

УДК 622.33.013.3

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ОЧИСТНЫХ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ
В ПАНЕЛИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ**

А. А. Ордин, А. М. Никольский, А. А. Метельков

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: ordin@misd.nsc.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Изложена постановка и приведены численные решения задачи оптимизации технологических параметров очистных и подготовительных работ по критерию максимума чистого дисконтированного дохода за период отработки панели. Представлены результаты оптимизации длины комплексно-механизированного очистного забоя при отработке пласта 19 шахты “Костромовская”. Предложена трехштрековая технологическая схема подготовки очистного забоя и показана ее эффективность для условий шахты “Костромовская”.

Оптимизация, длина лавы, производительность, комплексно-механизированный очистной забой, шахта, панель, целики, очистные и подготовительные работы

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время на угольных шахтах Кузбасса традиционно используется двухштрековая технологическая схема подготовки комплексно-механизированных очистных забоев (КМЗ), при которой свежий воздух подается в лаву по вентиляционному штреку, а исходящая струя воздуха выдается по конвейерному штреку [1] (рис. 1). Недостатком этой схемы подготовки для газообильных шахт является сложность обеспечения безопасного проветривания лавы большой длины (более 200 м) и ограничение скорости движения струи воздуха в лаве не более 4 м/с.

Действующими правилами безопасности для угольных пластов с метанообильностью более 13 м³/т предусмотрено обязательное применение предварительной дегазации. Существующие схемы дегазации угольного пласта, как правило, заключаются в бурении из конвейерного штрека большого количества дегазационных скважин (через каждые 10–12 м) и подключении их к трубопроводу и вакуум-наосу. При этом достигается дегазация пласта и снижение его метаносности в пределах 10–15 %. Так, при дегазации пласта 52 на шахте “Котинская” за 180 сут фактическая эффективность дегазации составила 16 % [2].

Недостатками этого способа являются необходимость бурения большого количества скважин по пласту, а также незначительное газовыделение из скважин при естественной дегазации пласта. Кроме того, при подготовке панели шахты дегазационные скважины обычно бурят из вентиляционного или конвейерного штреков на всю ширину выемочного столба 200–300 м. При такой длине дегазационные скважины, как показывает практика, значительно отклоняются

от своего первоначального направления, увеличивая объем и трудоемкость буровых работ и ухудшая качество дегазации пласта вследствие изменения расстояния между скважинами. Таким образом, эффективность дегазации пласта данным способом незначительна.

В [3] поставлена и решена задача оптимизации длины и производительности комплексно-механизированного очистного забоя по критерию максимума годовой прибыли шахты, разрабатывающей пологие пласты “длинными столбами по простирацию”. В основе решения лежат нелинейные зависимости производительности КМЗ от длины лавы по технологическим факторам [3–7].

Задача оптимизации длины очистного забоя ранее решалась в основном с использованием в качестве критерия минимума себестоимости добычи угля [8–9]. В такой постановке задачи отсутствует системность и существует широкая область решений, близких к оптимальным [10].

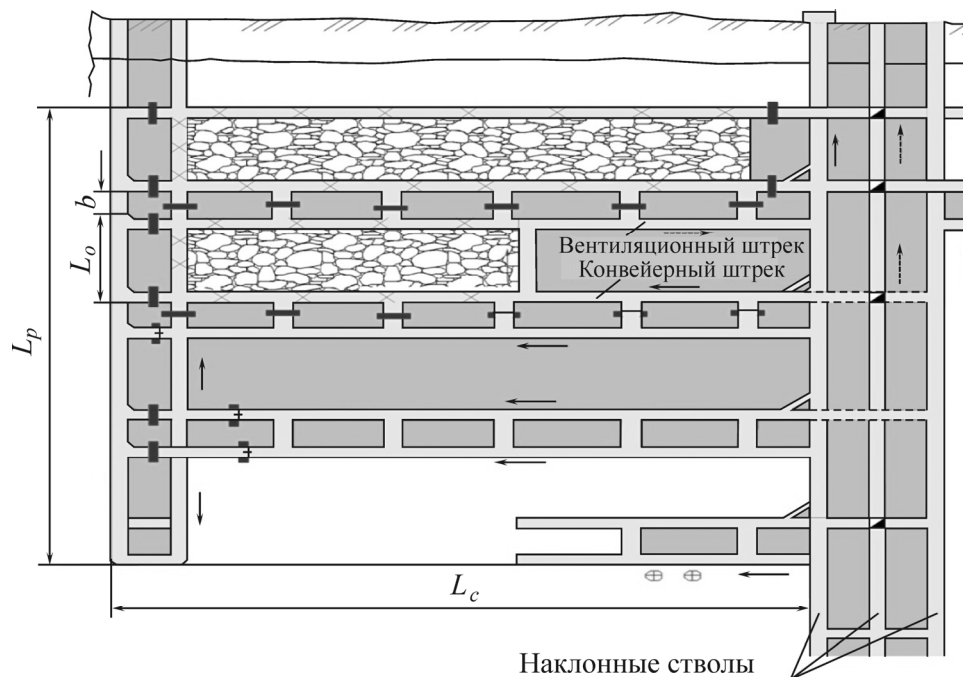


Рис. 1. Типовая схема подготовки пологого угольного пласта

Здесь приводится расширенная постановка задачи оптимизации длины и производительности очистного забоя, а также объемов подготовительных работ по более общему критерию максимума чистого дисконтированного дохода за период отработки панели шахты. В отличие от [3], рассматривается более высокая по иерархии подсистема шахты — односторонняя панель — с оптимизируемыми переменными: длина комплексно-механизированного очистного забоя L_0 и его производительность $A(L_0)$, количество выемочных столбов в панели n_c , количество конвейерных и вентиляционных штреков n в панели, потери угля в охранных целиках β между конвейерным и вентиляционными штреками смежных лав.

Формализуем поставленную задачу в зависимости от основной оптимизируемой переменной — длины лавы L_0 .

В общем виде рассматривается односторонняя панель шахты прямоугольной формы с размерами (рис. 1): L_p — длина панели по падению пласта; L_c — ширина панели по простирацию (соответствующая длине выемочного столба) и балансовыми запасами угля: $Q = \gamma m L_p L_c$, где γ — плотность угля, т/м³; m — средняя вынимаемая мощность пласта, м.

Панель делится на выемочные столбы, количество которых определяется как целая часть числа:

$$n_c = \frac{L_p}{L_o + b}, \quad (1)$$

здесь b — ширина охранного межлавного целика, м.

Общие потери запасов угля в охранных межлавных целиках панели рассчитываются по формуле

$$Q_p(L_o) = \gamma mb L_c n_c = \gamma mb L_c \frac{L_p}{L_o + b}, \quad (2)$$

а относительные потери угля — по формуле

$$\beta = \frac{100 Q_p(L_o)}{Q} = \frac{100 \gamma mb L_c}{\gamma L_c L_p} \frac{L_p}{L_o + b} = \frac{100b}{L_o + b}. \quad (3)$$

Тогда извлекаемые промышленные запасы угля панели находятся по зависимости

$$Q_u(L_o) = Q - Q_p = \gamma m L_p L_c - \gamma mb L_c \frac{L_p}{L_o + b} = \gamma m L_p L_c \left(1 - \frac{b}{L_o + b} \right), \quad (4)$$

а общий доход шахты от отработки панели определяется нелинейной возрастающей асимптотической зависимостью от длины лавы:

$$S(L_o) = s \gamma m L_p L_c \left(1 - \frac{b}{L_o + b} \right), \quad (5)$$

где s — оптовая цена угля, руб./т.

Как видно из зависимостей (3)–(5), при увеличении длины лавы потери угля в охранных целиках сокращаются, а извлекаемые промышленные запасы и доходы шахты соответственно возрастают.

Учитывая гиперболическую зависимость годовой производительности КМЗ от длины лавы, полученную в [3], период отработки панели вычисляется по формуле

$$T(L_o) = \frac{Q_u}{A(L_o)} = \frac{\gamma m L_p L_c \left(1 - \frac{b}{L_o + b} \right)}{\varepsilon a / (b_i + d_i / L_o)}, \quad (6)$$

где a , b_i , d_i — параметры, рассчитываемые по [1] при односторонней ($i = 1$) или челноковой ($i = 2$) схемах работы комбайна; ε — коэффициент извлечения, учитывающий потери угля в очистном забое угля.

Количество конвейерных и вентиляционных штреков в панели при стандартной двухштрековой схеме подготовки выемочного столба определяется целой частью числа:

$$n(L_o) = 2n_c = \frac{2L_p}{L_o + b}, \quad (7)$$

а затраты на их проведение:

$$C_n(L_o) = c_n n L_c = 2c_n L_c \frac{L_p}{L_o + b}, \quad (8)$$

где c_n — удельные затраты на проходку 1 м штрека, руб./м.

Общие затраты на проведение конвейерных и вентиляционных штреков, монтажных и демонтажных камер и разрезных печей в панели вычисляются по формуле

$$C_p(L_o) = c_n n L_c + c_m n_c L_o + c_n n_c L_{pn} = \frac{L_p}{L_o + b} (2c_n L_c + c_m L_o + c_n L_o \cos \alpha), \quad (9)$$

где c_m — удельные затраты на проходку монтажной (демонтажной) камеры, руб./м; $L_{pn} = L_o / \cos \alpha$ — длина диагональной разрезной печи в выемочном столбе панели, служащей в качестве запасного выхода для шахтеров и для дополнительного проветривания очистного участка; α — угол между очистным забоем и разрезной печью.

Среднегодовые затраты на проведение подготовительных выработок в панели находятся по зависимости

$$c_p(L_o) = \frac{C_p(L_o)}{T(L_o)} = \frac{(2c_n L_c + c_m L_o + c_n L_o \cos \alpha) \varepsilon a L_p}{\gamma m L_p L_c \left(1 - \frac{b}{L_o + b}\right) (L_o + b) \left(b_i + \frac{d_i}{L_o}\right)}. \quad (10)$$

Капитальные вложения на приобретение механизированного комплекса для отработки панели шахты рассчитываются в зависимости от длины лавы:

$$K(L_o) = K_o + (k_k + k_c) L_o, \quad (11)$$

где K_o — стоимость очистного комбайна, руб.; k_k , k_c — удельные затраты на приобретение соответственно механизированной крепи и скребкового лавного конвейера, руб./м.

Таким образом, в данной задаче присутствует противоречие, необходимое для существования оптимального решения, которое заключается в следующем. С ростом длины лавы уменьшается количество выемочных столбов и соответственно штреков в панели, что приводит к увеличению прибыли шахты за счет снижения затрат на проходку подготовительных выработок и уменьшения потерь угля в охранных межлавных целиках. В то же время с увеличением длины лавы возрастают инвестиции на приобретение механизированного комплекса, а также амортизационные отчисления и себестоимость добычи угля, что приводит к снижению прибыли шахты.

Учитывая зависимости (5)–(11) и формулу Моркилла [11] для расчета разновременных затрат, общий дисконтированный доход, получаемый шахтой от отработки промышленных запасов панели с учетом потерь угля в целиках и инвестиций на приобретение комплекса, имеет вид

$$\begin{aligned} F(L_o) &= \sum_{t=1}^{T(L_o)} \frac{(s-c)A(L_o)}{(1+E)^t} - \sum_{t=1}^{T(L_o)} \frac{c_p(L_o)}{(1+E)^t} - K_o - (k_k + k_c)L_o = \\ &= \frac{\delta(L_o)}{T(L_o)} (s-c) \gamma m L_p L_c \left(1 - \frac{b}{L_o + b}\right) - \frac{\delta(L_o)}{T(L_o)} \frac{L_p}{L_o + b} (2c_n L_c + c_m L_o + c_n L_o \cos \alpha) - \\ &\quad - K_o - (k_k + k_c)L_o \rightarrow \max \end{aligned} \quad (12)$$

при соблюдении ограничения

$$A(L_o) \leq A_B,$$

где A_B — допустимая производительность КМЗ по фактору вентиляции; E — норма дисконта; s — себестоимость очистных работ, руб./т; $\delta(L_o)$ — коэффициент аннуитета, определяемый по формуле

$$\delta(L_o) = \frac{1}{E} \left(1 - \frac{1}{(1+E)^{T(L_o)}} \right). \quad (13)$$

Как видно, целевая функция (12) представляет собой разность между возрастающей нелинейной асимптотической зависимостью дохода и линейной функцией капиталовложений и имеет точку максимума прибыли относительно длины очистного забоя.

В формуле (12) инвестиции на приобретение комплекса вкладываются в “нулевой” год, поэтому коэффициент дисконтирования капиталовложений равен единице.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛИНЫ ЛАВЫ ШАХТЫ “КОСТРОМОВСКАЯ” ПО РАЗЛИЧНЫМ КРИТЕРИЯМ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Шахта “Костромовская” ОАО “Белон” введена в эксплуатацию в 2008 г. Поле шахты расположено в юго-западной части Ленинского геолого-экономического района Кемеровской области, в пределах Никитинского каменноугольного месторождения. Промышленные запасы добываемого угля марки Ж в принятых границах отработки пласта 19 составляют 24 430 тыс. т.

Вскрытие месторождения осуществлено тремя центральными наклонными стволами, пройденными по пологому пласту 19 с присечкой пород почвы и разбивающими шахтное поле на два крыла: западное и восточное (рис. 2). На флангах шахтного поля пройдены западный и восточный наклонные стволы. Подготовка шахтного поля панельная: в каждом крыле — по односторонней уклонной панели. Добыча угля на шахте в 2012 г. составила 1.761 млн т при отработке пласта 19 механизированным комплексом JOY системой разработки — длинные столбы по простиранию с полным обрушением кровли. Фрагмент плана подготовительных и очистных работ на шахте “Костромовская” при разработке пласта 19 приведен на рис. 2.

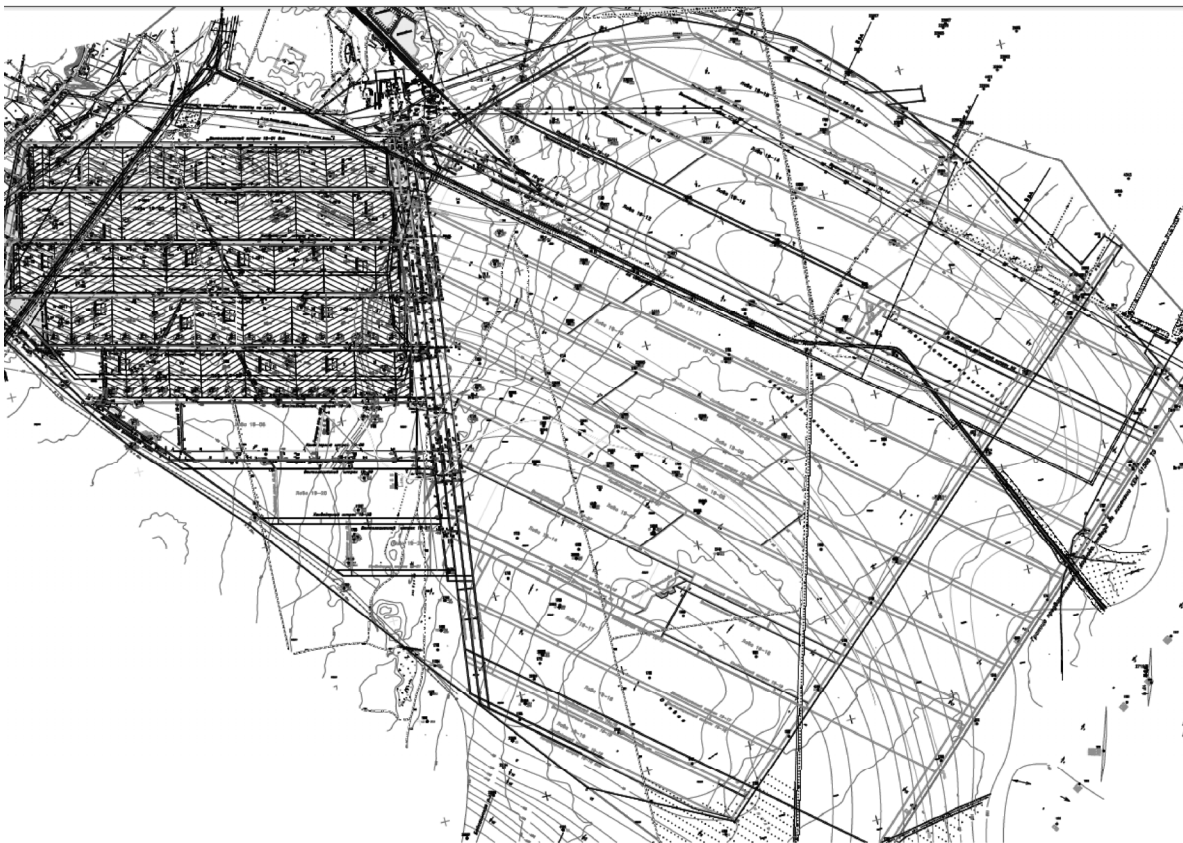


Рис. 2. План горных выработок по пласту 19 шахты “Костромовская”

В 2013 г. ЗАО “Гипроуголь” выполняет проектирование по прирезке запасов угля и увеличению добычи угля на шахте “Костромовская” до 2700 тыс. т/год. Ниже приведены фактические технико-экономические показатели работы шахты “Костромовская” в 2012 г.:

Объем добычи угля, тыс. т	1 761
Производственная себестоимость добычи угля, тыс. руб./год	2 256 541
Себестоимость 1 т угля, руб./т	1 281
Затраты на проведение горных выработок, относимые на себестоимость добычи угля, тыс. руб.	643 198
Удельные затраты на проведение горных выработок, руб./п.м	117 094
Удельные затраты на проведение горных выработок в себестоимости добычи угля, руб./т	365.2
Себестоимость 1 т угля без затрат на проведение выработок и амортизационных отчислений на комплекс, руб./т	853.3
Оптовая цена угля марки Ж по пласту 19, руб./т	1 700.0
Прибыль (без затрат на проведение выработок и амортизационных отчислений на комплекс), руб./т	846.7

Результаты решения задачи обоснования схемы работы очистного комбайна — односторонней или челноковой — для условий шахты “Костромовская” показаны на рис. 3. Как видно, односторонняя схема движения комбайна вверх по лаве с зачисткой почвы обратным ходом имеет преимущество перед челноковой при длине лавы до 250 м. При длине лавы более 250 м преимущество по производительности у челноковой схемы работы очистного комбайна. При длине лавы 250 м эти схемы практически равноценны.

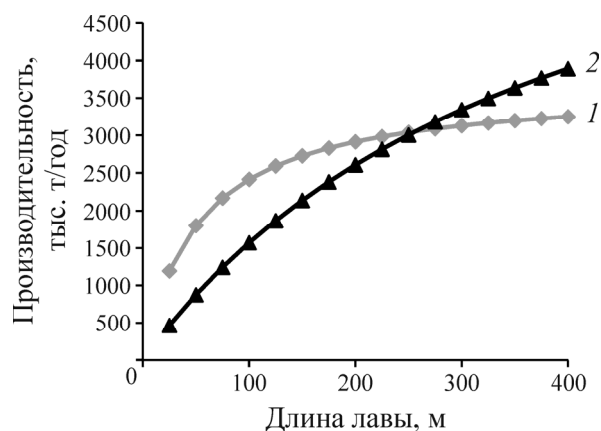


Рис. 3. Зависимость производительности очистного забоя шахты “Костромовская” по пласту 19 от длины лавы и схемы работы комбайна: 1 — односторонняя схема с отбойкой угля вверх по лаве; 2 — челноковая схема движения комбайна JOY 4LS20

На рис. 4 приведены результаты оптимизации длины лавы для условий пласта 19 шахты “Костромовская” по двум различным критериям оптимальности:

- максимуму годовой прибыли (без учета затрат на проходку штреков и потерь угля в целиках), модель которой представлена в [3];
- максимуму дисконтированного дохода (12) за период отработки панели с учетом затрат на подготовительные работы и потерь угля в охранных целиках.

Максимумы этих функций и решения поставленной задачи не совпадают. Оптимальные значения длины лавы по локальному критерию — максимуму годовой прибыли — составляют 150–200 м. С учетом всех затрат на подготовительные и очистные работы в панели, а также с

учетом потерь угля в охранных целиках оптимальные значения длины лавы, полученные по более общему критерию — максимуму чистого дисконтированного дохода (ЧДД) — увеличиваются до 300–350 м. Соответственно с ростом длины лавы оптимальная производительность очистного забоя возрастает с 2000 до 2700 т/сут при переходе на челноковую схему движения комбайна в лаве (см. рис. 3). При длине лавы 350 м оптимальное количество выемочных столбов в панели равно 9, а конвейерных и вентиляционных штреков — 18. Оптимальные потери угля в охранных, межлавных целиках панели составляют 904 тыс. т, или 4.3 % по отношению к балансовым запасам угля в панели.

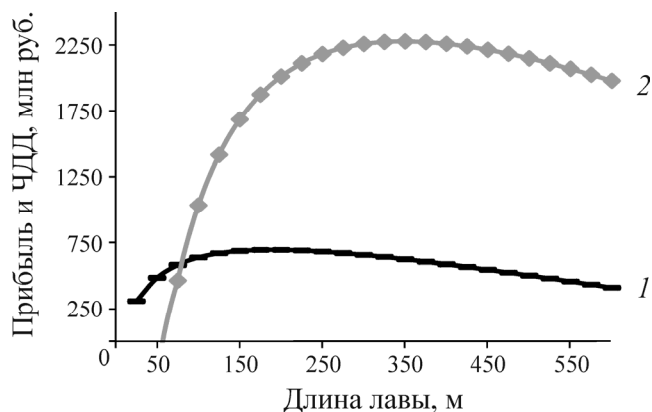


Рис. 4. Зависимости годовой прибыли (1) и чистого дисконтированного дохода (2) от длины лавы шахты “Костромовская”

Таким образом, переход от частного критерия оптимальности — годовой прибыли — к более общему — чистому дисконтированному доходу шахты за период отработки панели с учетом затрат на подготовительные работы и потерь угля в охранных целиках — существенно изменяет решение задачи в сторону увеличения длины очистного забоя.

ТРЕХШТРЕКОВАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОДГОТОВКИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Для повышения эффективности проветривания высокопроизводительных очистных забоев в ИГД СО РАН запатентован способ трехштрековой подготовки и дегазации выемочного столба [12], который заключается в следующем.

Для подготовки выемочного столба лавы 1 осуществляют проходку трех штреков: промежуточного 2, конвейерного 8 и вентиляционного 5 (рис. 5). Свежий воздух в лаву 1 подают по вентиляционному 5 и промежуточному 2 штрекам. В промежуточном штреке 2 бурят дегазационные скважины 4 с увеличенным интервалом 20–25 м по восстанию и падению пласта. Скважины 4, пробуренные по падению пласта, бурят на всю длину до выхода в борт конвейерного штрека 8, а скважины 4, пробуренные по восстанию пласта, не доводят до вентиляционного штрека 5 на 5–10 м.

Осушение пласта происходит путем свободного истечения пластовой воды из скважин 4 на промежуточный 2 и конвейерный 8 штреки, обеспечивая возможность для фильтрации метана через скважины 4. В то же время оставленный целик угля (5–10 м) между забоями скважин 4 и вентиляционным штреком 5 не дает возможности для выхода метана в вентиляционный штрек 5, по которому подают свежий воздух в лаву 1.

После осушения пласта в устьях скважин 4, выходящих в борт конвейерного штрека 3, устанавливают цементные пробки 10, герметизирующие скважины 4 для того, чтобы метан не выходил в конвейерный штрек 8. Из скважин 4 осуществляют поинтервальные гидроразрывы

пласта, формирующие трещины 6 в пласте с расстоянием между ними 10–15 м, и проводят дегазацию пласта с подключением вакуум-насоса через газопровод 3, проложенный в промежуточном штреке 2.

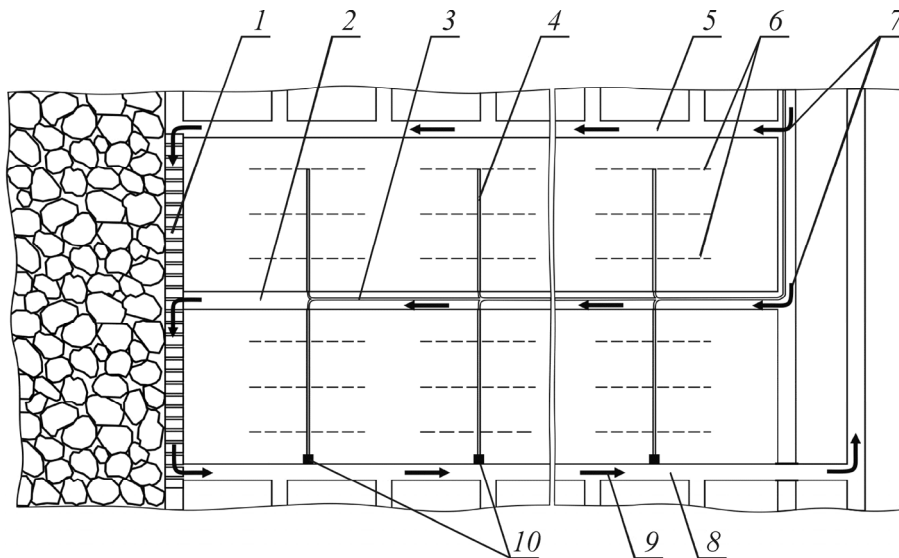


Рис. 5. Трехштрековая схема подготовки и дегазации выемочного столба шахты

Свежий воздух 7 подают в лаву 1 по вентиляционному 5 и промежуточному 2 штрекам, а исходящую струю 9 воздуха выдают по конвейерному штреку 8. Подача струи свежего воздуха по промежуточному штреку 2 в середину лавы 1 позволяет увеличить количество свежего воздуха в лаве, снизить концентрацию метана в исходящей струе 9 воздуха и таким образом выполнить эффективное проветривание лавы. Обеспечение притока свежего воздуха из промежуточного штрека 2 в середину лавы 1 особенно важно в связи с утечками свежего воздуха в выработанное пространство на сопряжении вентиляционного штрека 5 с лавой 1.

Бурение скважин из промежуточного штрека позволяет снизить отклонение профилей скважин от проектных за счет сокращения их длин по сравнению с длинами скважин, пробуренных на всю ширину выемочного столба из вентиляционного штрека до конвейерного штрека.

К достоинствам трехштрековой схемы подготовки относится повышение эффективности проветривания очистного забоя, снижение эксплуатационных потерь угля в охранных целиках и более полное извлечение запасов угля по сравнению с двухштрековой схемой подготовки. Кроме того, проведение дополнительного промежуточного штрека способствует лучшей дегазации пласта, а создание в пласте сети протяженных трещин с помощью поинтервальных гидроразрывов вблизи середины лавы, в области повышенного горного давления, позволяет увеличить дебит метана в скважинах и повысить эффективность дегазации угольного пласта.

На рис. 6 приводятся результаты оптимизации длины лавы шахты «Костромовская» для двух- и трехштрековой схем подготовки очистного забоя по критерию максимума чистого дисконтированного дохода (12) за период отработки панели по пласту 19. Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

При переходе от двухштрековой к трехштрековой схеме подготовки очистного забоя:

— оптимальная длина лавы, при которой достигается максимум ЧДД, возрастает с 350 (см. рис. 4) до 400–425 м (см. рис. 6), за счет чего производительность очистного забоя при челноковой схеме увеличивается с 2900 до 3200 тыс. т/г (см. рис. 3);

— минимально допустимая длина лавы (точка безубыточности) возрастает с 60 (см. рис. 4) до 100 м (см. рис. 6);

— количество выемочных столбов в панели уменьшается с 9 до 8 при увеличении количества штреков с 18 до 24;

— вследствие увеличения длины лавы и уменьшения количества выемочных столбов эксплуатационные потери угля в охранных целиках соответственно уменьшаются с 4.3 до 3.6 %.

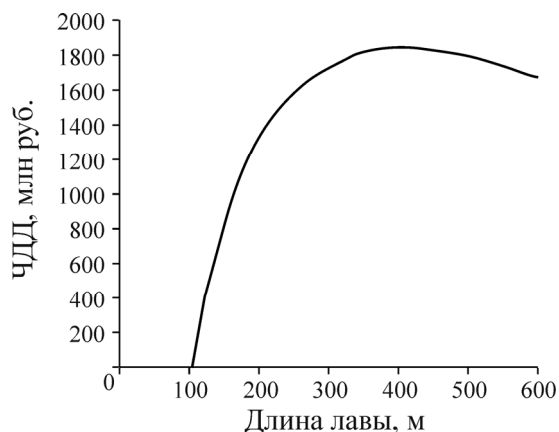


Рис. 6. Зависимость чистого дисконтированного дохода от длины лавы шахты “Костромовская” при трехштрековой схеме подготовки

Трехштрековая схема подготовки очистного забоя имеет существенные преимущества перед двухштрековой, заключающиеся в снижении потерь угля в охранных целиках и более эффективном проветривании очистного забоя за счет подачи свежего воздуха в середину лавы, а также в уменьшении потерь воздуха в лаве и снижении концентрации метана в самом опасном месте — сопряжении лавы с конвейерным штреком. Кроме того, промежуточный третий штрек в выемочном столбе является дополнительным запасным выходом шахтеров из очистного забоя в случае пожарной опасности.

ВЫВОДЫ

Переход от подсистемы “выемочное поле” на более высокую по иерархии подсистему “панель” и использование в модели в качестве критерия оптимальности максимума чистого дисконтированного дохода шахты за период отработки запасов угля панели существенно изменяет решение задачи оптимизации длины комплексно-механизированного очистного забоя. Так, на примере шахты “Костромовская” при двухштрековой схеме подготовки очистного забоя оптимальная длина лавы по условию максимума ЧДД увеличивается с 200 до 350 м, при этом производительность очистного забоя возрастает с 2000 до 2700 т/сут. В этом случае оптимальной становится челноковая схема движения комбайна в лаве. При длине лавы 350 м количество выемочных столбов в панели равно 9, а конвейерных и вентиляционных штреков — 18. Оптимальные потери угля в охранных межлавных целиках панели составляют 904 тыс. т, или 4.3 % по отношению к промышленным запасам угля в панели.

Для угольных шахт с метанообильностью более $13 \text{ м}^3/\text{т}$ в ИГД СО РАН предложена и запатентована трехштрековая технологическая схема подготовки очистного забоя с проведением дегазационных работ и операций по посадке кровли с помощью поинтервального и направленного гидроразрыва из штрека, пройденного в середине выемочного столба.

Сравнительный анализ двух- и трехштрековой схем подготовки для условий шахты “Костромовская” показывает, что при трехштрековой схеме подготовки оптимальная длина лавы, при которой достигается максимум ЧДД, возрастает с 350 до 400–425 м, за счет чего производительность очистного забоя при челноковой схеме увеличивается с 2900 до 3200 тыс. т/год; минимально допустимая длина лавы (точка безубыточности) возрастает с 60 до 100 м; количество выемочных столбов в панели уменьшается с 9 до 8 при увеличении количества штреков с 18 до 24; вследствие увеличения длины лавы и уменьшения количества выемочных столбов эксплуатационные потери угля в охранных целиках соответственно уменьшаются с 4.3 до 3.6 %.

Эффективность трехштрековой схемы проявляется в повышении производительности очистного забоя и улучшении его проветривания, а также в снижении эксплуатационных потерь угля в охранных межлавных целиках и обеспечении дополнительного запасного выхода из очистного забоя при пожаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Типовые схемы** вскрытия, подготовки и отработки угольных пластов для шахт Российской Федерации / под ред. М. И. Щадова; Федеральное агентство по энергетике. — М., 2007.
2. **Рубан А. Д., Забурдяев В. С., Харченко А. В.** Дегазация угольных пластов длинными направленной трассы скважинами // ФТПРПИ. — 2012. — № 3.
3. **Ордин А. А., Метельков А. А.** К вопросу об оптимизации длины и производительности комплексно-механизированного очистного забоя // ФТПРПИ. — 2013. — № 2.
4. **Ордин А. А., Зырянов С. А., Никольский А. М. и др.** Основные закономерности расчета производительности комплексно-механизированных очистных забоев по технологическим факторам в программном комплексе “Проза-3.0” / Сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф. “Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов”. — Новокузнецк, 2012.
5. **Ордин А. А., Клишин В. И.** О рентабельной производительности комплексно-механизированного очистного забоя // ФТПРПИ. — 1996. — № 6.
6. **Кодола В. В., Ордин А. А.** Оптимизация технологических параметров при проектировании участка подземных горных работ на действующем разрезе “Сибиргинский” // Уголь. — 2000. — № 8.
7. **Ордин А. А., Клишин В. И.** Оптимизация технологических параметров горнодобывающих предприятий на основе лаговых моделей. — Новосибирск: Наука, 2009.
8. **Липкович С. М.** Основы проектирования угольных шахт. — М.: Недра, 1967.
9. **Курносое А. М., Розентретер Б. А., Устинов М. И. и др.** Научные основы проектирования угольных шахт для разработки пологих пластов. — М.: Наука, 1964.
10. **Лившиц В. Н.** Оптимизация при перспективном планировании и проектировании. — М.: Экономика, 1984.
11. **Косов В. В., Лившиц В. Н., Шахназаров А. Г. и др.** Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. — М.: Экономика, 2000.
12. **Пат. РФ № 2472939.** Способ дегазации угольного пласта / А. А. Ордин, Ю. М. Леконцев, П. В. Сажин и др. // Оpubл. в БИ. — 2013. — № 2.

Поступила в редакцию 11/IX 2013