

## ОХОРОНА ПРАЦІ І КОНТРОЛЬ СТАНУ РОБОЧОГО ПРОСТОРУ НА ВИЙМКОВІЙ ДІЛЬНИЦІ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ КРУТИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ ЩИТОВИМИ АГРЕГАТАМИ

<sup>1</sup>Зберовський В.В., <sup>1</sup>Агаєв Р. А., <sup>1</sup>Софійський К.К., <sup>2</sup>Деглін Б.М., <sup>3</sup>Юхименко В.А.  
<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, <sup>2</sup>Державне підприємство «Науково-технічний центр «Вуглеінновація», <sup>3</sup>Державне підприємство «Торецьквугілля»

## ОХРАНА ТРУДА И КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА НА ВЫЕМОЧНОМ УЧАСТКЕ ПРИ ОТРАБОТКЕ КРУТЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ЩИТОВЫМИ АГРЕГАТАМИ

<sup>1</sup>Зберовский В.В., <sup>1</sup>Агаев Р. А., <sup>1</sup>Софийский К.К., <sup>2</sup>Деглин Б.М., <sup>3</sup>Юхименко В.А.  
<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, <sup>2</sup>Государственное предприятие «Научно-технический центр «Углеинновация», <sup>3</sup>Государственное предприятие «Торецкуголь»

## LABOR SAFETY AND CONTROL OF THE WORKING AREA STATE IN THE PENALS WHILE MINING STEEP COAL SEAMS BY SHIELD AGGREGATES

<sup>1</sup>Zberovskiy V. V., <sup>1</sup>Ahaiev R. A., <sup>1</sup>Sofiiskiy K.K., <sup>2</sup>Dehlin B.M., <sup>3</sup>Yukhymenko V.A.  
<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, <sup>2</sup>State Enterprise "Scientific and Technical Center "Coal Innovation", <sup>3</sup>State Enterprise «Toretskyuhillia»

**Анотація.** Розглянуто обставини і чинники, які призвели до зниження рівня безпеки праці і аварійного стану дільниці на прикладі аналізу результатів досліджень причин нещасного випадку, який стався при раптовому викиді вугілля й газу у лаві виймкової дільниці № 42-1146 м пласта  $m_3$  «Товстий-захід» ВП «Шахта «Центральна» ДП «Торецьквугілля». В роботі розглянуто стан обладнання та його розташування на дільниці відповідно до вимог правил безпеки, дані приладів з контролю газодинамічного стану вугільного пласта і роботи щитового агрегату. Досліджено гірничо-геологічні умови залягання пласта і технологічні умови розташування дільниці в межах горизонту, що відробляється; вміст метану у повітрі виробок дільниці; зміну фізико-механічних властивостей вугілля у зоні можливого геологічного порушення; результати контролю газодинамічного стану пласта за параметрами акустичної емісії та інші фактори ризику, що призводять до виникнення аварійних ситуацій. Виконано аналіз прийнятих рішень за контролем можливої зони впливу геологічного порушення, яке було встановлено на горизонтах 916 м та 1026 м по гірничо-графічним матеріалам та даним геологічних обстежень у гірничих виробках, що прилягають до панелі №14 дільниці 42-1146 м. Розглянуто порядок і послідовність виконання робіт за ліквідацією наслідків раптового викиду вугілля й газу і встановленням зони порушеного вугілля та порожнини викиду. На підставі отриманих результатів зроблено висновки і встановлені заходи щодо запобігання нещасним випадкам при відпрацюванні крутих викидонебезпечних вугільних пластів щитовими агрегатами. Рекомендовано продовжити наукові дослідження з метою встановлення зони можливого впливу розривного геологічного порушення і плікативної порушеної зони вугільного пласта за зміною міцності вугілля на суміжній панелі, а також можливості розробки локальних заходів запобігання газодинамічних явищ при відпрацюванні крутих викидонебезпечних пластів щитовими агрегатами. Мета роботи – аналіз стану робочого простору і охорони праці, дослідження обставин і чинників, які призвели до нещасного випадку із тяжкими наслідками і аварійного стану виймкової дільниці.

**Ключові слова:** викид вугілля й газу, щитовий агрегат, причини і наслідки аварії, міцність вугілля, апаратура газового контролю, імпульси акустичної емісії

### 1 Вступ

Створення безпечних умов праці, прогноз і контроль небезпеки вугільних пластів та порід за газодинамічними явищами (ГДЯ) є однією зі складних і актуальних проблем у вугільній галузі.

Особливо складні умови створюються при відпрацюванні крутих викидонебезпечних пластів.

Впровадження технології щитової виїмки вугілля, використання способу гідродинамічної дії у нижній частині смуг, що відробляються щитовими агрегатами, оперативне керування інтенсивністю технологічних процесів за допомогою звукоуловлюючої апаратури (ЗУА) підвищило безпеку ведення робіт, однак не розв'язало проблему раптових викидів вугілля й газу (ГДЯ) в цілому. До теперішнього часу куткова частина лави є найбільш аварійною і неконтрольованою у процесі руйнування вугілля конвеєростругом.

За останні 20 років забезпечення вугільних шахт, що відробляють круті пласти, технічним обладнанням, апаратурою контролю стану робочого простору і засобами захисту значно погіршилось. Багато механізмів і апаратурних комплексів технічно та морально застаріло і потребують заміни та ремонту. Водночас ведення робіт на великих глибинах у складних гірничотехнічних умовах потребує додаткових коштів, відсутніх на шахтах. В сукупності це призводить до загального погіршення умов видобутку вугілля, збільшення ризиків нещасних випадків і аварій.

У цих умовах контроль робочого простору і забезпечення необхідного рівня охорони праці перетворюється на складну та актуальну задачу, вирішити яку без підтримки держави практично неможливо. Тому дотримання працівниками шахт правил безпеки і надійний контроль стану робочого простору на виїмковій дільниці є головним шляхом дотримання безпечних умов праці.

Таким чином, у складних гірничо-геологічних і технологічних умовах фактор чинників ризику у сукупності з порушенням Правил безпеки призводить до аварійного стану виїмкової дільниці. Розглянемо це питання на прикладі аналізу наслідків нещасного випадку, який стався при раптовому викиді вугілля й газу у щитовій лаві № 42-1146 пласта  $m_3$  «Товстий-захід» ВП «Шахта «Центральна» ДП «Торецьквугілля».

## 2 Методика

Методи досліджень – аналітичні, теоретичні та експериментальні дослідження, шахтні інструментальні вимірювання, статистична обробка результатів вимірювань і їх аналіз.

Дослідження обставин і чинників, які призвели до викиду вугілля й газу із тяжкими наслідками, виконано відповідно до вимог безпеки та охорони праці на пластах, схильних до ГДЯ, за методиками організації робіт щодо боротьби з ГДЯ та розслідування й обліку ГДЯ (п.п. 5.3, 5.4) [1], а також за методиками та методичними рекомендаціями, які було використано при складанні «Проекту підготовки та відробки виїмкової дільниці № 42-1146 м пласта  $m_3$  «Товстий-захід»; «Плану ліквідації аварії ...»; «Паспорту на відпрацювання панелі №14 ...»; «Заходів з безпечного ведення робіт ...» [2, 3]. Дослідження стану провітрювання дільниці і роботи апаратури газового контролю виконано відповідно до керівництва та методичних рекомендацій [4]. Гірничо-геологічний прогноз на дільниці виконувався відповідно до методичних

рекомендацій [5] на підставі гірничо-графічних матеріалів та даних геологічних обстежень у гірничих виробках на горизонтах 916, 1026 і 1146 м.

### 3 Результати досліджень і їх аналіз

Контроль стану робочого простору на виїмковій дільниці складається з декількох напрямків. Це: забезпечення дільниці усією необхідною апаратурою для контролю газодинамічного стану вугільного пласта, апаратури газового контролю, своєчасної і вірогідної інформації працівниками шахти щодо зміни технічних, технологічних, геологічних та інших умов, які впливають на безпечне відпрацювання викидонебезпечних вугільних пластів, а також дотримання працівниками вимог правил безпеки.

#### 3.1 Коротка характеристика дільниці, де стався раптовий викид вугілля та газу з тяжкими наслідками

Система розробки - суцільна. Відпрацювання лави дільниці № 42-1146 м здійснюється шитовим агрегатом 2АНЩ під контролем системи ЗУА-98.

Потужність пласта  $m_3$  складає 1,45-1,75 м, кут падіння  $62^\circ$ , витриманий зао потужністю та структурі. Побудова пласта: верхній шар товщиною 0,03-0,25 м – вуглистий сланець. Нижній шар товщиною 1,4-1,65 м – вугілля напівблiskуче, шарувате, з включенням лінз сіркового колчедану, тріщинувате ( $\alpha 290^\circ$ ,  $\perp 35^\circ$ ). Вугілля пласта крихке, легко відшаровується. Природна газонасність 20-22 м<sup>3</sup>/т.с.б.м, вихід летких речовин 30-32 %, міцність вугілля 1,0-1,3 од.

Пласт небезпечний за раптовими викидами вугілля та газу, обваленнями, вибухами вугільного пилу, гірськими ударами, до самозаймань не схильний.

Спосіб управління покрівлею – повне обвалення на шитове кріплення. Схема провітрювання ділянки – зворотноточна.

Графік організації робіт: дві зміни з видобутку вугілля. Одна зміна ремонтна, одна ремонтно-профілактична.

Параметри очисного вибою: похила частина поверху, що виймається – 135 м; довжина лави – 50 м; ширина заходки – 0,63-0,7 м.

При складанні гірничо-геологічного прогнозу для панелі №14 дільниці № 42-1146 м було використано гірничо-графічні матеріали та дані геологічних обстежень у гірничих виробках на горизонтах 916, 1026 і 1146 м, що прилягають до панелі №14 дільниці 42-1146 м.

Відповідно до плану гірничих робіт пласт  $m_3$  «Товстий-захід» в умовах, що склалися на горизонті 1026-1146 м, в межах панелей №14-№19, буде відроблятися як одиничний (рис. 1). При проведенні квершлягу №14 гор. 1026 м було встановлено розривне геологічне порушення. Тому при проведенні робіт у межах панелі №14 можуть зустрічатися зони з нестійкими бічними породами.

«Заходами з безпечного ведення робіт в лаві дільниці №42-1146 м» у зоні прогнозованого впливу геологічного порушення передбачено буріння розвідувальних шпурів  $\varnothing 43$  мм довжиною 2,0 м з кроком за простяганням 2,0 м посередині потужності пласта перпендикулярно вибою, а в кутку вибою під кутом  $15-25^\circ$  до лінії простягання пласта. Буріння необхідно здійснювати на відстань до 30 м від кутка лави. Незнижуване випередження вибою шпуру до вибою лави повинно становити не менш ніж 1,0 м.

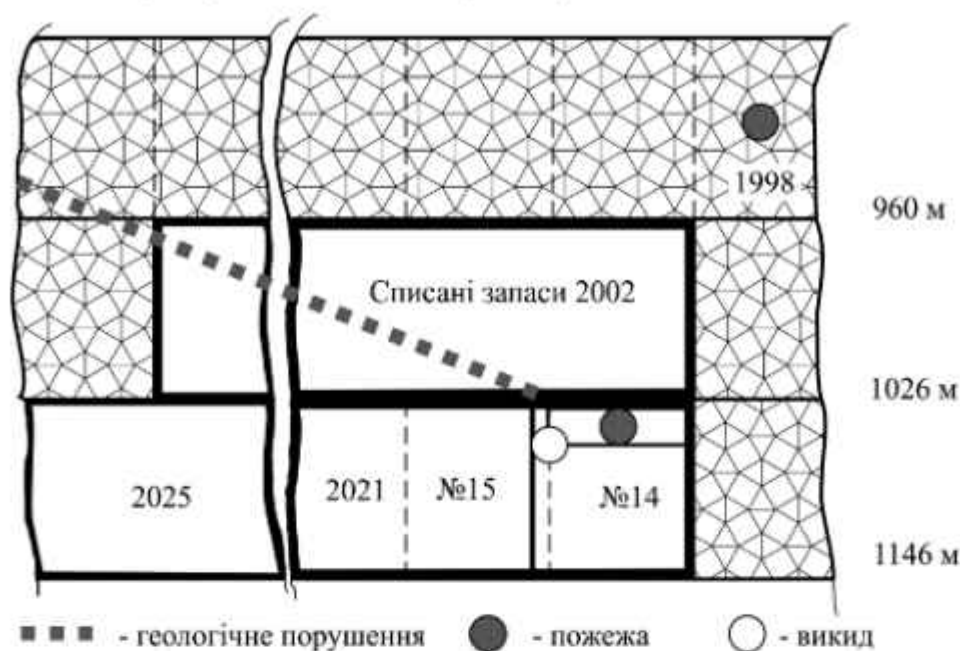


Рисунок 1 – Ескіз плану гірничих робіт дільниці №42-1146

### 3.2 Стан провітрювання дільниці і контролю метану

Для контролю концентрації  $\text{CH}_4$  на виїмковій дільниці встановлено апаратуру контролю концентрації метану (АКМ) з виведенням телеінформації на пульт оператора автоматичного газового захисту (АГЗ).

Відключення електроенергії за перевищення допустимої концентрації  $\text{CH}_4$  ведеться за допомогою апаратури АТ 3-1, апаратів сигналізації (АС) та датчиків ППІ. Інформація щодо концентрації метану фіксується апаратно-програмним комплексом КАГІ, що знаходиться на поверхні. Датчики контролю метану розташовані відповідно до схеми їх розміщення на дільниці (рис. 2).

Виїмкова дільниця провітрюється за схемою 1-В-Н-г-от. Для контролю кількості повітря «Проектом ...» передбачено встановлення датчиків повітря ДСНВ, але вони на шахті відсутні.

Контроль метану у вихідному струмені повітря ділянки здійснюється одним апаратом сигналізації АС-9 №46 і одним датчиком ППІ з уставкою спрацьовування 1,3 %. Апарат сигналізації АС №46 розташовано у центральній підстанції гор.1026 м, датчик Д ПІ-46 знаходиться у 3-му ЗППШ гор. 1026 м в 10-20 метрах перед сполученням з головним південним квершлагом гор. 1026 м. Його призначено для контролю концентрації метану у вихідному струмені повітря, і при перевищенні концентрації метану здійснюється відключення енергопостачання дільниці.

Контроль вмісту метану у очисному вибої здійснюється апаратом сигналізації АС-9 №51 і двома датчиками ППІ. Датчик Д ПІ-51 призначений для контролю вмісту метану у вихідному струмені повітря очисної виробки і знімає напругу з електродвигуна конвеєростругу. Він налаштований на 1,3 % і розташований у вентиляційному скаті в 10-20 метрах від лави. Датчик Д 2І-51, призначений для контролю вмісту метану над електроблоком щитового агрегату, налаштований на 1 % і знімає напругу з підстанції гор.1146 м.

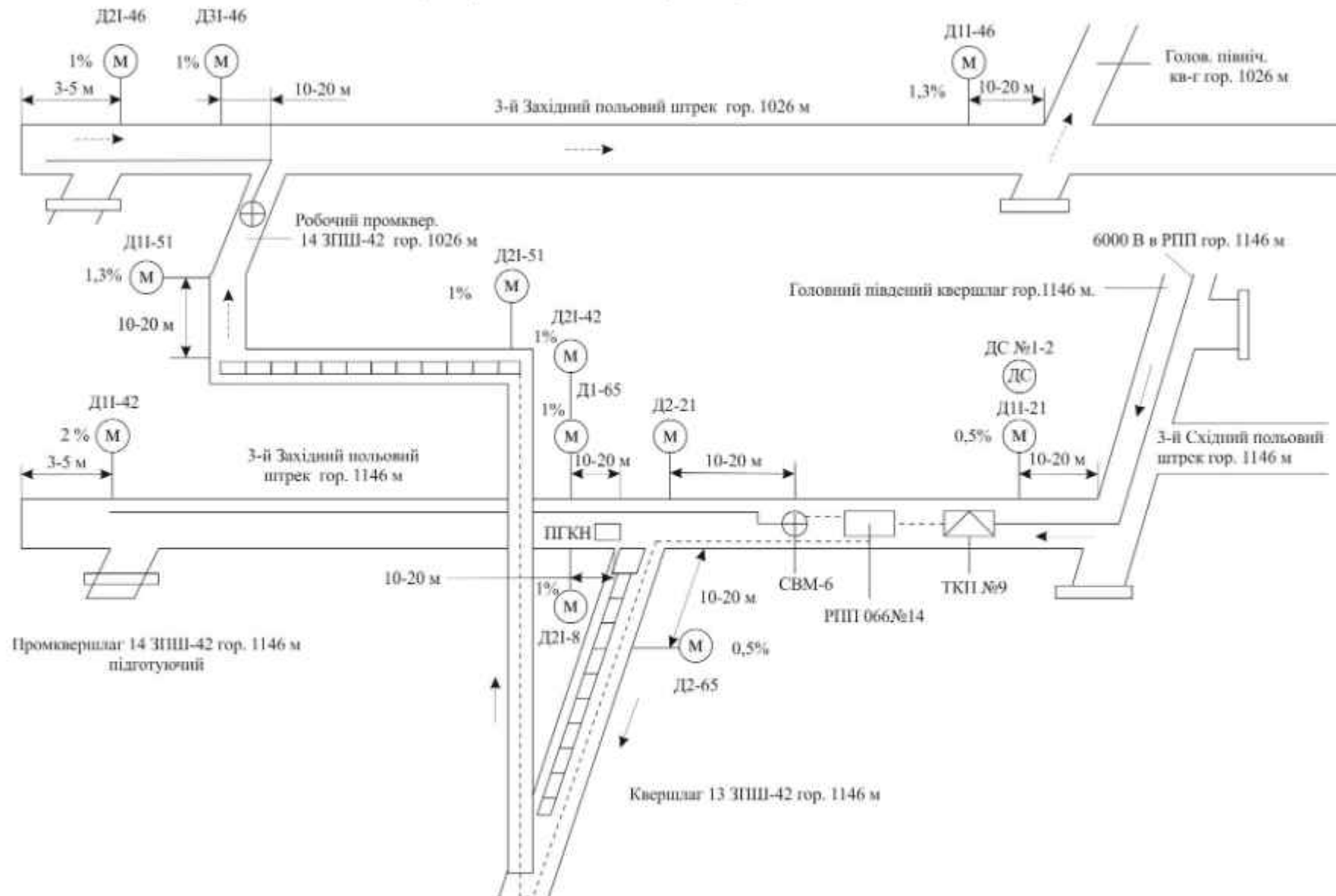


Рисунок 2 – Схема розміщення датчиків контролю метану на дільниці № 42-1146 м

Контроль вмісту метану у вихідному струмені повітря з 3-го ЗПШ гор.1146 м і квершлягу №13 3-го ЗПШ 42-1146 м здійснюється одним апаратом сигналізації АС-9 №65 і двома датчиками ППШ. Датчик Д 1-65 налаштовано на 1 % і впливає на пускачі, що живлять конвеєр і лебідку.

Датчик Д 2-65 налаштовано на 0,5 % і призначено для контролю вмісту метану у струмені повітря, що надходить під щит, і через апарат сигналізації АС-9 №65 впливає на пускач ПВІ-250, що живить конвеєр і ПВІР 250 (Щит).

Захист підстанцій РПП №13, РПП №14 і ТКП №9 гор. 1146 м здійснюється апаратом сигналізації АС-9 № 21 і двома датчиками ППШ. Датчик Д 1І-21 налаштовано на 0,5 % і призначено для контролю вмісту метану у струмені повітря, що надходить на ділянку. Через апарат АС-9 №21 він вимикає високовольтну комірку, що живить електрообладнання дільниці №42 гор. 1146 м. Датчик Д 2-21 (противикидний) налаштовано на 0,5% і встановлено у 3-му ЗПШ гор.1146 м в 15 метрах від РПП №13, 14. При раптовому викиді під щитом або у 13-му промквершлягу 3-го ЗПШ гор. 1146 м він вимикає високовольтну коміру, що живить електрообладнання дільниці №41-1146 м і №42-1146 м.

Телевимірювання від усіх датчиків виводиться на комплекс КАГІ.

Вищезазначене вказує на те, що за винятком датчиків повітря ДСНВ, дільниця засобами газового контролю забезпечена.

### **3.3 Результати обстеження роботи апаратури газового контролю**

На підставі розгляду технічної документації та результатів опитування спеціалістів дільниці «Зв'язку та АГЗ» встановлено, що Технічну документацію на експлуатацію дільниці, апаратури АГК і комплексу КАГІ підтверджено експертними висновками і погоджено з відповідними організаціями у встановленому порядку.

За результатами контролю  $\text{CH}_4$  у виробках дільниці №42-1146 м встановлено наступне.

До аварії перевищення гранично допустимих норм вмісту метану зафіксовано не було. Витрати повітря, що надходили у виробки дільниці, відповідали розрахунковим значенням. Згідно з показаннями апаратури АКМ при аварії, за витрати повітря  $370 \text{ м}^3/\text{хв.}$ , максимальна концентрація метану у вентиляційному скаті становила 4 %, а у 3-му ЗПШ гор. 1026 м – 3,7 %.

Склад рудникового повітря, за даними експрес-аналізу, що виконано при розвідці відділенням 10 ВГРЗ, у вихідному струмені повітря з вентиляційного скату дільниці №42-1146 м становив:  $\text{CH}_4=7,0 \%$ ,  $\text{O}_2=19,5 \%$ . Витрати повітря склали  $43 \text{ м}^3/\text{хв.}$  (прівітрювання через завал). Згідно з виконаним розрахунком очікуване середнє виділення концентрації метану в очисній виробці складає  $1,2 \text{ м}^3/\text{хв.}$ , на виїмковій ділянці -  $1,88 \text{ м}^3/\text{хв.}$ , при відносній газоносності  $48,6 \text{ м}^3/\text{т.}$

У 19:00:30 год. 14.06.2019 р. датчиком Д 1І-51 (рис. 3), розташованим у вентиляційному гезенку, а потім датчиком Д 2І-51, розташованим біля пульта керування щитовим агрегатом, зареєстровано різке підвищення вмісту метану до 4%.

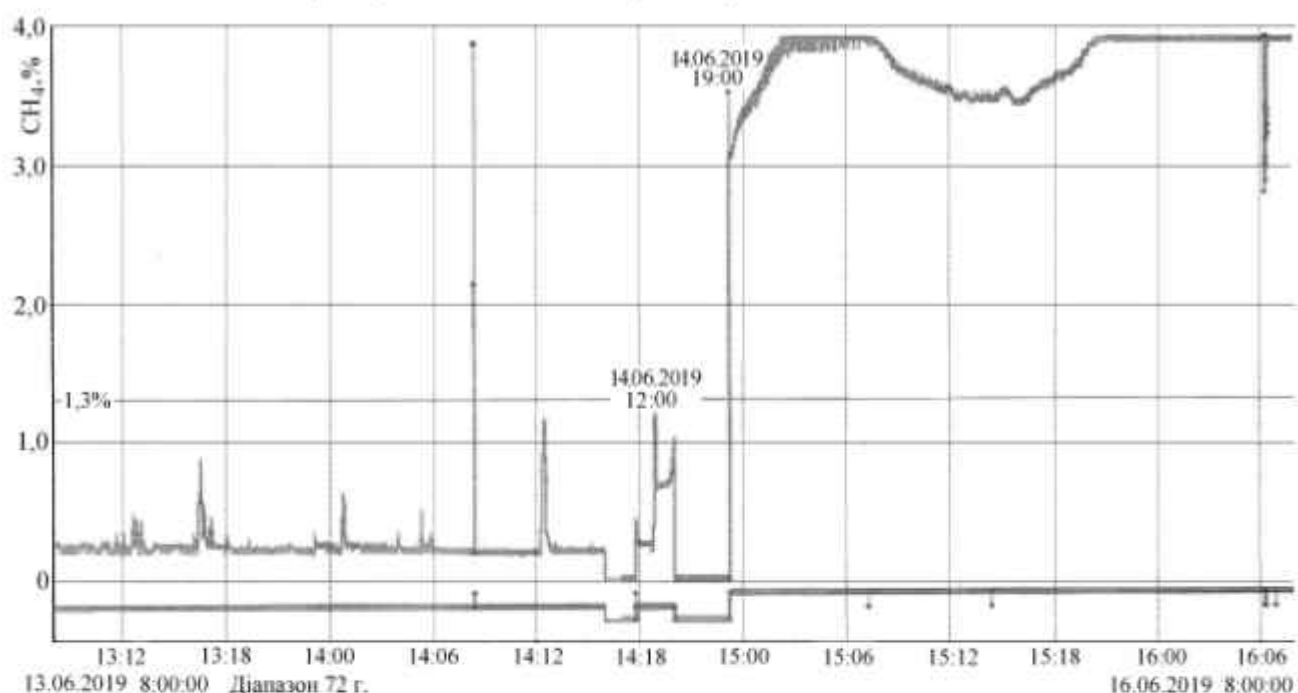


Рисунок 3 – Вміст  $\text{CH}_4$  у вихідному струмені повітря щитової лави, зареєстрований датчиком Д ІІ-51 у діапазоні виміру 72 год.

Через 20 хвилин газове скупчення, з вмістом метану близьким 4 %, досягло датчика Д ІІ-46 (рис. 4), розташованого у 3-му ЗПС на вентиляційному горизонті 1046 м.

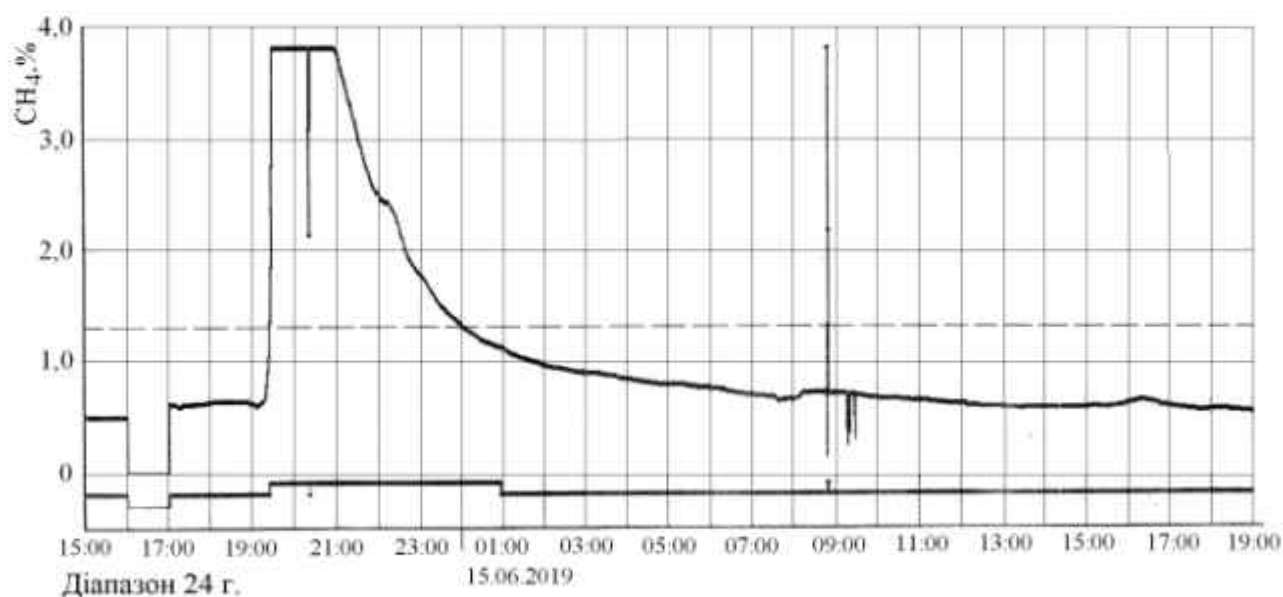


Рисунок 4 – Вміст  $\text{CH}_4$  у вихідному струмені повітря дільниці №42-1146 м (датчик Д ІІ-46, діапазон виміру 24 год.)

Розбіжність у часі прояву ГДЯ на сигналаграмах  $\text{CH}_4$  (див. рис. 3, 4) пояснюється різним діапазоном часу, у якому вони розглядаються.

Як видно з рисунків, зміну вмісту метану у струмені повітря при роботі струга датчиками зафіксовано. Однак при ГДЯ енергопостачання було відключено тільки з щитового агрегату, а не на дільниці у цілому відповідно до

Правил безпеки. Це свідчить про те, що при раптовому викиді вугілля та газу противиکیدний датчик дільниці Д2-21, датчик Д1І-46, датчик Д2І-51, датчик швидкості повітря ДС №1-2 (відсутній) - не виконали свого функціонального призначення.

Незважаючи на те, що зміна концентрації метану у вихідному струмені повітря при руйнуванні вугілля стругом у кутку лави до 1,3% є звичним явищем, у даному випадку необхідно було розглянути зміну характеру газовиділення при дозарубці струга у часі. У цей час робота конвеєроструга була пов'язана тільки з метою зарубки струга у вугільний пласт.

Розглядаючи зміну вмісту метану у струмені повітря бачимо, що, до моменту прояву ГДЯ, датчиком Д 1І-51 було зафіксовано 6 діапазонів зміни концентрації метану. У перших 4-х діапазонах спостерігається постійне коливання вмісту метану у повітрі з 0,1 % до 0,5 %, що свідчить про вільне газовиділення з вугілля, яке відповідає стану масиву у розвантаженої зоні. У наступних, 5-му і 6-му діапазонах, зафіксоване стрімко подібне зростання з 0,1 % до 1,2 %. Такий характер газовиділення відповідає напружено-деформованому стану масиву, у якому вугілля затиснуте і газ не має можливості для вільної фільтрації.

Водночас системою ЗУА-98, якість роботи якої буде розглянуто далі, зареєстровано роботу струга без виїмки вугілля і за виїмки вугілля. Зіставлення даних у часі дозволило встановити, що датчиком Д 1І-51 було зафіксоване підвищене газовиділення, яке відповідає руйнуванню вугілля стругом при його дозарубці. Найбільш потужне підвищення газовиділення сталося при дозарубці струга у 12 год. 30 хв., однак, у зв'язку з відключенням енергопостачання шахти, роботу було зупинено. Надалі, після включення конвеєроструга у 18 год. 50 хв. і транспортуванні зруйнованого вугілля лавою, підвищення газовиділення не було, однак у 19:00 год., одночасно з дозарубкою струга, відбувся раптовий викид вугілля й газу.

Виконані дослідження дають підставу вважати, що умови, які склалися на дільниці, а саме, відсутність посування вибою протягом більш ніж 2-х діб, під впливом консолі затискання, яка досягла критичного розміру, призвели до зростання напружень і затиснення вугільного пласта.

Перевірка працездатності датчиків автоматичного контролю метану та можливості відключення електроенергії з споживачів дільниці дозволила встановити наступне:

1. Датчик Д 1І-51, який встановлено для контролю вихідного струмені повітря з щитової лави, і датчик Д 2І-51, встановлений для контролю вмісту метану над електроблоком щитового агрегату, не здійснили зняття електроенергії з електроспоживачів дільниці у цілому.

2. Датчик Д 1І-46, встановлений у 3-му західному польовому штреку гор. 1026 м в 10-20 метрах перед сполученням з головним південним квершлагом гор. 1026 м та призначений для контролю вмісту метану у вихідному струмені повітря ділянки №42 гор. 1146 м, зафіксував перевищення концентрації метану тільки через 20 хвилин після раптового викиду вугілля та



газу на дільниці. Місце встановлення датчику Д ІІ-46 унеможливорює оперативне зняття струму з електроспоживачів дільниці у аварійних ситуаціях. Згідно наданій схемі вентиляції він повинен бути встановлений у 10-20 метрах перед сполученням робочого промквершлага з 3-м ЗПШ гор. 1026 м;

3. Відсутні датчики швидкості повітря ДС №1-4, які передбачені «Робочим проектом автоматичного контролю метану ВП «Шахта «Центральна», що унеможливорює відключення електроенергії з дільниці за незапланованого зниження швидкості повітря менше розрахункової.

Таким чином, при раптовому викиді вугілля й газу противикидний датчик дільниці Д 2-21, датчик Д ІІ-46, датчик Д 2І-51, датчик швидкості повітря ДС №1-2 (відсутній) не виконали свого призначення у зв'язку з тим, що вони або не вірно встановлені, або не вірно впливали на електроспоживачів.

### 3.4 Результати обстеження роботи апаратури ЗУА-98

На підставі аналізу роботи апаратури ЗУА-98 і експертної оцінки звукозапису супроводження процесу виїмки вугілля встановлено наступне.

Розроблена технічна документація, затверджена і погоджена з усіма відповідними організаціями. Всі працівники дільниці пройшли навчання і мають відповідне посвідчення. Оператор дільниці своєчасно, відповідно до правил, повідомила диспетчера шахти і керівника дільниці щодо виникнення ГДЯ.

Місце та спосіб встановлення сейсмоприймача визначено на підставі нормативних документів, які визначені «Правилами ...» [1]. Водночас не дотримувались вимоги умов пункту 5.3 щодо передачі сигналу амплітуди і частоти без спотворення інформації та пунктів 5.8.1, 5.8.2, 5.8.3, 7.2.5 КД 12.01.05.101-99, відповідно до корегування радіуса дії сейсмоприймача, що призвело до збільшення рівня перешкод і зниження ефективності роботи системи ЗУА-98.

Відомо, що за наявності електричних та акустичних перешкод, які складають більш ніж 60 % динамічного діапазону апаратури (рис. 5), – ефективне розпізнавання інформації, що надходить, неможливе.

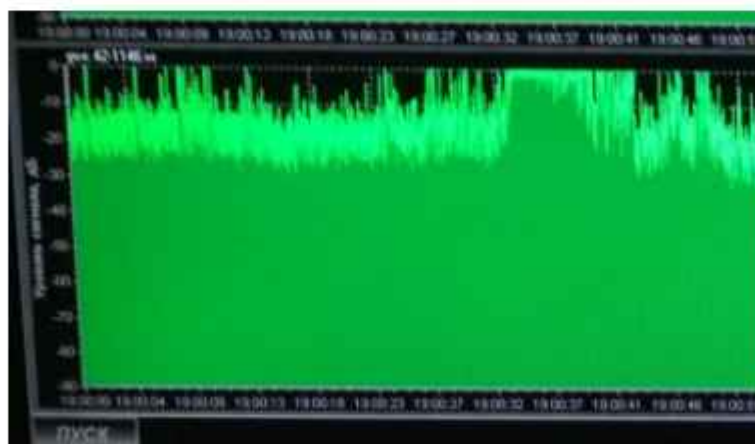
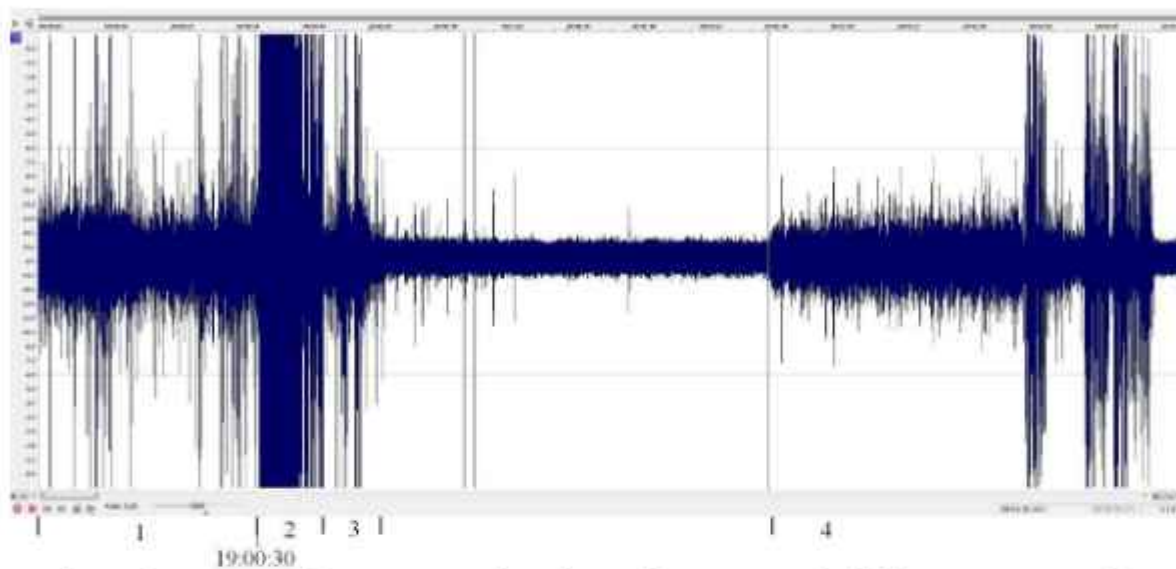


Рисунок 5 – Зображення сигналограми імпульсів АЕ на екрані монітору оператора системи ЗУА-98, зареєстрованих при роботі струга і ГДЯ

Тому для подальшого дослідження і встановлення причини ініціювання ГДЯ було виконано зіставлення осцилограм звукозапису, що супроводжували руйнування вугілля при роботі струга у безпечній зоні, зоні підвищеного напружено-деформованого стану та зоні викиду вугілля й газу. Окремі частини звукозапису, які відповідали зарубці й виїмці вугілля стругом у небезпечній зоні, було детально проаналізовано. Для цього, з метою підвищення її роздільної здатності, було проведено спеціальне фільтрування. Як приклад, на рисунку 6 показана частина осцилограми звукозапису, яка відповідає викиду вугілля й газу.



1 – робота струга; 2 – викид вугілля і газу; 3 – реєстрація ГДЯ оператором зв'язку;  
4 – робота СР-70 у квершлягу ЗПСШ 42-1146

Рисунок 6 – Частина осцилограми звукозапису, яка відповідає викиду вугілля й газу у 19:00:30 год. 14.06.2019 р.

Результати досліджень дозволили встановити, що з 12.06.2019 р. роботи з виїмки вугілля виконувались у зоні, де вугільний пласт знаходився у напружено-деформованому стані. Раптова зміна характеру газовиділення в очисному вибої, що було встановлено раніше (див. рис. 3), також підтверджує цей висновок.

Аналіз осцилограми звукозапису ГДЯ (див. рис. 6) показує, що першочергові імпульси АЕ в основному відповідають роботі струга. Імпульси АЕ, що супроводжують процес виїмання вугілля, відсутні. Далі, починаючи з 19:00:30 год., зафіксовано раптове руйнування вугілля, яке, найбільш ймовірно, було спровоковане початком роботи струга за його дозарубкою.

Таким чином, на підставі аналізу отриманих результатів, встановлено, що при дозарубці струга, раптово, протягом 6-9 секунд, відбувалось потужне саморуйнування і переміщення вугілля. До лави було викинуто 162 т вугілля, а у повітря виробок виділилось 3640 м<sup>3</sup> метану. Газодинамічне явище було зареєстроване оператором зв'язку системи ЗУА-98. В той самий час наднормативний рівень перешкод у лініях зв'язку призвів до функціональної непридатності апаратури ЗУА-98 в цілому.

### 3.5 Результати досліджень прогнозної зони геологічного порушення

З метою уточнення типу геологічного порушення і встановлення структурних характеристик вугілля у вентиляційному скаті на відмітці 27,0 м від горизонту 1026 м по товщині пласта були взяті опорні проби (рис. 7).

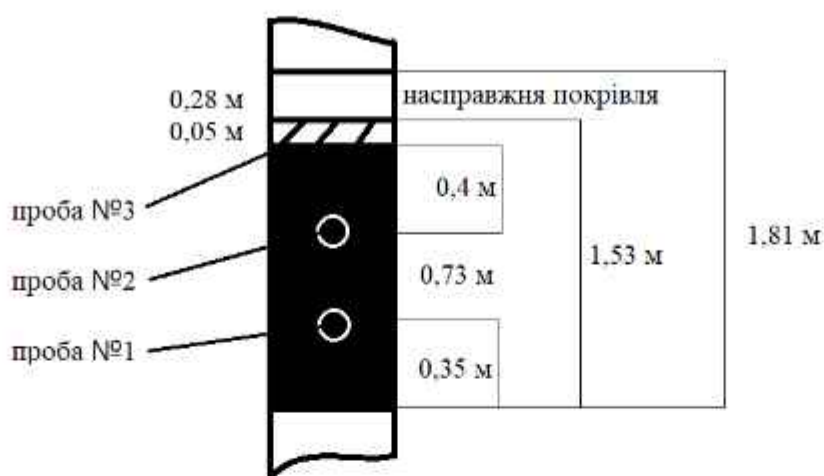


Рисунок 7 – Схема відбору проб вугілля для досліджень будови пласта

Встановлені характеристики вугілля  $N^a$  – концентрація парамагнітних центрів і  $\Delta H$  – ширина сигналу (табл. 1) дозволили встановити, що найбільш інформативними є проби №2 і №3.

Таблиця 1 – Встановлені опорні значення структурних характеристик вугілля пласта  $m_3$  «Товстий-захід»

Характеристики вугілля	Проба 1	Проба 2	Проба 3
$N^a$	3,6	3,8	2,5
$\Delta H$	6,17	6,25	6,49

Надалі, за посуванням очисного вибою, було відібрано проби на відмітках 41,5 м, 42,2 м 42,9 м та 53,0 м (рис. 8).

Відібрані проби вугілля для подальшого дослідження були передані до ІГТМ НАН України. Такі ж самі дослідження необхідно зробити по контуру порожнини на наступній панелі №15.

Для проведення додаткових досліджень і встановлення прогнозної зони впливу геологічного порушення, а також уточнення причин ініціювання ГДЯ, прийнято рішення щодо відбирання зразків вугілля і відправлення їх для подальшого дослідження до ІГТМ НАН України. Дослідження проб вугілля №1-7, відібраних у кутковій частині лави з місця викиду, виконано у Лабораторії досліджень структурних змін гірських порід ІГТМ НАНУ (рис. 9).

Співробітниками лабораторії за спеціальною методикою [5, 6], було встановлено значення коефіцієнтів порушення вугілля ( $K_{нс}$ ), які характеризують стан вугільного пласта у напружено-деформованій зоні плікативного порушення пласта.

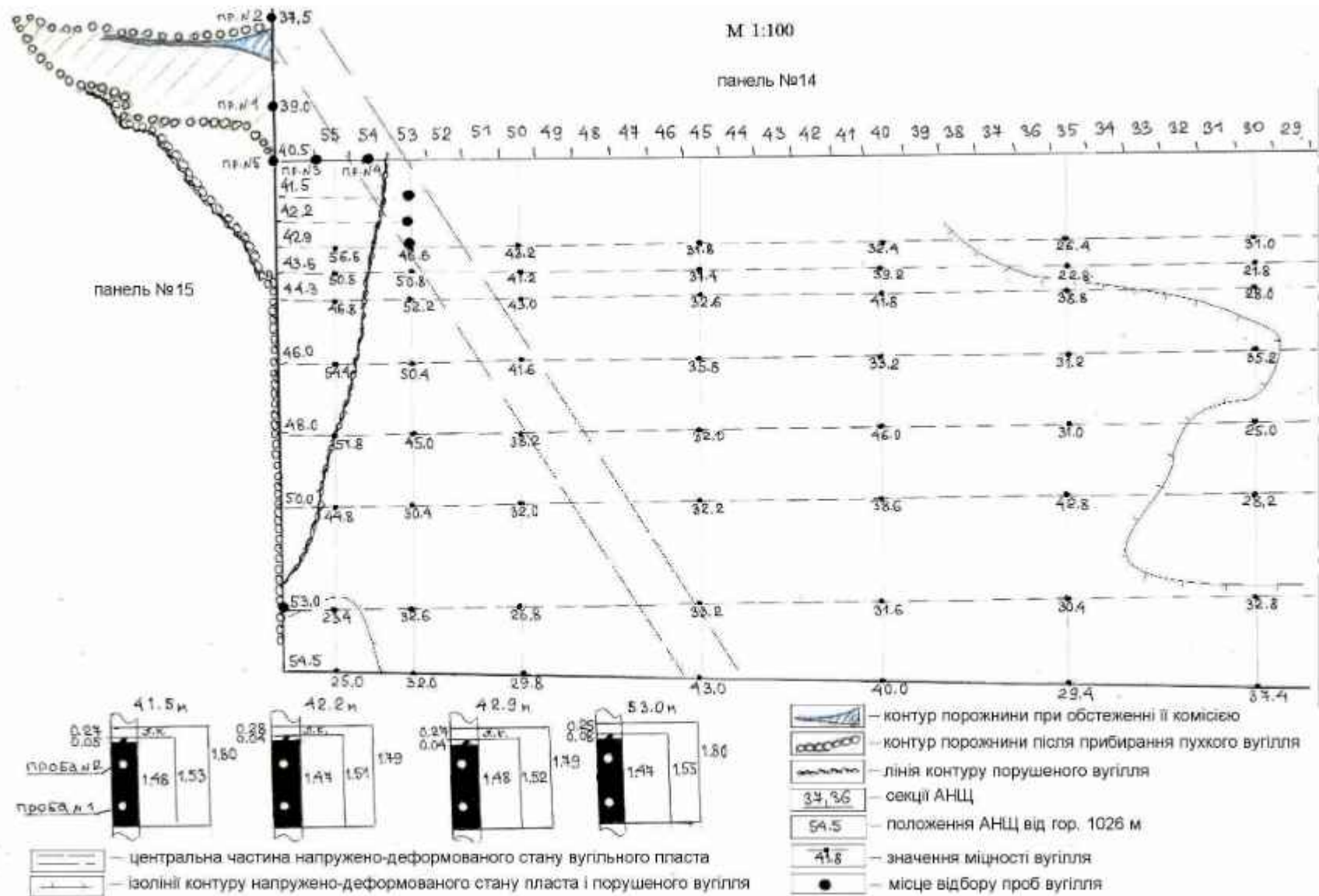


Рисунок 8 – Ескіз зони вимірювань міцності вугілля, відбору проб та встановлення можливого контуру ГДЯ на панелі №14 дільниці № 42-1146 м, панель 15 - недосліджена зона

Місця відбору проб по лаві №42-1146 на 25.06.19 р. І зміна

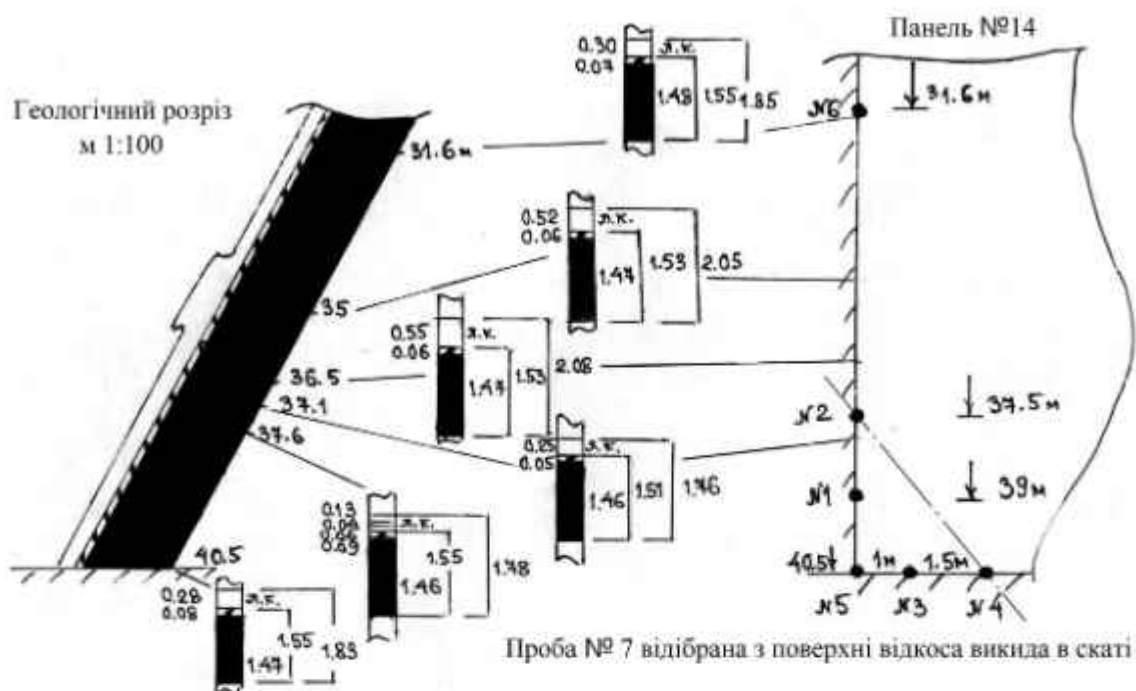


Рисунок 9 – Зарисовка по лаві №42-1146 з місцем відбору проб вугілля

На підставі аналізу отриманих результатів встановлено, що у кутку лави, де проби №1, 5 і 3 взято зі зруйнованого масиву,  $K_{не}$  складає 2,6 - 2,8 %. Такий же коефіцієнт порушення вугілля встановлено у пробі №6  $K_{не}=2,6\%$ . У пробі №2  $K_{не}=3,2\%$ , пробі №4  $K_{не}=4,6\%$ , а у пробі №7, відібраної з поверхні укосу викиду,  $K_{не}=2,4\%$ .

Як бачимо, максимальні значення коефіцієнтів порушення вугілля встановлено у пробі №2 і у пробі №4. Тому у напрямку лінії з'єднання цих проб у вугільному пласті буде проходити центральна частина порушеної напружено-деформованої зони (рис. 8). Верхня частина зони порушеного вугілля (проби 5, 1, 2, 6) знаходиться на суміжній панелі №15, а нижня – йде вглиб лави по падінню пласта, за місцями відбору проб №5, №3, №4. Подальші дослідження щодо встановлення контуру порожнини від ГДЯ у лаві та роботи на суміжній панелі №15 дозволять встановити напрям розвитку порушення.

Враховуючи той факт, що за умови буріння випереджувальних шпурів у розрахунковій прогностичній зоні ознак геологічного порушення насувного характеру не встановлено, було запропоновано провести додаткові дослідження.

Відповідно до п. 6.3.2 «Правил ...» [1] за допомогою міцностимеру П-1 було виконано роботи зі встановлення міцності вугілля від кутка лави до секції №30. Встановлені середні значення заглиблення наконечника також наведено на рисунку 8.

Отримані результати дозволили зробити наступні **висновки**.

По перше, при виїмці вугілля у лаві ознак розривного геологічного порушення, встановленого у квершпазі №14 гор. 1026 м, не виявлено.

Встановлено частину контуру порожнини викиду вугілля та зона порушеного вугілля, у який встановлені межі контуру і центральна частина напружено-деформованої зони вугільного пласта, що знаходиться у межах плікративного порушення пласта від розривного геологічного порушення у прогнозованій зоні його впливу на панелі №14.

По друге, вугільний пласт за його падінням на відмітці 41,0 м від вентиляційного горизонту від кутка лави до секції № 40, знаходиться у зоні напружено-деформованого стану. Центральна частина напружено-деформованої зони знаходиться у межах секцій №55-53 і далі вглиб масиву панелі №14. Встановлений контур порушеного вугілля починається з секції №53 панелі №14 і закінчується у кутку лави на відмітці 49 метрів від гор. 1026 м. Подальша частина порожнини ГДЯ, заповнена пухким вугіллям, знаходиться у суміжній панелі №15. Розміри цієї зони можуть бути встановлені при подальшому веденні гірничих робіт.

### **3.6 Чинники ризику, що привели до аварійного стану ділянки**

Виходячи з результатів досліджень (див. рис. 8), до раптового викиду вугілля і газу призвели наступні чинники:

- робота в не прогнозованій зоні плікративно-порушеного вугільного пласта;
- різкий перерозподіл напружень у вуглепородному масиві при зарубці струга у вугільний пласт у кутковій частині лави, яка знаходилась у центральній частині порушеної (напружено-деформованої) зони.

Технологічною та організаційною причинами, що призвели до нещасного випадку (аварії) були:

- недосконалість технологічного процесу та його невідповідність вимогам безпеки;
- порушення вимог безпеки під час експлуатації обладнання, устаткування, машин, механізмів тощо (перебування потерпілих у небезпечній зоні).

Окрім цього, гірничо-геологічні умови, що склалися у цей час на ділянці (див. рис. 1), дозволяють зазначити наступне. Відповідно до фізико-механічних властивостей гірських порід [11] крок обрушення безпосередньої покрівлі пласта складає 4-8 м, а основної, відповідно до довжини лави 50 метрів, 45-60 метрів. Таким чином, в умовах, що склались, при віддаленні від вентиляційного горизонту на 41 м, куткова частина лави знаходилась не тільки у центральній частині плікративно-порушеної зони вугільного пласта, а й у зоні з критичним значенням розмірів консолі затискання. В умовах відпрацювання пласта, як одинарного, це є суттєвим додатковим чинником підвищення напружено-деформованого стану вугільного пласта і ініціювання ГДЯ. Слід додати, що в умовах відробки крутих вугільних пластів щитовими агрегатами локальних способів запобігання ГДЯ не існує.

Надалі, при відпрацюванні вугільного пласта до відмітки 59,0 м, зависання консолі затискання призвело до відсутності обрушення основній покрівлі пласта і перекриття виробленого простору над щитовим агрегатом. Тому частина свіжого повітря, яке повинне подаватися у лаву, внаслідок його

переміщення через вироблений простір у напрямку горизонту 1026 м, значно зменшилося. Одночасно зі збільшенням гірського тиску на вугільний пласт, який на вищому горизонті 1026 м не відпрацьовано, посилилось його руйнування й осипання до виробленого простору. Наявність порушеного вугілля і збільшення кількості свіжого повітря у виробленому просторі призвело до самозаймання вугілля на дільниці.

#### **4 Висновки**

На підставі аналізу технічної і контрольної-облікової документації, роботи системи ЗУА-98 і апаратури контролю вмісту метану у повітрі виробок, гірничо-геологічних та технологічних умов, що склалися на дільниці, розглянуто стан охорони праці і робочого простору на виїмковій дільниці № 42-1146 м пласта  $m_3$  «Говстий-захід» ВП «Шахта «Центральна» ДП «Торецьквугілля». Встановлено причини і чинники, які при відпрацюванні крутого вугільного пласта щитовим агрегатом у складних гірничо-геологічних умовах у сукупності з порушеннями правил безпеки привели до аварійного стану виїмкової дільниці.

1. Встановлено, що до раптового викиду вугілля й газу з тяжкими наслідками призвели:

- робота у не прогнозованій зоні плікративно-порушеного вугільного пласта;
- різкий перерозподіл напружень у вуглепородному масиві під час зарубки струга до вугільного пласту у кутковій частині лави, яка знаходилась у центральній частині порушеної (напружено-деформованої) зони;

- експлуатація системи ЗУА-98 з рівнем акустичних та електричних перешкод, що перевищує допустимий згідно з технічними умовами використання апаратури;

- відсутність локальних способів запобігання ГДЯ у щитових лавах.

2. Причиною нещасного випадку з тяжкими наслідками стало порушення вимог правил безпеки експлуатації щитового агрегату і перебування потерпілого в небезпечній зоні.

3. До пожежі на дільниці призвело самозаймання вугілля після його руйнування і осипання до виробленого простору з горизонту 1026 м, який не відпрацьовано, збільшення виробленого простору і повітря у завальній частині щитової лави. Умовою ініціювання саморуйнування вугілля на невідпрацьованому горизонті 1026 м стала відсутність обвалення основної покрівлі пласта і низька швидкість посування очисного вибою.

4. Рекомендовано:

- продовжити дослідження структури вугільного пласта, встановлення контуру порожнини від ГДЯ і порушеного вугілля на суміжній панелі №15, що дозволить встановити напрям розвитку геологічного порушення на гор. 1146 м;

- розглянути можливість розробки локальних способів запобігання ГДЯ у щитових лавах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. СОУ 10.1.001740088-2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ. Затв. Мінвуглепромом України / Київ.: Мінвуглепром України, 2005. 225 с.
2. 5. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. [Дійсн. від 22.03.2010]. Офіційне видання. Київ: Основа, 2010. 212 с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
3. НПАОП 10.0-5.01-04. Інструкція зі складання планів ліквідації аварій. До п. 1.1.12 Правил безпеки у вугільних шахтах.: Затв. наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.10.2004р. № 236. Київ.: Мінвуглепром України, 2004. 21 с.
4. Временное руководство по оборудованию и эксплуатации систем аэрогазового контроля в угольных шахтах. Киев: Министерство угольной промышленности СССР, 1991.
5. КД 12.06.204–99. Геологічні роботи на вуглевидобувних підприємствах України. Донецьк: Мінпаливенерго України, 2001. 384 с.
6. Булат А.Ф., Яценко И.А., Баранов В.А. Влияние условий формирования угольных месторождений и горно-геологических условий на безопасность работ в шахтах // Уголь Украины. 2017. №11-12. С. 30-38.
7. Булат А.Ф., Яценко И.А., Баранов В.А. Влияние нарушенных зон на безопасность работ в угольной отрасли Украины // Уголь Украины. 2018. №4-5. С. 11-23.
8. Малышев, Ю.Н., Трубецкой К.К., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. М.: Из-во Академии горных наук, 2000. 519 с.
9. Минеев, С.П., Прусова А.А., Корнилов М.Г. Активация десорбции метана в угольных пластах / Под ред. С.П. Минеева. Днепропетровск: «Вебер» (Днепропетровское отделение), 2007. 252 с.
10. Соболев В.В., Поляшов А.С., Зберовский В.В., Ангеловский А.А., Чугунков И.А. Система уголь-газ в углеводородах угольного генезиса. Днепропетровск, АРТ-ПРЕСС, 2013. 248 с.
11. Н. А. Шаповал и др. Крутые и крутонаклонные угольные пласты. Управление горным давлением и крепление в очистных и подготовительных выработках на больших глубинах. Методика. М-во угольной промышленности Украины, Гос. открытое акционерное общество «ДонНИИ». Горловка: Горловская типография, 1997. 240 с.

## REFERENCES

1. The Ministry of Coal Industry of Ukraine (2005), *SOU 10.1.001740088-2005. Pravyly vedennia girnychykh robit na plastakh, skhylnykh do gazodynamichnykh javysch* [SOU 10.1.001740088-2005. Rules mining operations at the seams prone to gas-dynamic phenomena], Kyiv, Ukraine.
2. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10 Pravyly bezpeky u vugilnykh shakhtakh* [NLA 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Osnova, Kiev, UA.
3. The Ministry of Coal Industry of Ukraine (2004), *DNAOP 10.0-5.01-04. Instrukttsiia zi skladannia planiv likvidatsii avarii. Do p. 1.1.12 Pravyly bezpeky u vuhilnykh shakhtakh*. [DNAOP 10.0-5.01-04. Manual for preparation of emergency response plans], Kyiv, Ukraine.
4. The Ministry of coal industry of the USSR (1991). *Tymchasove kerivnytstvo po obladnannyu ta ekspluatatsii system aérohazovoho kontrolyu u vuhilnykh shakhtakh*. [Interim guidance on the equipment and operation of aerogas control systems in coal mines], Kyiv, SU.
5. The Ministry of fuel and energy of Ukraine (2001), *12.06.204–99. Heolohichni roboty na vuhlevydobuvnykh pidpriemstvakh Ukrainy. Konstruktorska dokumentatsiia* [12.06.204–99. Geological work in the coal-mining enterprises of Ukraine. Design documentation], The Ministry of fuel and energy of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
6. Bulat, A. F., Yashchenko, I. A. and Baranov, V. A. (2017), "Influence of conditions of formation of coal deposits and geological conditions on safety in mines", *Coal of Ukraine*, 2017, no. 11-12. Pp. 30-38.
7. Bulat, A. F., Yashchenko, I. A. and Baranov, V. A. (2018), "The Influence of disturbed zones on the safety of work in coal industry of Ukraine", *Coal Ukraine*, 2018, no. 4-5. Pp. 11-23.
8. Malyshev, Yu. N., Troubetzkoy, K. N. and Airuni, A. T. (2000), *Fundamentalno prykladni metody vyrishennia problemy metanu vuhilnykh plastiv* [Fundamentally applied methods of solving the problem of coalbed methane], Academy of mining Sciences, Moscow, RU.
9. Minieiev, S. P., Prusova, A.A. and Kornilov, N.G. (2007), *Aktyvatsiia desorbtsii metanu v vuhilnykh plastakh* [Activation of methane desorption in coal seams], Weber, Dnipropetrovsk, Ukraine.
10. Sobolev, V.V., ashov, A.S., Zberovskiy, V.V., Anhelovskiy, A.A. and Chuhunkov, I.F (2013), *Systema vuhillia-gaz v vuhlevodniakh vuhilnoho henezysu* [The system coal-gas in the hydrocarbons of the coal Genesis], Art-Press, Dnipropetrovsk, , Ukraine.
11. Shapoval, N. A. (1997), *Kruti i krutopokhyli vuhilni plasty. Upravlinnia hirslym tyskom i kriplennia v ochysnykh i pidhotovchykh vyrobkakh na velykykh hlybynakh* [Steep and steeply inclined coal seams. Management of mountain pressure and mount in clearing and preparatory mine workings at great depths], Gorlovskaya printing house, Gorlovka, Ukraine.

## Про авторів

**Зберовський Василь Владиславович**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник відділу проблем технології підземної розробки вугільних родовищ, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, [avalansh@ua.fm](mailto:avalansh@ua.fm)



**Агаєв Руслан Агагулович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу проблем технології підземної розробки вугільних родовищ, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, [igtmddep16@gmail.com](mailto:igtmddep16@gmail.com)

**Софійський Костянтин Костянтинович**, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу проблем технології підземної розробки вугільних родовищ, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, [igtmddep16@gmail.com](mailto:igtmddep16@gmail.com)

**Деглін Борис Моїсєєвич**, кандидат технічних наук, Державне підприємство Науково технічний центр «Вуглеінновація», Київ, Україна

**Юхименко Володимир Анатолійович**, магістр, генеральний директор, Державне підприємство «Торецьквугілля», Торецьк, Україна

#### About the authors

**Zberovskiy Vasyl Vladyslavovych**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher in the Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [avalansh@ua.fm](mailto:avalansh@ua.fm)

**Ahaiev Ruslan Agaguluievych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher in Department of Underground Coal Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [igtmddep16@gmail.com](mailto:igtmddep16@gmail.com)

**Sofiiskiy Kostiantyn Kostiantynovych**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of the Department of Underground Coal Mining, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [igtmddep16@gmail.com](mailto:igtmddep16@gmail.com)

**Deglin Borys Moiseevych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), State Enterprise "Scientific and Technical Center "Coal Innovation", Kyiv, Ukraine

**Yukhymenko Volodymyr Anatoliiovych**, Master of Science, General Director, State Enterprise "Toretskvuhillya", Toretsk, Ukraine

**Аннотация.** Рассмотрены обстоятельства и факторы, которые привели к снижению уровня безопасности труда и аварийному состоянию участка на примере анализа результатов исследований причин несчастного случая, который произошел при внезапном выбросе угля и газа в лаве выемочного участка № 42-1146 м пласта  $m_2$  «Толстый-запад» ОП «Шахта «Центральная» ГП «Торецкуголь». В работе рассмотрено состояние оборудования и его расположение на участке в соответствии с требованиями правил безопасности, данные приборов по контролю газодинамического состояния угольного пласта и работы щитового агрегата. Исследованы: горно-геологические условия залегания пласта и технологические условия расположения участка в пределах отрабатываемого горизонта; содержание метана в воздухе выработок участка, изменение физико-механических свойств угля в зоне возможного геологического нарушения; результаты контроля газодинамического состояния пласта по параметрам акустической эмиссии и другие факторы риска, приводящие к возникновению аварийных ситуаций. Выполнен анализ принятых решений по контролю возможной зоны влияния геологического нарушения, которое было установлено на горизонтах 916 м и 1026 м по горно-графическим материалам и данным геологических обследований горных выработок, прилегающих к панели №14 участка 42-1146 м. Рассмотрен порядок и последовательность выполнения работ по ликвидации последствий внезапного выброса угля и газа и установлению зоны нарушения угля и полости выброса. На основании полученных результатов сделаны выводы и установлены меры по предотвращению несчастных случаев при отработке крутых выбросоопасных угольных пластов щитовыми агрегатами. Рекомендовано продолжить научные исследования с целью установления зоны возможного влияния разрывного геологического нарушения и пикативных возбужденных зон угольного пласта по изменению прочности угля на смежной панели, а также возможности разработки локальных мероприятий по предотвращению газодинамических явлений при отработке крутых выбросоопасных пластов щитовыми агрегатами. Цель работы - анализ рабочего пространства и безопасности труда, исследования обстоятельств и факторов, которые привели к несчастному случаю с тяжелыми последствиями и аварийному состоянию выемочного участка.

**Ключевые слова:** выброс угля и газа, щитовой агрегат, причины и последствия аварии, прочность угля, аппаратура газового контроля, импульсы акустической эмиссии

**Annotation.** In this article, circumstances and factors which can lead to a degraded labour protection and occurrence of emergency in a district are reviewed and analyzed on the example of an accident occurred at sudden coal-and-gas outburst in the panel face № 42-1146 m of the Tovsty-Zakhid seam  $m_2$  in the Central Mine of the Toretskvuhillya Mining Company. In this article, state of equipment and its location in the district in accordance with the requirements of the safety rules, records of devices which monitor gas-dynamic state of the coal seam and operation of the shield aggregate are considered. Mining and geological conditions of the seam bedding and technological conditions of the district location within the working horizon; methane content in the air of the roadways in the district; change of

coal physical and mechanical properties in the area of possible geological disturbance; results of control of the coal seam gas-dynamic state analyzed by acoustic emission parameters; and other risk factors that led to emergencies were studied. The decisions made for controlling possible area with geological disturbance impact which was detected in the horizons of 916 m and 1026 m on the basis of mining-graphic materials and data of geological study in the mining roadways adjacent to the panel No. 14 in the district 42-1146 m were analyzed. The order and sequence of the works established for eliminating consequences of the coal and gas sudden outburst and detecting zone with disturbed coal and outburst cavity were considered. On the basis of the results obtained, conclusions were made and actions were elaborated on preventing accidents at mining steep prone-to-outburst coal seams by the shield aggregates. It is recommended to continue the scientific research for the purpose of detecting zone with possible impact of discontinuous geological disturbance and plicate disturbed zones in the coal seams by the changed hardness of coal in the adjacent panel, and developing certain local measures on preventing gas-dynamic phenomena at mining steep prone-to-outburst seams by the shield aggregates. The objective of this work was to analyze state of the working area and labor protection and to study the conditions and factors which had led to the accident with serious consequences and emergency condition of the panel.

**Keywords:** coal and gas outburst, shield aggregate, causes and consequences of accident, coal hardness, gas control equipment, acoustic emission pulses

*Стаття надійшла до редакції 30.04. 2020*

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук С.П. Міняєвим*