка возникают и иные переменные управления — параметры эксплуатационных кондиций или процесса обогащения; значения этих величин (скажем, пороговое значение зольности для включения угля в один из двух сортов или плотность среды разделения) также не зависят от продолжительности этапа.

Итак, производственный процесс при принятом плане характеризуется некоторой последовательностью этапов $K = \{1,\ldots, N\}$; промежуток времени k-го этапа обозначаем $[T(k),\ T(k+1))$, значение векторов качественного состояния $d(k)$ и управления $u(k)$, плановое состояние в момент времени $t\in[T(k),\ T(k+1))$ обозначаем $x(t, k)$, в начале и конце этапа — соответственно $x^0(k)$ и $x^1(k)$. Целевые показатели относятся к этапам из $K_0 = \{k_1,\ldots, k_M\}\subseteq K$, зависят не от номера своего этапа, а от его порядкового номера в последовательности K_0 . Интервальные ограничения на значения целевых показателей приводятся к виду

$$F_{iT}(x^1(k_M)),\ i\in I_{0\text{T}}. \qquad (1)$$

$$F_{im}(x^1(k_m))\le 0,\ i\in I_0(m),\ m=1,\ldots, M. \qquad (2)$$

Фактический процесс характеризуется последовательностью этапов $K'= \{1,\ldots, N'\}$, разделенных моментами окончаниями работ, календарных подпериодов, возникновения или прекращения отдельных возмущений. Совокупность параметров возмущения в течение этапа обозначаем $e(k)$.

Для прогноза, составляемого при коррекции плана в начале фактического l–го этапа, скорректированное управление для текущего или последующего k–го этапа обозначается $u(k,l)$ (полагая, что $u(k,\ 0)$ есть плановое управление). Аналогично обозначаются другие прогнозные величины. Динамика системы для коррекции управления рассчитывается по прогнозной модели от фактического момента времени $T'(l)$). Прогнозная модель однотипна с моделью планирования, но включает вектор возмущений (полагаем $e(l,\ l) = =e(l)$, $e(k,\ l) = 0$ при $k \ne l$).

В течение этапа систему описывают уравнения

$$dx(t,k,l)/dt = f(d(k,l),\ e(k,l),\ x(t,k,l),u(k,l) \qquad (3)$$

прогнозные моменты окончания этапов —

$$r^{Y}_{i(s)}(d^{(s)}(k,l),e^{(s)}(k,l),x^{1(s)}(k,l))\equiv$$
$$\equiv x^{1}_{i(s)}(k,l)-x_{s0}(d^{(s)}(k,l),e^{(s)}(k,l))=0,$$
$$s\in S(k), \qquad (4)$$

$$r^{Y}_{i(s)}(d^{(s)}(k,l),e^{(s)}(k,l),x^{1(s)}(k,l))<0,$$
$$s\notin S(k). \qquad (5)$$

Фактические состояния в конце l-го и начале l+1-го этапов суть

$$y^1(l) = x(T(l),l,l) + \Delta y^1(l),$$
$$y^0(l+1) = X(S'(l),\ d(k,l),\ e(l),\ y^1(l)) \qquad (6)$$

что также вызывает расхождение между прогнозным и фактическим моментом окончания этапа. Однако для прогнозной траектории имеем $x^0(l,l)=y^0(l)$, ос-

тальные показатели являются прогнозными, а не фактическими.

Скорректированные управления должны удовлетворять ограничениям как на значения отдельных компонент (что выражает прежде всего производственные возможности отдельных машин), так и ограничениям на ряд компонент (ограничения по отдельным процессам). В соответствии с идеями метода инвариантного синтеза мы должны были бы рассматривать первые ограничения как неактивные, не участвующие в вычислениях, однако для учета соответствующих возмущений рассматриваем их двояко: как неактивные, если возмущение не мешает реализации планового управления, и как ограничения-равенства (значение управления определяется возмущением) в противном случае. Таким образом, из компонент вектора скорректированного управления составляются два вектора — условно неограниченный $u^1(k,l)$ и с фиксированным значением $u^2(k,l)$. На векторы $u(k,l)$ в целом наложены ограничения, которые также считаются зависящими от возмущения

$$r_j^U(d(k,l), e(k,l), v(k,l)) \le 0,\ j \in J_1(d(k,l), e(k,l)), \quad (7)$$

$$r_j^U(d(k,l), e(k,l), v(k,l)) = 0,\ j \in J_2(d(k,l), e(k,l)). \quad (8)$$

При выборе скорректированного управления $u^1(k,l)$ на текущем этапе предполагаем, что возмущение действует только на текущем этапе (таким образом, при $k>l$ $u^1(k,l)=u(k,l)$). Соблюдение на прогнозной траектории ограничений (1), а также (2) (для текущего календарного этапа $m(l)$) обеспечиваем, решая для данного l систему уравнений (в которой используется прогнозный номер $k'(m(l))$ этапа, завершающего календарный этап $m(l)$):

$$\max\{F_{im(l)}(x^1(k'(m(l)), e(l))+\varepsilon, 0\} \le 0,\ i \in I_0(m(l)), \quad (9)$$

$$\max\{F_i(x^1(N'), e(l))-\varepsilon, 0\} \le 0,\ i \in I_{0\text{T}}. \quad (10)$$

совместно с уравнениями

$$\max\{r_j^U(d(k), e(k), v(k,l)) - \varepsilon, 0\} = 0,\ j \in J_1(d(k), e(k)), \quad (11)$$

и (8). Соблюдение остальных ограничений (2) обеспечивается за счет представления

$$u(k,l) = u(k,l-1) + B(k,m)\varphi^m, \quad (13)$$

где $B(k,m)$ — заранее заданная матрица, а вектор φ^m определяется путем решения системы уравнений вида (10), (11), (8) при прогнозном $x^0(k'(m(l\text{-}1)+1))$. В случае, если последовательность событий изменилась, в (13) в качестве $u(k,l\text{-}1)$ используется управление $u(k', l\text{-}1)$ с соответствующего этапа k', для которого $d(k', l\text{-}1)=d(k, l)$, если такой существует, и стандартное управление $u_0(d(k, l), e(k, l))$ в противном случае. Как показано в работе [3], последовательность этапов изменяется в силу возмущения локально.

Фактически решение систем уравнений (10), (11), (8) для всех предстоящих этапов должно производиться одновременно, т.к. определение переменных из (10) требует знания значений φ^m, которые, в свою очередь, фигурируют в последующих уравнениях (11). Путем вычисления сопряженных переменных для уравнений (3) с подстановкой в них $B(k,m)\varphi^m$ решение систем сводится к комбинации многократного расчета задач Коши для (3) и (в обращенном времени) для сопряжен-ных уравнений и решения систем линейных алгебраических уравнений с блочно-треугольной матрицей. Эти

вычисления выполняются аналогично [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Величенко В.В.* О вариационном методе в проблеме инвариантности управляемых систем // Автоматика и телемеханика. — 1972. — №4. — С. 22–35.
2. *Valuev A.M.* On the substantiation of technological solutions for open pits via production planning simulation // Mine Planning and Equipment Selection: Proceedings of the fifth international symposium. Sao Paulo, 22-26 October 1996. — P. 91–95.
3. *Валуев А.М.* Инвариантный синтез для событийно-переключаемых процессов // Обозрение прикл. и промышл. математ. — 2005. — Т. 12. — вып. 3. — С. 711–713.

Коротко об авторах

Валуев Андрей Михайлович — доцент, кандидат физико-математических наук, кафедра «Организация и управление в горной промышленности», Московский государственный горный университет.

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ВИЛЬГЕЛЬМ Андрей Владимирович	Повышение эффективности шахтных информационно-управляющих систем на основе вейвлет-методов обработки данных	05.13.06	к.т.н.
ДАВЛЕТБАЕВ Хайбулла Гамуллович	Повышение эффективности обогащения тонковкрапленных медно-молибденовых руд на основе совершенствования схем и режимов флотации промпродуктов	25.00.13	к.т.н.