

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИКВИДАЦИИ ОБРУШЕНИЙ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ КРОВЛИ В ДЕЙСТВУЮЩЕМ ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ

*В.В. Левит, С.В. Борщевский, ДонНТУ, Украина
И.В. Назимко, УкрНИИМИ НАН Украины*

Проведен прогноз обрушаемости непосредственной кровли в рабочее пространство очистного забоя, а также выполнена оценка эффективности применения усовершенствованной технологии ликвидации обрушений непосредственной кровли.

Энергетическая независимость Украины определяется возможностями добычи собственного угля. Устойчивое развитие отечественной угольной промышленности зависит от успешного решения проблем негативного проявления горного давления, которые обостряются с ростом глубины разработки и увеличением газоносности углевмещающих пород. Подавляющее число проблем горного давления связаны с необратимыми сдвигами породного массива, которые находятся в сложной взаимозависимости с действующими напряжениями.

В работе [1] было рассмотрено сдвигание массива горных пород и перераспределение горного давления как термодинамический процесс, последствия которого определяются степенью необратимости и неравновесности и зависят от интенсивности элементарных возмущений или флуктуаций напряженно-деформированного, теплового или гидро-газодинамического состояния массива, окружающего выемочный участок. Такой подход позволил установить новые параметры горного давления и критерии его проявления, применение которых дает возможность объяснить существовавшие противоречия, а также обосновать новые принципы управления горным давлением, обеспечивающие повышение безопасности горных работ.

В зависимости от степени необратимости и скорости протекания процессов сдвига и перераспределения горного давления выделено ряд типовых состояний массива горных пород с использованием энтропии S как универсальной функции состояния:

Для обратимого (равновесного) состояния

$$\delta S = 0, S_0 = \max . \quad (1)$$

где δS – приращение энтропии, S_0 – величина энтропии.

Для необратимого процесса, который протекает в стационарном режиме

$$\delta S = \min, \Delta \delta S = 0 . \quad (2)$$

$\Delta \delta S$ – первая производная приращения энтропии.

Для слабо неравновесного состояния

$$\delta S = (1/T) \sum X_i^j J_i^j > 0 \quad (3)$$

Для сильно неравновесного состояния

$$\Delta \delta S = \sum \Delta X_i \Delta J_i > 0 . \quad (4)$$

где T – абсолютная температура, X_i^j, J_i^j – термодинамические силы и потоки.

Разница в последнем случае состоит в том, что при сильно неравновесном состоянии термодинамическая система склонна формировать диссипативные пространственно-временные структуры.

Потеря термодинамической устойчивости массива горных пород связана с понятием флуктуации механического, газового гидродинамического давления, а также его релаксации [1-4]:

$$S_j(t) - S_j(0) = \sum \{L_{jk} \exp(-t/\tau_k)\} . \quad (5)$$

В данном уравнении в качестве экстенсивного термодинамического параметра использована энтропия, хотя может быть любая другая физическая аддитивная величина. Символом τ_k обозначено время релаксации k -того процесса, которые оказывает влияние на j -й процесс. Символы $S_j(t)$ и $S_j(0)$ обозначают неравновесное и равновесное значение экстенсивного параметра, соответственно. Разница указанных значений представляет собой приращение энтропии или в пределе ее производства.

Время релаксации является важным и вместе с тем простым и легко определяемым экспериментально параметром, который наряду с критериями (1-3) определяет характер видоизменения термодинамической системы [5-7]. Оценка устойчивости системы, в качестве которой в данном случае рассматривается массив горных пород, окружающий выемочный участок, осуществляется в двух аспектах. С одной стороны устойчивость системы может быть нарушена из-за флуктуаций термодинамического параметра или параметров за счет внутренних или внешних источников. В таких случаях термодинамическая система теряет устойчивость скачкообразно, внезапно, без подготовки. Примерами внезапной потери устойчивости работы выемочного участка можно считать внезапный выброс угля и газа, взрыв газовоздушной смеси или пыли, прорыв подземных вод в очистной забой и т.п.

Потеря устойчивости системы также может протекать постепенно, в виде ее деградации. Типичным случаем постепенной деградации выемочного участка как термодинамической системы является износ механизированных крепей, что в конечном итоге приводит к увеличению интенсивности обрушений непосредственной кровли в рабочее пространство действующего очистного забоя.

С другой стороны по соотношению времени флуктуации и времени релаксации можно оценивать степень неравновесности термодинамической системы. В том случае, когда период возникновения флуктуаций меньше времени релаксации системы к равновесному состоянию, которое вызывает данная флуктуация, система способна переходить в новое состояние динамического равновесия, характеризуемое интенсивными диссипативными процессами. Весьма вероятно при этом возникновение пространственных и временных структур. С учетом специфики работы выемочного участка пространственно-временные структуры имеют вид периодического зависания и обрушения основной кровли, периодического изменения параметров динамического опорного давления, интенсивности газовыделения, размеров зоны отжима краевой части угольного пласта и т.п.

В результате выполненных исследований была составлена классификация возмущений (флуктуаций), которые являются причиной потери устойчивости массива горных пород (табл. 1)

Таблица 1. Характеристика возмущений (флуктуаций), происходящих в окрестности действующего выемочного участка

Характеристика возмущения	Длительность	Масштаб	Методы оценки, измерения или фиксации
1	2	3	4
1)Образование макротрещины	0,01-0,1с	0,1-10 м длины трещины	Регистрация частоты и амплитуды сейсмического сигнала сейсмоакустическим методом
2)Динамические удары и кратковременные увеличение нагрузки при разрушении угля и породы исполнительным органом горной машины	1-2с	1-10см ³ объема включения	Регистрация крутящего момента на валу двигателя, усилий в резце с помощью тензометрии
3)Единичная выемка угольного пласта исполнительным органом	2-10с	1-2м ³ объема угольного пласта	Мониторинг смещений непосредственной почвы, кровли и краевой части угольного пласта измерительными стойками, индикаторами часового типа

1	2	3	4
4)Разгрузка секции механизированной крепи	1-5 с	2-10м ² непосредственной кровли	То же плюс измерение давления в стойках механизированной крепи
5)Подвигание очистного забоя на величину заходки	1-5 час	Длина лавы X величину заходки (200-300м ²)	Измерение конвергенции почвы и кровли, отжима краевой части пласта, давления в секциях механизированных крепей
6)Обрушение основной кровли	5-10с	Длина лавы (200-300м)	То же
7)Первичная посадка основной кровли при отходе лавы от монтажного ходка	5-10с	Длина лавы X 50-150м (10000-100000 м ²)	То же, плюс мониторинг газовой обстановки
8)Взаимодействие смежных выработанных пространств, разрушение охранных целиков	1-10 Неделя и более	То же	То же плюс мониторинг деформаций примыкающих подготовительных выработок, мониторинг сейсмоакустической эмиссии, мониторинг газовой обстановки
9)Современные подвижки земной коры и активизация сдвижений массива горных пород в окрестности дизъюнктивных нарушений	Неделя-месяц	Ширина панели, блока, горизонта	Мониторинг сейсмоакустической эмиссии, газовой и радиоизотопной обстановки в пределах шахтного поля
10)Возмущение давления или концентрации газа в массиве горных пород в окрестности выемочного участка	10с – 1 час	То же	Мониторинг газовой обстановки

Ниже приводится опыт анализа устойчивости непосредственной кровли очистного забоя, потеря которой регулируется критерием (3), а запускается комбинацией таких возмущений (флуктуациями) горного давления как 3-5 и 8 согласно классификации табл.1. При этом флуктуации 3-5 действуют на фоне ранее реализовавшегося возмущения типа 8.

Третья западная лава пласта l_4 будет работать в сложных горно-геологических условиях и примыкать к ранее отработанному пространству 2-й западной лавы. Средняя глубина разработки составляет 820м, вынимаемая мощность пласта изменяется в пределах 0,9-1,15м. В непосредственной кровле расположен слой неустойчивого аргиллита мощностью до 1м, который склонен к обрушению в рабочее пространство действующего очистного забоя при превышении горным давлением допустимого уровня. Прочность породы на одноосное сжатие составляет 30-35МПа, на растяжение 0,8МПа. В принципе такая прочность при надлежащем состоянии механизированной крепи и достаточной скорости подвигания очистного забоя позволяет породам сохранять устойчивость. Однако опыт отработки 1-й и 2-й западных лав показал, что в определенных условиях устойчивость указанного слоя не сохраняется, что видно по множеству зафиксированных участков, где произошло обрушение неустойчивого слоя пород непосредственной кровли.

Выше расположен породный слой алевролита, мощность которого составляет около 5,7м, а прочность на одноосное сжатие изменяется в пределах 50-60МПа. Далее залегает достаточно прочный песчаник мощностью 6,2м.

В непосредственной почве расположен неустойчивый прослоек аргиллита. Мощность этого слоя составляет от 0,6 до 1,2м. Опыт работы 2-й западной лавы показал, что непосредственная почва пласта склонна к разрушению во время передвижки секций механизированной крепи, в результате чего местами возникает необходимость подрывки породного слоя. Ниже располагается двухметровый слой устойчивого песчаника, подстилаемый породами песчано-глинистого состава.

При работе 2-й западной лавы напротив секции 110 зарегистрирован несимметричный вывал кровли вытянутой формы. Высота обрушения составляет 0,7-0,8м. В районе секции 160 образовалось обрушение высотой 1,6м. При этом осуществлена подрывка неустойчивой почвы пласта. Местами высота вывалов достигает 2,2м, что сильно затрудняет процесс безопасной и производительной выемки угольного пласта.

Задача прогноза обрушаемости непосредственной кровли решалась в несколько этапов, согласно методики, описанной в [9-10]. Вначале в окрестности выемочного столба 3-й и 2-й западных лав были выбраны скважины с таким расчетом, чтобы охватить равномерно всю площадь отработки западного крыла панели. Затем произведена выборка имеющихся данных по прочностным и деформационным свойствам кровли и почвы пласта. Деформационные показатели вмещающих пород использовались для расчета напряжений, действующих вокруг движущегося очистного забоя. Прочностные показатели нужны для оценки величины критерия устойчивости кровли обрабатываемого пласта.

Все прочностные показатели и деформационные свойства вмещающих пород приводились к уровню кровли пласта исходя из следующего принципа. Прочность каждого слоя учитывалась пропорционально его мощности и обратно пропорционально расстоянию от центра тяжести слоя до кровли угольного пласта. Такой подход позволил учесть участие всех слоев кровли в сопротивлении силам горного давления. Однако наибольший вклад вносили слои, прилегающие непосредственно к угольному пласту.

Затем расчетная область разбивалась на сетку размером 25х25м. В каждом узле расчетной сетки приведенная прочность интерполировалась на основании известных данных, введенных в точки с координатами, в которых имелись скважины. Таким образом, получены распределения приведенной прочности кровли пласта по всей площади выемочных столбов 2-й и 3-й западных лав.

На следующем этапе необходимо учесть влияние возмущение НДС массива типа 8 (табл. 1) в результате формирования всех выработанных пространств, которые были отработаны до ведения очистных работ во второй и третьей западных лавах. В связи с тем, что шахта им. Засядько отработывает свиту сближенных пластов, необходимо учесть все выработанные пространства, оказывавшие влияние на возмущение напряженного состояния участка пласта l_4 . Чем дальше располагался смежный пласт от пласта l_4 , тем большая площадь выработанных пространств учитывалась от этого пласта. Это значит, что влияние вышележащих пластов принималось во внимание с учетом угла распространения опорного давления по нормали к напластованию, а нижележащих пластов - с учетом угла сдвига [11]. Сложность задачи состояла в том, что выше пласта l_4 располагались работы пластов l_8^I и m_3 , а ниже пластов k_8 и l_1 . Всего было учтено влияние выработанных пространств от 31 условной лавы на смежных пластах и от двух лав на собственном пласте. Условные лавы объединялись из нескольких лав, если после их отработки прошло 10 лет и более. Недавно отработанные пространства вводились отдельно. Размеры расчетной области были приняты 2800м по простиранию и 3000м по падению. При длине выемочного столба 3-й западной лавы 1км такой запас гарантирует правильность результатов моделирования перераспределения горного давления и параметров зон ПГД в частности за счет удаления границ расчетной области от краевых частей исследуемого выемочного столба на расстояние около 1км.

Все пространства вводились в течение восьми этапов развития очистных работ. В отдельные этапы объединялись те лавы, которые отрабатывались примерно в одно и то же время независимо от пласта. Так, например, на третьем этапе были отработаны три лавы: две из них на пласте l_1 и одна на k_8 . Каждое выработанное пространство вводилось в виде четырехугольника неправильной формы, аппроксимирующего контуры реального пространства. В тех случаях, когда выработанные пространства в плане имели сложную конфигурацию, например изломы, усечения и т.п., они набирались из отдельных участков с таким расчетом, чтобы максимально учесть их форму. Такой подход позволил достичь требуемой точности расчетов за счет учета реальной произвольной формы выработанных пространств с точностью ± 25 м. При длине выемочного столба порядка километра такая точность была вполне достаточной для достоверной оценки перераспределения горного давления на всех этапах развития очистных работ.

Необходимо отметить, что наряду с прочностными свойствами учитывались и реологические параметры вмещающих пород, что позволило учесть релаксацию напряжений от выработанных пространств, отработанных ранее. Для экономии места промежуточные распределения горного давления в окрестности расчетной области не приводятся. На рис. 1 показано окончательное распределение горного давления на настоящий момент. Видно, что вертикальная компонента горного давления распределена по площади расчетной области весьма неравномерно. Минимальный уровень горного давления отмечается в районе выработанных пространств 1-й и 2-й западных лав пласта l_4 , которые были отработаны последними. У нижней границы выработанного пространства 2-й западной лавы наблюдается зона повышенного горного давления.

Вокруг общей проекции всех выработанных пространств, созданных по всем четырем пластам, сформировалась зона остаточного опорного давления. При этом величина этого давления выше напротив верхней границы 1-й западной лавы, отработанной на собственном пласте, и минимальна на границах, сформированных по удаленным пластам. В зависимости от степени наложения зон ПГД на смежных пластах коэффициент концентрации опорного давления изменяется от 1,8 до 3,6. Такие особенности распределения напряжений хорошо согласуются с известными закономерностями перераспределения горного давления при развитии очистных работ в свите сближенных угольных пластов. Для большей наглядности исходное распределение горного давления по площади выемочного столба 3-й западной лавы приведено отдельно на увеличенном фрагменте рис. 2. Видно, что вдоль верхней границы с выработанным пространством 2-й западной лавы концентрация напряжений достигает 1,7-1,8 в средней части выемочного столба (позиция 1). Похожая картина распределения горного давления отмечается с противоположной стороны на уровне конвейерного штрека.

Однако здесь величина концентрации несколько ниже. Это объясняется тем, что на уровне вентиляционного штрека происходит наложение зон ПГД от смежных пластов с остаточным опорным давлением от выработанного пространства 2-й западной лавы, отработанной на собственном пласте. Высокий уровень концентрации наблюдается также у разрезной печи справа на распределении. Если печь 3-й западной лавы расположить под этой зоной, возникнут проблемы с обеспечением ее устойчивости, что замедлит подготовку 3-й западной лавы к пуску.

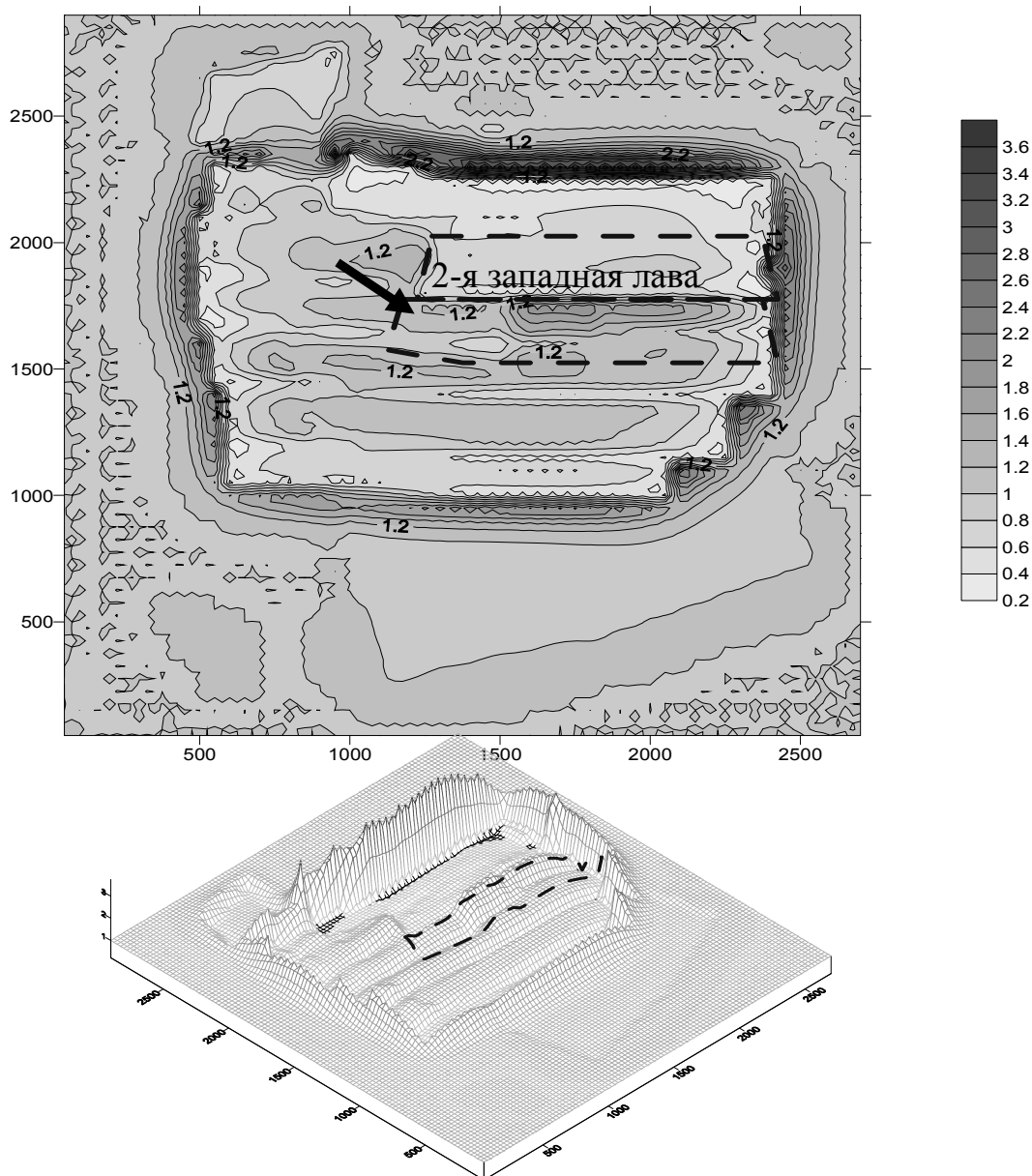


Рис.1. Распределение концентрации горного давления в окрестности выемочного столба 3-й западной лавы

Таким образом видно, что исходное распределение горного давления по площади выемочного столба 3-й западной лавы существенно отличается от геостатического равномерного распределения. Учет этого отличия обеспечивает достоверность конечных результатов прогноза устойчивости непосредственной кровли при отработке планируемой лавы.

После получения исходного распределения горного давления по площади выемочного столба 3-й западной лавы, был начат расчет перераспределения горного давления в процессе ее отработки, что позволило учесть влияние возмущений типа 3-5 на устойчивость непосредственной кровли действующего очистного забоя. Для этого выработанное пространство указанной лавы наращивали отрезками по 50м со стороны разрезной печи с учетом скорости продвижения очистного забоя, принятой равной 120-150м/мес. Каждый раз после передвижки лавы пересчитывалось все распределение горного давления в пределах расчетной области.

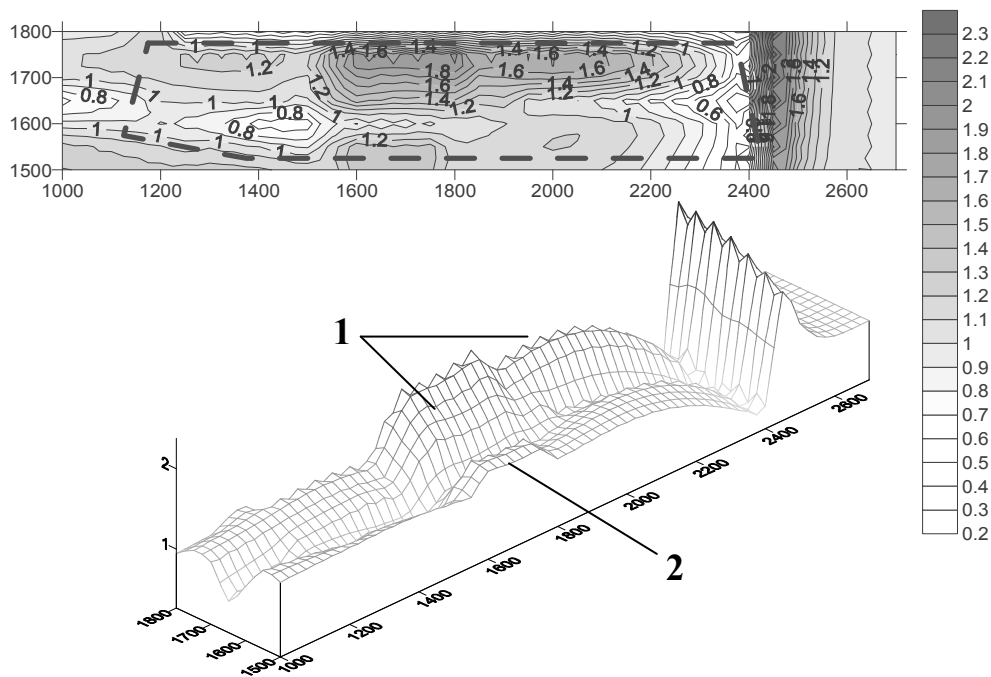


Рис. 2. Распределение горного давления по площади выемочного столба 2-й западной лавы

При этом компьютер выбирал максимальные напряжения в зоне динамического опорного давления впереди движущейся лавы и сопоставлял эти напряжения с приведенной прочностью пород в каждом из расчетных узлов, попадавшем в проекцию выемочного столба 3-й западной лавы. При шаге разбивки 25м, длине лавы 260м и длине выемочного столба 1км изменение опорного давления учтено примерно в 400 узлах, что обеспечило высокую точность расчета устойчивости непосредственной кровли.

На фрагменте (а) рис. 3 показано итоговое распределение величины критерия устойчивости кровли по площади выемочного столба 3-й западной лавы. Величина критерия умножена на 100 для технических целей, которые не влияют на результат решения. В общей сложности значение критерия устойчивости изменяется в широких пределах от 0,3 до 1,8, что свидетельствует о сильной вариации геомеханических условий управления кровлей в данном очистном забое. Однако для того, чтобы выявить места вероятных обрушений непосредственной кровли в рабочее пространство действующего очистного забоя, необходимо определить критическую величину критерия, при которой реально происходит такое обрушение. Теоретическое решение такой задачи связано с большими трудностями и не гарантирует получения достоверного результата.

В связи с этим использован прием, применявшийся ранее в работах [9-10], который заключается в калибровке решения задачи о вывалообразовании по фактическому опыту отработки аналогичной лавы в тех же условиях. Для этой цели использована 2-я западная лавы, выработанное пространство которой расположено выше, на границе с выемочным столбом планируемой к отработке 3-й западной. Операции, описанные при анализе обрушаемости непосредственной кровли в 3-й западной лаве, были повторены для условий 2-й западной. Для этого решение задачи начато с этапа развития очистных работ, который закончился отработкой 1-й западной лавы. Именно ее отработка окончательно сформировала исходное напряженное состояние массива перед отработкой 2-й западной лавы. Затем выработанное пространство 2-й западной лавы увеличивалось путем аналогичных приращений по 50м и выполнялся пересчет распределения опорного давления впереди движущегося забоя 2-й западной лавы. После этого определялось отношение действующих напряжений к приведенной прочности пород кровли в соответствующих узлах расчетной

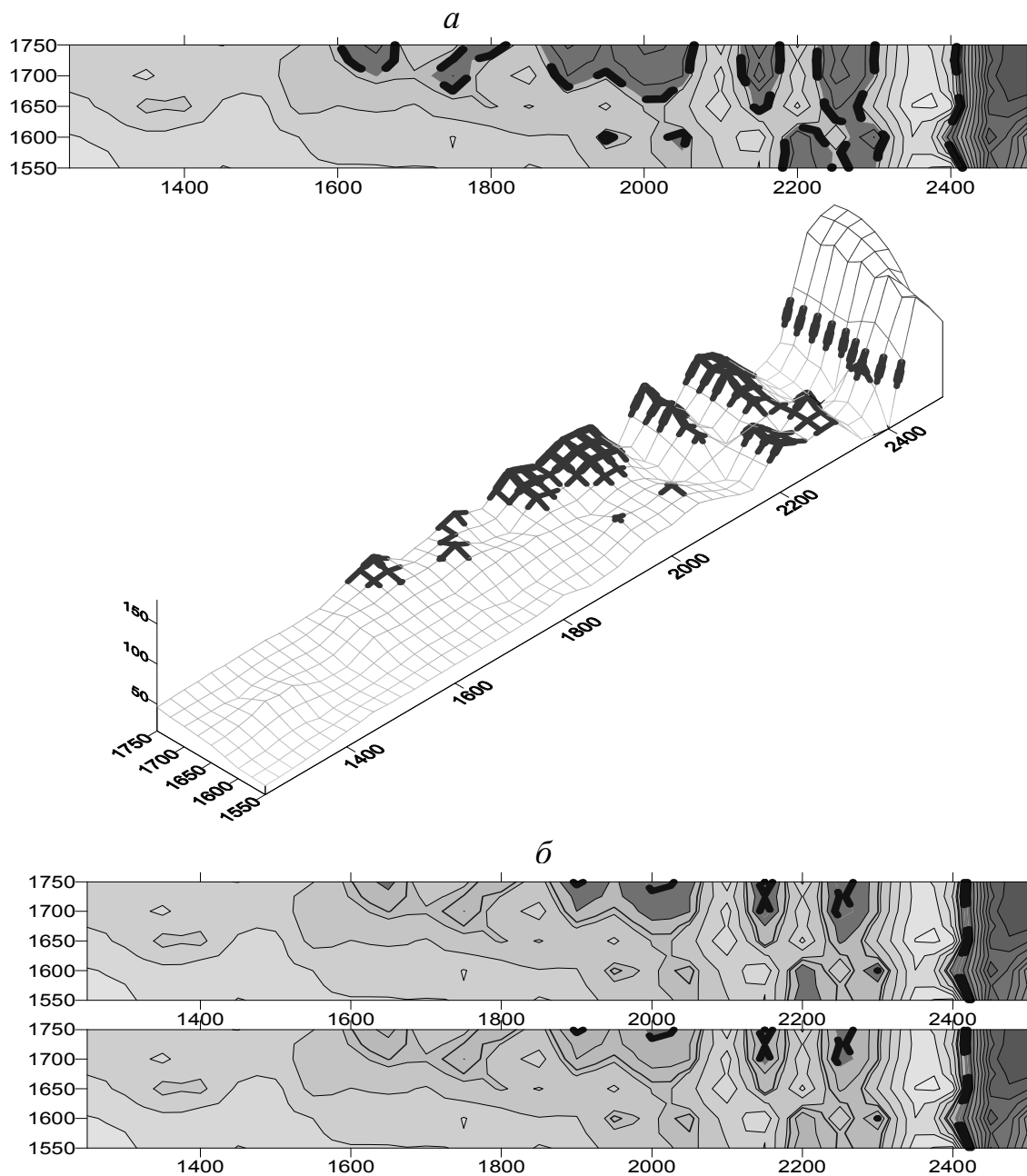


Рис. 3. Прогнозное распределение зон неустойчивой непосредственной кровли по площади выемочного столба 3-й западной лавы: (а) при использовании традиционной технологии ликвидации обрушений; (б) – при применении новой технологии

сетки, попавших в проекцию площади выемочного столба 2-й западной лавы. На рис. 4 показан результат такого расчета. Теперь можно достаточно легко определить уровень критерия устойчивости на границах фактически произошедших обрушений непосредственной кровли.

В результате сопоставления величины критерия и границ фактических обрушений в пределах выработанного пространства 2-й западной лавы установлено следующее. Средняя величина критерия устойчивости, которая чаще всего встречается на границах фактических обрушений, составляет 0,63.

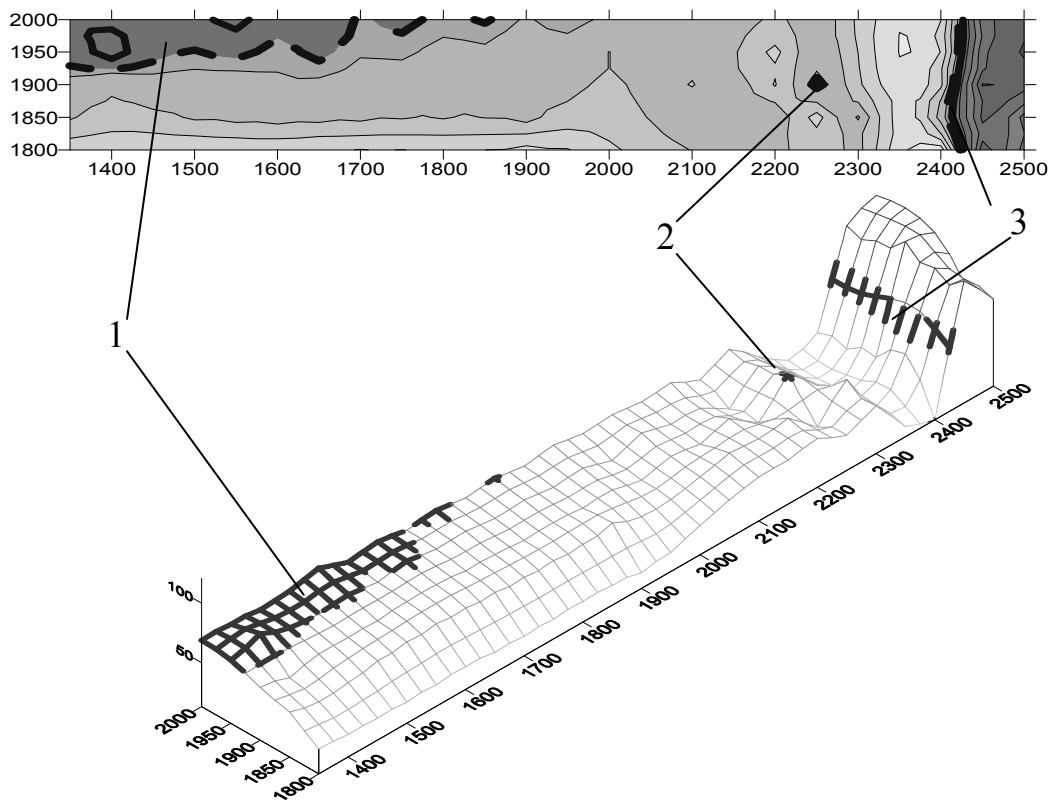


Рис.4. Распределение неустойчивых зон непосредственной кровли по площади выемочного столба 2-й западной лавы согласно результатам калибровки

На рис. 4 границы вывалов, очерченные с учетом установленной критической величины критерия устойчивости, показаны темным цветом. Как видим, условие соответствия границ расчетных обрушений фактическим вывалам соблюдается в верхней части 1 выработанного пространства 2-й западной лавы, в районе 3 разрезной печи и посередине выработанного пространства 2 на расстоянии от разрезной печи, примерно равном длине лавы. Причина этих обрушений разная. В районе разрезной печи причиной обрушения является повышенный уровень горного давления, так как прочность непосредственной кровли на этом участке достаточно высокая. Вдоль верхней части 1 выработанного пространства причина обрушений связана как с действием повышенного горного давления, так и с пониженной прочностью пород кровли, которая уменьшается к восточной части выемочного столба.

Причина появления остальных зон обрушений, фактически происшедших в пределах площади отработанного столба 2-й западной лавы, связана скорее с неработоспособностью секций механизированных крепей. После калибровки модели по фактическому местоположению зон обрушений легко очертить границы прогнозных зон возможных обрушений в пределах площади 3-й западной лавы.

На рис. 3, а выделены зоны, в пределах которых возможны обрушения непосредственной кровли в рабочее пространство движущейся 3-й лавы. Границы зон обрушений выделены по критическому значению критерия устойчивости, равному 0,63. Видно, что обрушения непосредственной кровли ожидаются в разрезной печи и в западной половине выемочного столба. В верхней части лавы зоны обрушений распространяются на расстояние 800м от разрезной печи. При этом участки обрушений распределены по длине столба примерно через 100м, что связано с динамикой изменения опорного давления впереди движущейся лавы. В нижней части интенсивность обрушений меньше, а зоны вывалов распространяются на расстояние не более 450м.

Сопоставление распределения зон прогнозных обрушений с распределением на рис. 2 показывает, что вывалы кровли связаны с действием зон остаточного повышенного горного

давления, которые возникли в результате наложения проекций очистных работ на сближенных пластах (возмущение 8). Поскольку уровень повышенного горного давления у нижней границы выемочного поля в 1,2-1,3 раза ниже, чем уровень остаточных напряжений в верхней части выемочного столба, интенсивность обрушений и площадь их развития почти в три раза меньше. Однако следует подчеркнуть, что величина остаточного горного давления определяет общую интенсивность обрушений и суммарную площадь их проявлений. Конкретные места вывалов зависят от периодики сдвижения подрабатываемой толщи, то есть связаны с динамикой сдвижений массива горных пород вокруг движущегося очистного забоя, которая в первую очередь определяется скоростью его подвигания.

Оценка эффективности повышения устойчивости непосредственной кровли в результате применения усовершенствованной технологии ликвидации обрушений путем установки дополнительных боковых анкеров на границе полости обрушения дала возможность учесть уменьшение площади вывалов при использовании разработанной технологии. На фрагменте (б) рис. 3 показано прогнозное распределение обрушений непосредственной кровли с учетом применения усовершенствованной технологии ликвидации вывалов. Видно, что суммарная площадь обрушений снизилась в 2,8 раза, что является существенным техническим эффектом. Такой эффект позволяет получить экономический выигрыш в виде уменьшения зольности добываемого рядового угля и повышения его качества.

Необходимо отметить, что калибровка критической величины критерия устойчивости пород кровли осуществлялась по данным работы реальной лавы, в которой не выполнялись специальные мероприятия по повышению надежности работы механизированной крепи очистного забоя. Опыт показал, что при выполнении простых мероприятий и организации надлежащего надзора за состоянием механизированных крепей обрушения непосредственной кровли удается снизить в полтора-два раза [12]. Такой эффект достигается при регулярной проверке секций на дораспор и правильной организации профилактики износа основных элементов механизированной крепи.

На нижнем распределении фрагмента (б) рис. 3 показаны границы возможных обрушений непосредственной кровли в случае применения указанных дополнительных мероприятий по обеспечению надежности работы секций механизированной крепи. Как видим, площадь вывалов сократилась до минимума. Три зоны обрушений ограниченной площади наблюдаются в зоне наложения динамического и остаточного опорного давления у границы с ранее отработанным пространством 2-й западной лавы и несколько зон - вдоль разрезной печи. В итоге площадь обрушений непосредственной кровли в рабочее пространство действующей 3-й западной лавы можно сократить до минимума, что даст существенный технический, экономический и социальный эффект в результате повышения качества рядового угля и уровня безопасности очистных работ в лаве.

Выводы

1. Выполнен прогноз обрушаемости непосредственной кровли в рабочее пространство очистного забоя 3-й западной лавы пласта l_4 позволил выявить распределение зон неустойчивой кровли по площади выемочного столба. Установлено, что зоны неустойчивой кровли возникают на участках действия остаточного повышенного горного давления, а их площадь увеличивается с ростом уровня давления. Конкретное местоположение зон обрушений определяется периодикой обрушения подрабатываемой толщи пород и зависит от скорости подвигания очистного забоя.

2. Произведена оценка эффективности применения усовершенствованной технологии ликвидации обрушений непосредственной кровли за счет уменьшения степени свободы породных слоев в плоскости напластования с использованием боковых сталеполлимерных анкеров, устанавливаемых на границах полостей обрушения. Показано, что применение усовершенствованной технологии позволяет снизить интенсивность и площадь обрушений непосредственной кровли в 2,8 раза. Это обеспечивает технический, экономический и социальный

ный эффект. Технический эффект заключается в повышении устойчивости непосредственной кровли, снижении зольности рядового угля и уменьшении степени износа забойного оборудования. Экономический эффект определяется повышением качества рядового угля и уменьшением затрат на его обогащение. Социальный эффект связан с повышением безопасности очистных работ в лаве и снижением уровня травматизма. Настоящая технология применяется при ликвидации вывалов непосредственной кровли при отработке длинных очистных забоев на пологих угольных пластах Донецко-Макеевского, Красноармейского и Добропольского угленосных районов.

Список литературы

1. Ефремов И.А., Назимко И.В. Исследование связи между горным давлением и сдвигами массива горных пород / И.А. Ефремов, И.В. Назимко // Вісті Донецького гірничого інституту.-Донецьк 2010, вип..2 -С.50-63.
2. Назимко И.В. Термодинамический анализ вариаций деформационных свойств горной породы / И.В. Назимко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. - Донецьк, №7, 2010. – С. 98 – 112.
3. Назимко И.В. Роль зон повышенного горного давления с точки зрения устойчивости работы выемочного участка // Вісник КТУ. Збірник наукових праць. Кривий Ріг, вип. 27, 2011. – С. 199 – 204.
4. Левит В.В., Борщевский С.В., Назимко И.В. Особенности перераспределения напряжений и необратимых деформаций в забое вертикального ствола при разнокомпонентом напряженном состоянии массива горных пород / В.В. Левит, С.В. Борщевский, И.В. Назимко // V міжнародна науково-практична конференція – „Школа підземної розробки”. – Дніпропетровськ.: НГУ, 2011. – С. 64 – 74.
5. Усаченко Б.М., Паламарчук Т.А. Механосинергетика - фундаментальная база в исследованиях породных массивов и управлением горным давлением / Б.М. Усаченко, Т.А. Паламарчук // Геотехническая механика.-2004, №50, с.115-121
6. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. – М.: Высшая школа, 1976.-278с.
7. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. – М.: Наука, 1966.-712с.
8. Gale W.J. Experience in computer simulation of caving, rock fracture and fluid flow in longwall panels // Geomechanics / Ground control in mining and underground construction. Wollongong. – 1998. – Pp. 997-1007.
9. Назимко В.В. Геомеханические основы устойчивости подготавливающих выработок зонах разгрузки при воздействии очистных работ: Дис... д-ра техн. наук: 05.15.02., 05.15.11. Донецк, 1989. - 337 с.
2002, №10.
10. Кузяра С.В. Обоснование параметров технологии охраны подготовительных выработок в региональных зонах разгрузки: Дис... канд. Техн. наук: 05.15.02.. – Донецк, 1989. – 337 с.
11. Бабенко Е.В. Прогноз динамики обрушений при отработке примыкающей к ранее выработанному пространству лавы / Е.В. Бабенко, В.А. Канин, А.И. Демченко, И.А. Ефремов // Наукові праці УкрНДМІ.-Донецьк: УкрНДМІ, 2007.-С.173-189.
12. Дмитриев В.А. О влиянии скорости подвигания очистного забоя на смещение кровли / В.А. Дмитриев // Уголь Украины.- 1980.- № 5.- С. 10 - 11.