

## ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕДУР ПРЕДЕЛЬНОГО ПЕРЕХОДА И АНАЛИЗА КРИТЕРИЕВ В ВОПРОСАХ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

А. Ю. Аликов\*, А. В. Щепетов\*\*

\* *Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет)*

\*\* *Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета*

Поступила в редакцию 01.04.2010 г.

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы модернизации технологии и реконструкции производства на основе экономико-математического моделирования процедур предельного перехода и анализа критериев, соответствующих структурно-параметрическим преобразованиям.

**Ключевые слова.** Модернизация технологии, реконструкция производства, структурно-параметрическая адаптация, экономико-математическое моделирование, системный анализ, предельный переход.

**Abstract.** In clause questions of modernization of technology and reconstruction of manufacture on the basis of economic-mathematical modeling of limiting transition and the analysis of the criteria corresponding structurally-parametrical transformations are considered.

**Keywords.** Modernization of technology, reconstruction of manufacture, structurally-parametrical adaptation, economic-mathematical modeling, system analyzes, limiting transition

### ВВЕДЕНИЕ

Промышленные предприятия в процессе функционирования подвергаются не только помехам и возмущениям, но и естественным процессам старения технологии, изменения ресурсной базы, изменения характеристик и режимов поставок энергоносителей. Кроме того, постоянно изменяется как среда реализации выходных продуктов, так и экономические характеристики взаимодействия предприятия с внешней средой. Перечисленные факторы и параметры определяют предприятие как систему со своими элементами, связями и границами, определяют и её место в системе более высокого порядка. Считая, что глобальной целью производственной системы является максимизация времени жизненного цикла при условии выполнения в процессе жизненного цикла заданных ограничений и условий функционирования, задачей системы управления является поиск таких управленческих воздействий на структу-

ру и параметры системы (промышленного предприятия), которые обеспечили бы максимальное время жизненного цикла. В общем случае управленческие воздействия могут быть направлены на изменение структуры управляемой системы и на параметры как системы в целом, так и отдельных ее элементов. Очевидно, что данные управленческие воздействия должны адаптировать состав, структуру и связи промышленного предприятия, компенсировать или снижать отрицательные воздействия внешней среды и внутренних изменений. Практически, при неизменной номенклатуре выходных продуктов адаптация может выполняться в двух направлениях:

— в параметрическом, при котором изменяются параметры технологии, технико-экономические характеристики агрегатов, настройки технологических режимов, параметры энергетических и материальных ресурсов;

— в структурном, при котором изменяется структура производства за счет введения новых или исключения действующих технологических агрегатов, за счет изменения структуры транс-

портных операций, при введении новых технологических маршрутов, при изменении структур планирования и управления.

Эти направления связаны между собой — изменение структуры производства вызывает изменение параметров технологических и транспортных операций, технологических карт и инструкций. Мера качества структурной и параметрической адаптации производства определяется набором и значениями критериев, оценивающих их внутреннюю организационно-экономическую эффективность, потребительские свойства и эффективность рыночной реализации.

### 1. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Наиболее рациональным способом выработки и реализации управленческих воздействий, направленных на структурно-параметрическую адаптацию производства, является экономико-математическое моделирование этих процессов и прогнозирование ожидаемых результатов. Кроме того, наибольшую сложность в формальном описании изложенных процессов, представляет увязка относительно простых частных моделей и соотношений в общую модель, адекватную реальным процессам.

Проведенный анализ известных экономико-математических моделей показал, что наиболее приемлемой является модель Беллмана [1], определяемая формализуемым набором элементов, условий функционирования и связей между ними, правилами выбора параметрических изменений на основе предварительно сформулированной функции полезности

$$M = \{X, Y[Y_x \subset Y, x \in X], Q(X | X \times Y), w(X \times Y)\}, \quad (1)$$

где  $X$  – множество состояний;  $Y$  – множество управляющих альтернатив;  $[Y_x \subset Y, x \in X]$  – ограничения на допустимость управленческих альтернатив в зависимости от состояния;  $Q(X | X \times Y)$  – переходная функция, определяющая вероятности одношаговых переходов на множестве состояний в зависимости от управлений;  $w(X \times Y)$  – функция полезности, представляющая априорные предпочтения на управлениях  $y \in Y$  в соответствии с условием

$$(y' > y) \leftrightarrow [W(x, y') > w(x, y)],$$

которая устанавливает и классифицирует по полезности соответствие состояний и управленческих воздействий.

### 2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В рамках модели такой структуры проблема всесторонне исследована под различными названиями: «марковские процессы принятия решений» [2], «динамическое программирование», «управляемые марковские процессы» [3], «стохастическое оптимальное управление» [4] и другими. Однако, несмотря на известную универсальность этой модели, непосредственное ее применение в задачах определения системной живучести [5], структурно-параметрической адаптации [6], максимизации времени жизненного цикла и других экономико-математических задач систем, требует ее существенной доработки. Доработка касается, прежде всего, введения и формального представления набора критериев  $G(\cdot)$  и описания структуры производства  $S(s, M_s, I_s)$  с материальными  $M_s$  и информационными связями  $I_s$ . Поэтому, модель (1), в части структурно-параметрического представления для задач модернизации технологии и реконструкции производства должна иметь вид

$$M = \{X, Y, [\cdot], Q(\cdot), w(\cdot), S(s, M_s, I_s) / G(\cdot)\}, \quad (2)$$

который учитывает состояние управляемой системы в сопоставлении с критериями  $G(\cdot)$ . В свою очередь, система критериев  $G(\cdot)$  должна учитывать диапазоны допустимых параметрических изменений, связывать их с экономическими параметрами  $\mathcal{E}(\cdot)$ , на основе которых оценивается эффективность функционирования промышленного предприятия. Считая, что экономическая эффективность адаптации является определяющей

$$\mathcal{E}(\cdot) = f[M, W(\cdot)]$$

модель становится трансцендентной относительно  $Q(\cdot)$ . Аналитическое решение такой модели затруднительно, поэтому представляется возможным решение методами последовательной линеаризации [7]. В качестве исходного управления задается описание (2). Из допустимых технологических и экономических переменных формируются начальные условия, и выполняется предварительный расчет параметров элементов, ресурсных уравнений, уравнений преобразований, которые соответствуют “свободному движению”, то есть функционированию производства без помех и возмущений. Далее подбираются такие значения  $Q(q_1, q_2, \dots, q_n)$ , которые соответствуют (2). Помехи и возмущения, действующие на производство, пересчитыв-

ваются в их организационные, технологические и экономические эффекты – в изменения параметров и структуры при фиксированных ранее значениях  $Q(\cdot)$ . По существу проводится анализ траектории или свободного движения из условий принципа минимума отклонения. Значения параметров, выходящие за минимум отклонения, являются уставками или заданиями для параметрической адаптации.

Таким образом, находя предельные допустимые значения параметров, входящих в (2), можно выполнить переход параметрического преобразования (допустимых изменений параметров), модернизация технологии, в условия, когда их изменения невозможны и требуются структурные преобразования, реконструкция производства, в которых элементы структуры (технологические агрегаты, транспортные коммуникации) должны соответствовать значениям, полученным в результате параметрических преобразований.

Другими словами, процедуре определения состава и содержания модернизации технологии ставится в соответствие значение экономической компонента ( $\mathcal{E}$ ) затратной функции. Логика принятия решения основывается на предположении, что модернизация технологии экономически целесообразна и осуществима, то есть анализируется выполнение предельного неравенства:

$$\text{если } \mathcal{E}(\tau_0, \tau) < \sum_i F_{Zi}^i, \quad (3)$$

то целесообразна модернизация, иначе, если  $\mathcal{E}(\tau_0, \tau) < \sum_i F_{Zi}^i$ , то целесообразна реконструкция.

Из этого неравенства следует основное условие перехода из расчетов по модернизации технологии в расчет условий реконструкции производства. Данная проблема есть классическая задача реконструкции: если существующая структура системы для достижения системных целей требует затрат, не совместимых с ее существованием, данную структуру следует заменить. Модернизация технологии, как процедура, направленная на повышение живучести системы, при невыполнении данного неравенства является не эффективной по сравнению с реконструкцией производства.

Поясним на примере. Так, на определенном этапе своей деятельности шахты сталкиваются со снижением экономической эффективности

производства, с ростом себестоимости добываемого угля. Для любой даже самой эффективной технологии добычи угля существуют рациональные технологические границы ее применения, а основными причинами роста себестоимости угля являются: высокие капитальные затраты на вскрытие выемочных полей с рационально завышенными размерами по простиранию и по глубине отработки; рост эксплуатационных затрат по мере удаления горных работ от основных вскрывающих выработок (стволов); снижение надежности технологических звеньев с увеличением их протяженности по мере удаления горных работ основных вскрывающих выработок и как следствие – снижение объема добываемого угля. Существующее многообразие технологических схем шахт в угольной промышленности предполагает различное влияние перечисленных параметров на конечные технико-экономические показатели их работы.

Сложное положение действующих шахт, в котором они оказываются на стадии доработки ранее отведенных запасов угля и переходящих в стадию их закрытия, вызывает необходимость прирезки дополнительных запасов угля к основному полю шахты. Основным вопросом при осуществлении прирезки дополнительных запасов угля является выбор рациональной схемы вскрытия нового участка. В реальности существует только два варианта вскрытия нового участка в зависимости от его удаленности от действующей шахты: самостоятельное вскрытие нового участка (вариант № 1) и вскрытие нового участка из действующих выработок уже работающей шахты (вариант № 2).

Анализ изменения капитальных затрат на реновацию вскрывающих горных выработок, эксплуатационных затрат в технологической линии шахты и на ее поверхности по сравниваемым вариантам № 1 и № 2 позволяют сделать некоторые выводы:

— капитальные затраты  $Zt_{\text{кап}}$  при самостоятельной схеме вскрытия нового участка по варианту № 1 не зависят от расстояния  $L$  между участками из-за незначительных капитальных затрат на строительство автодорог и линий электропередач на поверхности  $Zt_{\text{кап}}^1 \neq f(L)$ ;

— капитальные затраты при схеме вскрытия участка по варианту № 2 формируются длиной промквершлага и вентквершлага, поэтому за-

висят прямо пропорционально от расстояния  $L$  между участками  $Zt_{\text{кап}}^2 \neq f(L)$ ;

при значительном удалении участков и увеличении расстояния  $L$  капитальные затраты  $Zt_{\text{кап}}^2$  на проведение промквершлага и вентквершлага по варианту № 2 могут превышать капитальные затраты  $Zt_{\text{кап}}^1$  при самостоятельной схеме его вскрытия по варианту № 1;

аналогичным образом должно быть учтено повышение эксплуатационных затрат  $Zt_{\text{экспл}}$  по мере удаления горных работ от основных вскрывающих выработок (снижение надежности технологической линии шахты, доставка материалов и оборудования в забой, обслуживание сетей и так далее);

в точке пересечения кривых изменения затрат имеет место их равенство  $Zt^1 = Zt^2(L)$ , при котором расстояние  $L$  между участками равно критическому  $L = L_{\text{кр}}$  и варианты схем вскрытия № 1 и № 2 равнозначны, что показывает предельный переход экономической эффективности схемы вскрытия (переход от параметрических изменений к структурным преобразованиям).

Таким образом, прикладными вопросами, на основе которых определяется необходимость модернизации технологии или реконструкции производства, являются, в первую очередь, вопросы, определяющие вклад каждого параметра в затратную функцию, анализ которой позволяет принять решение о необходимости либо модернизации технологии (параметрическая адаптация), либо реконструкции производства (структурная адаптация).

**Аликов Алан Юрьевич** — к.т.н., доцент, заведующий кафедрой системы автоматизированного проектирования Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), г. Владикавказ. Тел. +79604039586. E-mail: alan\_alikov@rambler.ru

**Щепетов Алексей Викторович** — к.т.н., ст. преподаватель кафедры информационных систем и управления им. В. К. Буторина Новокузнецкого филиала-института Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк. Тел. +79236255555. E-mail: khaaan@mail.ru

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные системные концепции позволяют на содержательном, а при необходимости, и на количественном уровне определять запас живучести системы, достоверно выявлять операции и агрегаты, подлежащие набору процедур структурно-параметрической адаптации (модернизации или реконструкции), рассчитывать рациональный временной и протяженный интервалы, для которых эти мероприятия наиболее эффективны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов В. В. Метод стационарных равновесий в задачах динамического принятия решений при неопределенности относительно состояния [Текст] / В.В. Баранов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 3. – С. 45 – 59.
2. Майн Х. Марковские процессы принятия решений [Текст] / Х. Майн, С. Осаки. – М.: Наука, 1977. – 323 с.
3. Дынкин Е. Б. Управляемые марковские процессы [Текст] / Е. Б. Дынкин, А. А. Юшкевич. – М.: Наука, 1975. – 291 с.
4. Бертсекас Д. Стохастическое оптимальное управление [Текст] / Д. Бертсекас, С. Шрив. – М.: Наука, 1985. – 243 с.
5. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа [Текст] / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1990. – 265 с.
6. Воронов А. А. Управление социально-техническими системами [Текст] / А. А. Воронов. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 189 с.
7. Федоренко Р. П. Приближенное решение задач оптимального управления [Текст] / Р. П. Федоренко. – М.: Наука, 1978. – 277 с.

**Alikov Alan Yurevich** — Cand.Tech.Sci., the senior lecturer managing faculty of systems of automatic designing of the North-Caucasian college of mines-metallurgical (the state technological university), Vladikavkaz. Tel. +79604039586. E-mail: alan\_alikov@rambler.ru

**Shchepetov Alexey Viktorovich** — Cand.Tech.Sci., the senior teacher to faculty of information systems and managements of it. V.K. Butorin of Novokuznetsk branch-institute of the Kemerovo state university, Novokuznetsk. Tel. +79236255555. E-mail: khaaan@mail.ru