



ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ НАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ БАССЕЙНА КУАНГНИНЬ ПОД ОХРАНЯЕМЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ

ЛЕ ВАН ХАЙ

Научно-технологический горный институт – Винакомин, Ханой, Вьетнам

На основе анализа горно-геологических условий залегания угольных пластов бассейна Куангнинь установлено, что более 37 % запасов сосредоточено под охраняемыми объектами на поверхности. Для обоснования вариантов технологических схем отработки угольных пластов под охраняемыми объектами на поверхности выбрана методика оценки параметров сдвижения подработанной толщи при ведении горных работ. Показана возможность использования для расчетов методики, разработанной для угольных месторождений России, с использованием расчетных коэффициентов для Булашского месторождения (Урал), где горно-геологические условия залегания пластов аналогичны бассейну Куангнинь. Представлены результаты исследований возможности применения для отработки запасов под охраняемыми объектами технологических схем с управлением кровлей полным обрушением, полной закладкой и поддержанием на целиках. Установлено, что при управлении кровлей полным обрушением деформации поверхности превышают критические для сохранения объектов значения. Для технологий отработки пластов с полной закладкой установлен минимально допустимый коэффициент заполнения, определены требования к закладочным материалам. Для технологий отработки пластов с поддержанием кровли на целиках установлены параметры целиков и камер, определен максимально возможный коэффициент извлечения, при котором обеспечивается сохранность объектов на поверхности. Предложен алгоритм определения параметров технологических схем отработки пластов бассейна Куангнинь.

Ключевые слова: бассейн Куангнинь, угольный пласт, подземная разработка, сдвижение, охраняемые объекты, технологическая схема

Как цитировать эту статью: Ле Ван Хай. Обоснование параметров подземной разработки наклонных угольных пластов бассейна Куангнинь под охраняемыми объектами на поверхности // Записки Горного института. 2017. Т. 226. С. 412-419. DOI: 10.25515/PMI.2017.4.412

Введение. Угольный бассейн Куангнинь является самым крупным во Вьетнаме, занимает площадь 6,1 тыс.км², общие ресурсы до глубины 800 м составляют 3,6 млрд т. В соответствии с планами развития угольной отрасли Вьетнама, в 2018-2020 годах в бассейне будет практически прекращена угледобыча открытым способом, большинство разрезов будут закрыты. По данным Научно-технологического горного института Вьетнама, запасы угля под охраняемыми объектами в бассейне Куангнинь составляют 663,4 млн т, в том числе 284,8 млн т в пластах, разрабатываемых в настоящее время в бассейне совместно подземным и открытым способами. Охраняемыми объектами поверхности являются, как правило, городские здания и сооружения, при ведении горных работ под которыми нужно обеспечить как подземную угледобычу, так и функционирование наземных объектов [6].

Решению задач обеспечения эффективности подземной отработки пластов с учетом сохранности объектов на земной поверхности посвящены работы С.Г.Авершина, А.А.Борисова, В.И.Борщ-Компоница, В.Н.Гусева, С.Н.Зеленцова, В.П.Зубова, М.А.Иофиса, О.В.Ковалева, А.Б.Макарова, В.М.Шика, М.Г.Мустафина, В.П.Земисева, А.С.Ягунова, С.Пенга и др. [1, 2, 4, 11, 12, 16, 18, 20].

Методы исследований. Существуют отраслевые нормативные документы, позволяющие для угольных бассейнов России определять параметры сдвижения и оценивать устойчивость объектов на поверхности при различных технологиях отработки пластов [9, 13]. Вместе с тем прямое использование нормативных методик РФ по расчету параметров сдвижения при различных технологиях отработки для условий бассейна Куангнинь невозможно в связи со спецификой горно-геологических и горнотехнических условий. Таким образом, обоснование параметров подземной разработки наклонных угольных пластов бассейна Куангнинь, обеспечивающих экономическую эффективность угледобычи при сохранении объектов на поверхности, является актуальной научной задачей, решение которой имеет большое значение для угольной отрасли Вьетнама.

С целью обоснования параметров технологии подземной разработки наклонных угольных пластов бассейна Куангнинь, обеспечивающих экономическую эффективность угледобычи при сохранении объектов на поверхности, в 2011-2016 годах был проведен комплекс исследований со следующими основными задачами:



- анализ и обобщение мирового опыта подземной отработки наклонных пластов под охраняемыми объектами на земной поверхности;
- выбор методики оценки параметров сдвижения подработанного массива при использовании различных технологических схем отработки наклонных пластов в условиях бассейна Куангнинь;
- разработка вариантов технологических схем подземной отработки наклонных пластов с обеспечением сохранности объектов на поверхности;
- оценка влияния технологических параметров отработки наклонных угольных пластов на параметры сдвижения подработанного массива в условиях шахт бассейна Куангнинь;
- обоснование параметров технологии подземной отработки угольных пластов на шахтах бассейна Куангнинь, обеспечивающих эффективность угледобычи и сохранность объектов на поверхности.

Результаты исследования и их обсуждение. Оценка сохранности объектов на поверхности определялась по результатам сравнения параметров сдвигений подработанной толщи с предельными для охраняемых объектов значениями. В пределах зоны влияния подработки выделяют зону опасного влияния. Для определения границ зоны опасного влияния на месторождениях России приняты следующие значения деформаций земной поверхности: наклон $i = 4 \cdot 10^{-3}$; кривизна $k = 0,2 \cdot 10^{-3}$ 1/м; растяжение $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ (при среднем интервале 15-20 м).

В 2011 г. сотрудниками Научно-технологического горного института Вьетнама были проведены наблюдения за сдвижением поверхности на нескольких шахтах бассейна Куангнинь, включая шахту Наммау. Шахта Наммау расположена в культурно-туристической зоне Йен Ты, значительная часть запасов расположена под охраняемыми объектами на поверхности. На шахте отрабатывается пласт 7 средней мощностью 2,0 м, с углом падения от 25 до 30°, залегающий на глубине от 180 до 220 м при мощности наносов 10 м. Отработка пласта ведется с применением системы разработки длинными столбами по простирианию. Отбойка угля в лаве длиной 80 м осуществляется с помощью буровзрывных работ, крепление призабойного пространства – индивидуальной крепью, управление кровлей – полным обрушением. Длина выемочного участка по простирианию составляет 160 м.

Полученные в результате натурных наблюдений данные по шахте Наммау, определяющие параметры сдвижения пород, были использованы в дальнейшем для проведения численных исследований процесса деформирования массива горных пород при его подработке с применением различных технологий.

Для определения параметров сдвижения был использован программный комплекс «Массив», разработанный в Санкт-Петербургском горном университете, в котором реализована нормативная для шахт России методика, изложенная в Правилах охраны сооружений от вредного влияния подземных горных работ [13]. Возможность применения методики обоснована сравнением горно-геологических условий отработки пластов на шахтах Буланашского месторождения (Урал) и бассейна Куангнинь. Условия залегания пластов и параметры сдвижения подработанной толщи для бассейна Куангнинь и Буланашского месторождения практически совпадают (разница составляет не более 20 %). Для учета специфики условий бассейна Куангнинь в результаты расчетов с использованием эмпирических коэффициентов Буланашского месторождения введен коэффициент запаса 1,2.

Для обеспечения сохранности объектов на поверхности рассматривалась технология с закладкой выработанного пространства. Целью исследований было определение минимально возможного коэффициента заполнения выработанного пространства, обеспечивающего сохранность объектов поверхности [5]. Результаты расчета с указанием опасных с точки зрения сохранности объектов поверхности значений приведены на рис.1. Опасные и максимальные значения наклонов $i = 4,87 \cdot 10^{-3}$, кривизны $k = 0,5 \cdot 10^{-3}$ и растяжений $\varepsilon = 3,15 \cdot 10^{-3}$. Как видно из рис.1, в ряде случаев расчетные значения превысили опасные значения параметров сдвижения пород.

Мировой опыт подземной разработки угольных пластов с закладкой выработанного пространства показывает, что коэффициент заполнения выработанного пространства может достигать 0,8-0,95 (в зависимости от способа закладки) [3, 8, 14, 15, 17, 19]. Для обеспечения безопасности сооружений на поверхности шахты Наммау в расчетах использован коэффициент заполнения выработанного пространства равный 0,8. Расчетные параметры сдвижения земной поверхности при применении полной закладки выработанного пространства с коэффициентом заполнения 0,8

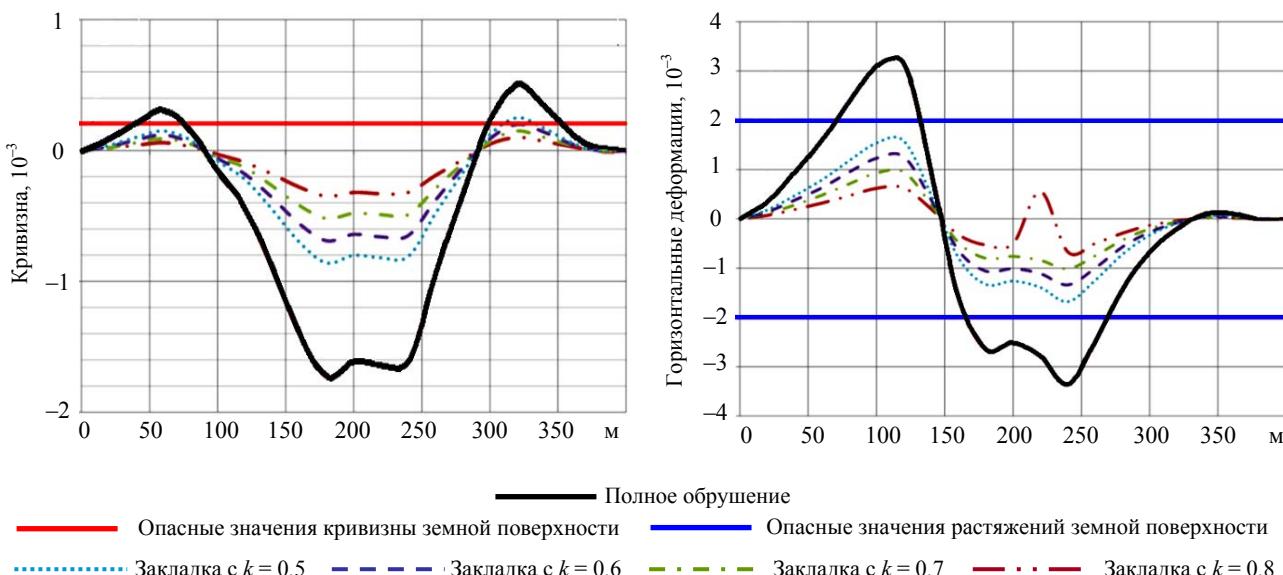


Рис.1. Параметры сдвижения земной поверхности на шахте Наммау

существенно ниже опасных значений, что свидетельствует об обеспечении безопасности сооружений на поверхности и возможности разработки угольных запасов под охраняемыми объектами.

Дальнейшие численные исследования показали, что безопасные для объектов поверхности значения сдвигов для условий шахты Наммау обеспечиваются при коэффициенте заполнения выработанного пространства превышающем 0,7. При более низких значениях коэффициента показатели кривизны земной поверхности в зоне подработки превышают предельно допустимые значения (рис.1). Таким образом, установленные предельные значения коэффициента заполнения позволяют определить набор технологических схем отработки пласта с полной либо частичной закладкой, обеспечивающих сохранность поверхностных объектов.

Проведенные исследования влияния вида закладочного материала на параметры сдвигов показали, что закладочный материал должен обеспечивать модуль деформации не менее 30 МПа (рис.2). Этим требованиям полностью соответствует порода, выдаваемая из шахты. Такой закладочный материал является негорючим, после соответствующей подготовки породы в дробильно-сортировочных установках обеспечивается нужный гранулометрический состав, требуемая прочность и модуль деформации до 600 МПа.

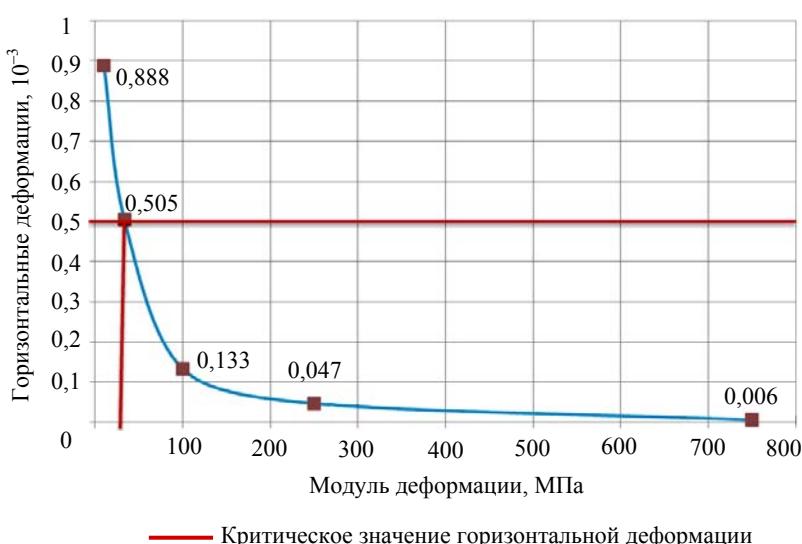


Рис.2. Определение модуля деформации материала закладки

В качестве альтернативы технологическим схемам отработки пластов с закладкой выработанного пространства рассмотрена возможность применения систем разработки короткими забоями. Вариант раскрытия участка шахтного поля Нуибое представлен на рис.3. Рассмотрена отработка участка пласта 11 продольными и поперечными камерами с оставлением междукамерных и барьерных целиков. Предполагается использование комплекта оборудования, включающего проходческо-добычной комбайн, оборудованный устройством для ведения анкерной крепи, или отдельный анкероустановщик, а также самоходные вагоны.



Рис.3. Схема участка поля шахты Нуибейо для отработки короткими забоями

Параметры камер и целиков рассчитывались по методике, изложенной в методическом руководстве по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями [10]. Для оценки воздействия отработки пласта короткими забоями на поверхность рассмотрены три варианта технологической схемы, отличающиеся различным соотношением ширины выемочных участков D , ширины камер A , а также барьерных X и междукамерных x целиков (табл.1).

Ширина камер и ширина выемочных участков приняты на основе анализа опыта отработки пластов короткими забоями, размеры межкамерных и барьерных X целиков определены расчетами. Разработана конечно-элементная модель, состоящая из 35000 элементов, результаты расчетов (на примере горизонтальных деформаций для выемочных участков шириной $D = 120$ м) приведены на рис.4. Как показали расчеты, сохранность поверхности обеспечивается для всего рассмотренного диапазона ширины выемочных участков.

Для определения предельного значения полноты извлечения угля при разработке короткими забоями выполнены расчеты для ситуации, предусматривающей частичную отработку барьерных целиков. Как показали исследования, предельно допустимый уровень горизонтальных деформа-

Таблица 1

Параметры камер и целиков

Параметр	Вариант технологической схемы		
	первый	второй	третий
D , м	80	120	200
A , м	6	9	6
X , м	42	45	51
x , м	7	8	7
Потери угля, %	58	43	44

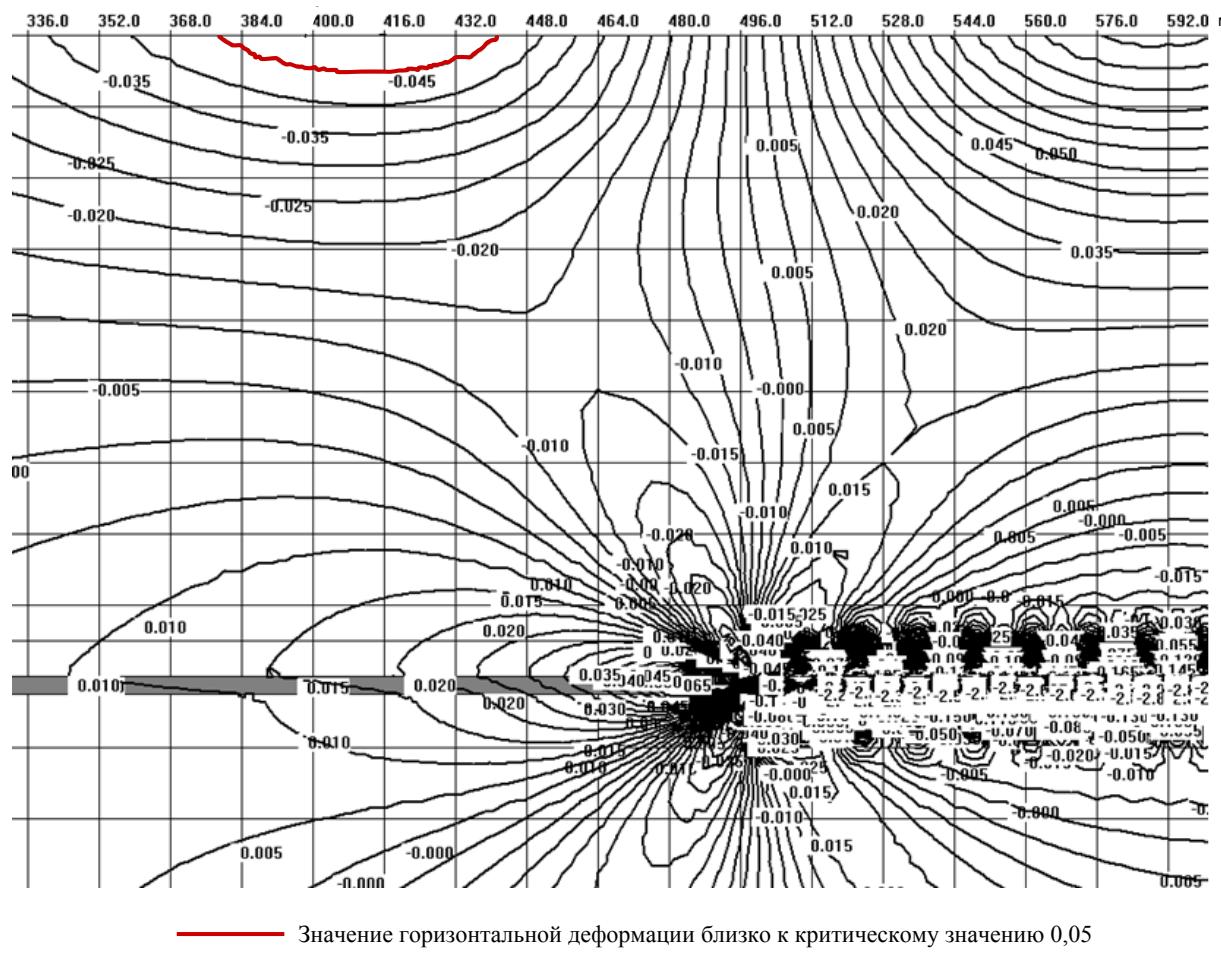


Рис.4. Горизонтальные деформации (относительные, нормированные на 1000)

ций поверхности достигается при выемке ленточных межкамерных целиков заходками шириной 7 м через каждые 6 м, что соответствует коэффициенту извлечения 0,6. Таким образом, минимальный уровень потерь угля, при котором обеспечивается сохранение объектов на поверхности, составит 40 %.

Способ управления кровлей и параметры технологических схем отработки наклонных пластов в бассейне Куангнинь под охраняемыми объектами предложено выбирать на основе минимизации суммы затрат на отработку выемочных участков и ущерба от потерь угля в целиках при условии обеспечения сохранности объектов. С этой целью был разработан соответствующий алгоритм (рис.5).

Рассмотрены технологические схемы отработки наклонных пластов бассейна с управлением кровлей полным обрушением, полной закладкой и поддержанием на целиках (табл.2).

Таблица 2

Характеристика технологических схем

Требование к технологии	Способ управления кровлей		
	Полное обрушение	Полная закладка	Поддержание на целиках
Экономическая эффективность	+	-	+
Сохранность объектов на поверхности	-	+	+
Минимальные потери угля	+	+	-

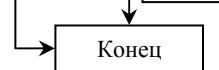
Экономическую эффективность можно оценить по уровню нагрузок на очистные забои, а также затратам на отработку $Z_{\text{отр}}$ в сравнении с рыночной стоимостью извлекаемого в процессе отработки угля Π_y [7]. В связи с отсутствием детальных данных о затратах на отработку пластов на шахтах Вьетнама в работе для сравнительной оценки приняты данные по аналогичным объектам на шахтах России. Поскольку рыночная цена угля колеблется в широких пределах, оценку можно производить на основе нагрузок на очистные забои и затрат на отработку.

Наибольшее значение нагрузок на очистные забои обеспечивается при использовании технологических схем с полным обрушением, наименьшее – с полной закладкой; наименьшие затраты – при отработке с управлением кровлей поддержанием на целиках, наибольшие – при полной закладке выработанного пространства.

Сохранность объектов на поверхности является обязательным требованием к применяемой технологии. Оценка возможности разрушения объектов производилась на основе расчета параметров сдвижения поверхности при использовании различных технологических схем Π_i и сравнения их с критическими значениями Π_{kp} .

Минимальные потери угля обеспечиваются при отработке с полным обрушением или полной закладкой, максимальные – при поддержании на целиках. Ущерб от потерь при этом зависит от рыночной стоимости оставляемых в неизвлекаемых целиках запасах.

В соответствии с алгоритмом (рис.5) выбора технологических схем и их параметров при отработке наклонных пластов бассейна Куангнинь под охраняемыми объектами для первоначального рассмотрения принимаются технологические схемы отработки пластов длинными забоями с применением очистных механизированных комплексов и управлением кровлей полным обрушением. Выполняется оценка параметров ожидаемых сдвигений поверхности Π_1 и их сравнение с критическими значениями для данного вида объектов $\Pi_{\text{кр}}$. Если разрушения не ожидаются, то производится расчет технико-экономических показателей отработки и данная схема принимается для реализации, так как обеспечивает меньшие по сравнению со схемами с закладкой затраты и меньшие по сравнению со схемами с поддержанием на целиках потери.



```

graph TD
    Start(( )) --> A[ ]
    A --> B[ ]
    B --> C[ ]
    C --> D[ ]
    D --> E[ ]
    E --> F[ ]
    F --> G[ ]
    G --> H[ ]
    H --> I[ ]
    I --> J[ ]
    J --> K[ ]
    K --> L[ ]
    L --> M[ ]
    M --> N[ ]
    N --> O[ ]
    O --> P[ ]
    P --> Q[ ]
    Q --> R[ ]
    R --> S[ ]
    S --> T[ ]
    T --> U[ ]
    U --> V[ ]
    V --> W[ ]
    W --> X[ ]
    X --> Y[ ]
    Y --> Z[ ]
    Z --> End[Конец]
  
```

Схема с полной закладкой выбирается на основании сравнения затрат на отработку с рыночной стоимостью извлекаемых запасов. Если затраты превышают стоимость запасов, то отработка будет убыточной и следует переходить к рассмотрению схем с поддержанием кровли на целиках, т.е. использованию систем разработки короткими забоями.

Технологические схемы отработки пластов короткими забоями с поддержанием кровли на целиках обеспечивают наименьшие затраты на отработку, высокую производительность при

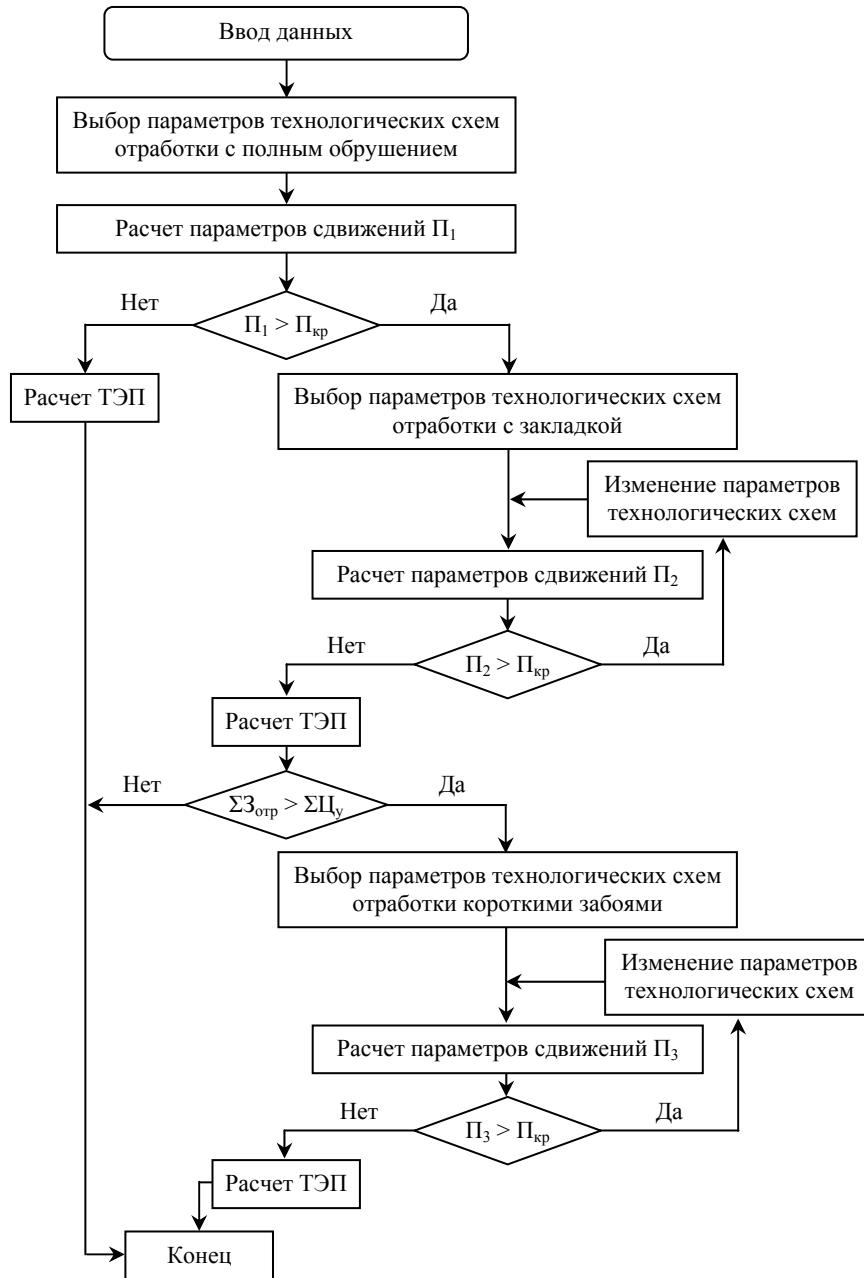


Рис.5. Алгоритм выбора технологических схем при отработке наклонных пластов под охраняемыми объектами

ТЭП – технико-экономические показатели; $Z_{\text{отр}}$ – затраты на отработку; Π_y – цена угля



наивысших по сравнению со схемами с полным обрушением и полной закладкой потерями угля в целиках.

Расчет параметров сдвижений для схем с полным обрушением для условий бассейна Куангнинь показал, что при их реализации невозможно обеспечить устойчивое состояние объектов на поверхности. Параметры сдвижений превышают критические при выемке пласта 11 даже не на полную мощность.

Опыт применения во Вьетнаме технологических схем с полной закладкой выработанного пространства показал, что при сохранении поверхности затраты на отработку превысили рыночную стоимость извлекаемых запасов, т.е. с экономической точки зрения схема оказалась убыточной. Таким образом, при существующем уровне цен на энергетический уголь наиболее эффективными являются схемы с поддержанием кровли на целиках, обеспечивающие нагрузки до 2000 т/сут при эксплуатационных потерях не менее 40 %.

Выводы

1. В самом крупном во Вьетнаме угольном бассейне Куангнинь более 37 % запасов (более 280 млн т) сосредоточены под зданиями, сооружениями, культурными объектами, карьерами и прочими охраняемыми объектами, что исключает применение систем разработки длинными столбами с полным обрушением.

2. Оценка ожидаемых смещений поверхности при подземной отработке угольных пластов бассейна Куангнинь может быть произведена по нормативной для шахт России методике, изложенной в Правилах охраны сооружений от вредного влияния подземных горных работ, при использовании в качестве месторождения-аналога Буланашского месторождения России и введении коэффициента запаса 1,2.

3. Применение систем разработки с полной закладкой выработанного пространства позволяет обеспечить сохранность объектов на поверхности при коэффициенте заполнения не менее 0,7, что может быть достигнуто при использовании очистных механизированных комплексов с закладкой.

4. В качестве закладочных материалов могут быть использованы породы, выдаваемые из шахты, при условии обеспечения модуля деформации закладочного массива не менее 30 МПа.

5. Отработка пластов короткими забоями с оставлением межкамерных и барьерных целиков обеспечивает сохранность объектов на поверхности, при этом лучшие показатели эффективности достигаются при значении ширины выемочного участка 200 м и ширине камер 6 м.

6. В качестве критерия выбора технологических схем отработки наклонных угольных пластов при наличии охраняемых объектов на поверхности предложены минимальные затраты на отработку запасов и стоимость потерь запасов полезного ископаемого в целиках.

7. Разработаны методические рекомендации по выбору параметров технологий отработки пластов, обеспечивающих эффективность горных работ и сохранность объектов на поверхности.

8. Выполненная сравнительная оценка систем разработки с полной закладкой и систем разработки короткими забоями в условиях шахт бассейна Куангнинь показала, что, несмотря на увеличение коэффициента извлечения, затраты на полную закладку выработанного пространства превышают ущерб от дополнительных потерь запасов при использовании систем разработки короткими забоями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверинин С.Г. Расчет деформаций массива горных пород под влиянием подземных разработок. Л.: ВНИМИ, 1960. 87 с.
2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. 360 с.
3. Гребенкина С.С. Прогрессивные технологии подземной отработки запасов месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанных пространств / С.С.Гребенкина, В.В.Мельник. Донецк: «ВИК», 2013. 749 с.
4. Гусев В.Н. Сдвижение и деформации горных пород: Учеб. пособие / В.Н.Гусев, Е.М.Волохов. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). 2-е изд., СПб, 2008. 83 с.
5. Казанин О.И. Выбор технологий отработки пластов на шахте «Намма» (Вьетнам), обеспечивающей безопасность подрабатываемых объектов / О.И.Казанин, М.Г.Мустафин, Ле Ван Хай // Промышленная безопасность предприятий мине-



- рально-сыревого комплекса в XXI веке. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. Отдельный выпуск № 7. С. 545-554.
6. Казанин О.И. Состояние и перспективы развития технологии подземной добычи угля в бассейне Куангнинь Вьетнама / О.И.Казанин, Ле Ван Хау // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 5. С. 15-20.
7. Макинали П. Как сделать российские шахты рентабельными // Уголь. 1999. № 9. С. 46-50.
8. Мельник В.В. Использование шахтных пород и отходов углеобогащения в качестве закладочного материала при подземной угледобыче / В.В.Мельник, П.Е.Хрисанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 5. С. 282-287.
9. Методические указания по прогнозу сдвижения и деформаций земной поверхности и определению нагрузок на здания при многократных подработках. Л.: ВНИМИ, 1987. 94 с.
10. Методическое руководство по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями. М-во энергетики РФ. РАН. ФГУП «Гос. НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – НЦ ВНИМИ». СПб, 2003. 89 с.
11. Мустафин М.Г. Контроль допустимых деформаций земной поверхности при строительстве вертикальных выработок в условиях застроенных территорий / М.Г.Мустафин, А.С.Наумов // Записки Горного института. 2012. Т. 198. С. 194-197.
12. Певзнер М.Е. Геомеханика / М.Е.Певзнер, М.А.Иофис, В.Н.Попов. М.: Горная книга, 2008. 438 с.
13. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. СПб: ВНИМИ, 1998. 291 с.
14. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В.И.Клишин, Л.В.Зворыкин, А.В.Лебедев, А.В.Савченко. Новосибирск: Новосибирский писатель, 2011. 524 с.
15. Пучков Л.А. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов: В 2 т. / Л.А.Пучков, Ю.А.Жежелевский. М.: Изд-во МГГУ, 2009. Т. 1. 561 с.
16. Сдвижение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / В.И.Борщ-Компониц, И.М.Батутина, В.М.Варлашкин, В.К.Капралов. М.: Недра, 1984. 245 с.
17. Технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах / В.Е.Зайденварг, В.В.Соболев, И.И.Сныткин и др.; под ред. В.Е.Зайденварга. ИГД им. А.А.Скочинского. Люберцы, 1991. Ч. 1. 206 с.; ч. 2. 415 с.
18. Brady B.H.G. Rock Mechanics for Underground mining: Third edition / B.H.G.Brady, E.T.Brown. Kluwer academic Publishers, Dordrecht – Boston – London. 2004. 628 p.
19. Palarski J. Multi-slice Longwalling with backfill // 2th International underground Coal Conference – Underground Coal Mining Global Experience – Lessons for Survival, The Australian Coal Industry Research Laboratories (ACIRL) and the University of New South Wales, Sydney, 1999. P. 37-46.
20. Peng S.S. Coal Mine Ground Control / West Virginia University. 2008. 750 p.

Автор Ле Ван Хау, канд. техн. наук, научный сотрудник, lehau021@gmail.com (Научно-технологический горный институт – Винакомин, Ханой, Вьетнам).

Статья принята к публикации 20.03.2017.