

УДК 622.831.32

АНАЛІЗ ПРИЧИН ГАЗОДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ В ПРОЦЕСІ ПЕРШОЇ ПОСАДКИ ПОКРІВЛІ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ НА ВЕЛИКІЙ ГЛИБИНІ В ГАЗОНАСИЧЕНОМУ МАСИВІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Єфремов І.О., Бокій Б.В., Нечепоренко А.Б.

(АП «Шахта ім. А.Ф. Засядько», м. Донецьк, Україна)

Назимко В.В. (ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)

Проанализированы основные причины газо-динамического явления, произошедшего на глубине свыше 1000 м.

The principal reasons of the rock burst phenomenon happening on a depth over 1000 m has been analyzed.

Динамічні прояви гірського тиску в діючих очисних вугільних вибоях є найбільш небезпечними геомеханічними явищами, що проводять як правило до масових жертв гірників. Гірські удари є одним з видів таких динамічних явищ. Вказане явище ще недостатньо вивчено, а його прогноз не доведено до необхідного ступеня надійності. Причина полягає у тому, що гірські удари розглядають виключно через призму механічного напруженого стану крайової частини вугільного пласта і порід його покрівлі. Головною причиною гірського удару вважають на сьогодні накопичення механічної потенційної енергії в навколишньому масиві гірських порід і її раптове вивільнення у вигляді кінетичної енергії за певних умов. При цьому деякі інші можливі чинники виникнення гірського удару залишаються в тіні.

Із збільшенням глибини розробки зростає газонасиченість вугільних пластів і порід, що їх вміщують. Цей чинник не розглядався як можливий важливий, який міг би підсилити вірогідність і інтенсивність гірського удару. У даному розділі приводиться аналіз фактичного гірського удару, що відбувся на шахті ім. Засядька. При цьому висунута гіпотеза про важливу

роль газового чинника в прояві передчасного гірського удару, який відбувся в 13 східній лаві.

1. Опис гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов

Пласт I_1 відпрацьовується 13 східною лавою на глибині 1150м. Лава завдовжки 240м відходила від монтажного хідника шириною 6м, який пройдений в цілику і не примикає до раніше виробленого простору 12 східної лави, а розташований на відстані 25м від кутової частини у нижньої межі виробленого простору (рис. 1.) Управління покрівлею здійснюється шляхом її повного обвалення за допомогою механізованого кріплення ЗКД-90. Комплекс знаходився в стану після капітального ремонту, згідно даним гідро цеху ступінь зносу складає близько 40%. В лаві працював очисний комбайн типа ГШ-68 з шириною захоплення 0,63м. При роботі лави використовувалася послідовна схема пересування секцій кріплення з відставанням від очисного

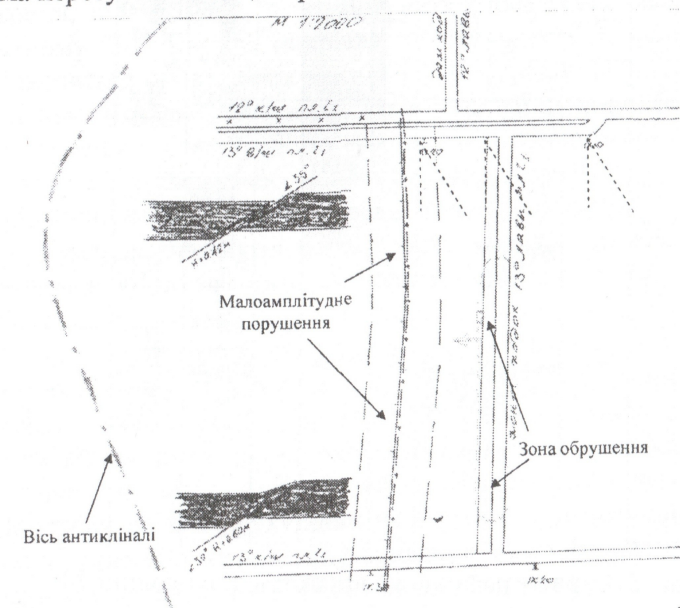


Рис. 1. Фрагмент плану гірських вироблень в околиці 13 східної лави

комбайну не більш 8м. Покрівля монтажного хідника закріплена комбінованим рамноанкерним кріпленням. Сполучення вентиляційного і конвеєрного штреку посилене литими смугами і анкерним кріпленням. Потужність пласта, що виймається, складала 1,9-2,0м. Пласт складної будови, залягає в стійких вмшчующих породах (рис. 2).

Безпосередня покрівля пласта має потужність близько 2м і представлена аргілітом середньої, місцями нижче за середню стійкість із межею міцності на одноосне стиснення 23-37МПа. Згідно досвіду попередніх лав безпосередня покрівля схильна місцями до обвалення в робочий простір діючого очисного вибою. У основній покрівлі залягає міцний пісковик потужністю 20м і з межею міцності 76-92МПа. На геологічній карті міцності

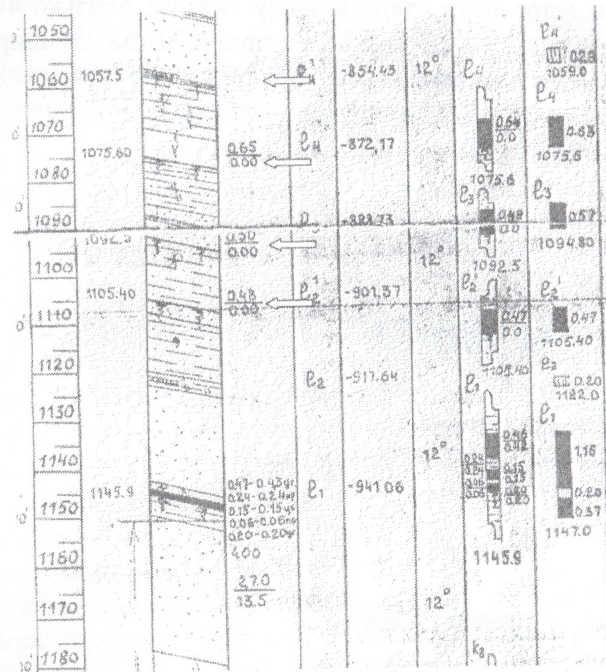


Рис. 2. Стратиграфічна колонка товщі в околиці 13 східної лави

покрівлі вказано, що в околиці 13 східної лави колонки керна, вибуреного з нижньої пачки пісковіку розділяються на окремі завдовжки 10-50см. Це означає, що основна покрівля схильна до розшарування, що має важливе значення для подальшого аналізу причин аварії. Основна покрівля навантажена дрібно - шаровою товщею осадових порід, що складаються в основному з шарів алевроліту.

Безпосередня підшва пласта представлена нестійким алевролітом з межею міцності 35МПа на одноосне стиснення і потужністю 1-1,2м. Нижче залягає могутній пласт пісковіку з межею міцності, яка змінюється від 53МПа до 63МПа.

Значна потужність шару пісковіку основної покрівлі (20м), його висока міцність (76-92МПа на одноосне стиснення), і мала потужність безпосередньої середньо - обрушаємої покрівлі, яка не перевищує 2м, дозволяють зробити висновок про схильність основної покрівлі до гірських ударів. При відношенні потужності пласта, що виймається, до потужності безпосередньої покрівлі, рівному 1,0, основна покрівля по схильності до обрушаємості відноситься до важкого типу ТБ [1], підтипу ТБ2-ТБ3. Прояви осідань основної покрівлі такого підтипу характеризуються підвищеною інтенсивністю (швидкістю і величиною осідання) і тяжкістю (посадкою кріплення на жорстко, руйнуванням кріплення, вивалами безпосередньої покрівлі і т.п.).

Газоносність вугільного пласта складає 22м³/т.с.б.м., що дозволяє віднести його до надкатегорійних по газу, причому пісковик основної покрівлі, а також залягаючи на відстані 16-45м від нього супутники (на рис. 2 вказані порожнистими стрілками) містять значну кількість метану. Підвищене скупчення метану в районі монтажного хідника 13 східної лави обумовлено близькістю замку флексурної антиклінальної складки, вісь якої вказана на лівій частині рис. 1 штрих-пунктирною кривою. Попереду по ходу руху лави на відстані 57м розташовано мало амплітудне порушення типу скидання з амплітудою 0,42-0,60м і нахилом зміщувача у бік посування лави під кутом до горизонту 30-35 градусів (див. розріз на рис. 3). Монтажник хідник в площині вугільного пласта розташований за межами впливу

цього локального порушення, причому площина передбачуваного зміщувача проходить над монтажним хідником на висоті 36м вище за основну покрівлю, що дає підставу зробити висновок про відсутність впливу даного порушення на процес зсонування масиву у момент відходу лави від монтажного хідника.

2. Короткий опис газодинамічного явища, що відбулося в 13 східній лаві

Після зняття перших смуг вугілля і просування очисного забою углиб масиву було зареєстровано підвищене метановиділення. При відході лави від монтажного хідника інтенсивність газоносності зареєстрована на рівні 27м³/хв. По мірі просування лави помітні обвалення покрівлі не реєструвалися. При відході лави від монтажного хідника на 8м відбулося геодинамічне явище у вигляді гірського удару. В результаті частину механізованих секцій кріплення було зруйновано або посаджено на жорстко. На рис. 4 показаний характерний стан механізованих секцій, де видно руйнування стінок циліндрів гідравлічних стійок, злам перекриття і т.п. Динамічний прояв гірського тиску виразився в різкому осіданні покрівлі на величину 0,5-0,8м, віджиманні крайової частини пласту з боку очисного забою, руйнуванні безпосередньої і нижньої частини основної покрівлі і інтенсивному газовиділенні.

За оцінками служби вентиляції протягом 30-40хвилин з очисного вибою виділилося близько 180 тис. м³ метану, що в 500-600 разів більше звичного газовиділення, супроводжуючого роботу очисних вибоїв на даному вугільному пласті.

На нижньому фрагменті рис. 4 показаний стан крайової частини вугільного пласту в спеціальній ніші, яка була оброблена після аварії на ділянці, вказаній на рис. 1 і яка знаходиться в 113м від сполучення лави з конвеєрним штреком (навпроти 72-й секції механізованого кріплення). Напрямок руху очисного вибою вказаний на малюнку порожнистою стрілкою. На вертикальному розрізі видно, що на глибину приблизно 1м відбулося руйнування крайової частини пласту у вигляді зрізу і віджимання у бік

робочого простору діючого очисного забою. Покрівля при цьому руйнувалася і осіла на величину 0,3-0,4 м. Кут зрізу крайової частини пласту і вище розміщених порід складає близько 70°, причому площина зміщувача нахилена у бік робочого простору, що однозначно свідчить про активну роль важко - обрушаємої покрівлі в процесі динамічного руйнування.

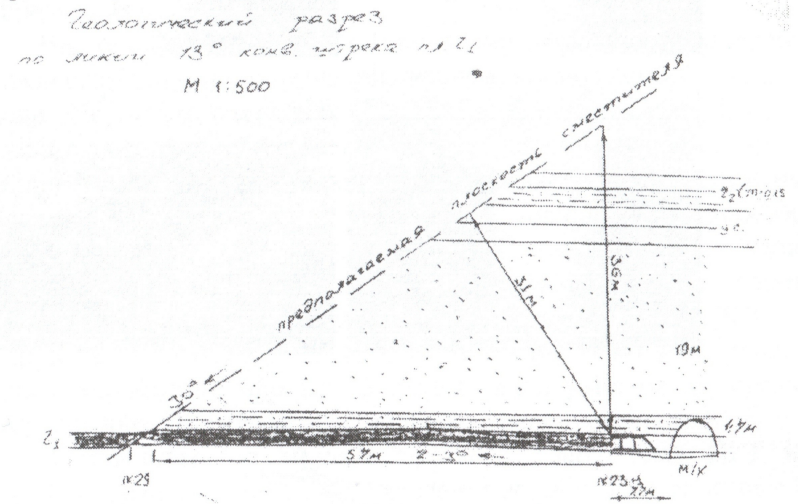


Рис. 3. Геологічний розріз товщі в районі монтажного ходка

Слід зазначити, що згідно з [1] крок первинного осідання основної важко - обрушаємої (важкої) покрівлі в Донецькому басейні, як правило, перевищує 30м. В даному випадку навіть з урахуванням ширини монтажного хідника ширина прольоту у момент обвалення склала 14м, що в два рази менше мінімального кроку первинної посадки основної покрівлі. Отже необхідно знайти причини, які так істотно вплинули на процес динамічних зсонувань масиву гірських порід.

У зв'язку з тим, що гірський удар є слідством динамічного прояву напруженого стану навколишніх порід, необхідно досліджувати цей стан з урахуванням процесу руйнування.

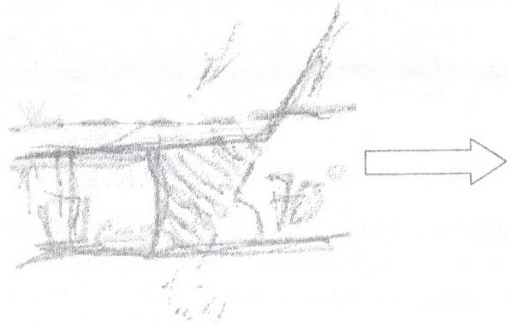
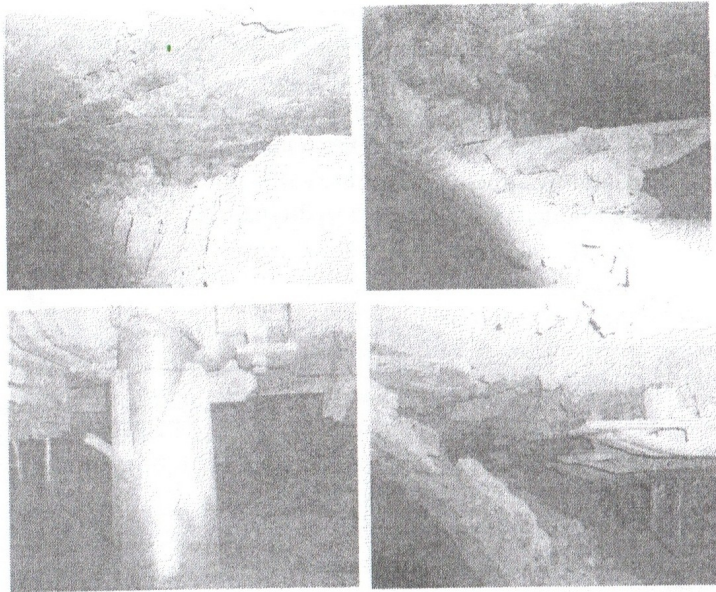


Рис. 4. Прояви і наслідки гірського удару

3. Дослідження напружено-деформованого стану масиву навколо очисного вибою

Закономірності перерозподілу напружено - деформованого стану навколо очисного забою 13 східної лави досліджувалося за допомогою комп'ютерного моделювання. У зв'язку з тим, що конфігурація суцільного виробленого простору є складною,

використовувалися два методи моделювання. За допомогою першого досліджувався просторовий розподіл гірського тиску, а також осідань основної покрівлі і її граничного стану на момент гірського удару. Другим методом досліджувалися особливості перерозподілу компонент напруг і позамежного вміщуючих очисне вироблення порід у вертикальному перетині, узятому по середині лави.

На рис. 5 показано розподіл вертикальної компоненти гірського тиску через один рік після відпрацювання 12 східної лави. Порожнистою стрілкою показаний напрям відробітку 13 східної лави. Видно, що навколо раніше виробленого простору 12 східної лави є зона підвищеного гірського тиску, причому напроти кутових частин суцільного виробленого простору ступінь концентрації гірського тиску нижчий, ніж уздовж протяжних меж (сторін) цього простору. Монтажна камера знаходилася на межі зони підвищеного гірського тиску (ПГТ) від виробленого простору 12 східної лави, а у момент гірського удару вироблений простір 13 східної лави увійшов до кутової частини зони ПГТ (Вказано суцільною темною стрілкою).

В результаті на момент гірського удару зони ПГТ від виробленого простору 12 східної лави і виробленого простору 13 східної лави, що формується, злилися і почали взаємодіяти, що видно на розподілі рис. 6.

Розрахункова величина осідання над центром виробленого простору 13 східної лави у момент гірського удару досягла 0,35м, причому зона найбільших опускань покрівлі зміщена в нижню частину лави, що видно на розподілах рис. 7. Тут приведені осідання, викликані тільки роботою діючої лави за вирахуванням всіх осідань, що раніше відбулися, обумовлених відробітком вище розташованих лав.

На рис. 8 показаний контур розрахункової області позамежного стану основної покрівлі у момент гірського удару. Позамежний стан порід покрівлі визначався шляхом порівняння еквівалентних напруг з межею міцності на розтягування. Еквівалентні напруження обчислювалися по енергетичній теорії міцності.

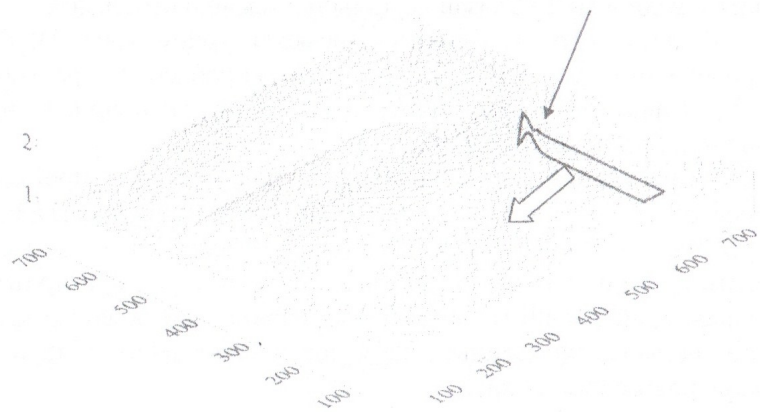
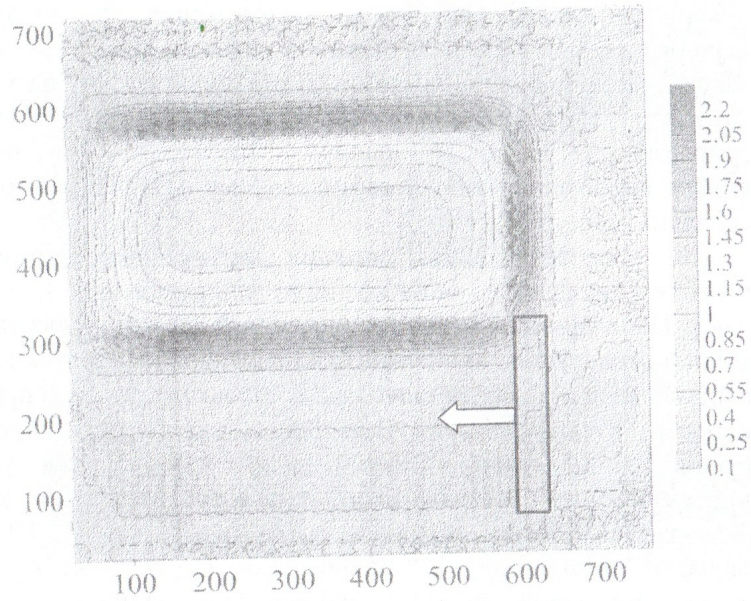


Рис. 5. Розподіл гірського тиску навколо виробленого простору 12 східної лави перед початком роботи 13 східної лави

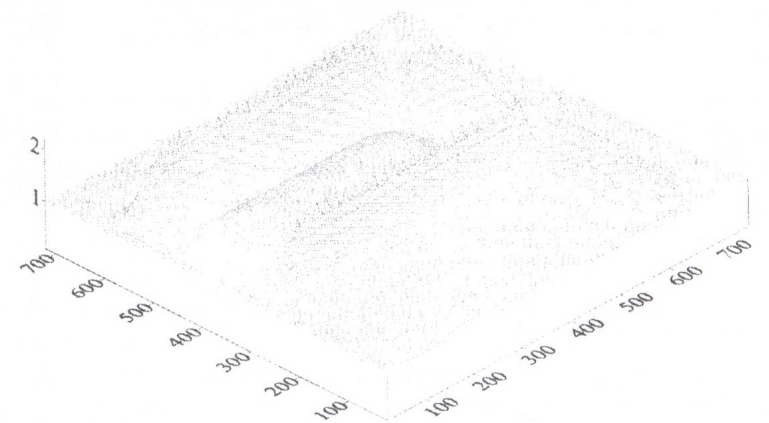
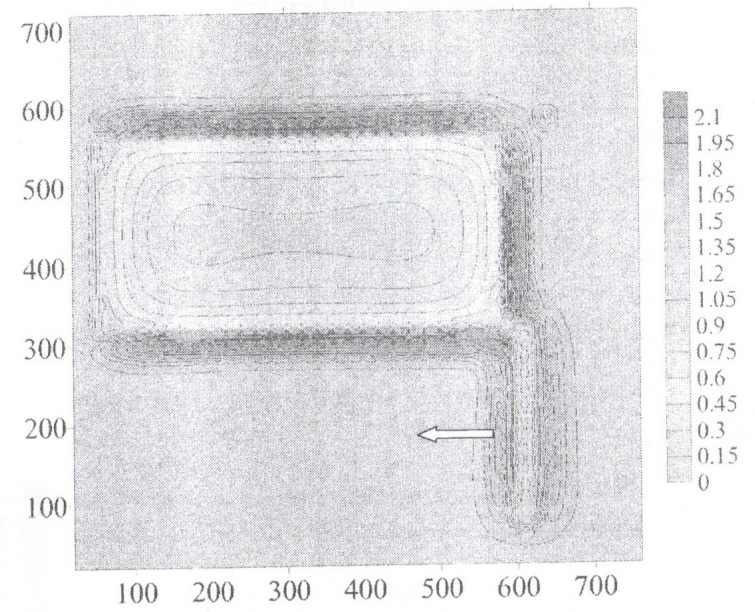


Рис. 6. Розподіл гірського тиску на момент гірського удару

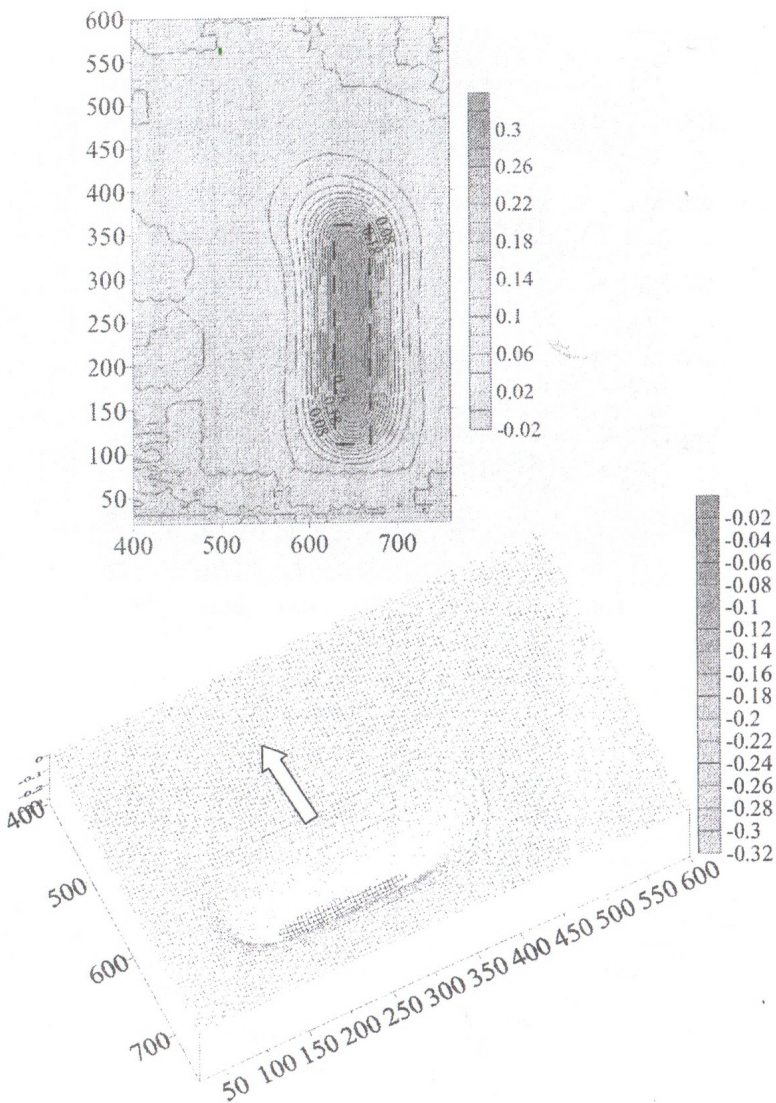


Рис. 7. Розподіл осідань (прогинань) покрівлі у момент гірського удару

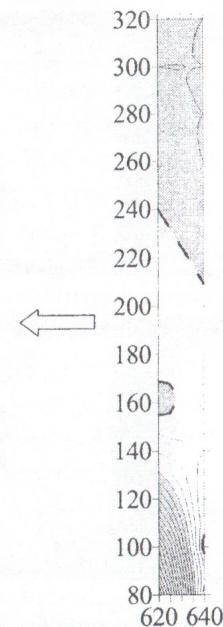


Рис. 8. Контур області граничного стану основної покрівлі на момент гірського удару

Зона руйнування основної покрівлі показана як світла область і розташована над середньою частиною виробленого простору 13 східної лави із зміщенням в нижню частину лави у бік конвеєрного штреку (рис. 8).

Розрахункова конфігурація поза межної області основної покрівлі задовільно узгоджується з фактичною (див. рис. 1), що свідчить про достовірність результатів моделювання.

Розглянемо детальні картини перерозподілу напруг і деформацій навколо виробленого простору 13 східної лави у момент гірського удару. На рис. 9 наведено розподіли нормальних і дотичних компонент напруг у вертикальній площині, що проходить через середню частину лави по простяганню. Зліва показано розподіли безпосередньо перед гірським ударом, справа - після руйнування покрівлі в результаті гірського удару.

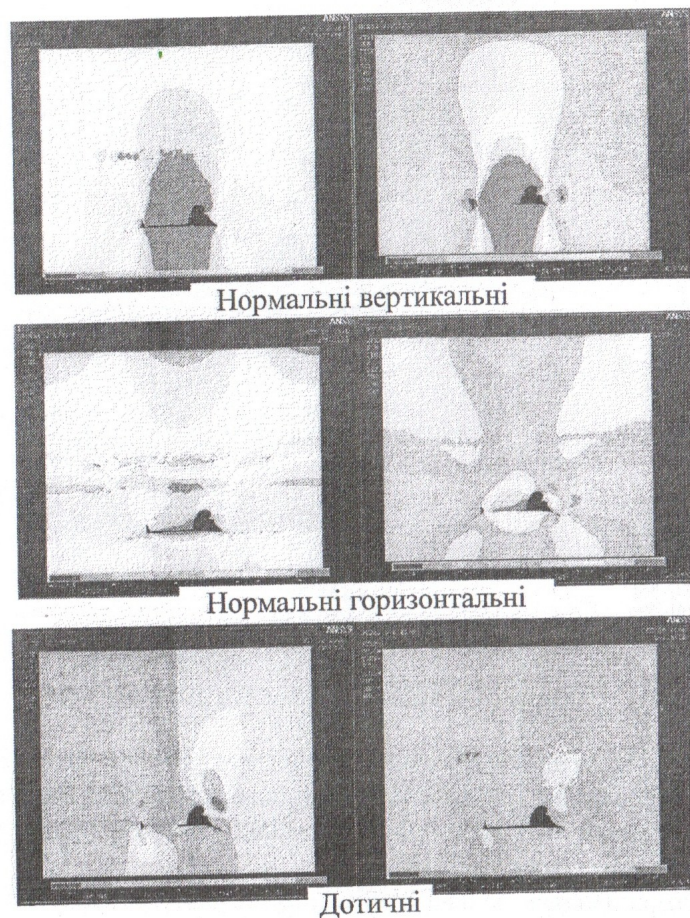


Рис. 9. Перерозподіл компонент напружень навколо 13 східної лави: зліва - до удару, справа після гірського

Червоним кольором показано зони розвантаження (розтягуючі напруги), темно-синім - зони підвищеної концентрації нормальних напруг. Видно, що розвантажена зона досягши довжини прольоту 14м охоплює приблизно однакову площу у покрівлі і підшві відпрацьованого пласту. Концентрація високих напруг спостерігається в крайових частинах виробленого простору на рівні вугільного пласту, причому попереду діючої

лави величина концентрації на 15% вища, ніж позаду монтажної камери, що пояснюється релаксацією напруг в результаті процесів повзучості, які розвиваються після проходки монтажної камери. Попереду рухомого очисного забою такі деформації повзучості не встигають реалізуватися, що обумовлює підвищену концентрацію нормальних напруг.

Вертикальні розтягуючі напруження охоплюють набагато більшу область покрівлі і підшви в порівнянні з горизонтальними. При цьому горизонтальними розтягуючими напругами охоплена головним чином безпосередня покрівля пласту. Дотичні напруги перед гірським ударом розподілені так, що максимума напружень розташовуються над і під крайовими частинами виробленого простору.

Після гірського удару спостерігається розвантаження всіх компонент напружень (фрагменти розподілів справа на рис. 9). Зона розвантаження від вертикальних напруг розвивається вгору в основну покрівлю. Розтягуючі нормальні напруження горизонтального напрямку з'являються на контактній безпосередній і основній покрівлі. Спостерігається також релаксація дотичних напруг, що видно на нижньому правому фрагменту рис. 9.

Все це свідчить про виділення значної кількості потенційної енергії деформації вміщених порід у вигляді кінетичної, яка виразилася в динамічному руйнуванні основної покрівлі і посадці механізованого кріплення на жорстко.

Розрахунок показав, що напруги Мізеса концентруються у області безпосередньої покрівлі і в зоні розшарування основної покрівлі (позиції 1 і 2 на рис. 10) і над крайовими частинами пласта (позиція 3). Ці зони є потенційно небезпечними з погляду динамічного руйнування.

Розподіл цих зон на рис. 11 підтверджує це. Попереду лави виникла зона розшарування (1) основної покрівлі на висоті, що приблизно дорівнює довжині прольоту виробленого простору. Така ж зона розшарування 2 утворилася позаду монтажної камери. Попереду діючої лави утворюється в безпосередній покрівлі і прилеглих шарах основної зони руйнувань 3, яка зареєстрована натурними обстеженнями місця аварії (див. рис. 4).

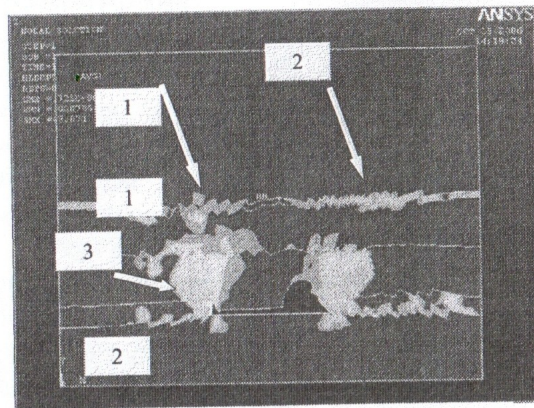


Рис. 10. Розподіл напруг Мізеса

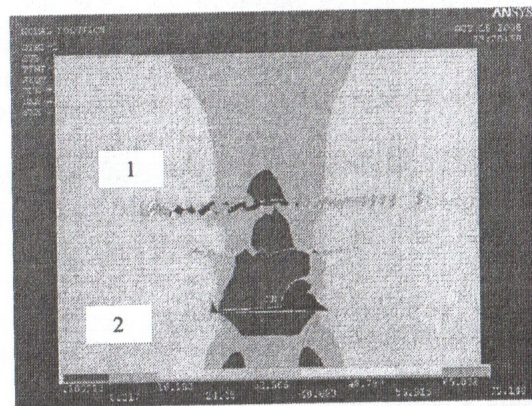


Рис. 11. Зони позамежних деформацій навколо 13 східної лави на момент гірського удару

Кут нахилу зони позамежного стану з боку незайманого масиву близький до зміряного (70 градусів), що свідчить про достовірність результатів моделювання. Згідно даним математичного моделювання, величина розшарування порід основної покрівлі складає біля 20-30мм.

Одержані результати є теоретичною основою для проведення подальшого аналізу причин передчасного гірського удару в 13 східній лаві.

4. Аналіз впливу газу на процес ініціації гірського удару

В даний час достатньо надійно встановлений вплив газу на процес зсуювання масиву гірських порід [2]. Доведено, що в атмосфері метану міцність вугілля і осадових вміщуючих порід зменшується

Так, лабораторні випробування пісковіку із шахти Марлебах (Франція) показали [3], що його міцність на одноосне стиснення впала з 60 до 20МПа, тобто в три рази в атмосфері газу метану під тиском 10МПа. Це явище відоме як ефект Ребіндера, який полягає в адсорбційному зниженні міцності твердих тіл в результаті зниження їх поверхневої енергії в атмосфері певного газу або рідини.

Кузнір Н. і Фармер Я. показали [4], що присутність газу в тріщинах прискорює їх розвиток і приводить до вибухового руйнування крихкої гірської породи. Лама Р. експериментально встановив [5], що в атмосфері вуглекислого газу під тиском 1МПа межа міцності вугілля на зріз зменшується на 30%.

Дослідження реологічних властивостей осадових порід пластів поля шахти ім. Засядька показали, що газ метан і його гомологи підсилюють реологічні властивості осадових порід, які складають вугільне родовище. При цьому параметр повзучості Абельового ядра δ при насиченні порід метаном збільшується в 2,6 рази (рис. 12).

Вищезгадані явища пониження міцності вугілля і вміщуючих порід під дією адсорбційного ефекту є однією з причин, що привели до раннього обвалення основної покрівлі. Ще одна причина, яка спровокувала раннє динамічне зсуювання основної покрівлі, полягає в додатковому навантаженні покрівлі газодинамічним натиском метану, що десорбувався. Доведено [6], що при відробітку сильно газонасичених родовищ вугілля виникають нові, раніше не реєстровані ефекти, що є слідством взаємодії процесів десорбції метану, його дифузії з окремих блоків і шматків вугілля і фільтрації через тріщини в зруйнованому масиві. При цьому встановлено, що за певних умов (наприклад, при високій швидкості відробітку пласта або

підвищеному газонасиченні масиву) в подробленій товщі тиск газу може короткочасно частково відновлюватися. Цей ефект виникає через те, що процес фільтрації метану через тріщини відстає від процесів десорбції і дифузії.

Така ситуація виникає коли тріщини в подробленій товщі закриваються під дією гірського тиску або ще не встигли розвинутися в достатній мірі, щоб забезпечити необхідну газопроникність подробленої товщі для видалення кількості метану, який десорбується зі свіжо оголених поверхонь, наприклад з порожнин розшарування пісковика [7].

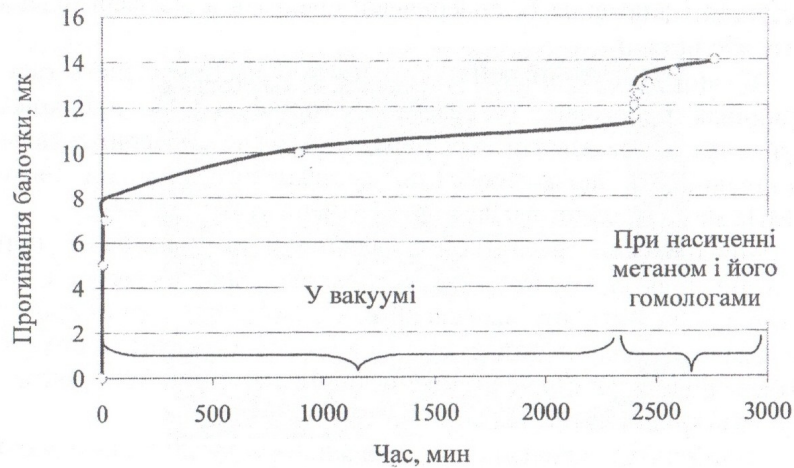


Рис. 12. Вид кривої повзучості пісковика

У роботі [7] доведено, що при створенні таких умов виникають геодинамічні явища, які приводять до сейсмічних коливань масиву гірських порід і земної поверхні з виділенням енергії до 40МДж, що відповідає 3-4 балам за шкалою Ріхтера.

В даному випадку факт виділення значної кількості газу підтверджує правомірність гіпотези про вплив газу на ініціацію гірського удару. Гірський удар відбувся тому, що нижня частина основної покрівлі розшарувалася, унаслідок чого в порожнині

розшарування почав накопичуватися газ. Він надав подвійну дію на міцний пісковик. З одного боку спрацював адсорбційний ефект пониження міцності пісковика, що прискорило розвиток тріщин в осідаючій пачці основної покрівлі. З другого боку газодинамічний натиск метану створив короткочасне додаткове навантаження на верхній межі пачки пісковика, яка відшарувалася. Це навантаження прискорило процес динамічного зсування основної покрівлі. В результаті обидва ефекти - адсорбційний ефект зниження міцності і газодинамічне навантаження пачки пісковика, яка відшарувалася, взаємно підсилювали один одного, взаємодіючи з силами гірського тиску, що привело до раннього гірського удару при прольоті завислої покрівлі, рівному всього 14м.

Перевірка цієї гіпотези здійснена на основі раніше встановлених наукових закономірностей динамічних проявів гірського тиску в умовах важко - обрушених покрівель [1]. Як вже мовилося вище, дані геологічної карти міцності покрівлі указують на схильність нижньої пачки шару основної покрівлі до розшарування практично в будь-якому місці. Математичне моделювання, виконане в попередньому параграфі, підтвердило можливість розшарування покрівлі. Виходячи зі встановлених в [1] закономірностей, визначимо висоту можливого розшарування пісковика основної покрівлі. Згідно [1] можлива висота розшарування складає близько половини прольоту зависання по умові руйнування від зрушення і 0,6 напівпрольоту по умові руйнування від розтягування. З урахуванням цього в даному випадку висота розшарування не перевищує 7м. Це значить, що за вирахуванням потужності безпосередньої покрівлі порожнина розшарування могла утворитися в межах 5м від підшви пісковика основної покрівлі. Для аналізу сумісного впливу гірського і газового тиску на прогинання пачки пісковика, що відшарувалася, використовуємо розрахункову схему, обґрунтовану в [1].

На рис. 13 показана ця схема, використовувана для розрахунку першого граничного прольоту важкої покрівлі. Завислий шар навантажений власною вагою (рівномірна епюра) і

тиском розташованих вище порід на крайових частинах у закладенні шару (трикутні епюри). У нашому випадку рівномірне навантаження може бути збільшено за рахунок газодинамічного тиску метану, який десорбується, що дозволить оцінити ефект цього тиску кількісно з погляду обвалення основної покрівлі.

Для даної розрахункової схеми були складені рівняння для розрахунку розподілу згинаючих моментів. На рис. 14 показані розраховані розподіли згинаючих моментів в правому напівпрольоту покрівлі без урахування навантаження газовим тиском і з урахуванням такого навантаження. Видно, що максимум згинаючого моменту приурочений до середини прольоту, а величина максимуму сильно залежить від тиску газу в порожнині розшарування. Тиск метану в порожнині розшарування визначався з розрахунку її можливого об'єму і вірогідного об'єму метану, що скопився в цій порожнині. Слід підкреслити, що розглядається кількість метану, яка у момент обвалення містилася в порожнині розшарування. Ця кількість була результуючою як різниця між метаном, що прибуває під впливом десорбції-дифузії, і газом, що віддаляється в процесі його фільтрації через тріщини в основній покрівлі. Розрахунки напружено-деформованого стану, виконані в пункті 3 показали, що розшарування пісковику при прольоті 14м в межах пружності не перевищують декількох десятків міліметрів. Приймаючи величину розшарування 20мм і врахувавши фактичні розміри порожнини обвалення, одержуємо об'єм порожнини, який дорівнює 14,98 м³. При ізотермічному накопиченні газу в такій порожнині можна користуючись законом Бойля-Маріотта обчислити тиск газу залежно від накопиченого об'єму. При зміні накопиченого об'єму газу від 18 до 18000 м³ тиск змінюється від 0,12 до 120МПа. Верхня межа тиску відповідає максимально можливому тиску газу на глибині відробітку 13 східної лави, тобто весь діапазон можливого газового тиску знаходиться в реальних межах, зареєстрованих шахтними інструментальними спостереженнями [2].

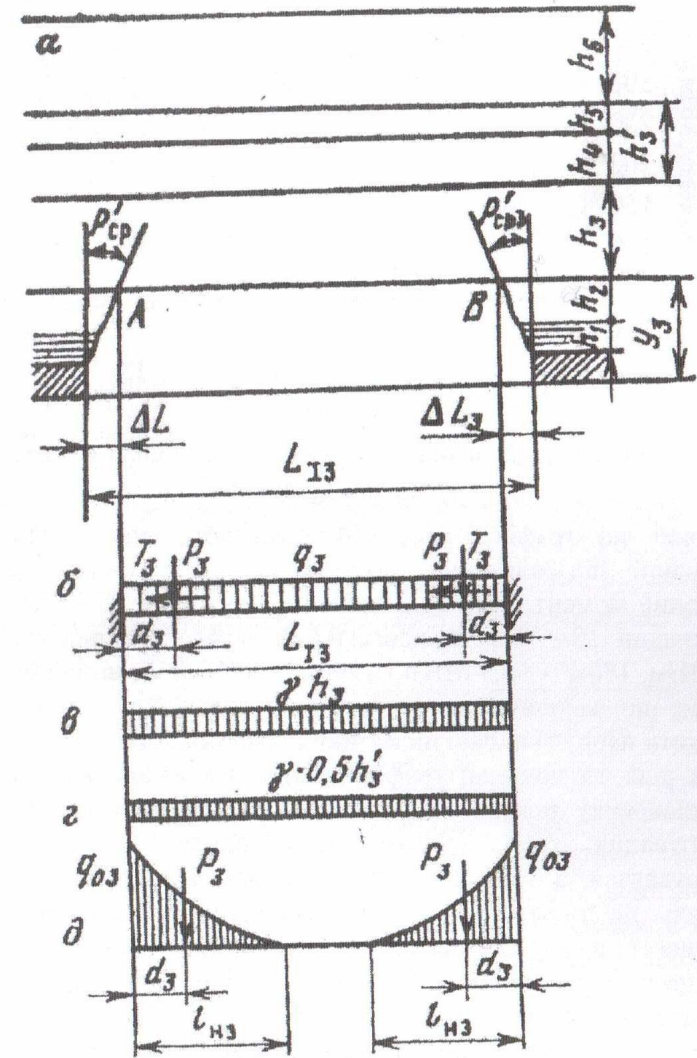


Рис. 13. Розрахункова схема для визначення граничного прольоту при сумісній дії гірського і газового тиску [1]

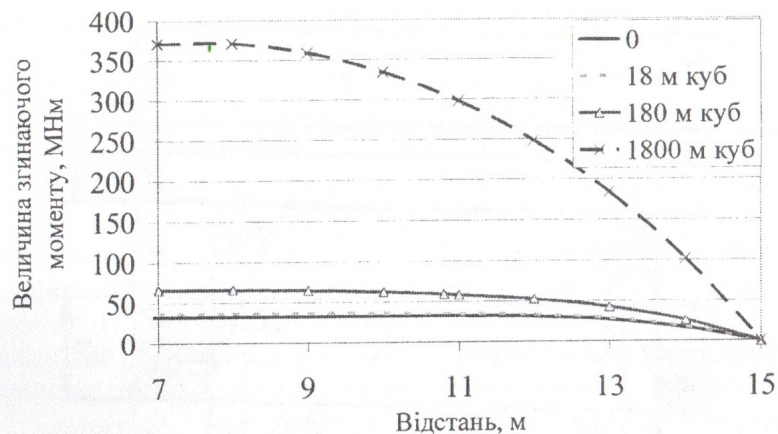


Рис. 14. Розподіл згинаючих моментів в завислому шарі основної кривлі

Криві на графіках рис. 14 показують, що тільки при прогинанні під власною вагою в шарі пісковику виникає згинаючий момент, величина якого не перевищує 32,9 МНм. При накопиченні 18 м³ газу максимальний момент збільшується до 36,4 МНм, 180 м³ - 66,5 МНм і 1800 м³ - 371 МНм, відповідно. Це означає, що накопичення газу в порожнині розшарування може збільшити напруги в шарі пісковику більш ніж в 10 разів.

На рис. 15 показані графіки зміни максимальних напружень в шарі пісковику залежно від об'єму накопиченого в порожнині розшарування газу і потужності пачки пісковику, що відшарувалася. З графіків видно, що величина напружень істотно залежить не тільки від об'єму накопиченого газу, але і від потужності шару пісковику, що відділився. Так при зміні потужності шару від 5 м до 7 м напруги зменшуються практично в два рази. Це означає, що для могутнішого шару необхідно більший запас газу, що віділівся, щоб спровокувати його обвалення.

Проте з графіків рис. 15 видно, що для будь-якої потужності шару пісковику необхідно зовсім невеликий об'єм газу, який накопичився, щоб спровокувати гірський удар. Це видно по

абсцисах перетину розрахункових напружень і межі міцності пісковику, відміченого горизонтальною прямою пунктирною лінією.



Рис. 15. Залежність розтягуючих напружень в шарі пісковику від об'єму накопиченого в порожнині розшарування газу

У таблиці 1 приведені результати розрахунків енергії деформації шару пісковику в покрівлі 13 східної лави у момент руйнування. При цьому прийнято найбільш вірогідніший діапазон потужностей шару пісковику, який відділився, в межах від 5 м до 7 м, що не перевищує половини прольоту виробленого простору згідно даним [1].

Таблиця 1. Результати розрахунків енергії деформації шару пісковика

Межа міцності пісковика, МПа	Момент при руйнуванні, МНм	Величина прольоту, м	Модуль пружності, МПа	Потужність шару, м	Момент інерції, M^4	Енергія деформації, МДж	Критичний об'єм газу перед обваленням, m^3
9	37,5	14	1800	5	10,42	0,525	24,6
9	54,0	14	1800	6	18,00	0,630	112,4
9	73,5	14	1800	7	28,58	0,735	217,0

Видно, що у момент гірського удару енергія, накопичена пачкою пісковика, що прогнулася, складає залежно від потужності пачки від 0,525МДж до 0.735МДж. Якщо врахувати, що в кінетичну енергію удару при руйнуванні крихкого пісковика перетвориться не менше половини енергії деформації шару, слід зробити висновок про те, що проведені розрахунки добре узгоджуються з реальними проявами динамічного гірського тиску, які відбулися в 13 східній лаві. Слід підкреслити, що для виділення такої енергії необхідно накопичити в порожнині розшарування всього 0,013-0,12% від загальної кількості газу, що виділився протягом півгодини після гірського удару. Це свідчить про високу міру достовірності результатів виконаного аналізу.

Достовірність прийнятої гіпотези про причину гірського удару підтверджується також тим, що подальше буріння свердловин в покрівлю пласта в зоні удару, який відбувся, показало, що фактична висота розшарування в пісковиках складає близько 6м. Це потрапляє в раніше прийнятий діапазон.

Необхідно також відзначити, що навантаження пачки пісковика, що відшарувалася, газовим тиском можливе тільки після порушення термодинамічного стану метану. У незайманому масиві газ знаходиться в сорбованому, а значить в іншому фазовому стані і не чинить такого тиску. При порушенні

термодинамічної рівноваги, яка відбувається у момент розшарування газ десорбується і підвищує тиск. Раніше при відрітці лав у момент відходу від їх монтажних печей не спостерігалось такої великої кількості метану, як це було зареєстровано при відрітці 13 східної лави. Саме тому в даному випадку відбувся передчасний гірський удар, спровокований газовим тиском і адсорбційним ефектом зниження міцності газонасиченого пісковика.

Достовірність одержаних висновків посилюється збігом величин енергії, одержаних в даній роботі і даних незалежних експериментів, виконаних в американських, австралійських і польських вугільних шахтах. Така виміряна сейсмічна активність пісковиків, що обрушаються, за допомогою спеціальних геофонів, зацементованих в свердловинах на польських шахтах, дає той же порядок енергії, який одержаний в даній роботі. Сейсмічні події реєструвалися при відрітці вугільного пласта 703/1-2 на шахті «Марсель». Фрагмент плану гірських виробок, суміщених із зареєстрованими сейсмічними подіями з енергією, що перевищує 10^5 Дж, показаний на рис. 16.

Потужність пласта складала 2,5м, кут нахилу 5° . Глибина робіт 900м, довжина лави 250-280м. У товщі, що підробляється, залягало декілька потужних шарів пісковика, включаючи шар потужністю 18м в покрівлі пласта на відстані 4м і потужністю 70м на відстані 200м вище за покрівлю відробляемого пласта. Моніторинг сейсмічної активності масиву гірських порід в даному місці виконувався з 1993 по 1998 рік. Саме в цей час відпрацьовувався блок лавами М1-М8. Всього за період інструментальних спостережень було зареєстровано 6200 подій сумарною енергією $1,6 \cdot 10^8$ Дж. (табл. 2).

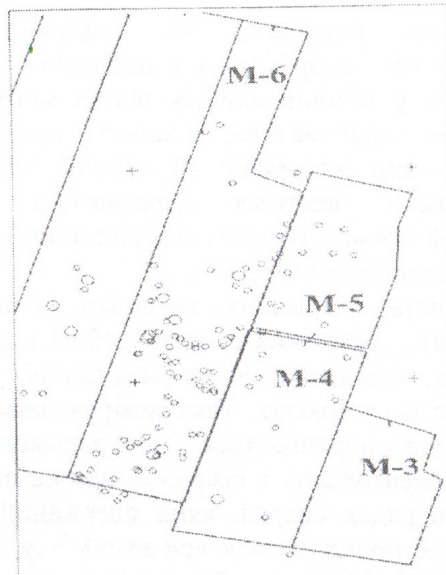


Рис. 16. Суміщений план контуру очисних робіт з точками реєстрації сейсмічних подій в процесі відробітку лав М4-М6 [8]

Таблиця 2. Розподіл числа сейсмічних подій по величині енергії, що виділилася під час обвалення порідних шарів [8].

Рівень енергії, Дж	Число подій	Сумарна енергія, що виділилася Дж
102-103	4199	$1,6 \times 10^7$
104	1903	$7,3 \times 10^7$
105	86	$3,5 \times 10^7$
106	12	$3,7 \times 10^7$
Всього	6200	$1,6 \times 10^8$

На рис. 16 кругами якнайменшого радіусу відмічені події з енергією вище 10^5 Дж. Чим більше діаметр кружка, тим вище рівень енергії конкретної сейсмічної події.

При відробітку лави М6 відбулося збільшення мінімального розміру суцільного виробленого простору до 820 м, що зіставно з

глибиною розробки. Відомо, що при такому співвідношенні мінімального розміру суцільного виробленого простору з глибиною розробки настає умова повної підробки земної поверхні, внаслідок чого процес зсувувань змінюється якісно. Саме у цей момент відбувається найінтенсивніше руйнування і зсувування товщі порід, що підробляється. Сумарна енергія 12 найсильніших поштовхів склала згідно таблиці $2,3,7 \times 10^7$ МДж. Це значить, що середня енергія, яка виділяється при одному обваленні шару пісковіку склала біля 0,3 МДж, що практично рівне половині енергії, одержаній в даній роботі.

На закінчення відзначимо, що з урахуванням одержаних закономірностей розташування ділянки обвалення покрівлі в середній частині лави із зсувом у бік конвеєрного штреку цілком закономірне і пояснюється особливостями впливу газового чинника. Розташування області обвалення в середній частині лави обумовлене тим, що крайні її частини у сполучень з виймальними штреками певною мірою дегазовані за рахунок того, що виймальні штреки були пройдені наперед і навколо них під дією високого рівня гірського тиску утворилися зони непружних деформацій з високим ступенем тріщинуватості, через яку газ встиг фільтруватися з навколишнього масиву. Зсув ділянки обвалення у бік конвеєрного штреку пояснюється тим же ефектом попередньої дегазації масиву навколо раніше виробленого простору 12 східної лави, в зону впливу якого все-таки потрапляє верхня частина 13 східної лави у монтажного хідника (див. результати комп'ютерного моделювання, які наведені вище в пункті 3).

- Обґрунтування заходів щодо запобігання небезпечним геодинамічним явищам, спровокованим високою газоносністю вміщуючих порід.

Як показано вище, однією з головних причин, що спровокували передчасне обвалення покрівлі і подальший гірський удар, є висока газоносність пласта і вміщуючих порід покрівлі. Негативний вплив газового чинника виявляється через

ефект адсорбційного зниження міцності пісковиків і додаткове навантаження верхньої межі ділянки основної покрівлі, яка відшарувалася, тиском газу, що накопичується в порожнині розшарування з більшою швидкістю, ніж він фільтрується в робочий простір діючих або погашених гірських виробок. У зв'язку з цим одним з простих, дешевих і разом з тим надійних способів запобігання негативній дії газового чинника є розвантаження покрівлі над областю первинного осідання основної покрівлі. Таке газове розвантаження виконується за допомогою свердловин, пробурених з монтажної печі у напрямі руху лави як показано на рис. 17.

Параметри свердловини обґрунтовуються наступними обставинами. Оскільки порожнини розшарування виникають не вище напівпротягу виробленого простору, а крок першого осідання покривель, що важко обрушаються, як правило перевищує 20-30м, вказані свердловини повинні досягати горизонту, розташованого над покрівлею відпрацьованого вугільного пласта на відстані 15м.

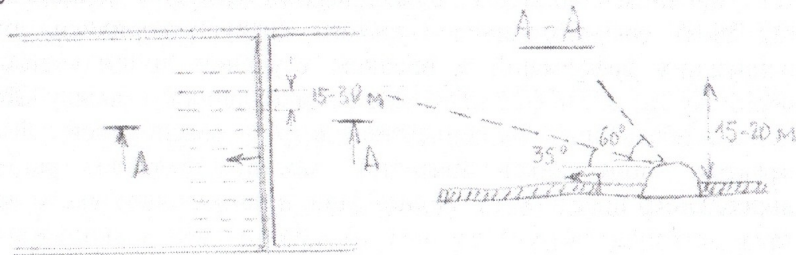


Рис. 17. Параметри свердловин газового розвантаження

Головні і необхідні свердловини повинні бути нахилені у бік руху лави під кутом до горизонту рівним $50-70^{\circ}$. Саме ці свердловини можуть забезпечити необхідне газове розвантаження, якщо їх зони дії накладатимуться. Для цього достатньо, щоб свердловини були пробурені уздовж лави з кроком 15-30м, як вказано на рис. 18.

Розкриття більш видалених горизонтів або буріння довшіх свердловин має значення в тому випадку, якщо вказані довгі свердловини використовувати як газодобувні. Доведено [3], що саме у області первинного осідання основної покрівлі довгий час накопичується газ і його можна відводити в загально шахтну мережу дегазації для утилізації. Довжина довших газодобувних свердловин повинна визначатися з умови досягнення газонесних супутників і пісковиків і зрештою визначається з економічних міркувань.

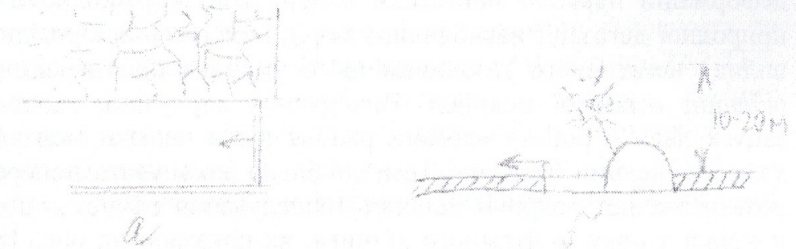


Рис. 18. Заходи щодо збільшення вірогідності дегазації і зниження небезпеки гірського удару при первинному осіданні важкої покрівлі

Відзначимо, що розвантажувальні газові свердловини необхідно пробурити до початку роботи лави.

Враховуючи те, що навколо раніше відпрацьованого простору формується зона природної дегазації на відстань 20-40м в глибину масиву в площині відпрацьованого вугільного пласта, доцільно розташовувати монтажну камеру або розрізну піч з безпосереднім примиканням до межі раніше відпрацьованої ділянки пласта як показано на рис. 18(а). Таке розташування розрізної печі по-перше знімає небезпеку газового чинника у верхній частині лави, а по-друге існує вірогідність дегазації порожнин розшарування за рахунок їх зв'язку з тріщинуватою областю масиву, раніше підробленою попередніми лавами. Іншими словами область підробленою лавою товщі є набагато

могутнішим поглиначем і провідником метану, ніж локальна область непружних деформацій навколо підготовчої виробки.

Одиночна лава має найбільші шанси потрапити в геомеханічну ситуацію, що створилася в 13 східній лаві через відсутність газовідвідних каналів, окрім локальних зон непружних деформацій навколо сполучень з вентиляційним і конвеєрним штреками.

Якщо не виконувати спеціальних заходів, доцільно витримувати період часу, достатній для розвитку зони непружних деформацій навколо монтажною камери або розрізної печі для природної дегазациї навколишніх порід і зменшення вірогідності впливу негативного газодинамічного чинника при первинному осіданні основної покрівлі. Виходячи з міркувань економіки запуск лави в роботу якомога раніше після нарізки монтажною камери є вельми бажаний. Тому доцільно виконувати попереднє розвантаження покрівлі шляхом торпедування міцної основної покрівлі з боку монтажного хідника, як показано на рис. 18(б). Для зняття небезпеки вибуху газу доцільно використовувати замість вибухових речовин спеціальні речовини, що розширюються, та здатні виконувати велику роботу по руйнуванню міцних гірських порід.

Ще одним ефективним заходом щодо зниження вірогідності гірського удару, спровокованого газодинамічним чинником, є застосування механізованих кріплень підвищеної несучої здатності (100-150кН/м² площі перекриття або 6000-8000кН на секцію у протилежність несучій здатності ЗКД-90: 55кН/м² площі перекриття або 3120кН на секцію) і використанням в таких кріпленнях спеціальних аварійних клапанів, вживаних в практиці західних вугледобувних країн. Ці клапани дають можливість швидко скинути робочий тиск в стійках при динамічних навантаженнях, що дозволяє зберігати кріплення і їх несучу здатність.

ВИСНОВКИ

Таким чином основними причинами гірського удару, що відбувся в 13 східній лаві при її відході від розрізної печі, є поєднання наступних чинників (у порядку значущості):

1. Значна потужність шару пісковика (20м), його міцність (76-92МПа на одноосне стиснення), і мала потужність безпосередньої середньо - обрушаємої покрівлі, не перевищуюча 2м. При відношенні потужності пласта, що виймається, до потужності безпосередньої покрівлі, рівному 1, покрівля по схильності до обрушаємості відноситься до важкого типу ТБ, підтипу ТБ2-ТБ3. Прояви осідань основної покрівлі такого підтипу характеризуються підвищеною інтенсивністю (швидкістю і величиною осідання) і тяжкістю (посадкою кріплення на жорстко, руйнуванням кріплення, вивалами безпосередньої покрівлі і т.п.).

2. Висока газоносність вміщуючих порід, і по-перше всього пісковика, що залягає в основній покрівлі пласта, і низька тріщинуватість покрівлі в процесі відходу лави від монтажного швидка.

3. Відсутність примикання 13 східної лави до раніше виробленого простору 1 східної лави і малий період часу між проходкою монтажною камери і початком очисних робіт.

4. Велика глибина і вплив аномалії напруженого і газодинамічного стану масиву гірських порід в зоні замку антиклінальної складки, вісь якої розташована на відстані 200-250м від розрізної печі/

Для запобігання подібним небезпечним газодинамічним явищам необхідно дотримуватись наступних заходів.

1. Перед початком очисних робіт слід бурити розвантажувальні газові свердловини з розрізної печі по всій її довжині в покрівлю пласта під кутом до горизонту 35-60 градусів завдовжки 30-80м, як показано на рис. 8. Такий захід пропонується вперше. Раніше свердловини дегазациї бурили тільки з вентиляційного штреку. При цьому довжина свердловин

складала 120-170м. Такою свердловиною важко потрапити саме в ту зону розшарування, яка була зародком гірського удару.

2. Переважно мати в своєму розпорядженні розрізну піч, що примикає до раніше виробленого простору. Небажано в сильно газонасичених ударонебезпечних покрівлях розташовувати піч в незайманому масиві і починати відробіток лави як одиночної з подальшим примиканням цієї лави до раніше виробленого простору.

3. Забезпечити період між проходкою печі і початком очисних робіт, необхідний для природної дегазации навколишніх порід. Очисні роботи можна починати раніше, якщо виробити попереднє розміщення покрівлі вибухом або речовиною, що розширяється.

4. У даних гірничо-геологічних умовах необхідно застосовувати механізовані кріплення підвищеної несучої здатності, які забезпечені аварійними клапанами скидання динамічного тиску.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Разрушение трудно - обрушаемых кровель угольных пластов/ С.Т.Кузнецов и др.-М.: Недра, 1987.-200с.
2. Айруни А.Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах. - М.: Наука, 1987. -310с.
3. Josien J.-P., Lineau C. Outburst of coal and gas in France. Their development and methods used to control them//UN-ECE Symp. Of forecasting and prevention of rock bursts and sudden outbursts of coal, rock and gas. Ostrava, Czechoslovakia, 2-6 Oct. 1989.
4. Kuznir N.J., Farmer I.W. Rockburst phenomenon in British coal mines. Symp on rock rurst prediction & control. Inst. Min. & Met., London> 1983.-Pp.103-115.
5. Lama R.D. Safe gas content threshold value for safety against outbursts in the mining of the Bulli seam, Int. Symp.-cum-Workshop on Management & control of high gas emission & outbursts in underground coal mines.-Wollongong, NSW, 1995.-Pp.175-189.

6. Звягильский Е.Л., Бокий Б.В., Назимко В.В. Исследование процесса перераспределения метана вокруг движущегося очистного забоя. – Донецк: Норд-пресс, 2005.-196с.

7. Назимко Е.В. Динамические проявления сдвижений над длинными очистными забоями при больших темпах их подвигания/ Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія гірничо-геологічна. - Донецьк: ДонНТУ, 2005.-Вип. 72.-С.12-21.

8. Bialek J., Banka P., Jaworski A. Method for description of seismicity basing on changes of rockmass deformation induced by mining // Proc. ISM 12th Int. Cogress. - Fuxin, 2004. - Pp. 470-475.

*Здано до редакції 15.07.2007
Рекомендував до друку д.т.н. Садовенко І.О.*