

тового пера» 15, находящимся в корпусе 16. «Световое перо» 15 соединено с персональным компьютером 10 кабелем 17. Электропитание осветителей 1 и электронно-оптического преобразователя 5 осуществляется от блока питания 18 через бронированный кабель 19 и кабель 20.

Фиксирование корпуса 3 устройства в полости 2 осуществляется посредством стабилизаторов-рессор 21, установленных на досыльнике 7.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эндоскоп: А.с. 1525656, СССР, МКИ G 02 В 23/24 / С.Г. Поздняков, В.Н. Усик, П.И. Марков, А.А. Афанасьев (СССР).-№4332087/24; Заявлено 26.10.87; Опубл. 30.11.89, Бюл. №44.- 3 с.
2. Устройство для получения изображения внутренней поверхности полых тел: А.с. 1118949, СССР, МКИ G 02 В 23/02, Н 04 N 5/26 / Э.М. Афонин, И.М. Бачелис, Е.А. Токарев, В.Е. Ястребов (СССР).-№3552972/24; Заявлено 08.02.83; Опубл. 15.10.84, Бюл. №38.- 3 с.
3. Kamera introskopowa do badania struktury skal w otoczeniu otworu wiertniczego. Lukasz Stopyra "GASTOP", P. H. U. Krakow 2003. 5с
4. Система скважинного видео "HAWKEYE II™". "Argosy Technologies Ltd." М, 2004 5с.

**УДК 622.831.322.001**

Инженер В.Б. Грядущий

(НИИ горной механики им М.М. Федорова)

### **НАУЧНЫЕ КОНЦЕПЦИИ И ГИПОТЕЗЫ О ФОРМИРОВАНИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНОМ МАССИВЕ НА КОНЦЕВЫХ УЧАСТКАХ ЛАВ**

Проаналізовано сучасні тенденції розвитку наукових досліджень по проблемі збереження стійкості порід покрівлі на кінцевих ділянках очисних вибоїв. Сформульовано задачі подальших досліджень для вивчення особливостей формування напруг у гірничому масиві на сполученнях лав з підготовчими виробками.

### **RESEARCH CONCEPTIONS AND HYPOTHESIS ABOUT STRESS FORMING IN ROCK MASSIF ON THE END SITES OF LONGWALLS**

Modern tendencies of scientific research development on the problem of roof stability keeping on the end sites of longwalls are analyzed. The tasks of forthcoming research for studying of peculiarities in forming of stresses in rock massif on the end sites of longwalls are set up.

Опыт ведения очистных работ в сложных горно-геологических условиях шахт Донбасса показал, что трудоемкость выемки угля и крепления концевых участков лав, возведения опорных конструкций и крепи усиления на сопряжениях подготовительных выработок с очистным забоем составляет около 50-60% общих трудозатрат по очистному забою. Наиболее опасными зонами являются концевые участки лав, где во время обрушения пород происходит более 37% всех несчастных случаев.

При подвигании очистного забоя породы кровли находятся под влиянием непостоянных знакопеременных напряжений, которые приводят к их расслоению и обрушению на участках сопряжений очистной и подготовительной вы-

работок. По данным статистического учета, наиболее часто вывалы пород происходят на концевых участках лав. Под концевым участком лавы подразумеваются сопрягающиеся участки очистного забоя и подготовительных выработок, оказывающие взаимные технологическое и геомеханическое влияния. Выполненные ранее исследования подтверждают, что в этих зонах непосредственная кровля находится в наиболее сложном напряженном состоянии [1].

С учетом этого должны выбираться схемы сопряжений лав с подготовительными выработками. Технологические схемы на сопряжениях лав со штреками характеризуются следующими признаками [2]:

- 1) расположением примыкающих выработок относительно забоя лавы;
- 2) расположением выработок относительно выработанного пространства;
- 3) способом охраны подготовительных выработок;
- 4) средствами механизации на концевых участках лавы.

На первом уровне выделяются сопряжения лав с подготовительными выработками пройденными заранее и повторно используемыми. Необходимость такого разделения обусловлена различным характером воздействия на них опорного давления движущегося забоя и, как следствие, различной величиной смещения пород и их состоянием.

До начала очистных работ выработки могут быть пройдены в массиве, вприсечку к выработанному пространству или с оставлением угольного целика. В наиболее благоприятных условиях находятся выработки пройденные в массиве, вприсечку к выработанному пространству и погашаемые вслед за лавой. Вынесение головок конвейера на штрек наиболее часто встречается в выработках этой группы. Так, из 65% технологических схем с частичным или полным вынесением приводов конвейера в подготовительные выработки, проводимые до начала очистных работ, более 40% - в выработках пройденных в массиве, вприсечку к выработанному пространству и погашаемых вслед за лавой и только 20% - в выработках пройденных с оставлением целика [3]. Это обусловлено тем, что выработки, охраняемые целиками угля подвержены высокому горному давлению, особенно в случае несоответствия размеров целиков конкретным горно-геологическим условиям.

При повторном использовании транспортных выработок в качестве вентиляционных из-за большого срока службы и двукратного воздействия на них горного давления возникают значительные смещения боковых пород. Это приводит к ухудшению состояния не только сопряжений подготовительных выработок с лавой, но и к повышению вывалоопасности на концевых участках очистных забоев.

В зависимости от применяемых способов охраны выделяются сопряжения лав с выработками, охраняемыми искусственными ограждениями в виде бутовых полос, деревянных костров, железобетонных тумб, органной крепи.

По способам механизации концевые участки лав делятся на следующие группы:

- 1) механизированная выемка угля выемочной машиной, при вынесенных на штреки приводах конвейера:

- а) самозарубка комбайна "косыми заездами";
- б) фронтальная самозарубка комбайна;
- 2) выемка ниш вручную или БВР, при этом ниши предназначены для
  - а) размещения только приводов конвейера;
  - б) размещения приводов конвейера и выемочной машины.

Наиболее прогрессивными считаются технологических схемы концевых участков лав с вынесенными на штреки приводами конвейера. Но при вынесенных головках конвейера на сопряжения лавы с подготовительными выработками возникает необходимость поддерживать значительные по площади обнажения кровли в зоне повышенной концентрации напряжений, что приводит не только к деформации штрековой крепи, но и к вывалообразованиям на концевых участках лавы. Это является ограничивающим фактором широкого применения таких технологических схем концевых участков.

Возникновение обрушений кровли зависит от многих факторов, обусловленных строением и физико-механическими характеристиками пород, технологией ведения работ, средствами выемки угля и крепления забоя. На состояние кровли в зоне сопряжения очистной выработки с подготовительной оказывают влияние способы подготовки и размеры ниши, средства охраны подготовительных выработок, параметры расположения очистного забоя в плоскости пласта и др. Воздействие каждого из этих факторов на устойчивость кровли изучено пока недостаточно.

Уменьшение проявлений горного давления на концевых участках лавы возможно осуществить путем очистной выемки от штрека к середине лавы [4]. С помощью метода конечных элементов моделировалось горное давление на концевых участках лавы.

На рис. 1 представлена эпюра напряжений в кровле пласта согласно которой размеры концевого участка лавы с повышенной концентрацией горного давления составляют около 24 м [4], что подтверждается наблюдениями на зарубежных шахтах [5] (рис. 2). Зона влияния технологического уступа распространяется вдоль забоя на 8-10 м впереди и на 16-18 м позади уступа (рис. 1). Коэффициент концентрации напряжений в пике опорного давления не превышает 1,05, что обусловлено малыми размерами уступа, раздавливанием массива в зоне его влияния и проявлениями пластических свойств, присущих этому состоянию пород. Влияние подготовительной выработки на напряженное состояние массива более существенно. Коэффициент концентрации напряжений в пике опорного давления от влияния подготовительной выработки в выбранном сечении составляет около 1,2, а за пределами зоны влияния отрабатываемого столба 2. Размеры зоны опорного давления не превышают 24 м.

Однако, влияние подготовительной выработки или технологического уступа несопоставимо с влиянием выработанного пространства, отрабатываемого и смежного выемочных столбов. Коэффициенты концентрации напряжений в пике опорного давления составляют 5,5, что в несколько раз превышает концентрацию напряжений, привносимую уступом и подготовительной выработкой. Под влиянием этого фактора горный массив, примыкающий к забою, переходит

в пластическое состояние и разрушается.

Определены следующие приоритеты влияющих факторов на напряженно-деформированное состояние концевых участков лавы [4]: выработанное пространство отрабатываемого и смежного столбов, подготовительная выработка и технологический уступ.

Для проверки результатов моделирования были проведены натурные наблюдения в 840-й лаве пласта с<sub>8</sub><sup>H</sup> шахты "Терновская" ПО "Павлоградуголь".

В призабойном пространстве было оборудовано шесть измерительных станций, позволяющих посредством стоек СУИ-2 контролировать конвергенцию боковых пород (по две стойки на концевых участках лавы и в середине). Одна из станций установлена у забоя, а другая - на расстоянии 1 м от него. При подходе комбайна к станции, расположенной у забоя, стойка СУИ-2 снималась и устанавливалась позади комбайна. Показания индикатора часового типа и положение выемочного органа комбайна по отношению к секциям механизированной крепи проверялись каждые 15 с.

Шахтными исследованиями установлен сложный характер проявления горного давления в призабойном пространстве у технологического уступа. Наряду с горно-геологическими и горнотехническими условиями отработки пласта существенное влияние оказывает скорость выемки и расстояние от штрека до технологического уступа.

В период наблюдений по техническим и технологическим причинам комбайн часто останавливали, что усложнило определение закономерностей проявления давления. Вместе с тем, шахтными наблюдениями подтверждены результаты моделирования: с уменьшением расстояния до замерной станции скорость конвергенции боковых пород монотонно возрастает, причем максимальное ее значение находится за выемочным органом комбайна, при отходе - монотонно убывает.

Основными производственными процессами, которые оказывают влияние на проявление горного давления в лавах с механизированными крепями являются процессы выемки угля комбайном и передвижка секций крепи. Изучение этого влияния проводилось в действующих очистных забоях с механизированными крепями в добычные смены [6]. Перед проведением измерений в средней части лавы выбирался участок, на котором две-три секции механизированной крепи оснащались показывающими и самопишущими манометрами. Между этими секциями в рядах передних и задних стоек устанавливались измерительные стойки, оснащенные индикаторами часового типа. Измерения начинались после передвижки на новое место и распора измерительных секций крепи и продолжались непрерывно в течение одного или более выемочных циклов. Через определенные промежутки времени снимались показания манометров давления в гидросистеме крепи и индикаторов, установленных на стойках. Одновременно фиксировалось положение комбайна в лаве и передвигаемой секции механизированной крепи. В периоды их прохождения участка наблюдений замеры по приборам снимались через одну-две минуты, а при их удалении - через 5-10 и более минут. По полученным данным построены совмещенные графики

(рис. 3).

Аналогичные исследования были проведены в лавах на пластах  $m_3$ ,  $k_8$  и  $l_1$  АП "Шахта им. А.Ф.Засядько" и на пласте  $k_8$  ГОАО "Шахта им. Г.М.Димитрова" [7, 8]. По результатам наблюдений были построены совмещенные планы работ в лаве, графики конвергенции вмещающих пород и фактические рабочие характеристики крепи (рис. 4).

Выполненные исследования показали, что кривые конвергенции вмещающих пород на концевых участках и в средней части лавы разнятся. На сопряжении "лава-штрек" отмечается постоянная скорость конвергенции независимо от выемки угля и передвижки крепи, в средней части лавы - резкое изменение скорости конвергенции. Аналогичное явление наблюдалось с фактическими рабочими характеристиками крепи. На сопряжении «лава-штрек» секции механизированной крепи не выходили в режим рабочего сопротивления, или выходили очень медленно, а в средней части лавы крепь работала в номинальном режиме.

На состояние кровли в зоне сопряжения очистной выработки с подготовительной оказывают влияние различные факторы, а именно, способ подготовки и размеры ниш и бровок, способы охраны подготовительных выработок, расположение очистного забоя в плоскости пласта, система разработки, прочность пород кровли др.

На шахте им. Лутугина объединения "Торезантрацит" в течение 16 мес. исследовалось состояние пород кровли на концевых участках лав в целях определения степени влияния технологии ведения очистных работ на устойчивость пород [9].

Шахта разрабатывает пласты  $h_7$  и  $h_7$  мощностью 1,1-1,3 м с углом падения 6-9° на глубине 600-700 м. Непосредственная кровля - глинистые и песчано-глинистые сланцы крепостью 4-6, мощность ее 1,2-6 м. В основной кровле залегают песчано-глинистые сланцы крепостью 5-7. Система разработки столбовая - спаренные лавы по восстанию. Очистные забои оборудованы механизированными комплексами КМ-88, КМ-103. Подготовительные выработки охраняются одним рядом деревянных костров и полосами из тумб БЖБТ. Подготовка ниши длиной 6 м осуществляется буровзрывным способом.

Конвергенция пород кровли на концевых участках фиксировалась с помощью стоек СУИ-2. При этом наблюдения велись для различных вариантов технологии выполнения концевых операций. Смещения пород непосредственной кровли измерялись в течение смены одновременно в четырех точках на расстоянии 1, 3, 5 и 7 м от сопряжения лавы со штреком; показания по шкале стойки снимались через каждые 0,5 ч, а при высокой интенсивности опускания кровли - через 10-15 мин.

В результате шахтных инструментальных наблюдений получена зависимость смещений пород кровли от времени при различной технологии производственных процессов на концевых участках 29-й восточной лавы пласта  $h_8$  (рис. 5) [9]: выемка ниш с помощью БВР (кривая а), зарубка комбайна способом «косяк заездов» (кривая б), передвижка приводной головки (кривая в).

В результате ведения взрывных работ (кривая а) в нише за короткий проме-

жуток времени образуется значительная обнаженная площадь кровли (8-12 м<sup>2</sup>), при этом происходит интенсивное смещение ее нижних слоев (отрезок 0-1). Скорость смещения достигает 0,5 мм/мин, абсолютные смещения 10 мм. В дальнейшем вследствие упругих свойств пород процесс сдвижения затухает, темп снижается до 0,3 мм/мин. Этот период (отрезок 1-2) определяется временем погрузки угля и установки постоянной крепи, а величина смещений зависит в основном от упругих свойств пород кровли. После установки крепи (отрезок 2-3) величина смещений резко снижается, но зависит от несущей способности крепи и времени, необходимого для достижения ее максимального отпора. После завершения выемки ниши и крепления лавы смещение кровли стабилизируется и зависит от податливости крепи.

Когда применяется самозарубка комбайна в пласт (рис. 5, кривая б), условия поддержания кровли на концевом участке лавы более благоприятны, так как обнажение кровли происходит на небольших площадях с малой скоростью. В процессе работы комбайна (отрезок 0-1') на смещение кровли влияют прочностные свойства пород и расстояние от места выемки угля до установки постоянной крепи. Кровля опускается со скоростью 0,3 мм/мин, величины смещений достигают 30 мм. После передвижки секций крепи и нагружения их (отрезок 1'-2') скорость смещения снижается, а время достижения максимального отпора крепи сокращается на 30-50 мин. Это объясняется меньшим первоначальным опусканием кровли и достаточно высоким первоначальным сопротивлением механизированной крепи. В дальнейшем смещения кровли стабилизируются и зависят от свойств пород и отпора крепи. Такая технология работ и установка секции крепи на концевых участках лав способствуют повышению нагрузки на очистной забой.

При передвижке приводных головок смещения кровли незначительны (рис. 5, кривая в) и можно предположить, что породы находятся в относительном равновесии. Однако, в начальный момент времени (отрезок 0-1'') скорость смещения несколько выше, что обусловлено уменьшением плотности крепи в результате извлечения стоек, препятствующих перемещению приводной головки конвейера. Смещения стабилизируются после восстановления крепи.

При наличии неустойчивой кровли или недостаточной несущей способности крепи смещения могут превысить значения предела прочности на разрушение и повлечь за собой вывалообразование и обрушение пород в рабочее пространство очистного забоя.

Для сравнения в 29-й восточной лаве пласта  $h_8$  были также проведены исследования при упрочнении пород полиуретановыми смолами [9]. Нагнетание производилось через шпуры длиной 4 м; в каждый шпур подавалось до 200 кг укрепляющего состава. Работы осуществлялись в ремонтную смену один раз в два-три дня. Наблюдения показали, что упрочнение смолами повышает устойчивость кровли - абсолютные смещения уменьшаются в 2-4 раза, а скорости опускания в 1,5-2 раза. Таким образом, смещения кровли не превышают критических, чем обеспечивается устойчивость пород на концевых участках очистных забоев.

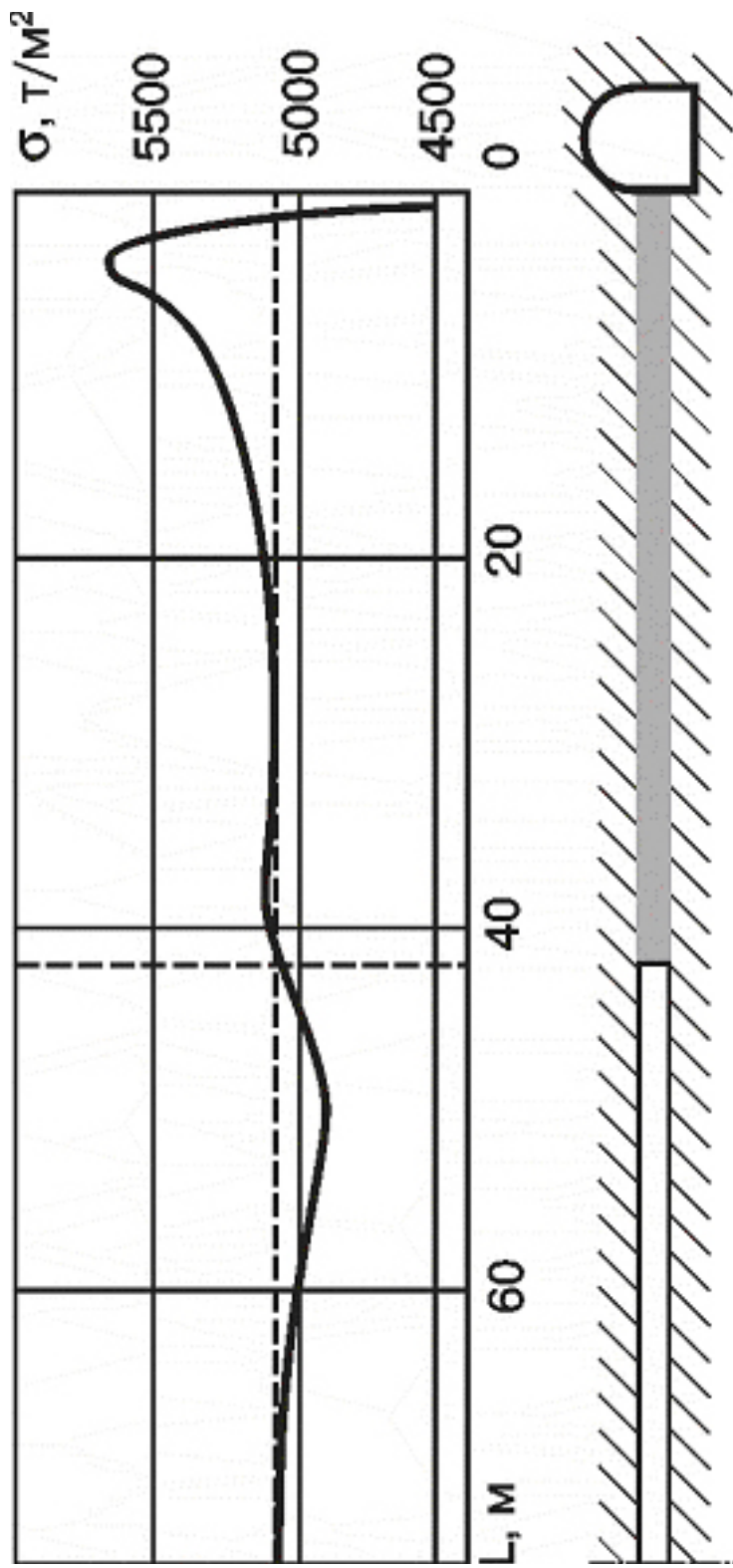


Рис. 1 - Эпюра напряжений в кровле пласта по сечению вдоль лавы

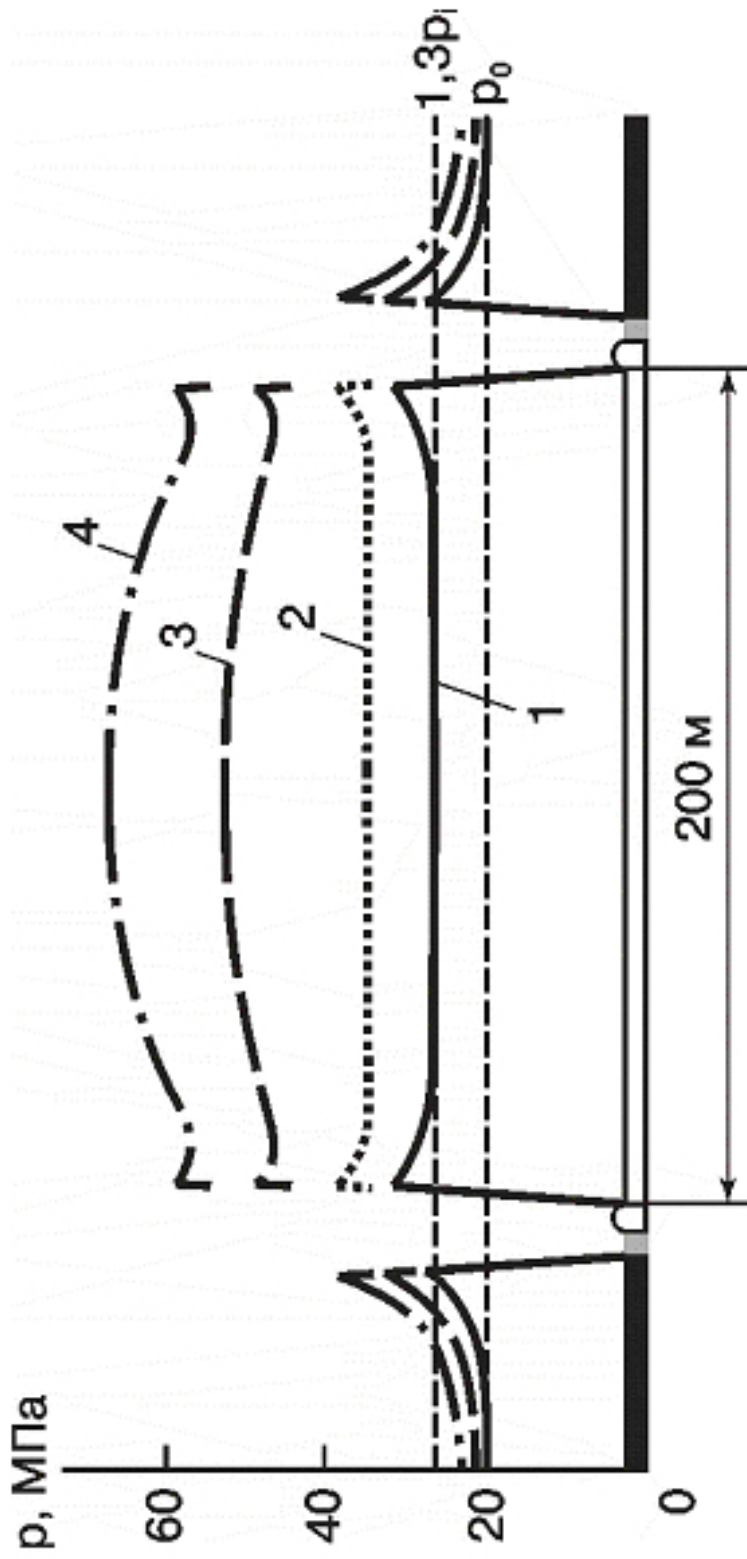


Рис. 2 - Графики распределения давления вдоль лавы на расстоянии от разрезной печи 10 м (1), 30 м (2), 100 м (3) и 400 м (4)



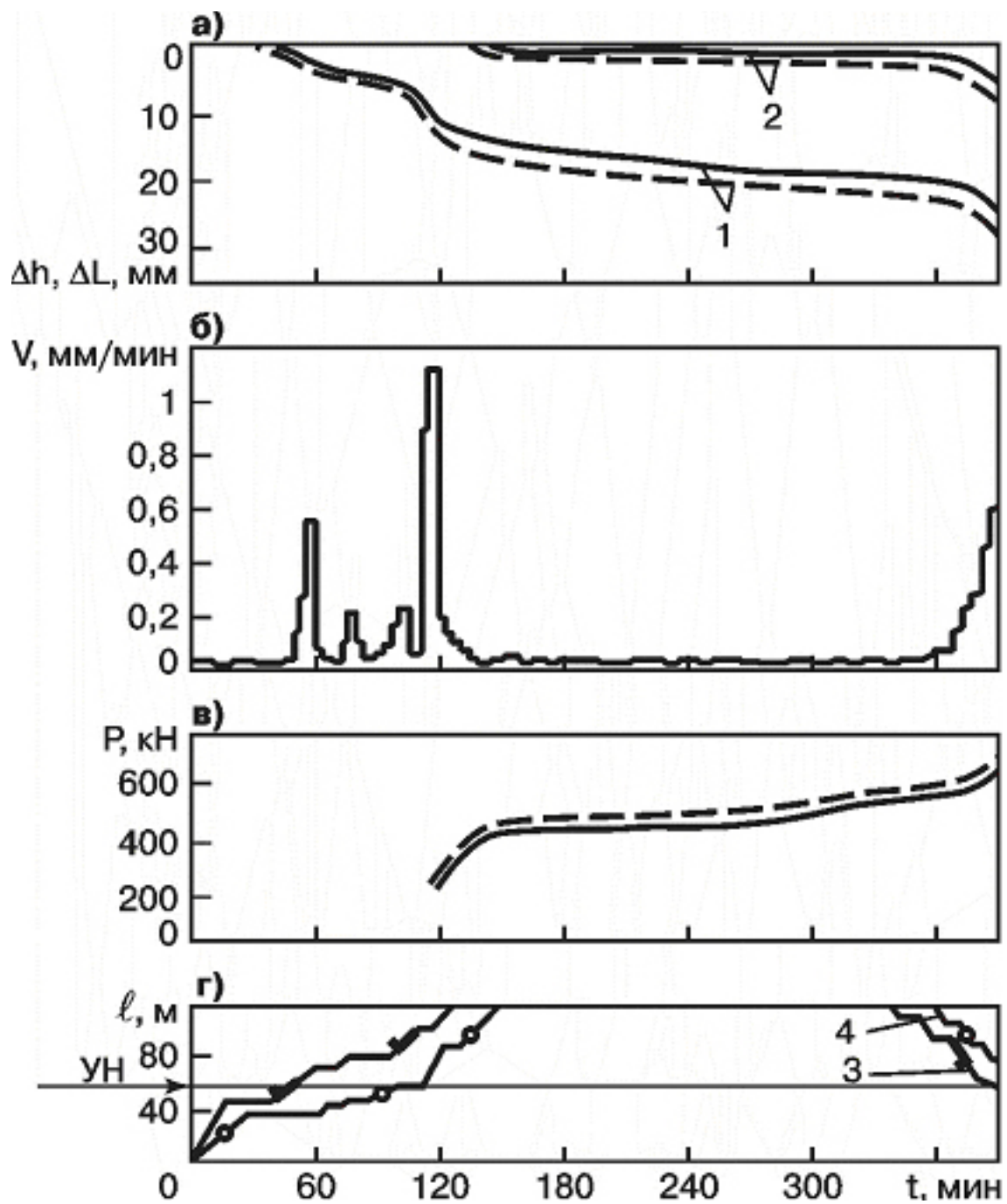


Рис. 3 - Совмещенные во времени графики опускания кровли  $\Delta l$  (1) и податливости стоек  $\Delta h$  (2) (а), скорости опускания кровли  $V$  (б), развития сопротивления гидростоек крепи  $P$  (в) и хронограмма выемки угля комбайном (3) и передвижки секций крепи (4) вдоль лавы  $l_d$  (г): — - для передних стоек, - - - - для задних стоек, УН - участок наблюдений

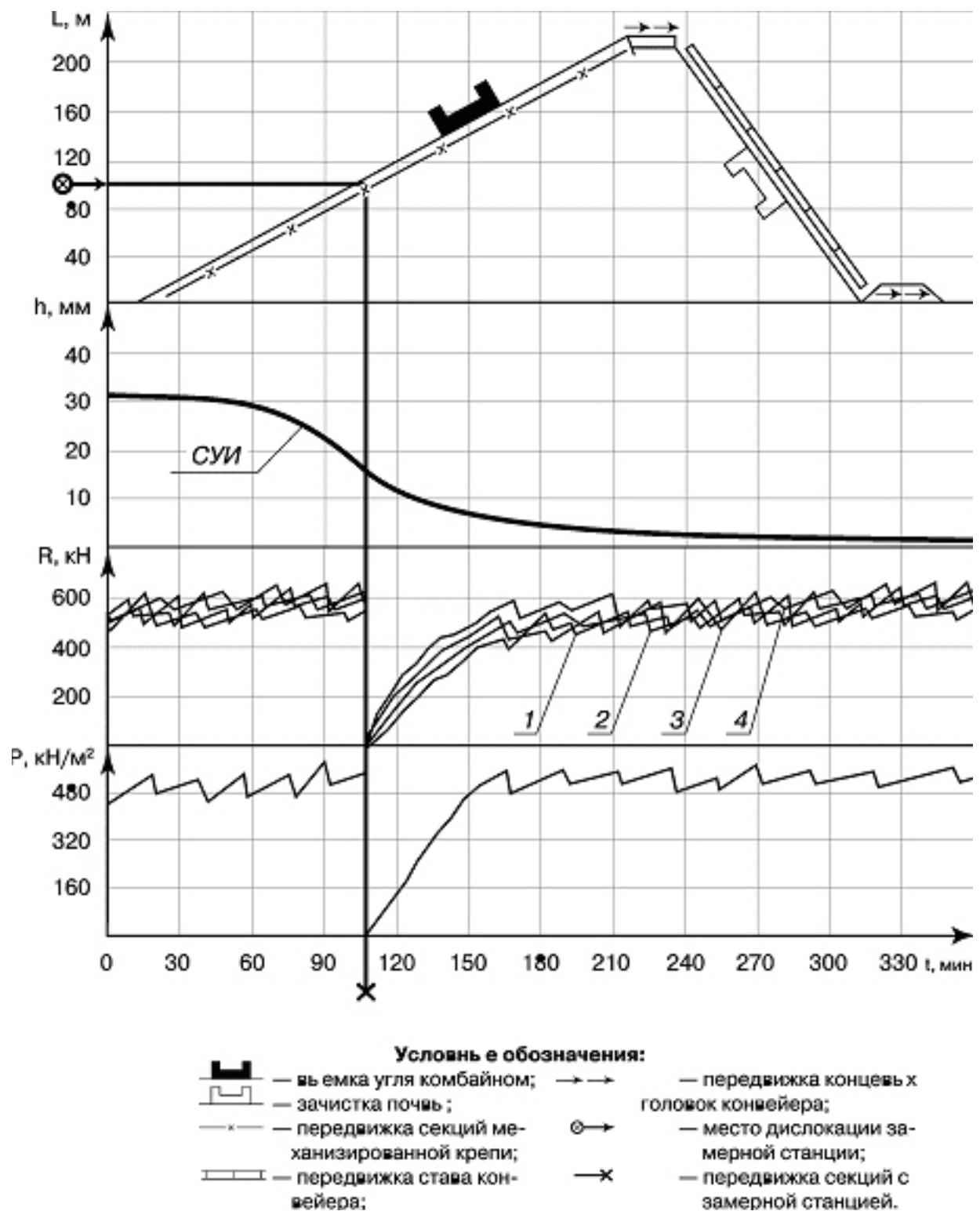


Рис. 4 - Планограмма работ в лаве, графики конвергенции пород и фактические характеристики крепи

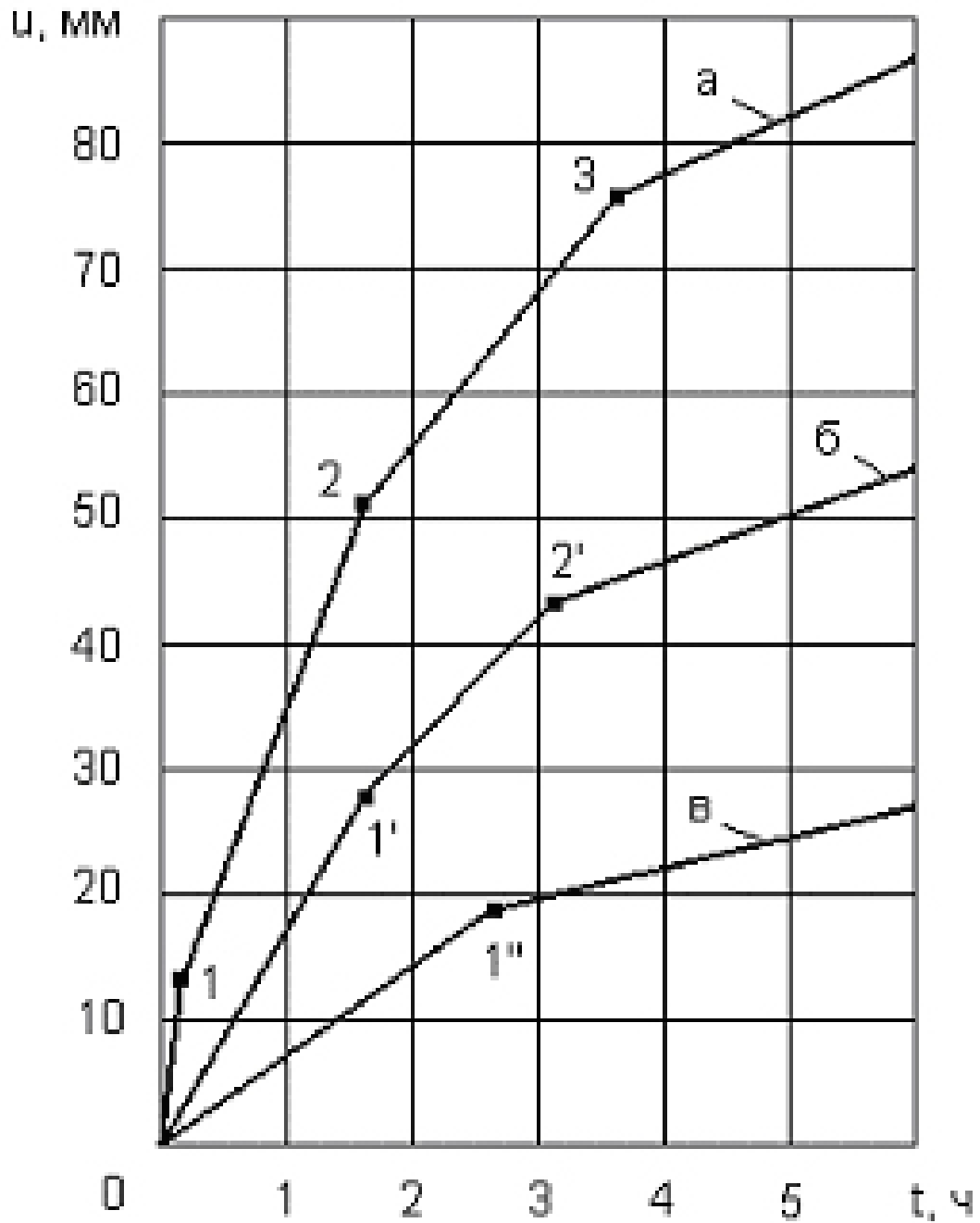


Рис. 5 - Кривые смещений кровли в 29-й восточной лаве пласта  $h_8$  при различных технологических процессах на концевых участках

Опыт упрочнения пород полиуретаном показал, что такой способ управления вывалообразованиями позволяет уменьшить смещения кровли и может рассматриваться как один из перспективных вариантов предупреждения вывалов на концевых участках лав.

Повышению устойчивости подготовительных выработок как при проведении, так и при поддержании их в зоне влияния очистных работ посвящено значительное количество исследований. Изучением и решением проблем, связанных с взаимодействием механизированных крепей с неустойчивыми породами кровли и разработкой специальных средств крепления для концевых участков очистных забоев занимались многие украинские и зарубежные ученые и специалисты. Однако, наряду с детальным изучением и определением основных параметров механизма деформирования боковых пород на контуре очистных и подготовительных выработок до настоящего времени не рассматривалась общая геомеханическая картина деформирования горного массива на концевом участке лавы ввиду значительной сложности данной проблемы.

С учетом значительных трудностей определения в натуральных условиях параметров напряженно-деформированного состояния горных пород и прочностных характеристик крепи и опорных конструкций, наиболее целесообразным решением данной проблемы является математическое моделирование геомеханических процессов в окрестности концевых участков лав с применением методов конечных или граничных элементов [10]. В исследованиях, посвященных данной проблеме, рассматривались частные задачи, но не решалась комплексная геомеханическая задача изучения особенностей деформирования дискретного горного массива на участке сопряжений очистного забоя с выработками, учитывающая активное взаимодействие элементов системы "горные породы – приконтурная часть угольного пласта – крепь – опорные конструкции сопряжений". Решение задачи математического моделирования в общем виде заключается в оптимизации количественных и качественных параметров способов повышения устойчивости боковых пород с целью минимизации вредных проявлений горного давления и обеспечения малоремонтной эксплуатации концевых участков лав.

Таким образом, ввиду особой сложности проблемы управления горным давлением на сопряжениях "лава–штрек" в сложных горно-геологических условиях, до настоящего времени не решены вопросы обоснования рациональных параметров технологических схем управления кровлей и крепления концевых участков очистных забоев.

Для решения проблемы сохранения устойчивости пород непосредственной кровли на концевых участках очистных забоев необходимо решить следующие задачи:

- 1) установить особенности механизма деформирования неустойчивых пород на контуре обнажений с учетом их взаимодействия с крепями лавы и подготовительной выработки, призабойным контуром угольного массива и опорными конструкциями на бровке забоя;

- 2) установить закономерности изменения напряженно-деформированного

состояния горного массива по площади концевой части лавы, учитывающие вариантность способов выполнения концевых операций;

3) разработать метод моделирования краевой части пласта и опорных конструкций для управления вывалообразованиями на концевых участках очистных забоев;

4) определить рациональные параметры технологии и технических средств крепления концевых участков лав, обеспечивающих адаптацию этих параметров к изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям очистных забоев.

Решение этих задач позволит расширить круг представлений об особенностях протекания геомеханических процессов в горном массиве на концевых участках очистных забоев и разработать новые эффективные способы сохранения устойчивости пород кровли на сопряжениях лав с подготовительными выработками.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грядущий Ю.Б. Геомеханические основы управления вывалоопасными кровлями в очистных забоях. – К.: Техніка, 1998. – 100 с.
2. Технология работ на концевых участках лав / Чалый Г.П., Шульга А.И., Теряник В.И., Ермаченко П.С. - Киев.: Техніка, 1980.- 199 с.
3. Зубов В.П. Борьба с вывалами пород кровли на концевых участках лав при отработке пластов на больших глубинах // Уголь. - 1985.- № 12.- С. 22 – 25.
4. Колоколов О.В., Кузьменко А.М., Лубенец Н.А. Управление напряженно-деформированным состоянием массива горных пород на концевых участках лавы // Уголь Украины. – 1995.– № 1.– С. 13–16.
5. Якоби О. Практика управления горным давлением. – М.: Недра, 1990.–566с.
6. Орлов А.А., Баранов С.Г., Мышляев Б.К. Крепление и управление кровлей в комплексно-механизированных очистных забоях. – М: Недра, 1993.– 284 с.
7. Антипов И.В., Кравченко В.Е., Щербинин Д.В. Шахтные исследования конвергенции вмещающих пород // Уголь Украины.– 2000.– № 10.– С. 24-27.
8. Звягильский Е.Л., Филимонов П.Е., Антипов И.В., Щербинин Д.В. Ускорение конвергенции вмещающих пород в очистных забоях // Уголь Украины. - 2002.- N 8.- С. 33-36.
9. Сироткин Ю.С., Горохов К.И. Оценка напряженного состояния опорных контуров лав // Уголь. – 1986. – № 9.– С. 15–17.
10. Антипов И.В., Филимонов П.Е., Грядущий В.Б., Гатауллин Н.Н. Шахтные исследования и моделирование геомеханических процессов / Сб. научн. тр. "Геотехническая механика". - ИГТМ НАН Украины, № 30.- 2003.- С. 160-165.