

## **ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ КРОВЛИ В ДЕЙСТВУЮЩЕМ ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ**

На підставі прогнозу стійкості безпосередньої кровлі очісного забою обґрунтовані раціональні заходи щодо забезпечення стійкості порід в складних геомеханічних умовах.

## **THE FORECAST OF THE STABILITY OF THE NETHER ROOT IN THE OPERATIVE WORKING FACE**

Optimal measures have been selected to provide immediate roof stability in a longwall face that retreats over abutment zones.

В настоящее время существует множество подходов к оценке и прогнозу устойчивости непосредственной кровли в действующем очистном забое. При проектировании очистных работ обязательно используется стандартная методика, основанная на классификации кровель по ДонУГИ [1] или ВНИМИ [2]. Эти классификации основаны на феноменологическом подходе и позволяют дать качественную оценку кровли с точки зрения ее обрушаемости. Несмотря на то, что методика ДонУГИ или ВНИМИ предельно проста и удобна для использования, она не дает количественной оценки и носит выраженный качественный характер. Отметим также, что указанная методика дает общую оценку обрушаемости, не разделяя обрушаемость непосредственной кровли позади режущего ряда крепи и в рабочее пространство действующего очистного забоя. Если первый физический процесс является благоприятным с точки зрения управления кровлей, то второй играет весьма отрицательную роль, снижая безопасность работ, ухудшая качество добываемого угля и увеличивая износ забойного оборудования.

Еще одним серьезным недостатком стандартной методики оценки обрушаемости кровли является то, что оценка обрушаемости делается только на основании анализа прочности и строения кровли. Вместе с тем обрушение кровли является сложным физическим процессом, который начинается с разрушения пород, слагающих эту кровлю. Обрушение может не последовать сразу за процессом разрушения, однако без разрушения кровля не обрушится. Сам процесс разрушения определяется не прочностью пород, а соотношением прочности и действующих напряжений. На этих соотношениях построены все современные теории прочности твердого тела и, в частности, горных пород.

В связи с этим в данной работе используется методика, которая применялась для прогноза обрушения непосредственной кровли с учетом строения пород кровли, их прочности, конфигурации смежных с действующей лавой выработанных пространств и скорости подвигания лавы. Методика предусматривает пересчет напряженного состояния массива, окружающего действующую лаву по мере ее подвигания и выборку максимальных значений динамического опорного давления впереди лавы. Перед расчетом напряжений вводят и интерполируют механические свойства вмещающих пород. Интерполяцию производят в каждом узле расчетной сетки, где получают значения действующего

опорного давления. После этого в каждом узле расчетной сетки по площади выемочного столба определяют величину критерия устойчивости по соотношению действующих напряжений и прочности пород. Именно такой подход гарантирует максимальную достоверность результатов прогноза в пространстве выемочного столба.

Прогноз обрушаемости непосредственной кровли в рабочее пространство иллюстрируется на примере 3-й западной лавы пласта  $l_4$

Третья западная лава пласта  $l_4$  будет работать в сложных горно-геологических условиях и примыкать к ранее отработанному пространству 2-й западной лавы (рис. 1). 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 горного давления допустимого уровня. Прочность породы на одноосное сжатие составляет 30-35МПа, на растяжение 0,8МПа. Вообще такая прочность при надлежащем состоянии механизированной крепи и достаточной скорости подвигания очистного забоя сохраняет 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 (см. рис. 1).

Выше расположен породный слой алевролита, мощность которого составляет около 5,7м, а прочность на одноосное сжатие изменяется в пределах 50-60МПа (рис. 6.4). Далее залегает достаточно прочный песчаник мощностью 6,2м.

В непосредственной почве расположен неустойчивый прослой 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.

Характерные формы обрушения непосредственной кровли в рабочее пространство действующего очистного забоя встречаются разные. 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 [3]. 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 отработываемого 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 25м x 25м. В каждом узле расчетной сетки приведенная прочность интерполировалась на основании известных данных, заведенных 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.

Распределение прочности по площади выемочного столба каждой из упомянутых лав достаточно неравномерное и изменяется в 1,6 раза. При этом меньшая приведенная прочность кровли приурочена к восточному участку выемочных столбов. Такой детальный учет прочностных свойств пород кровли повышает достоверность результатов прогноза.

На следующем этапе необходимо учесть влияние 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, которые оказывали 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 учитывалось с учетом угла распространения опорного давления по нормали к напластованию, а нижележащих пластов с учетом угла сдвижения [4].

Сложность задачи состояла в том, что выше пласта  $l_4$  располагались работы пластов  $l_8^1$  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. 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  $\pm 25$  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. На рис. 2 показано окончательное распределение горного давления на момент, предшествующий отработке 3 западной лавы. 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 I<sub>4</sub>, которые были отработаны последними. У нижней границы выработанного пространства 2-й западной лавы наблюдается зона повышенного горного давления.

Вокруг общей проекции всех выработанных пространств, сформированных 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.

Видно, что вдоль верхней границы с выработанным пространством 2-й западной лавы концентрация напряжений достигает 1,7-1,8 в средней части выемочного столба. 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. 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

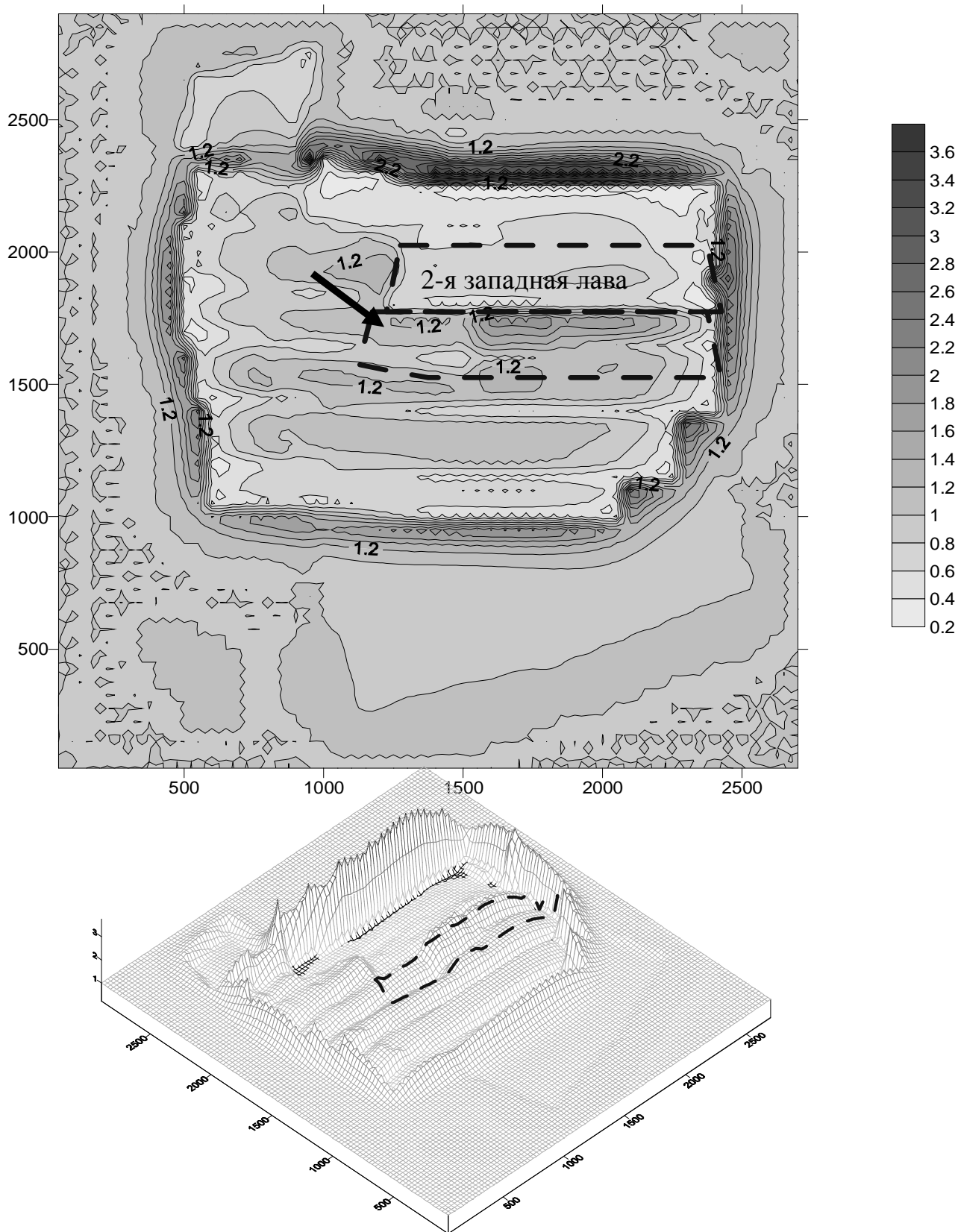


Рис. 2 – Распределение концентрации горного давления в окрестности  
 выемочного столба 3-й западной лавы

обеспечивает достоверность конечных результатов прогноза устойчивости непосредственно кровли при отработке планируемой лавы.

В процессе подвигания 3-й западной лавы ее выработанное пространство наращивали отрезками по 50м со стороны разрезной печи с учетом скорости подвигания очистного забоя, принятой равной 120-150м/мес. Каждый раз после передвижки лавы пересчитывалось все распределение горного давления в пределах расчетной области. 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, попадавшим 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 определить 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.

Для этой цели использована 2-я западная лава, 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 повторили для условий 2-й западной. Для этого решение задачи начали с этапа развития очистных работ, который закончился отработкой 1-й западной лавы. Именно ее отработка окончательно сформировала исходное напряженное состояние массива перед отработкой второй западной лавы. Затем выработанное пространство 2-й западной лавы увеличивали путем аналогичных приращений по 50м и пересчитывали распределение опорного давления впереди движущегося забоя 2-й западной лавы. После этого определили отношение действующих напряжений к приведенной прочности пород кровли в соответствующих узлах расчетной сетки, попавших в проекцию площади выемочного столба 2-й западной лавы. Критическую величину критерия устойчивости определили по уровню критерия устойчивости на границах фактически произошедших обрушений непосредственной кровли, указанных на фрагменте плана горных выработок на рис. 1.

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.

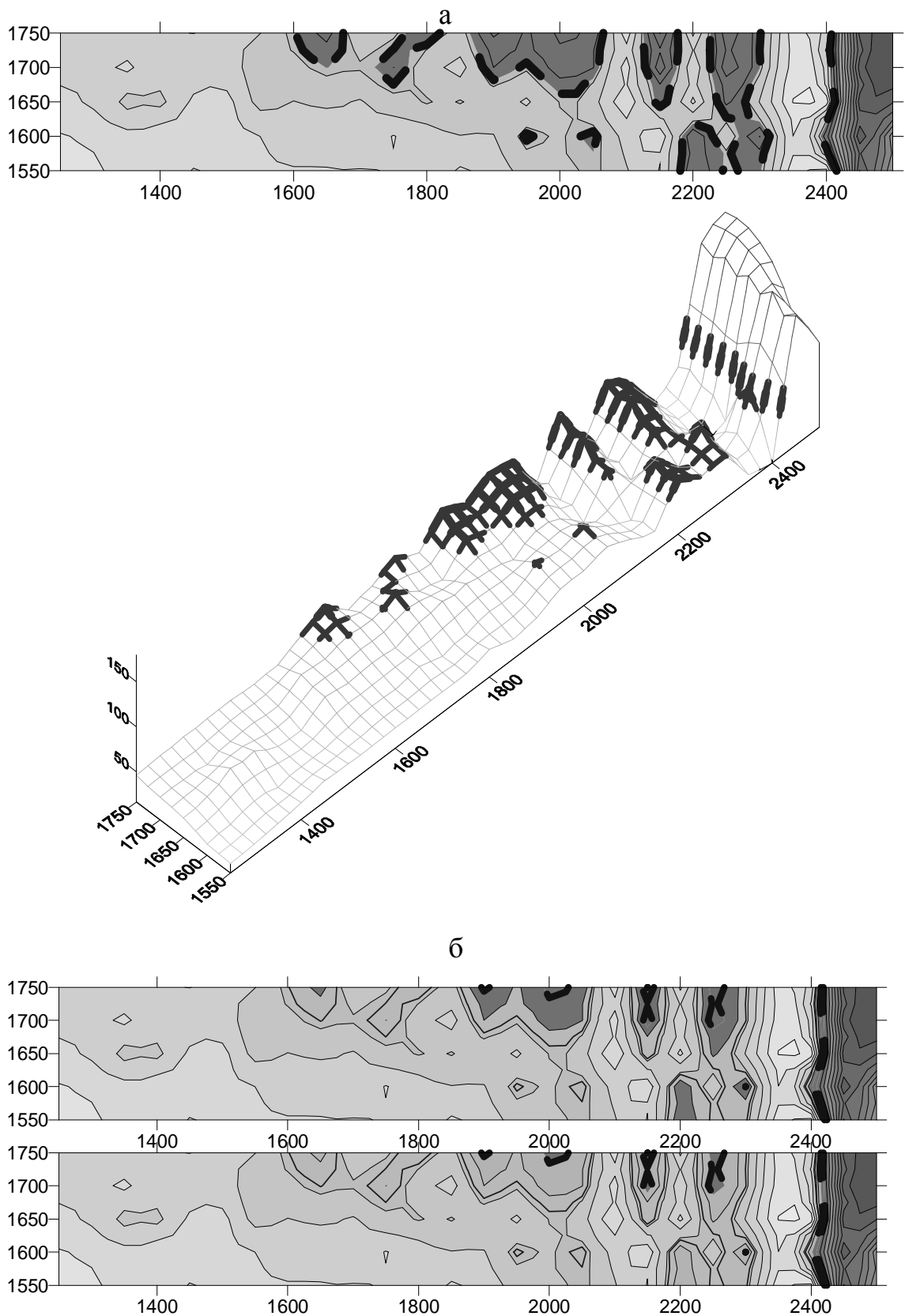


Рис. 3 – Прогнозное распределение зон неустойчивой непосредственной кровли по площади выемочного столба 3-й западной лавы: (а) при использовании традиционной технологии ликвидации обрушений; (б) – при применении новой технологии



Откалибровав модель по фактическому местоположению зон обрушений в выработанном пространстве 2 западной лавы, 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.

Вывалы кровли связаны с действием зон остаточного повышенного горного давления, которые возникли в результате наложения проекций очистных работ на сближенных пластах. Поскольку уровень повышенного горного давления у нижней границы выемочного поля в 1,2-1,3 раза меньше, 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 сдвигения 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 [5] дала возможность учесть уменьшение площади вывалов при использовании разработанной технологии. На фрагменте (б) рисунка 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 удастся снизить в полтора-два раза. Такой эффект достигается при регулярной проверке секций на дораспор и правильной организации профилактики износа основных элементов механизированной крепи.

На нижнем распределении фрагмента (б) рисунка 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.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов С.Т., Орлов А.А., Глушихин Ф.П., Садыков Н.М. Проявление горного давления в очистных выработках при применении механизированных крепей.-М.:Недра, -318с.
2. Давидянц В.Т. Совершенствование способов и средств управления кровлей и крепления.-М.: Госгортехиздат, 1961.-248с.
3. Назимко Е.В., Канин В.А., Демченко А.И., Ефремов И.А. Прогноз динамики обрушений при отработке примыкающей к ранее выработанному пространству лавы //Наукові праці УкрНДМІ.-Донецьк: УкрНДМІ, 2007.-С.173-189.
4. Ефремов И.А., Пожитько И.И., Бокий Б.В., Шевченко В.В., Папазов Н.М. Характер изменения горного давления в региональной зоне разгрузки при бесцеликовой отработке запасов// Геотехническая механика. Сборник научных трудов.- Днепропетровск, ИГТМ НАНУ, 2003, вып.44.- С. 78-90.
5. Ефремов И.А. Обоснование критериев оценки проявлений горного давления // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках. Материалы 16-й Международной научной школы им. Акад. С.А. Христиановича.-Алушта: ТНУ, 2006.-С.93-96.