

УДК 622.272

**В.В. Мельник, А.Н. Абрамкина, Л.И. Шулятьева**

## **ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ШАХТЫ**

*Изложены результаты исследований, позволившие установить взаимосвязь параметров подсистем во взаимосвязи с параметрами технологических схем вскрытия и подготовки новых горизонтов шахт. Предложена модель обоснования параметров технологических схем вскрытия и подготовки как строящихся, так и действующих шахт.*

*Ключевые слова: система-шахта, капитальное строительство, схемы вскрытия, параметры технологической схемы, параметры процессов, совместная оптимизация.*

---

Основным видом капитального строительства на шахтах угольных бассейнов было вскрытие и подготовка новых, более глубоких горизонтов для поддержания производственных мощностей. При этом принятые и реализованные проектные решения были направлены на увеличение высоты горизонта до 200 м, что позволило увеличить срок его эксплуатации до 15-20 лет, однако способствовало резкому углублению горных работ. Недостатки схем вскрытия новых горизонтов, принятые в проектах, привели к усложнению схем подземного транспорта, увеличению поддержания большого числа стволов и шурфов, пройденных до вышележащих горизонтов, а также примыкающих к ним выработок значительной протяженности. Эффективность использования главных вскрывающих выработок, вследствие этого, снизилась. Обеспеченность шахт вскрытыми и подготовленными запасами, вследствие произведенных вложений и с учетом производственных мощностей составляла в среднем 10-12 лет.

Положительная динамика, наметившаяся в угледобывающих отраслях России и Казахстана в последние го-

ды определяется ростом потребностей в угольной продукции. Основной прирост приходится на угли, направляемые и на энергетические нужды (среднегодовые темпы роста 37,4 %). Потребность в угле на внешнем рынке практически не изменится; это уголь, направляемый на изготовление кокса. Потребность в углях, добытых подземным способом на внутреннем рынке России к 2010 году по сравнению с 2009 годом увеличится на 2,7 %. Анализ состояния шахтного фонда бассейнов России и Казахстана показал, что резерв увеличения нагрузок составляет более чем двукратную величину. Обеспечение рыночных потребностей в углях может быть достигнуто интенсификацией использования действующего шахтного фонда.

Изучение мирового опыта выхода угольной отрасли из кризиса дало возможность странам СНГ разработать и реализовать программы реструктуризации шахтного фонда. Так, Российская угольная промышленность решила эту проблему закрытием ряда неперспективных и особо убыточных шахт, в результате чего изменилась доля добычи угля перспективными шахтами, которая составляет в на-

стоящее время около 70 %. Наряду с этим, изменение форм собственности предприятий угольной отрасли позволяет создать собственные финансовые ресурсы, в основном за счёт обеспечения прибыльности угледобычи, что дало возможность за последние 3 года увеличить добычу на 37 млн. тонн, нагрузку на очистной забой – более чем в 2,5 раза при росте производительности труда на 75 % по сравнению с периодом начала преобразований в отрасли. Кроме того, для восполнения объёмов производства закрытых шахт «Основными направлениями реструктуризации угольной промышленности России» и программами, разработанными угледобывающими регионами предусмотрено строительство 14 шахт и 11 разрезов общей проектной мощностью 73,4 млн т. Наиболее быстрыми темпами развития отличается Кузбасс, где за последние 5 лет введено в эксплуатацию 7 шахт и 11 разрезов общей проектной мощностью 25 млн т, а для переработки угля – 2 обогатительные фабрики общей мощностью 10 млн т. За период 1999-2003 гг. прирост добычи в регионе составил 35,3 млн т, размер инвестиций при этом – 36 млрд руб., только в 2003 г. – 9 млрд руб., в том числе на поддержание мощности – 6 млрд (67 %) - реконструкцию и техническое перевооружение, 2,2 млрд руб. – новое строительство (25 %), 800 млн руб. – на новое строительство углеперерабатывающих объектов. В настоящее время в стадии строительства находится 15 шахт и 5 разрезов общей проектной мощностью 24 млн т. К 2010 г. объём добычи в Кузбассе составит 170-175 млн т, общий объём инвестиций - предположительно 53 млрд руб. Обеспечение прибыльности угольной продукции Кузбасса позволило освоить внешние рынки, так

экспорт угля в 2003 г. увеличен по сравнению с 2002 г. на 16,8 млн т, в том числе из общего экспорта в страны дальнего зарубежья (Турция, Кипр, Великобритания) и на Украину реализовано 79 % .

Следует выделить два основных направления развития научных исследований, посвященных проблеме обоснования оптимальных проектных вариантов развития шахтного фонда:

- разработка рациональных схем вскрытия, подготовки и отработки шахтных полей строящихся и действующих шахт, основная цель которых в обосновании совместимых оптимальных технологических решений, учитывающих особенности залегания пластов, а также схем вскрытия, состояния и возможностей реконструкции технологического комплекса поверхности с оценкой перспектив вовлечения в отработку новых шахтных полей; задача состояла в том, чтобы сократить до минимума срок строительства или реконструкции шахт, обеспечить минимальный период окупаемости капитальных вложений; этому направлению посвящён ряд фундаментальных работ А.С. Бурчакова, М.И. Устинова, А.С. Малкина, Л.А. Пучкова, А.М. Курносова, А.С. Сагинова, В.М. Еремеева, П.В. Егорова, Г.И. Козового, В.Г. Лаврика, В.А. Федорина, К.К. Адилова, С.С. Квона и др.;

- разработка методов оптимизации количественных параметров технологических схем, а также параметров технологических процессов на основе построения экономико-математических моделей шахт; этой проблеме, особенно остро стоявшей в момент, когда применение нового технологического оборудования (например узкозахватной очистной техники и частичная или полная конвейеризация транспорта) требовали поиска мето-

дов формирования и обоснования оптимальных решений, позволяющих повысить эффективность угледобычи; большой вклад в развитие этого проблемного направления внесли Н.И. Иванов, А.В. Стариков, Рогов Е.И., В.Н. Вылегжанин, М.А. Ревазов, К.Н. Трубешкой, А.А. Пешков и др.

При разработке метода оптимизации параметров технологических схем шахт за основу приняты исследования, изложенные в работах ученых А.С. Бурчакова, М.И. Устинова, А.С. Малкина, Л.А. Пучкова и др. При этом шахта рассматривается как сложная технологическая система, формируемая путем оптимального сочетания взаимоувязанных подсистем, состоящих из элементов, каждый из которых характеризуется технологической схемой, её качественными и количественными параметрами. Подсистемы шахты, в свою очередь, рассматриваются как сложная технологическая взаимосвязь составляющих ее подсистем второго порядка. Основопологающими условиями их выделения являются:

- их функциональная и технологическая однородность;
- четко выраженная иерархия внутреннего построения;
- внутренняя логическая взаимосвязь и многовариантность развития.

Основным видом капитального строительства на шахтах угольных бассейнов было вскрытие и подготовка новых, более глубоких горизонтов для поддержания производственных мощностей. При этом принятые и реализованные проектные решения были направлены на увеличение высоты горизонта до 200 м, что позволило увеличить срок его эксплуатации до 15-20 лет, однако способствовало резкому углублению горных работ. Недостатки схем вскрытия новых горизонтов, принятые в проектах, при-

вели к усложнению схем подземного транспорта, увеличению поддержания большого числа стволов и шурфов, пройденных до вышележащих горизонтов, а также примыкающих к ним выработок значительной протяженности. Эффективность использования главных вскрывающих выработок, вследствие этого, снизилась. Обеспеченность шахт вскрытыми и подготовленными запасами, вследствие произведенных вложений и с учетом производственных мощностей составляла в среднем 10-12 лет.

Положительная динамика, наметившаяся в угледобывающих отраслях России и Казахстана в последние годы определяется ростом потребностей в угольной продукции. Основной прирост приходится на угли, направляемые и на энергетические нужды (среднегодовые темпы роста 37,4 %). Потребность в угле на внешнем рынке практически не изменится; это уголь, направляемый на изготовление кокса. Потребность в углях, добытых подземным способом на внутреннем рынке России к 2010 году по сравнению с 2009 годом увеличится на 2,7 %. Анализ состояния шахтного фонда бассейнов России и Казахстана показал, что резерв увеличения нагрузок составляет более чем двукратную величину. Обеспечение рыночных потребностей в углях может быть достигнуто интенсификацией использования действующего шахтного фонда.

Изучение мирового опыта выхода угольной отрасли из кризиса дало возможность странам СНГ разработать и реализовать программы реструктуризации шахтного фонда. Так, Российская угольная промышленность решила эту проблему закрытием ряда неперспективных и особо убыточных шахт, в результате чего изменилась доля добычи угля перспективными шахтами, которая составляет в на-

стоящее время около 70 %. Наряду с этим, изменение форм собственности предприятий угольной отрасли позволяет создать собственные финансовые ресурсы, в основном за счёт обеспечения прибыльности угледобычи, что дало возможность за последние 3 года увеличить добычу на 37 млн. тонн, нагрузку на очистную забой – более чем в 2,5 раза при росте производительности труда на 75 % по сравнению с периодом начала преобразований в отрасли. Кроме того, для восполнения объёмов производства закрытых шахт «Основными направлениями реструктуризации угольной промышленности России» и программами, разработанными угледобывающими регионами предусмотрено строительство 14 шахт и 11 разрезов общей проектной мощностью 73,4 млн т. Наиболее быстрыми темпами развития отличается Кузбасс, где за последние 5 лет введено в эксплуатацию 7 шахт и 11 разрезов общей проектной мощностью 25 млн т, а для переработки угля – 2 обогатительные фабрики общей мощностью 10 млн т. За период 1999-2003 гг. прирост добычи в регионе составил 35,3 млн т, размер инвестиций при этом – 36 млрд руб., только в 2003 г. – 9 млрд руб., в том числе на поддержание мощности – 6 млрд. (67 %) - реконструкцию и техническое перевооружение, 2,2 млрд. руб. – новое строительство (25 %), 800 млн руб. – на новое строительство углеперерабатывающих объектов. В настоящее время в стадии строительства находится 15 шахт и 5 разрезов общей проектной мощностью 24 млн т. К 2010 г. объём добычи в Кузбассе составит 170-175 млн т, общий объём инвестиций - предположительно 53 млрд руб. Обеспечение прибыльности угольной продукции Кузбасса позволило освоить внешние рынки, так

экспорт угля в 2003 г. увеличен по сравнению с 2002 г. на 16,8 млн т, в том числе из общего экспорта в страны дальнего зарубежья (Турция, Кипр, Великобритания) и на Украину реализовано 79 % .

Следует выделить два основных направления развития научных исследований, посвященных проблеме обоснования оптимальных проектных вариантов развития шахтного фонда:

- разработка рациональных схем вскрытия, подготовки и отработки шахтных полей строящихся и действующих шахт, основная цель которых в обосновании совместимых оптимальных технологических решений, учитывающих особенности залегания пластов, а также схем вскрытия, состояния и возможностей реконструкции технологического комплекса поверхности с оценкой перспектив вовлечения в отработку новых шахтных полей; задача состояла в том, чтобы сократить до минимума срок строительства или реконструкции шахт, обеспечить минимальный период окупаемости капитальных вложений; этому направлению посвящён ряд фундаментальных работ А.С. Бурчакова, М.И. Устинова, А.С. Малкина, Л.А. Пучкова, А.М. Курносова, А.С. Сагинова, В.М. Еремеева, П.В. Егорова, Г.И. Козового, В.Г. Лаврика, В.А. Федорина, К.К. Адилова, С.С. Квона и др.;

- разработка методов оптимизации количественных параметров технологических схем, а также параметров технологических процессов на основе построения экономико-математических моделей шахт; этой проблеме, особенно остро стоявшей в момент, когда применение нового технологического оборудования (например узкозахватной очистной техники и частичная или полная конвейеризация транспорта) требовали поиска мето-

дов формирования и обоснования оптимальных решений, позволяющих повысить эффективность угледобычи; большой вклад в развитие этого проблемного направления внесли Н.И. Иванов, А.В. Стариков, Рогов Е.И., В.Н. Вылегжанин, М.А. Ревазов, К.Н. Трубешкой, А.А. Пешков и др.

При разработке метода оптимизации параметров технологических схем шахт соискателем приняты за основу исследования, изложенные в работах ученых А.С. Бурчакова, М.И. Устинова, А.С. Малкина, Л.А. Пучкова, М.И. Устинова и др. При этом шахта рассматривается как сложная технологическая система, формируемая путем оптимального сочетания взаимоувязанных подсистем, состоящих из элементов, каждый из которых характеризуется технологической схемой, её качественными и количественными параметрами. Подсистемы шахты, в свою очередь, рассматриваются как сложная технологическая взаимосвязь составляющих ее подсистем второго порядка. Основопологающими условиями их выделения являются:

- их функциональная и технологическая однородность;
- четко выраженная иерархия внутреннего построения;
- внутренняя логическая взаимосвязь и многовариантность развития.

Идея моделирования и оптимизации параметров подсистем основывается на формировании объемов угледобычи на момент оптимизации проектного варианта шахты ( $t$ ) и на весь период оптимизации ( $T$ ) с учётом развития процесса в пространстве и во времени. Цель - формирование технологической схемы шахты, обеспечивающей оптимальные параметры её технологических процессов и подсистем - достигается путём обоснования области их совместного варьиро-

вания, в пределах которой осуществляется их совместная оптимизация в рассматриваемый период эксплуатации шахты  $T = t_m - t_0, (t \in T)$ , осуществляемая в двух направлениях:

1. Обеспечение рыночного спроса на уголь  $i$ -й шахты - выполнение условия:

$$\left[ \sum_{t=t_0}^{t_m} \left( \sum_{j=1}^{M(T)} D_{ij} + \sum_{l=1}^{L(T)} D_{np_{il}} - R_{ii} \right) \right] \geq 0$$

где  $i$  - индекс шахты,  $i=1,2,\dots,n$ ;  $j$  - индекс очистного забоя,  $j=1,2,\dots,m$ ;  $t_0$  - начало периода оптимизации  $T$ ;  $t_m$  - его конец;  $t$  - момент оптимизации варианта периода оптимизации  $T$ ;  $R_{ii}$  - рыночный спрос на уголь  $i$ -й шахтой в момент времени  $t$ , тонн;  $D_{np_{il}}$  - добыча угля из подготовительного забоя  $l$ -й выработки по  $i$ -й шахте в момент времени  $t$ , т.

Расчетное количество одновременно действующих очистных забоев в момент времени  $t$ , обеспечивающих обслуживаемый  $i$ -й шахтой спрос:

$$\{m\} - m_{poz_{ii}} \rightarrow \min$$

при условии, что

$$R_{ii} - \sum_{j=1}^{m=m_t} D_{ij} + \sum_{l=1}^L D_{np_{il}} \leq 0,$$

Общее количество очистных забоев, действующих по  $i$ -й шахте в период оптимизации  $T$  должно обеспечивать условие:

$$\{M(T)\} - M_{poz}(T)_i \rightarrow \min$$

при условии, что

$$R(T)_i - \sum_{t_0}^{t_m} \left( \sum_{j=1}^{M(T)} D_{ij} + \sum_{l=1}^{L(T)} D_{np_{il}} \right) \leq 0$$

2. Обоснование производственного потенциала шахты (максимальный объём угледобычи)

$$\sum_{t_0}^{t_m} \left( \sum_{j=1}^{M(T)} D_{ij} + \sum_{l=1}^{L(T)} D_{np_{il}} \right) \rightarrow \max,$$

$$\sum_{j=1}^{m=m_i} D_{ij} + \sum_{l=1}^L D_{np_{lil}} \rightarrow \max ,$$

при ограничении

$$m_{роз_{ii}} - \{m_i\} \leq 0$$

Обоснование временного ресурса отработки выемочного поля (столба), который определяет границы допустимого варьирования управляемых параметров технологических процессов других подсистем, осуществлено путём установления обоснованных параметров технологического процесса в очистном забое. Разработана модель развития очистных и подготовительных работ в пространстве и во времени, в которой, в привязке к схемам вскрытия, подготовки и отработки выемочного поля, обоснована пространственно-временная последовательность отработки выемочных столбов. Модель является основой для привязки технологических моделей дегазации, монтажно-демонтажных работ и внутришахтного транспорта.

На основе предложенной модели разработан алгоритм последовательности поиска их оптимальных соотношений, на основании чего устанавливаются области совместного варьирования этих параметров - минимаксные их значения. Определяются варианты развития очистных и подготовительных работ, которые в дальнейшем принимаются к оптимизации. На основании сформированных таким образом параметров подсистем очистных и подготовительных работ формируются параметры подсистем: дегазация пластов, вентиляция, ремонт горных выработок, а также ВШТ: количество ( $S_{mc_i}$ ) и протяжённость ( $L_{mc_{is}}$ ,  $s=1,2,\dots,S$ ) транспортных цепочек, их грузопоток момент времени  $t$  ( $Q_{mc_{is}}$ ) в соответствии с её типом, определяемым набором обо-

рудования и видом транспортируемого груза.

Предложенная модель позволяет использовать метод непрерывной совместной оптимизации, то есть последовательного поиска оптимальных параметров подсистем технологической схемы шахты.

Обоснование выбора проектных шахтовариантов осуществляется на основе разработанной технолого-экономической модели шахты, представляющей собой синтез математической модели совместной оптимизации параметров подсистем и экономико-математической модели. Формирование экономико-математической модели основано на использовании расчетно-аналитического метода моделирования затрат по их элементам и процессам угледобычи. Для этого и были обоснованы параметры технологических процессов подсистем шахты. Расчёт затрат осуществляется по элементам с учётом рассчитанных параметров технологического процесса.

На основании проведенных исследований дано технолого-экономическое обоснование проектных вариантов развития горных работ на шахте, в том числе:

- обоснование выбора варианта развития (новое строительство, реконструкция на поддержание или прирост мощности) шахты на основе оптимизации параметров технологической схемы при условии обеспечения обслуживаемого спроса на производимую угольную продукцию;
- обоснование производственного потенциала шахты в условиях реинвестирования прибыли, накопленной угледобывающей компанией, или привлечения внешних инвестиций;
- обоснование и оценка нетрадиционных технологических решений вскрытия, подготовки и отработки за-

пасов, позволяющих поддерживать высокоэффективное производство с минимальными затратами в конкретных горно-геологических условиях.

Для оценки эффективности инвестиционной политики угледобывающей компании, с учётом сроков окупаемости, введён параметр их временной оценки, что обеспечивает набор проектных вариантов развития шахты в заданных временных пределах возврата инвестиций. Общий вид технологического-экономической модели оптимизации проектных вариантов развития шахты представлен следующим образом:

$$\begin{aligned} & \text{Для } R = 0, \\ & \sum_{t_0}^T (Q_{\partial_{ii}} + P_{\partial_{\tau_m, i}}) \rightarrow \min \\ & \tau_{m_i} - t_{0_i} \rightarrow \min \\ & \left[ \sum_{t=t_0}^{t_m} \left( \sum_{j=1}^{M(T)} D_{ij} + \sum_{l=1}^{L(T)} D_{np_{il}} \right) \right] \rightarrow \max \cdot \\ & \text{Для } R \neq 0, \\ & \left[ \sum_{t=t_0}^{t_m} \left( \sum_{j=1}^{M(T)} D_{ij} + \sum_{l=1}^{L(T)} D_{np_{il}} - R_{ii} \right) \right] \geq 0, \end{aligned}$$

где  $Q_{\partial_{ii}}$  - затраты шахты на реализацию варианта без учета амортизации основных средств, ден.ед.,

$$Q_{\partial_{ii}} = C_{ii} - C_{ам_{ii}},$$

$C_{ам_{ii}}$  - амортизационный фонд шахты в момент времени  $t$ , ден.ед.

В качестве дополнительного ограничения введено ограничение размера

инвестиций на развитие угледобычи величиной  $P_{\partial_{\tau_m, i}}$

$$P_{\partial_{\tau_m, i}} - P_{\partial_{\tau_m, i}} \leq 0,$$

при этом может быть принят частный случай, когда

$$P_{\partial_{\tau_m, i}} - \sum_{t_0}^{t_m} C_{ам_{ii}} \leq 0$$

Предложенная модель последовательного обоснования параметров технологической схемы шахты представляет собой сбалансированный математический аппарат для целенаправленного поиска и обоснования проектных решений и управления развитием горных работ и добычи угля по шахте, действующей как производственная единица угледобывающей компании, с учётом долгосрочного прогноза рыночных потребностей в угле определенного качества. **ГИАЗ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Мельник В.В. – доктор технических наук, зав. кафедрой,

Абрамкина А.Н. – аспирантка,

Шулятьева Л.И. – кандидат технических наук,

Московский государственный горный университет,

Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

