

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет Гірничо-металургійний

Кафедра Гірничої справи

Кваліфікаційна робота
допущена до захисту Гарант
освітньої програми

«Новітні технології розробки родовищ корисних
копалин»

Каменець В.І.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання освітньої програми

«Новітні технології розробки родовищ корисних копалин»

за спеціальністю 184 Гірництво

На тему: «Дослідження неоднорідностей метановиділення в
очисних вибоях ПРАТ «ШУ «Покровське» і розробка методики
адаптивного керування плановим навантаженням».

Керівник Сахно І.Г.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант від

бази практики Белан О.М.

(прізвище та ініціали) (підпис)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело*

Здобувач

Акулич А.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1.ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА, ЯК ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	6
1.1 Розташування шахтного поля.....	6
1.2 Геологічні дані.....	6
1.3 Виробничі процеси.....	7
2. АНАЛІЗ КЕЙСІВ АВАРІЙНИХ І ПЕРЕДАВАРІЙНИХ ЗУПИНОК В ЗОНАХ ВПЛИВУ ГЕОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ В УМОВАХ ПІДПРИЄМСТВА.....	9
2.1 Геологічні умови очисних вибоїв при аварійних зупинках.....	9
2.2 Аварійна ситуація у 2-ій північній лаві центральної панелі блоку 8.....	12
2.3 Аварійна ситуація у 5-ій південній лаві центральної панелі блоку 8.....	15
2.4 Висновки комісії з розслідування аварій та рекомендації галузевих інститутів	17
2.5 Аналіз галузевим інститутом ступеню небезпеки схем провітрювання, що застосовуються на підприємстві	23
3. АНАЛІЗ СВІТОВИХ ПРАКТИК ВРАХУВАННЯ НЕОДНОРІДНОСТІ ГАЗОВИДІЛЕННЯ В ЗОНАХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ.....	27
3.1 Нормативна база щодо припустимих концентрацій метану у різних країнах світу. Контроль концентрацій метану	27
3.2 Гірничо – геологічні умови при роботі шахт у США.....	29
3.3 Гірничо – геологічні умови при роботі шахт у Австралії.....	30
3.4 Безпека ведення робіт у високо метанових шахтах В'єтнаму.....	32
3.5 Розрахунок та керування метановиділенням на шахтах Германії...33	33
3.6 Гірничо – геологічні умови та нормативна база щодо метановиділення у Польщі.....	36

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ МЕТАНОВИДІЛЕННЯ В ВИЇМКОВИХ ДІЛЬНИЦЯХ ПРАТ «ШАХТОУПРАВЛІННЯ «ПОКРОВСЬКЕ» В ЗОНАХ З ГЕОЛОГІЧНИМИ ПОРУШЕННЯМИ І РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНОГО ДІАПАЗОНУ ВУГЛЕВИДОБУТКУ...	43
4.1 Аналіз гірничо – геологічних умов та показників роботи очисного вибою на пласті малої потужності	43
4.2 Аналіз гірничо – геологічних умов та показників роботи очисного вибою на пласті середньої потужності	48
4.3 Аналіз взаємозв'язку показників виділення метану та гірничо – геологічних умов на пласті малої та середньої потужності	52
4.4 Аналіз врахування гірничо – геологічних умов при виконанні розрахунку навантаження на очисний вибій за газовим фактором....	54
4.5 Методика розрахунку оптимального діапазону вуглевидобутку у зонах гірничо – геологічних порушень.....	60
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	64
5.1 Місця контролю метану у зонах гірничо – геологічних порушень при роботі очисних вибоїв	64
5.2 Додаткові заходи з попередження газодинамічних явищ при веденні очисних робіт у зоні гірничо – геологічного порушення..	66
5.3 Заходи безпеки з уникнення фрикційного іскріння	69
5.4 Організаційно – технічні заходи при веденні робіт у зоні геологічного порушення.....	70
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	75

ВСТУП

Питання об'єктивного планування показників виробництва з урахуванням усіх можливих факторів впливу є актуальним для роботи кожного вугільного підприємства. Основною структурною одиницею яка визначає обсяги виробництва шахти є очисний вибій.

Гірничо – геологічні умови очисного вибою мають безпосередній вплив на добове навантаження, як на етапі планування, так і на етапі роботи. До цих показників відносяться потужність пласта, та діапазон її зміни, властивості порід, що вміщують вугільний пласт, наявність гірничо – геологічних порушень. При чому вони мають вплив як на рівень навантаження за технічним фактором, так і за газовим, можуть призвести до вимушеної тимчасової зупинки роботи, вказати на необхідність виконання додаткових заходів.

Гірничо – геологічні порушення можуть бути як прогнозованими, вплив яких можна врахувати ще на етапі проектування, так і непрогнозованими, які проявляються вже безпосередньо при роботі очисного вибою. При цьому не завжди робота у зоні порушення супроводжується підвищенням виділення метану, а у окремих випадках – підвищення виділення метану може навпаки відбуватись ще до початку роботи у зоні порушення та деякий час після завершення переходу зони гірничо – геологічного порушення.

Змін та коливань зазнають й показники виділення метану, які безпосередньо пов'язані з процесом видобутку, адже нерівномірність виділення метану має значний вплив на показники видобутку, особливо на таких високогазоносних пластах, як на ПрАТ «ШУ «Покровське».

У багатьох наукових роботах було розглянуто та позначено взаємний вплив гірничо – геологічних умов роботи та виділення метану - з пласта, з порід покрівлі та підшви, з виробленого простору, помічено зростання виділення метану у зонах геологічних порушень. Проте

окремої методики планування оптимального діапазону вуглевидобутку з урахуванням зон порушень не має.

В даній роботі виконані дослідження, обробка інформації, й на підставі фактичних показників видобутку та виділення метану, з урахуванням впливу гірничо – геологічних умов розроблено алгоритм планування оптимального видобутку з очисного вибою.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА, ЯК ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Розташування шахтного поля

ПрАТ «ШУ «Покровське» згідно адміністративного розподілу відноситься до Покровського району, сама територія – до Красноармійського – Західного вугленосного району.

Розміри шахтного поля за простяганням становлять 19 км, за падінням 13 км.

Транспортна мережа представлена залізничними та автомобільними шляхами.

За топографічним розподілом місцевість розташування шахти є степовим простором, що розділений мережею балок, за орфографічним розподілом – слабопагорбна рівнина [1].

1.2 Геологічні дані

Шахтне поле розташовано у межах схилу Українського кристалічного масиву і південного борта Донецького прогину, між Криворізько – Павлівським скиданням, з амплітудою зсуву до 1 км, на заході, та Котлинським насувом, з амплітудою зсуву до 250 метрів, на сході [1].

До глибини 1000 метрів поле шахти має складну геологічну будову, а при глибині більше 1000 метрів – дуже складну геологічну будову.

Шахта розробляє вугільний пласт d₄, який має промислове значення у межах родовища, вугілля відноситься до коксівних (марка К). Будова пласта у різних частинах шахтного поля є як простою, так і складною, з діапазоном зміни потужності від 0,6 м до 2,54 м, та середнім

значенням 1,47 м. В цілому пласт вважається відносно витриманим за потужністю [1].

У породах покрівлі та підшви вугільного пласта в основному залягають алевроліти (малостійкі та нестійкі), пісковики (стійкі та малостійкі) та аргіліти (нестійкі). З урахуванням властивостей порід у зона геологічних порушень можливі вивали порід на висоту до 4 – 6 метрів.

Кут падіння пласта становить від 2 градусів до 12 градусів, середнє значення 3 – 4 градуси.

Водопритлив у гірничі виробки досягає до 302 м³/годину, шахтна вода є сильно агресивною до сталевих конструкцій [1].

1.3 Виробничі процеси

Основними виробничими процесами підприємства є видобуток вугілля та проведення гірничих виробок для розкриття та підготовки нових запасів для подальшого відпрацювання.

Видобуток вугілля здійснюється у комплексно - механізованих очисних вибоях, з застосуванням наступного обладнання – механізовані комплекси типу МКЮ, ДМ, Glinik, ДТ; очисні комбайни типу МВ-410, JOY4LS20; скребкові лавні конвеєри типу СЗК-228/800, СЗК-260/852; підлавні конвеєри типу PZF [1].

Виймання вугілля здійснюється за човниковою або одnobічною схемою виймання, у залежності від показників прогнозу викидонебезпечності.

При роботі очисних вибоїв для боротьби з підвищеним метановиділенням застосовується ізольоване відведення метану по трубопроводам діаметром 1200 мм з застосуванням газовідсмоктуючих установок типу ВМЦГ-7М та УВЦГ-9, виконується дегазація пластів – супутників та виробленого простору [1].

Проведення виробок здійснюється комбайновим та буропідливним способами. При комбайновому способі застосовуються комбайни типу КСП-42, КСП-43, EBZ-260H, при буропідливному способі машини типу БПР, 2ПНБ-2Б, МПК-1600, УБШ. Провітрювання підготовчих виробок здійснюється за допомогою вентиляторів ВМЕ 2-8, ВМЕ 2-10, ВМЕ-12 по вентиляційним трубопроводам діаметром 1000 та 1200 мм.

Транспортування гірничої маси по загальношахтним гірничим виробкам здійснюється стрічковими конвеєрами типу 2ЛТ-100, 1Л-120 спеціалізованими ділянцями конвеєрного транспорту [1].

Перевезення матеріалів та обладнання, доставка людей здійснюється спеціалізованими ділянцям шахтного транспорту за допомогою рейкового транспорту по горизонтальним магістральним виробкам, та за допомогою підвісних дизелевозів типу DLZ110F, DLZ130F монорейковими підвісними шляхам по ділянчим горизонтальним виробкам та магістральним похилим виробкам [1].

Спосіб провітрювання на шахті всмоктуючий, схема провітрювання – комбінована. Застосовуються наступні типи головних вентиляторних установок: ВЦД-47,5У на головному стволі, ВЦД-31.5М на вентиляційному стволі, ВЦД-47,5У , на скипово – вентиляційному стволі №2, DY TDR 329 3TD8A на вентиляційному стволі №3 [1].

2. АНАЛІЗ КЕЙСІВ АВАРІЙНИХ І ПЕРЕДАВАРІЙНИХ ЗУПИНОК В ЗОНАХ ВПЛИВУ ГЕОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ В УМОВАХ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Геологічні умови очисних вибоїв при аварійних зупинках

В даному розділі виконано опис гірничо – геологічних умов роботи різних очисних вибоїв на час аварійних ситуацій, що мали місце на підприємстві, що дозволить зробити висновки взаємозв'язку цих показників з причинами виникнення аварій.

Дані зведено до таблиць 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Інформація про гірничо – геологічні умови очисних вибоїв, у яких сталися аварії

Назва лави	Дата виникнення аварії	Тип аварії	Наявність геологічних порушень у лаві на момент виникнення аварії	Безпосередня покрівля (тип порід та потужність)	Основна покрівля (тип порід та потужність)
1	2	3	4	5	6
7 південна лава блоку 10	12.08.2014	Вибух, ускладнений пожежею	відсутні	Алевроліт 0,5 – 2,5 м	Пісковик 10,5 – 18,3 м
7 південна «біс» лава блоку 10	25.08.2016	Вибух, ускладнений пожежею	непрогнозоване мілкоамплітудне порушення	Алевроліт 0,15 м	Пісковик 10,5 – 39 м
12 південна «біс» лава блоку 10	22.01.2018	Вибух, ускладнений пожежею	Локальний плікативний розмив вугільного пласта з залишковою потужністю 1,15 м, представлений алевролітом	Алевроліт 0,3 – 1,75 м	Пісковик 19,55 – 23,45 м

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
2 південна лава блоку 7	16.04.2018	Вибух, ускладнений пожежею	відсутні	Пісковик 4,2 – 4,7 м, з незначними включеннями алевроліту потужністю до 0,3 м	
11 південна лава блоку 10 (вентиляційний штрек)	27.03.2019	пожежа	Геологічне порушення типу зкид з амплітудою 0,35 м	Алевроліт 0,0 – 3,65 м	Пісковик 4,65 – 24,05 м
11 південна лава блоку 10	8.11.2019	Загазування (концентрація CO = 0,0019 %)	Геологічне порушення типу зкид з амплітудою 0,4 м	Алевроліт 0,0 – 3,65 м	Пісковик 4,65 – 24,05 м

Як бачимо з наведених у таблиці 2.1 даних основним типом порід безпосередньої покрівлі є алевроліт, основної покрівлі – пісковик, що є типовим для умов залягання пласта у межах шахтного поля.

Також у більшості випадків мала місце робота у зоні геологічних порушень, але, не саме геологічне порушення спричинило аварію, а стало лише супутнім фактором та вплинуло на підвищення метановиділення.

Таблиця 2.2 – Інформація про концентрації метану у вихідному струмені очисних вибоїв, у яких сталися аварії

Назва лави	Дата виникнення аварії	Тип аварії	Концентрація метану у вихідному струмені, %	
			До аварії	Після аварії
1	2	3	4	5
7 південна лава блоку 10	12.08.2014	Вибух, ускладнений пожежею	0,64	1,2 – 1,9
7 південна «біс» лава блоку 10	25.08.2016	Вибух, ускладнений пожежею	0,6 – 0,9	1,2 – 1,9
12 південна «біс» лава блоку 10	22.01.2018	Вибух, ускладнений пожежею	0,4 – 1,0	0,4 - 1,0

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
2 південна лава блоку 7	16.04.2018	Вибух, ускладнений пожежею	0,8 – 1,0	0,2
11 південна лава блоку 10 (вентиляційний штрек)	27.03.2019	пожежа	0,9 – 1,0	1,6
11 південна лава блоку 10	8.11.2019	Загазування	0,6	1,0

Як бачимо з наведених у таблиці 2.2 даних до моменту настання аварії перевищення концентрації метану у вихідному струмені не було, а вже після початку аварії та у ході її ліквідації концентрації в одних випадках перевищували припустимі в 1,5 – 2 рази, в інших – залишались на припустимому рівні.

А от виникнення вибухонебезпечних концентрацій метану, як про те свідчать матеріали щодо розслідування аварій, досить часто виникає унаслідок розкриття непрогнозованих геологічних порушень. Способи прогнозу та попередження таких явищ у нормативних документах не містяться, як про це було вказано в експертних висновках щодо аварії у 7-ій південній «біс» лаві блоку 10.

У наступних підрозділах буде більш детально розглянуто дві аварії, що мали місце на підприємстві, – одна на пласті малої потужності, інша – на пласті середньої потужності, де, за висновками комісії, мав місце безпосередній зв'язок з роботою очисного вибою у зонах гірничо – геологічних порушень.

Так як і у нинішній час у різних частинах шахтного поля шахта відпрацьовує як очисні вибої на пласті малої потужності, так і на пласті середньої потужності, то такі напрямки розгляду є досить актуальними.

2.2 Аварійна ситуація у 2-ій північній лаві центральної панелі блоку 8

4 березня 2008 року на підприємстві, у 2-ій північній лаві центральної панелі блоку 8, стався спалах метано – повітряної суміші.

Лава була оснащена механізованим кріпленням MVPO-3200X, комбайном УКД-200/250, конвеєром СП-251, довжина лави складала 232 метри.

Виймання вугілля у лаві здійснювалось за човниковою схемою виймання.

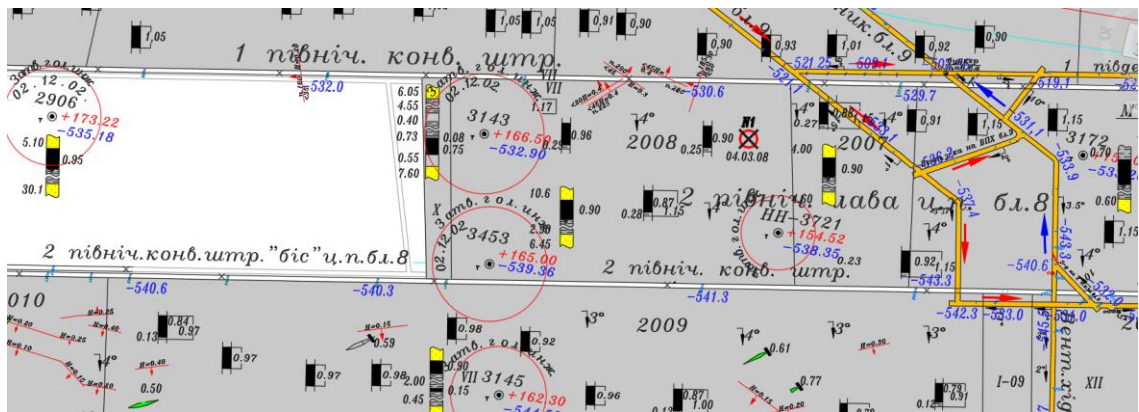


Рисунок 2.1 – Фрагмент плану гірничих робіт з розташуванням 2-ї північної лави центральної панелі блоку 8 (з позначенням місця аварії)

Вугільний пласт мав просту будову, коливання потужності знаходилось у діапазоні від 0,7 м до 1,44 м, при середньому значенні 0,92 м. Мінімальна потужність, що виймається, з урахуванням розташування обладнання становить не менше 1,15 м, що зумовлює постійне вимушене додаткове присікання порід, що вміщують вугільний пласт.

Природна метановість вугільного пласта складає 15 – 20 куб.м./т.с.б.м. Підвищене виділення метану відбувається з пісковиків, що залягають у покрівлі та підшві, та з пластів – супутників, що залягають у покрівлі пласта.

Вугільний пласт на полі виїмкової ділянки віднесено до небезпечного за раптовими викидами вугілля та газу, до самозаймання не схильний, небезпечний за пилом. Пісковики є небезпечними за раптовими викидами. Лава безпечна за проривами метану з підшви та її руйнуванням.

Крок обвалення порід основної покрівлі становить 10 – 15 метрів, порід безпосередньої покрівлі 1 – 3 метри.

На площі виїмкового поля присутні серії мілкоамплітудних тектонічних порушень, розмиви пласта.

Опис порід покрівлі та підшви приведено у таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Опис порід покрівлі та підшви при відпрацюванні 2-ї північної лави центральної панелі блоку 8

Найменування показника	Значення показника
Породи основної покрівлі	
- Тип порід	пісковик
- Потужність порід, м	4,0 – 10,15
- Міцність порід	4,6 - 12
Породи безпосередньої покрівлі	
- Тип порід	алевроліт
- Потужність порід, м	0,0 – 3,0
- Міцність порід	3,4 – 6,3
Породи основної підшви	
- Тип порід	пісковик
- Потужність порід, м	5,1 – 29,4
- Міцність порід	5,0 – 8,6
Породи безпосередньої підшви	
- Тип порід	алевроліт
- Потужність порід, м	0,0 – 1,4
- Міцність порід	3,2 – 4,1

Схема провітрювання прямоточна, з підсвіженням вихідного струменя повітря. На дільницю з видобутку подавалось 1050 м³/хвилину повітря при розрахунковому значенні 928 м³/хвилину, у очисний вибій 270 м³/хвилину при розрахунковому значенні 200 м³/хвилину.

Температура повітря у 2-ій північній лаві центральної панелі блоку 8 складала 22,7⁰С, у вихідному струмені повітря 23,2 ⁰С.

Контроль та виміри концентрацій метану, що виконувались інженерно – технічними працівниками дільниці, та показники апаратури аерогазового контролю не перевищували припустимих значень.

Під час ведення робіт з виймання вугілля у районі секції 151 з покрівлі випав негабаритний фрагмент пісковика та опинився на шляху руху комбайна. Під час роботи комбайна верхній шнек різцями потрапив на фрагмент пісковика, що спричинило іскріння тертя (фрикційне іскріння), коло правого шнеку відбувся спалах метану, що накопичився у куполі обрушення порід покрівлі.

Причини аварійної ситуації:

- 1) спалах метано – повітряної суміші, що відбувся в районі секцій 148 – 151;
- 2) вибухонебезпечна метаноповітряна суміш у вигляді шаровго скупчення, що утворилася у куполі обвалення порід покрівлі у зоні гірничо – геологічного порушення;
- 3) джерелом спалаху метано – повітряної суміші у лаві стало іскріння тертя (фрикційне іскріння), що спричинилось у результаті тертя зубків шнеку об фрагменти пісковика, що обвалився з порід покрівлі

Додаткові заходи, що були запропоновані комісією з розслідування аварії:

- 1) зони геологічних порушень з підвищеним виділенням метану віднести до небезпечних за раптовими скупченнями метану;

- 2) інженерно – технічним працівникам здійснювати контроль метану у куполах обвалення порід не рідше двох разів за зміну.

2.3 Аварійна ситуація у 5-ій південній лаві центральної панелі блоку 8

30 травня 2008 року на підприємстві, у 5-ій південній лаві центральної панелі блоку 8, стався спалах метано – повітряної суміші.

Лава була оснащена механізованим кріпленням МКЮ, двома комбайнами МВ-450, конвеєром СЗК-225/800, довжина лави складала 308 метрів.

Виймання вугілля у лаві здійснювалось за човниковою схемою виймання.

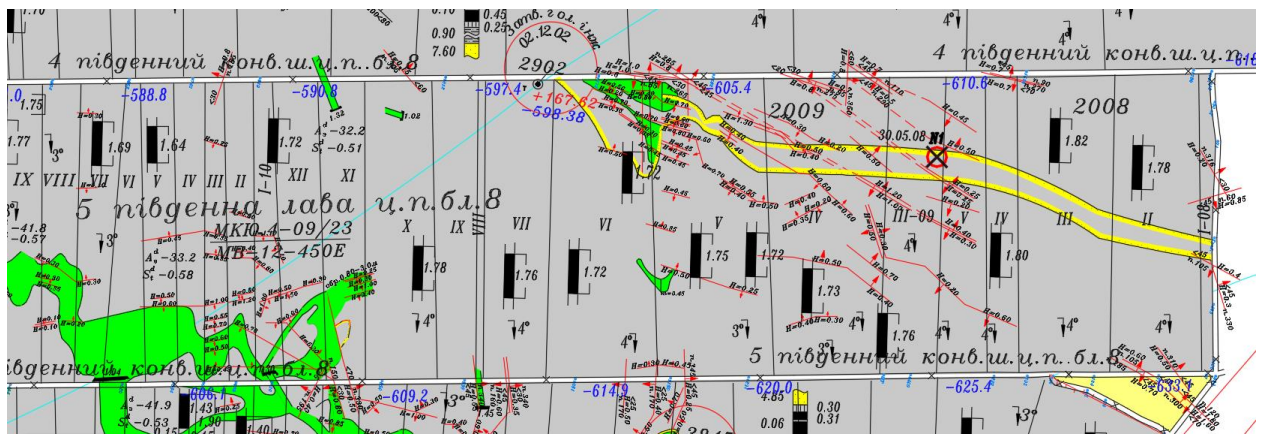


Рисунок 2.2 – Фрагмент плану гірничих робіт з розташуванням 5-ї південної лави центральної панелі блоку 8 (з позначенням місця аварії)

Вугільний пласт у межах дільниці має як просту, так і складну будову. Коливання потужності пласта знаходяться у діапазоні від 1,34 м до 2,04 м, з середнім значенням 1,75 м. У разі складної будови пласт складається з двох пачок, що розділені прошарком алевроліту потужністю 0,03 – 0,15 м.

Безпосередня покрівля пласта представлена алевролітом потужністю до 6,3 м, основна покрівля представлена пісковиком

потужністю 4,85 – 11,3 м. Безпосередня підшошва представлена алевролітом потужністю 0,4 – 1,2 м, основна підшошва представлена пісковиком потужністю 7,6 – 13,6 м.

На ділянці ведення очисних робіт мають розповсюдження мілкоамплітудні тектонічні порушення з амплітудами 0,2 – 1,3 м та розмиви з залишковою потужністю 0,8 – 1,3 м.

Вугільний пласт на полі виїмкової ділянці віднесено до небезпечного за раптовими викидами вугілля та газу, до самозаймання не схильний, небезпечний за пилом. Пісковики є небезпечними за раптовими викидами. Лава безпечна за проривами метану з підшошви та її руйнуванням. Для попередження раптових викидів застосовано сейсмоакустичний прогноз.

Схема провітрювання прямоточна, з підсвіженням вихідного струменя повітря. На ділянці з видобутку подавалось 2400 м³/хвилину повітря при розрахунковому значенні 2164 м³/хвилину, у очисній вибій 920 м³/хвилину при розрахунковому значенні 850 м³/хвилину.

Під час ведення робіт з виймання вугілля у районі секцій 137 – 138 відбувся спалах метаноповітряної суміші. Після цього роботи з видобутку були зупинені, припинено живлення енергоспоживачів.

На час аварії очисні роботи велись у зоні розвитку геологічних порушень, що представляли собою розмиви, які були ускладнені мілкоамплітудною тектонікою. Розмиви були заповнені нестійким тріщинуватим алевролітом. Під час ведення гірничих робіт алевроліт обвалюється на висоту до 1,0 м, при чому у порожнинах можливі шарові скупчення метану.

Причини аварійної ситуації:

- 1) спалах метано – повітряної суміші, що відбувся в районі секцій 137 – 138;

- 2) вибухонебезпечна метаноповітряна суміш у вигляді шаровго скупчення, що утворилася у куполі обвалення порід покрівлі у зоні гірничо – геологічного порушення;
- 3) джерелом спалаху метано – повітряної суміші у лаві стало іскріння тертя (фрикційне іскріння), що спричинилось у результаті тертя зубків шнеку об фрагменти пісковика, що обвалився з порід покрівлі.

Слід звернути увагу, що причини аварійної ситуації у цій лаві є аналогічними, що мали місце у раніше розглянутій 2-ій північній лаві центральної панелі блоку 8.

2.4 Висновки комісії з розслідування аварій та рекомендації галузевих інститутів

Під час розслідування обставин та встановлення причин аварій комісії розглядали наступні можливі джерела виникнення спалаху метану:

- 1) вибухові та вогневі роботи;
- 2) електрообладнання;
- 3) електростатичне іскріння;
- 4) саморятівники;
- 5) головні світильники та сигналізатори метану;
- 6) паління;
- 7) іскріння тертя (фрикційне іскріння).

Після розглядання усіх причин було встановлено, що причинами був спалах метано – повітряної суміші.

Додаткові заходи, що були запропоновані комісіями з розслідування аварій у 2-ій північній лаві центральної панелі блоку 8 та у 5-ій південній лаві центральної панелі блоку 8:

- 1) зони геологічних порушень з підвищеним виділенням метану віднести до небезпечних за шаровими скупченнями метану;
- 2) інженерно – технічним працівникам здійснювати контроль метану у куполах обвалення порід не рідше двох разів за зміну.

У таблиці 2.4 зведено висновки експертних комісій щодо аварій, які сталися на підприємстві у очисних вибоях.

Таблиця 2.4 – Висновки експертних комісій щодо аварій, які мали місце у очисних вибоях

Назва лави	Дата виникнення аварії	Тип аварії	Висновки експертних комісій щодо причин аварій
1	2	3	4
7 південна лава блоку 10	12.08.2014	Вибух, ускладнений пожежею	Знаходження між покрівлею та верхніми перекриттями секцій механізованого кріплення метано – повітряної суміші вибухонебезпечної концентрації, яка утворилась унаслідок надходження метану з тріщинуватого масиву та спалахнула через іскріння комбайнового кабелю під час його ремонту.
7 південна «біс» лава блоку 10	25.08.2016	Вибух, ускладнений пожежею	Формування скупчень вибухонебезпечної концентрації метану під покрівлею, поблизу завального огороження секцій механізованого кріплення на сполученні лави та вентиляційної виробки унаслідок розкриття непрогнозованого мілкоамплітудного геологічного порушення.
12 південна «біс» лава блоку 10	22.01.2018	Вибух, ускладнений пожежею	Формування скупчення метану з вибухонебезпечною концентрацією у куполі обвалення порід у районі секцій 48 – 50, у місці локального плікативного розмиву вугільного пласта, що було представлено алевролітом.
2 південна лава блоку 7	16.04.2018	Вибух, ускладнений пожежею	Спалах метано – повітряної суміші у виробленому просторі

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
11 південна лава блоку 10 (вентиляційний штрек)	27.03.2019	пожежа	Накопичення метану та утворення метаноповітряної суміші вогнебезпечної концентрації у тупиковій частині вентиляційного штреку 11-ї південної лави блоку 10, що не провітрюється (простір між бар'єрними перемичками)
11 південна лава блоку 10	8.11.2019	Загазування	Потрапляння через пробурену з поверхні свердловину у вироблений простір газу CO, яке відбулося унаслідок пошкодження дегазаційної свердловини, що була пробурена з поверхні

Майже у всіх випадках, як свідчать дані, наведені у таблиці 2.4, мало місце формування скупчення метану з вибухонебезпечною концентрацією.

Аналіз розподілу спалаху метану по довжині очисного вибою показує [8], що вибухонебезпечне метаноповітряне середовище може виникнути у будь – якій частині лави, як правило, в зонах з малою швидкістю повітря, коло виконавчих органів та у просторі між корпусом очисного комбайну та очисним вибоєм.

Значення концентрації метану та обсяг метану, що накопичився, залежать від наступних чинників [8]:

- 1) напрямок руху струменю повітря відносно напрямку виймання вугілля;
- 2) виділення метану під час роботи комбайну;
- 3) швидкість руху повітря коло комбайну;
- 4) величина вільного простору між корпусом комбайну та покрівлею виробки.

Дослідження [8] показали, що у разі руху комбайна, що співпадає напрямку з рухом повітря, максимальні концентрації метану у більшості випадків спостерігаються коло виконавчих органів комбайну, та в поодиноких випадках між корпусом комбайну та очисним вибоєм.

У разі руху комбайна, що не співпадає з напрямком руху повітря уздовж очисного вибою величина концентрації метану коло виконавчих органів збільшується в середньому приблизно у 2 – 2,5 рази й може перевищувати межу вибуховості.

Тому, у разі ведення робіт у небезпечних зонах, встановлених прогнозом, у зонах геологічних порушень застосовується одностороння схема виймання, коли виймання вугілля здійснюється лише у напрямку руху повітря впродовж очисного вибою, а у зворотному напрямку – виконується зачистка привибійного простору та згін комбайну.

На рисунках 2.3 та 2.4 наведені планограми ведення робіт у очисному вибої у разі застосування човникової та одnobічної схеми виймання, в залежності від ступеню небезпеки та необхідності забезпечення співпадіння напрямків руху комбайна та руху повітря.

Отже, для уникнення спалахів вибухонебезпечної метаноповітряної суміші у очисних виробках галузевим інститутом рекомендовані та виконуються на підприємстві наступні заходи:

- 1) забезпечення у зонах безпосереднього контакту вугільного пласта з пісковиком виконання робіт з виймання вугілля за одnobічною схемою, при співпадінні напрямку руху комбайна та руху повітря;
- 2) не присікати породи з міцністю $f \geq 6$ комбайнами;
- 3) забезпечення безперервної роботи системи пилопридушення, що встановлена на комбайнах, та забезпечує внутрішнє зрошення (вода підведена до кожного різця) – наведені на рисунку 2.5 та зовнішнє (форсунки, що встановлені на корпусі комбайна);
- 4) питома витрата води на зрошення має бути не менше 40 л/тону при тиску не менше 1,5 МПа;
- 5) встановлення у системі подачі води на комбайн фільтрів;

- 6) автоматична зупинка комбайну у разі непрацездатності системи пилопридушення;
- 7) забезпечення прочищення форсунок після кожного циклу виймання.

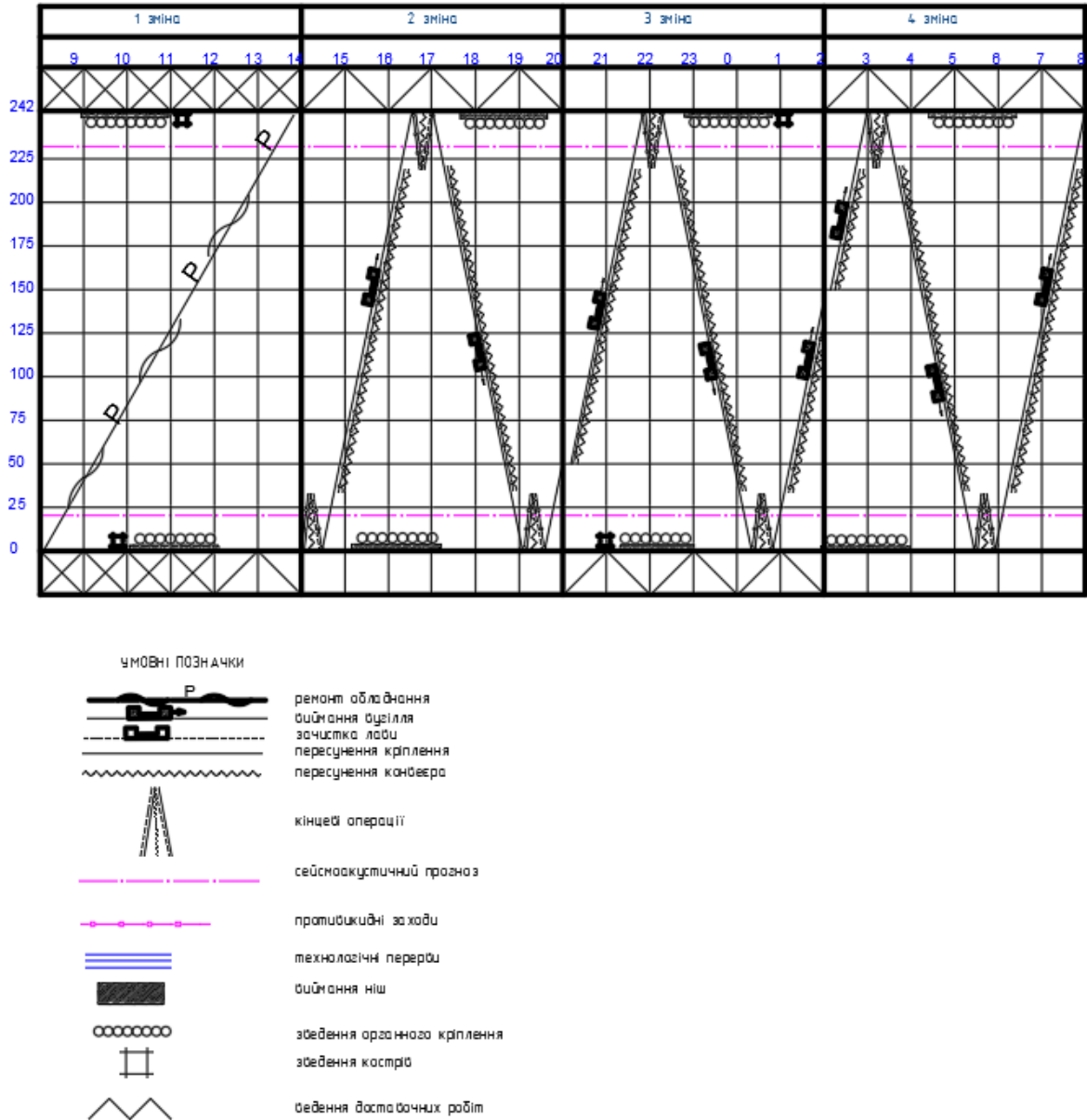


Рисунок 2.3 – Планограма при роботі за човниковою схемою

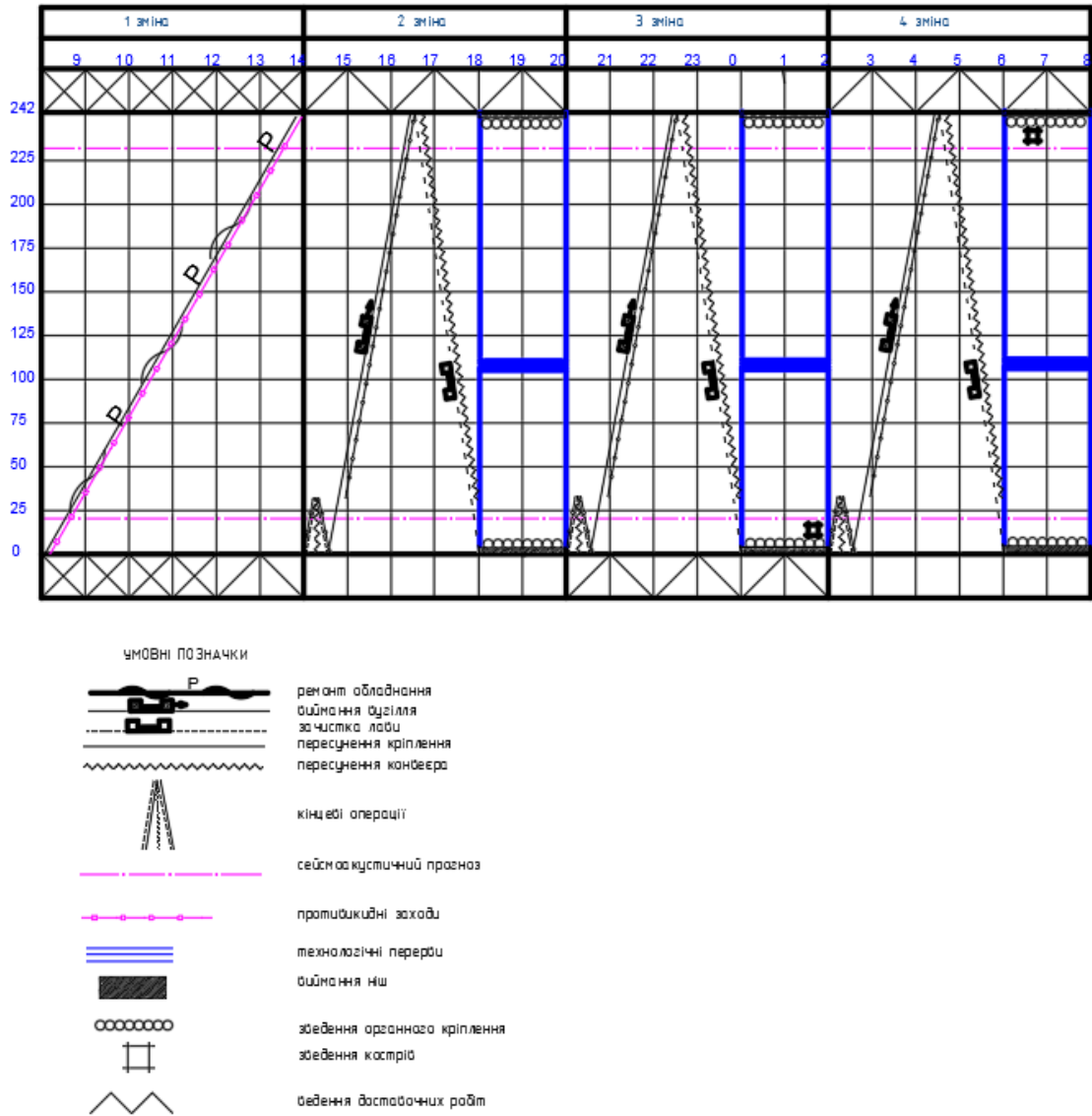


Рисунок 2.4 – Планограма при роботі за однібічною схемою

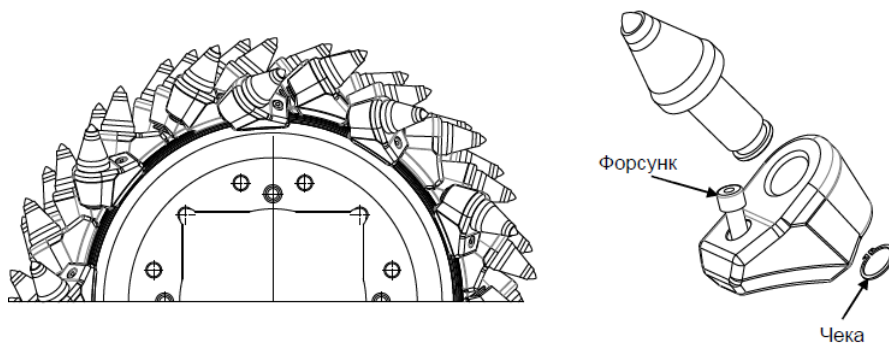


Рисунок 2.5 – Встановлення форсунок під різець (згідно керівництва з експлуатації комбайна МВ-410)

2.5 Аналіз галузевим інститутом ступеню небезпеки схем провітрювання, що застосовуються на підприємстві

Під час постійної роботи, що велася на підприємстві з науковими організаціями для попередження та уникнення аварій, крім впливу гірничо – геологічних умов, ІГТМ НАН України було виконано розгляд схем провітрювання, за яких відбувалися аварій, та встановлення більш безпечної з них [8]. На рисунку 2.6 наведені основні типові схеми провітрювання, що застосовувались в умовах підприємства, з вказанням напрямків руху повітря

Переваги зворотньоточних схем провітрювання - схеми типу 1 – М (у нинішній час на підприємстві застосовуються схеми лише такого типу):

- 1) можливість забезпечити максимальну швидкість руху повітря, що дозволяє знизити небезпеку скупчень метану у зоні робочого органу комбайна;
- 2) значно менші витрати повітря;
- 3) відсутність необхідності проведення та підтримання флангових виробок;
- 4) відсутність необхідності підтримувати за лавою виробку для випуску вихідного струменю повітря;
- 5) можливість досягнення високої ефективності комплексної дегазації покрівлі та виробленого простору у разі застосування свердловин та газопроводів, що залишаються у неконтрольованій частині вентиляційної виробки;
- 6) безпечність при роботі пластів зі схильністю до самозаймання.

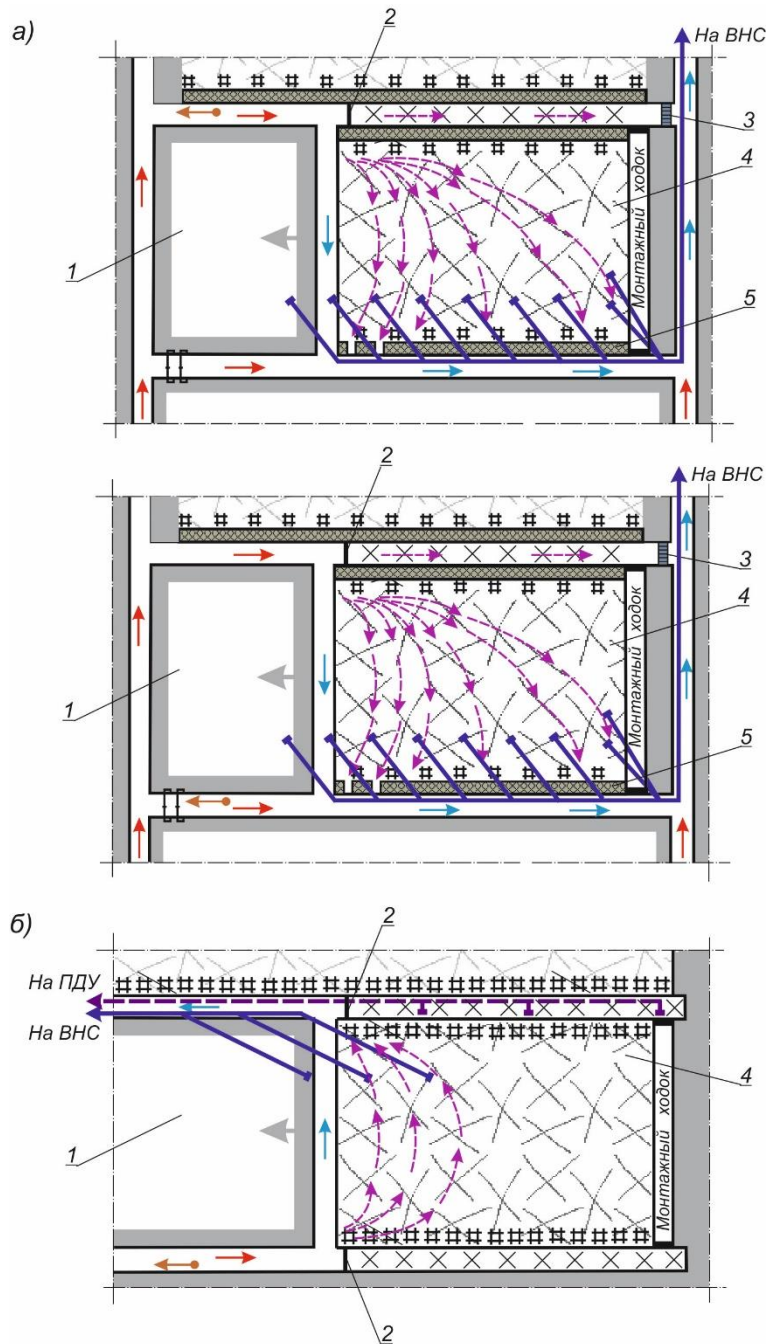


Рисунок 2.6 – Типові схеми провітрювання: а) прямооточні схеми провітрювання; б) зворотньооточна схема провітрювання: 1 – вугільний масив, що розробляється; 2 – вентиляційна перемичка; 3 – глуха ізолююча перемичка, 4 – вироблений простір, 5 – охоронна смуга

Недоліки зворотньоточних схем провітрювання типу 1-М:

- 1) необхідність здійснення дегазації виробленого простору додатковими відрізками трубопроводу («свічками») по окремому трубопроводу;
- 2) необхідність здійснення ізольованого відведення метану з тупикової частини вентиляційної виробки за допомогою спеціальних газовідсмоктуючих вентиляторів;
- 3) високий ступінь небезпеки утворення місцевих скупчень метану на сполученні очисного вибою з вентиляційною виробкою;
- 4) значні втрати трубопроводів та металокріплення, бо така схема провітрювання вимагає їхнього залишення у неконтрольованій частині виробленого простору.

Переваги прямоточних схем провітрювання - схеми типу 3-В (у останнє застосовувалась на підприємстві при роботі 9-ї північної «біс» лави блоку у 2022 році):

- 1) можливість подання свіжого повітря до очисного вибою по двом виробкам;
- 2) обособлене розбавлення шкідливих чинників (метану та вугільного пилу) за джерелами виділення;
- 3) можливість здійснення дегазації свердловинами з виробки, що підтримується, шляхом охорони гирл свердловин;
- 4) можливість подачі на діляницю більшої кількості свіжого повітря;
- 5) можливість попередження шарових скупчень метану;
- 6) можливість більш швидкого виведення людей на виробку з свіжим струменем повітря у разі аварії.

Недоліки прямоточних схем провітрювання - схеми типу 3-В:

- 1) важкість забезпечення необхідних витрат повітря у очисній виробці. Особливо це небезпечно у разі руху виїмкової машини назустріч руху струменю повітря;
- 2) важкість підтримання виробки за лавою;
- 3) великі витрати на проведення та підтримання у задовільному стані флангових вентиляційних виробок.

Після виконання досліджень та аналізу інформації щодо аварій, які мали місце на підприємстві, науковці дійшли висновку [8], що у гірничо – геологічних умовах підприємства, з урахуванням досягнутої ефективності засобів боротьби з підвищеним метановиділенням, схема провітрювання типу 1-М є більш безпечною ніж схема провітрювання типу 3-В у частині утворення вибухонебезпечної метаноповітряної суміші у очисній виробці.

3. АНАЛІЗ СВІТОВИХ ПРАКТИК ВРАХУВАННЯ НЕОДНОРІДНОСТІ ГАЗОВИДІЛЕННЯ В ЗОНАХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ

3.1 Нормативна база щодо припустимих концентрацій метану у різних країнах світу. Контроль концентрацій метану

У різних країнах, що здійснюють вуглевидобуток, згідно діючих нормативних документів, мають місце різні значення припустимих концентрацій метану [3], що свідчить про різний підхід до визначення параметрів, з урахуванням відмінностей умов ведення робіт.

У таблиці 3.1 наведені значення припустимих концентрацій метану [3].

Таблиця 3.1 – Припустимі значення концентрацій метану

Найменування показника	Країна						
	Австралія	Китай	Німеччина	Індія	ПАР	ВК	США
Максимальні припустимі значення концентрацій для роботи шахти в цілому, %	1,25	1,0	1,0	1,25	1,4	1,25	1,0
Максимальні припустимі значення концентрацій для виробок з вихідним струменем повітря, %	2	1,5	1,5	0,75	1,4	2	2

Далі, у наступних підрозділах, наведені основні гірничо – геологічні умови видобутку вугілля у різних країнах світу, що дозволить частково

пояснити таку різницю у припустимих значеннях одного й того ж показника. Так, наприклад, США та Австралія мають схожі, відносно сприятливі, умови ведення роботи, що зумовлює більш високі припустимі значення концентрацій метану.

Також слід враховувати, що саме значення припустимої концентрації метану не є тим оптимальним показником, що визначає рівень безпеки гірничих робіт. Цим параметром є забезпечення безпечних умов праці, дотримання технології ведення робіт, що відповідає гірничо – геологічним умовам.

Є також досвід країн, які перейшли на більш високі припустимі концентрації метану.

Так у Казахстані [10] виконали перехід на значення відключення електроенергії апаратурою газового захисту з уставкою спрацювання 1 % на уставку спрацювання 1,3 %. При цьому отримали наступні позитивні зміни:

- 1) знизилась кількість зупинок комбайна;
- 2) підвищилась ефективність роботи дільниці з видобутку;
- 3) підвищилось навантаження на очисний вибій.

Найбільш відомими виробниками автоматичних переносних та стаціонарних приладів є:

- 1) фірма «Рікен Кейки фajn інструмент» (Японія)
- 2) фірми “Dreger” та GfG (Германія)
- 3) фірми “Industrial scientific corporation” та “Бахарак” (США).

Робота приладів ґрунтується на використанні термokatалітичного способу контролю.

3.2 Гірничо – геологічні умови при роботі шахт у США

Родовища вугілля у США мають досить сприятливі гірничо – геологічні умови, полого залягання пластів з потужністю 1,7 – 4 м, з відносно невеликою глибиною залягання. Виділення метану не обмежує обсяги вуглевидобутку [7].

Відпрацювання лав здійснюється довгими стовпами або за камерно – стовповою системою розробки.

Умови ведення робіт [7]:

- 1) відпрацювання одиночних пластів;
- 2) глибина ведення робіт 100 – 300 метрів;
- 3) кут падіння 0 – 12 градусів;
- 4) витриманість пластів за потужністю та гіпсометрією;
- 5) незначна обводненість та газонебезпека;
- 6) покрівля стійка та середньої стійкості;
- 7) відсутність схильності до газодинамічних явищ.

Дані про основні родовища у США наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристика пластів, що розробляють у США

Компанія	Шахта	Глибина залягання, м	Потужність пласта, м	Кут падіння пласта, град
Східні родовища				
Сайпрос	Камебереленд	270 - 400	2,0	5
Консол	Ділмос	150 - 240	2,0	До 30
P&P Коул	Шахта № 84	140 - 220	1,7	10 - 20
Західні родовища				
Енерджи	Дір Кік	480 – 670	3,0 – 3,6	До 5
Арко	Вест ЕЛК	180 – 430	4,0 – 7,0	5
Сайпрос	Твентимайл	180 - 300	2,7	5 – 10

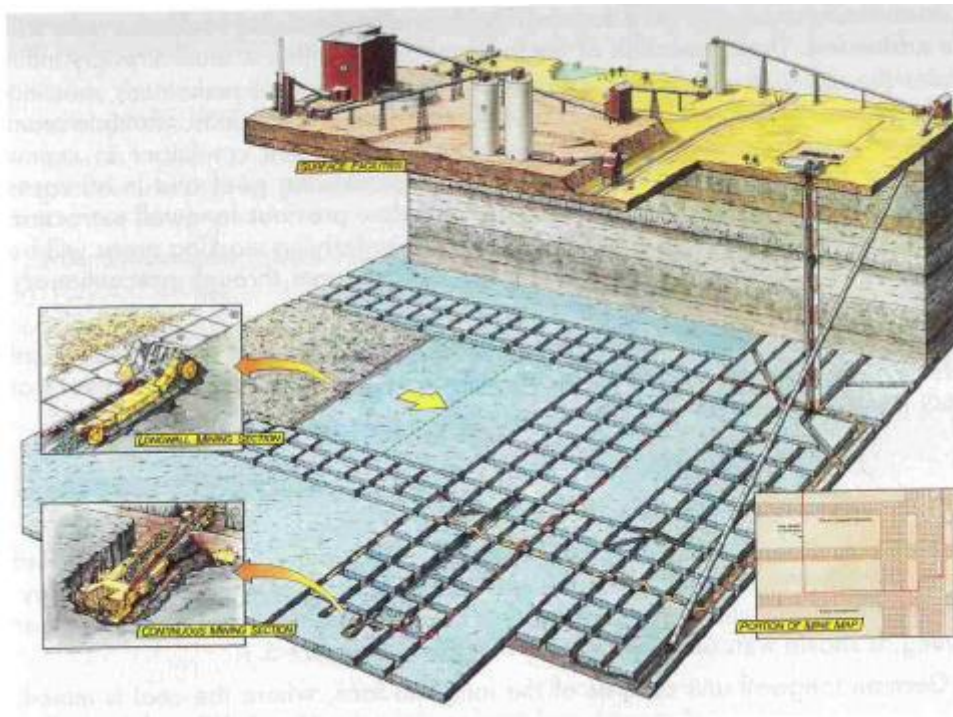


Рисунок 3.1 – Ведення робіт на шахті у США з камерно – стовповою системою розробки

3.3 Гірничо – геологічні умови при роботі шахт у Австралії

На шахтах Австралії основний видобуток отримують з пластів потужністю більше 2 м, з гірничо – геологічними умовами, що аналогічні умовам родовищ у США, але з більш високим метановиділенням. На застосування системи розробки довгими стовпами припадає 70 % видобутку, також застосовуються камерно - стовпова система розробки та робота короткими лавами довжиною 25 – 10 метрів [9].

Показники роботи шахт у Австралії при різних системах розробки наведено у таблиці 3.3.

Під час проведення аудиту з питань безпеки фірмою DMT для шахтоуправління «Покровське» у 2021 році однією з рекомендацій був розгляд можливості застосування на підприємстві систем розробки, аналогічних тим, що застосовують на шахтах Австралії – схема системи розробки наведена на рисунку 3.2.

Після детального розгляду цього питання, співставлення умов розробки, гірничо – геологічних умов відпрацювання, було отримано висновки щодо неможливості застосування такої «австралійської системи» в умовах шахтоуправління.

Таблиця 3.3 – Показники при різних системах розробки на шахтах Австралії

Показник	Довга лава	Коротка лава	Камерно – стовпова система
Довжина очисного вибою, м	220	35	6
Добове навантаження, тон	6500	3800	1200
Чисельність людей у вибої за добу	38	32	28
Продуктивність праці ГРОВ, т/вихід	171	118	43
Річний видобуток, тон	1,5	0,85	0,3

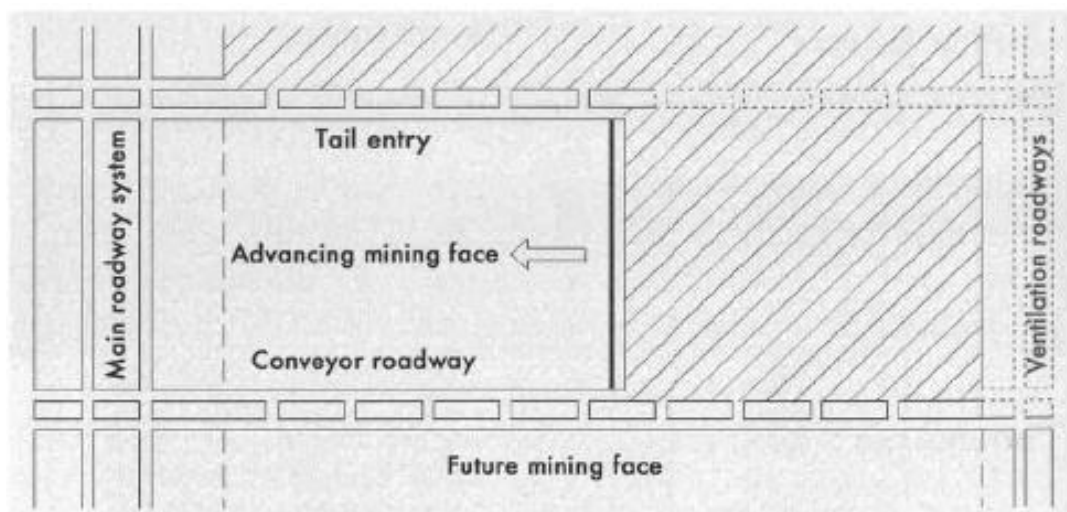


Рисунок 3.2 – Система розробки на шахтах Австралії (згідно матеріалів, наданих фірмою DMT)

3.4 Безпека ведення робіт у високо метанових шахтах В'єтнаму

У більшості вугільних шахт В'єтнаму мають місце значні коливання значень концентрації, у різних виробках, у різних проміжках часу, присутня небезпека раптових викидів метану та вибухів пило – метано – повітряної суміші.

Аналіз аварій, які мали місце у вугільній промисловості країни [11] показує, що у 70 % випадків мала місце несправність приладів контролю, порушення режимів вентиляції виробок та, як наслідок, неналежне виконання вимог безпеки.

У нинішній час боротьба з метаном реалізується за рахунок проведення профілактичних та організаційно – технічних заходів, а саме:

- 1) виконання щорічних оцінок метанообільності та метаноносності пластів на шахтах;
- 2) застосування вибухобезпечного електрообладнання, що пройшло випробування та тестування на вибухонебезпечність;
- 3) застосування вибухових речовин та детонаторів, що протестовані відносно можливості безпечного застосування на шахтах;
- 4) періодичне навчання шахтарів на курсах з питань безпеки гірничих робіт на вугільних шахтах.

Крім того шахти В'єтнаму мають засоби та системи контролю, що дозволяють здійснювати моніторинг метану за допомогою портативних детекторів газу, здійснювати централізований моніторинг шахтної атмосфери, а також здійснювати розрахунки для планування режимів вентиляційної системи з застосуванням програмного забезпечення таких фірм як Kazemazu (Японія), Vengraph (Польща), Vensim (Австралія).

3.5 Розрахунок та керування метановиділенням на шахтах Германії

У Германії основним науковим центром з питань техніки безпеки був «Дойче Монтан Технологі ГМБХ», розташований у місті Есен.

Не зважаючи на те, що у нинішній час видобуток вугілля у Німеччині не ведеться, розробки цієї країни та її досвід є актуальними, та застосовуються й далі іншими державами.

Для визначення газоносності у Германії у якості стандартного впровадженій засіб безпосереднього вимірювання в умовах лабораторії або десорбометром [12]. Це давало можливість шахтам визначати газоносність самостійно.

Для окремих родовищ шляхом буріння розвідувальних свердловин було виконано дослідження щодо визначення динаміки зміни газоносності за площею та глибиною. При цьому було визначено, що газоносність родовища збільшується з глибиною до певного максимуму, який є досить різним у різних частинах родовища, а потім знову зменшується [12]. Основою проектування очисних та підготовчих робіт є визначення метановиділення, що очікується. З метою дотримання граничних концентрацій метану у шахтному повітрі застосовувались:

- 1) виконання комплексу робіт з дегазації – дегазація висхідними та нисхідними свердловинами, попередня дегазація пласта, що розробляється, відведення метанової суміші через дренажні штреки, що розташовані над виробленим простором та під виробленим простором. Найбільший ефект був отриманий при застосуванні дегазаційних свердловин довжиною понад 100 метрів;
- 2) поверхневі дегазаційні свердловини;
- 3) обмеження навантаження на очисний вибій.

Особлива увага максимальному видобутку метану на шахтах Германії також була зумовлена законодавством цієї країни, згідно якого

метан є корисною копалиною, належить шахті та дозволяє отримати додаткові прибутки від його видобутку та реалізації. Це також сприяло безпечній роботі шахт з урахуванням газового чинника, збереженню енергоресурсів та навколишнього середовища.

Інформація про обсяги дегазаційних робіт на шахтах Saarbergwerke AG приведені у таблиці 3.4 [15].

Розглянемо питання на прикладі роботи конкретного очисного вибою [3] з наступними умовами відпрацювання:

- 1) потужність пласта - 1,5 м;
- 2) довжина лави – 300 м;
- 3) глибина розробки – 1200 м;
- 4) залягання пласта – полого;
- 5) метановиділення з покрівлі – 25 м³/тону;
- 6) метановиділення з пласта – 3 м³/тону;
- 7) метановиділення з підшви - 8 м³/тону;
- 8) загальне метановиділення – 36 м³/тону;
- 9) вугілля схильне до самозаймання;
- 10) обсяг видобутку – 4 000 тонн/добу;
- 11) плануємо посування очисного вибою – 50 м/тиждень.

Таблиця 3.4 – Показники дегазаційних бурових робіт на шахтах Saarbergwerke AG

Назва показників	Розмірність	Рік виконання		
		1997	1996	1995
Кількість підземних свердловин	шт.	363	371	356
Загальна довжина свердловин	м	24895	25366	21975
Довжина трубопроводів	м	7915	9530	7445
Діаметр свердловин	мм	120	120	120
Довжина обсадки свердловини	м	5 - 20	5 - 20	5 – 20
Кількість свердловин, пробурених у покрівлю	шт.	288	285	276
Загальна довжина свердловин, пробурених у покрівлю	м	23460	23625	20619
Кількість свердловин, пробурених у підшву	шт.	75	86	78
Загальна довжина свердловин, пробурених у підшву	м	1435	1741	1356

Варіант попередньої дегазації був відхилений спеціалістами підприємства як неефективний. Для забезпечення планових показників видобутку необхідно було врахувати наступне обмеження: при максимальному обсязі повітря 25 м³/секунду була можливість розбавити не більше 0,37 м³/секунду метану, що надходив навіть при наявності окремо отриманого дозволу на підвищення максимальної концентрації з 1 % до 1,5 %. Ця зміна була узгоджена за умови посилення моніторингу дегазації.

Для вирішення цього питання була спроектована Y-образна система провітрювання (наведена на рисунку 3.3), що дозволило додатково подати ще 50 м³/секунду повітря. При цьому загальний потік повітря проходив за очисним вибоєм й забезпечував розбавлення метану, що надходив з очисного вибою і виробленого простору. Така схема провітрювання забезпечує можливість буріння свердловин вхрест простягання та їх з'єднання з системою дегазації, що має забезпечити 70 % ефективності дегазації покрівлі та 40 % ефективності дегазації пласта.

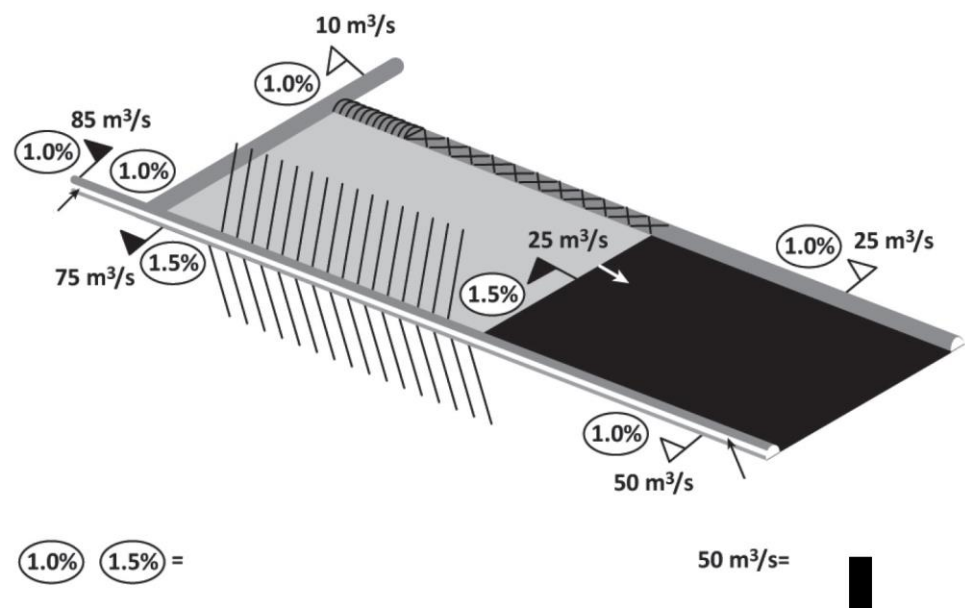


Рисунок 3.3 – Y-образна система провітрювання

3.6 Гірничо – геологічні умови та нормативна база щодо метановиділення у Польщі

Основними нормативними документами у гірничій справі у Польщі є:

1) Гірничо – геологічний закон (Prawo geologiczne i górnictwo USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r);

2) Вимоги до експлуатації підземних гірничовидобувних підприємств (ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ENERGII z dnia 23 listopada 2016 r w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych)

3) Розпорядження про природні небезпеки на гірничих підприємствах (ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 29 stycznia 2013 r w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych).

У країні є спеціалізовані установи, які готують документи, що регламентують роботу підприємств, виконують наукову та дослідницьку діяльність:

- 1) Польський геологічний інститут;
- 2) Головний інститут гірничовидобувної промисловості (Польща);
- 3) Всесвітній метановий центр у м.Катовице (Польща), що працює під егідою ООН.

Згідно діючого у країні законодавства мають місце наступні категорії шахт за метаном:

- 1) категорія 1 – у разі виділення метану від 0,1 м³/г до 2,5 м³/г;
- 2) категорія 2 – у разі виділення метану від 2,5 м³/г до 4,5 м³/г;
- 3) категорія 3 – у разі виділення метану від 4,5 м³/г до 8 м³/г;
- 4) категорія 4 – у разі виділення метану більше 8 м³/г.

Роботи з видобутку вугілля у Польщі ведуться у складних гірничо – геологічних умовах, з такими небезпечними явищами, як метан, вибухи

вугільного пилу, обвалюваність гірничих порід, викиди газу та породи, пожежна небезпека.

Далі у таблиці 3.5 наведена інформація щодо показників метановості діючих вугільних підприємств у 2023 році [18].

Таблиця 3.5 – Показники метановості вугільних шахт Польщі у 2023 році

Підприємство		Метановиділення						Ефективність
		Відведення метану		Вентиляція		Абсолютні значення		
		м ³ /хв	млн. м ³ /рік	м ³ /хв	млн. м ³ /рік	м ³ /хв	млн.м ³ /рік	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
KWK Ruda	Ruch Bielszowice	0,74	0,39	14,6	7,7	15,3	8,09	4,82
	Ruch Halemba	11,02	5,79	27,42	14,41	38,4	20,20	28,66
KWK ROW	Ruch Jznkowice	12,3	6,47	21,4	11,25	33,7	17,72	36,51
	Ruch Chwalowice	36,8	19,34	44,2	23,27	81,0	42,61	45,39
	Ruch Marcel	7,36	3,87	22,7	11,97	30,1	15,84	24,43
	Ruch Rydułtowy	6,94	3,65	20,0	10,52	26,9	14,17	25,76
KWK Knurow - Szcczygłowie	Ruch Knurow	9,57	5,03	71,35	37,50	80,92	42,53	11,83
	Ruch Szcczygłowie	44,31	23,29	74,54	39,18	118,85	62,47	37,28
KWK Socnica		22,93	12,05	40,64	21,36	63,57	33,41	36,07
ZG Brzeszcze		87,60	46,04	79,28	41,67	166,88	87,71	52,49
KWK Sielesia		22,81	11,99	22,11	11,62	44,92	23,61	50,78
KWK Staszic - Wujek	Ruch Murcki - Staszic	18,65	9,80	41,51	21,82	60,16	31,62	30,99
	Ruch Wujek	4,6	2,42	3,9	2,05	8,50	4,47	54,14
KWK Myslowice – Wesolq		35,77	18,80	68,78	36,15	104,55	54,95	34,21

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
KWK Budryk		89,55	47,07	101,92	53,57	191,48	100,64	46,77
KWK Borynia	- Ruch Borynia	10,33	5,43	32,02	16,83	42,35	22,26	24,39
Zofiowka	- Ruch Zofiowka	39,63	20,83	89,59	47,09	129,22	67,92	30,67
Bzie	Ruch Bzie	0,29	0,15	11,36	5,97	11,64	6,12	2,45
KWK Pniowek		60,86	31,99	104,30	54,82	165,16	86,81	36,85

Залягання сорбованого метану в основному пов'язане з вугільними пластами, у той час як виникнення вільного метану пов'язують з геологічними структурами, які дозволяють накопичення цього газу [19]. Обидві форми прояву метану пов'язані між собою, вважається, що у результаті ослаблення вугільних пластів при веденні гірничих робіт відбувається вивільнення сорбованого метану та його перехід в форму вільного метану через тріщини, що утворилися в масиві.

Однією з основних проблем є відсутність як у Польщі, так і у інших країнах світу, можливості виявлення непрогнозованих та незначних геологічних порушень [19].

Після розслідування багатьох аварій, що мали місце на шахтах Польщі у попередні роки та були пов'язані з зонами геологічних порушень комісії з розслідування дійшли наступних висновків:

- 1) Викид метану та породи, що стався, був тісно пов'язаний з тектонічно порушеною зоною, тому зони геологічних порушень слід розглядати як небезпечну зону незалежно від результатів прогнозу безпеки;
- 2) Ступінь ущільнення вугілля була максимально близькою до критичного значення;
- 3) Прогнозування небезпек у зоні геологічних порушень вимагає розробки додаткових критеріїв.

Щодо аварійних ситуацій на підприємствах вугільної промисловості Польщі в останні роки, з пов'язаних саме з метаном можна виділити наступні [18].

20 квітня 2022 року у JSW S.A. KWK "Pniówek" відбувся вибух метану та пожежа, що призвели до 16 нещасних випадків зі смертельними наслідками, 7 важких випадків та 25 випадків тимчасової втрати працездатності. Вибух відбувся у лаві N6, на глибині 1000 метрів, при відпрацюванні пласта 404/2.

Згідно показників, що наведені у таблиці 3.4 ця шахта має одні з найвищих показників виділення метану.

23 квітня 2022 року у JSW S.A. KWK „Borynia-Zofiówka” Ruch „Zofiówka” відбувся вибух та обвалення породи з виділення метану, що призвело до 10 нещасних випадків зі смертельними наслідками.

Під час розслідування аварії комісія встановила необхідність виконання додаткових спеціалізованих досліджень, які були доручені Центральному Гірничому Інституту у місті Катовице, за темою «Дослідження сорбційних властивостей вугільного пласта 412 з визначенням критичного та граничного значення несучої здатності метану для оцінки потенційної небезпеки значних викидів метану», та враховують властивості метану, ступінь ущільненості гірничих порід. У висновках комісії щодо даної аварії зазначено про необхідність розширити діючі нормативні акти, з урахуванням результатів дослідницької роботи.

У 2023 році відбулося одне займання метану у гірничих виробках вугільних шахт – 9 грудня на підприємстві JSW S.A. KWK Knurów-Szczygłowie Ruch Knurów. Причиною займання сталося іскріння при руйнуванні пісковика, постраждалих через аварію не було.

Контроль виділення метану на шахтах здійснюється за допомогою датчиків. На рисунку 3.4 наведена типова схема їх розміщення.

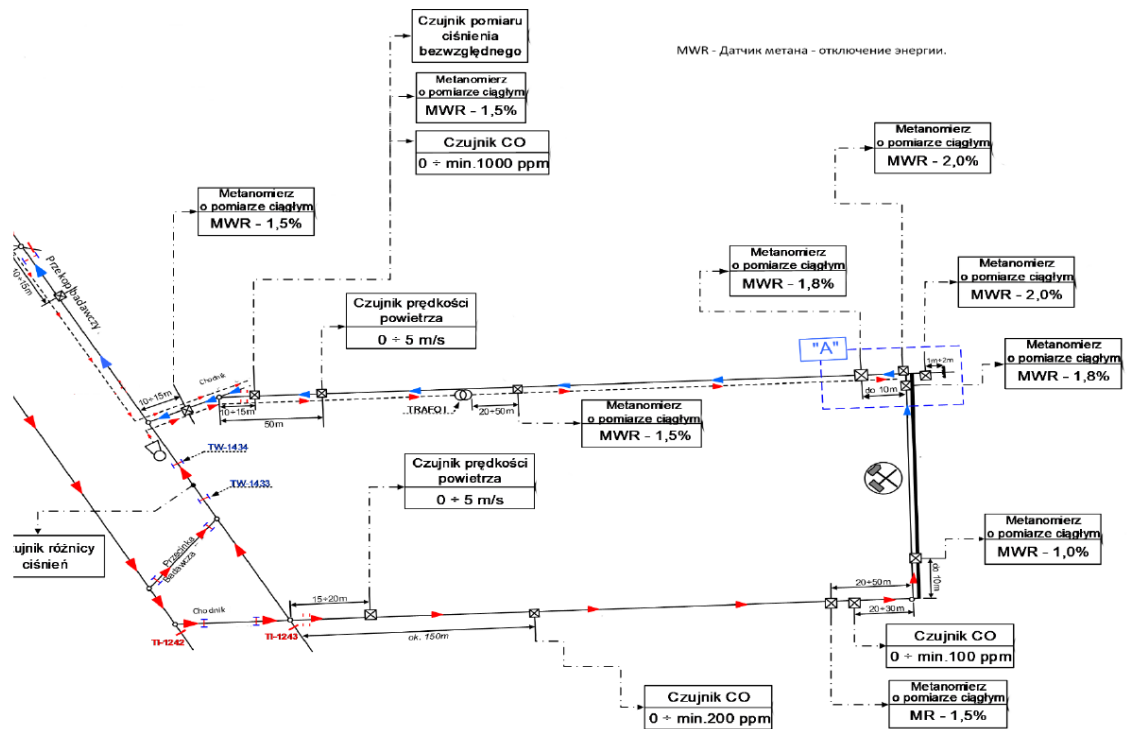


Рисунок 3.4 – Типова схема розміщення датчиків згідного польського законодавства

Вміст метану у вугільних пластах, так звана пропускну здатність метану навіть в рамках одного басейну дуже відрізняється, в окремих районах метан не зустрічається зовсім, або зустрічається в дуже незначній кількості.

Далі розглянуто гірничо – геологічні умови шахти Bogdanka SA, щоб привести більш детальну інформацію про різновиди можливих гірничо – геологічних умов у країні, бо умови цієї шахти істотно відрізняються від шахт, на яких були аварії, опис яких наведений у даному розділі.

Шахтне поле підприємства характеризується відносно простою геологічною структурою [17] з межами, що опускаються до осі синкліналі Богданка за простяганням. Подекуди присутні скиди з амплітудою до 2,5 метрів.

Центральна частина пласта 382 відпрацьована у межах гірничого відводу, потужність цього пласта складає 2,5 – 3,5 м з прошарками

аргілиту потужністю 0,1 – 0,3 м. Покрівля та підшва представлені аргілітами.

Пласт 385/2 має потужність 1,7 – 2,0 м з одним або двома тонкими прошарками порід. Вугілля має марку газового, вміст сірки становить 1 – 1,5 %, зольність до 10 %. Вугілля за самозайманням відноситься до високого класу ризику за місцевою класифікацією IV категорія, де I – низький ризик, V – високий ризик. Пласти мають низький рівень небезпеки за метаном – метановиділення становить до 2,5 м³/тону.

Система розробки – довгими стовпами, з середньою довжиною лави 285 метрів, з залишенням ціликів шириною 5 метрів, виробки повторно не використовуються. Шаг встановлення кріплення – 0,6 м, з урахуванням фактичних гірничо – геологічних умов.



Рисунок 3.5 – Схема шахтного поля по пласту 382

Якщо підсумувати досвід усіх розглянутих країн, співставити умови відпрацювання запасів з гірничо – геологічними умовами шахтоуправління приходимо до наступних висновків:

- 1) відмінність підходів до контролю метановиділення, значень граничних припустимих концентрацій метану залежить від різниці у гірничо – геологічних умовах роботи, ступеню небезпеки родовищ;
- 2) відмічена необхідність розробки додаткових методик, що враховують сорбційні властивості вугілля;
- 3) в багатьох випадках до уваги береться відносне метановиділення, що вимірюється у м³/тону;
- 4) зони геологічних порушень на шахтах, небезпечних за метаном, є небезпечною зоною, незалежно від результатів прогнозу;
- 5) особливих окремих методик врахування метановиділення саме у зонах гірничо – геологічних порушень при роботі очисного вибою не виділяється;
- 6) основна увага приділяється засобам дегазації для суттєвого зниження впливу виділення метану.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ МЕТАНОВИДІЛЕННЯ В ВИЇМКОВИХ ДІЛЬНИЦЯХ ПРАТ «ШАХТОУПРАВЛІННЯ «ПОКРОВСЬКЕ» В ЗОНАХ З ГЕОЛОГІЧНИМИ ПОРУШЕННЯМИ І РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНОГО ДІАПАЗОНУ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

З урахуванням того, що підприємство має у різних частинах шахтного поля різні умови, хоча відпрацьовує лише один пласт, основним напрямком розподілу очисних вибоїв на шахті є розподіл на лави на пласті малої потужності та лави на пласті середньої потужності.

Тож у розділі буде окремо розглянуто гірничо – геологічні умови, та взаємозв'язок геологічних показників з показниками метановиділення, для одного вибою на пласті малої потужності, й ще одного вибою на пласті середньої потужності. Це дозволить сформулювати висновки, які можна буде врахувати при подальшій роботі усіх очисних вибоїв підприємства.

4.1 Аналіз гірничо – геологічних умов та показників роботи очисного вибою на пласті малої потужності

До розгляду прийнята робота 1-ї південної лави блоку 9 у серпні 2024 року, - це лава на пласті малої потужності. Дані щодо показників роботи наведені у таблиці 4.1.

Геологічна потужність пласта знаходилась у діапазоні від 0,93 м до 0,96 м з середньозваженим значенням 0,95 м. Лава вела роботи у зоні непрогнозованих геологічних порушень, що були представлені розмивами пласта та зкидами.

Таблиця 4.1 – Показники та умови роботи 1-ї південної лави блоку 9 у серпні 2024 року

День місяця	Фактичний видобуток, т/добу	Наявність характеристика порушення	та	Протяжність порушення по довжині лави, м	Витрата метану у вихідному струмені повітря, м ³ /хв
1	2	3		4	5
1	2 380	Відсутнє			7,57
2	2 410	Відсутнє			7,57
3	2 445	Відсутнє			7,79
4	2 445	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,75 м		36	8,01
5	2 369	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,81 м		36	7,57
6	2 379	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,81 м		36	7,57
7	2 389	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,87 м		37	7,57
8	2 399	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,87 м		37	7,57
9	2 490	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,86 м		37	7,57
10	2 520	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,85 м		37	7,57
11	2 525	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,87 м		40	7,79
12	2 525	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,86 м		40	8,06

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
13	2 525	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,88 м	42	8,06
14	2 525	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,83 м	47	8,28
15	2 525	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою $H=0,25$ м	49	7,83
16	2 430	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою $H=0,2$ м	46	7,61
17	2 380	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою $H=0,25$ м	46	7,83
18	2 380	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою $H=0,2$ м	46	7,61
19	2 450	Відсутнє		7,38
20	2 446	Відсутнє		7,38
21	2 436	Відсутнє		7,44
22	2 340	Відсутнє		7,44
23	2 370	Відсутнє		7,21
24	1 520	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,84 м	44	6,98
25	1 350	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою $H=0,4$ м	45	6,98
26	2 410	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою $H=0,35$ м	48	7,44
27	2 340	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,85 м	48	7,67
28	2 370	Відсутнє		7,91
29	2 480	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою $H=0,25$ м	15	7,91
30	2 530	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою $H=0,3$ м	15	7,91
31	2 370	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 0,81 м	32	8,14

Як видно з наведеної таблиці всі геологічні порушення мали характер непрогнозованих, на протязі місяця мали місце розмиви пласта та зкиди, протяжність порушень по довжині лави складала від 15 до 49 метрів. Фрагмент геологічного порушення наведено на рисунку 4.1.

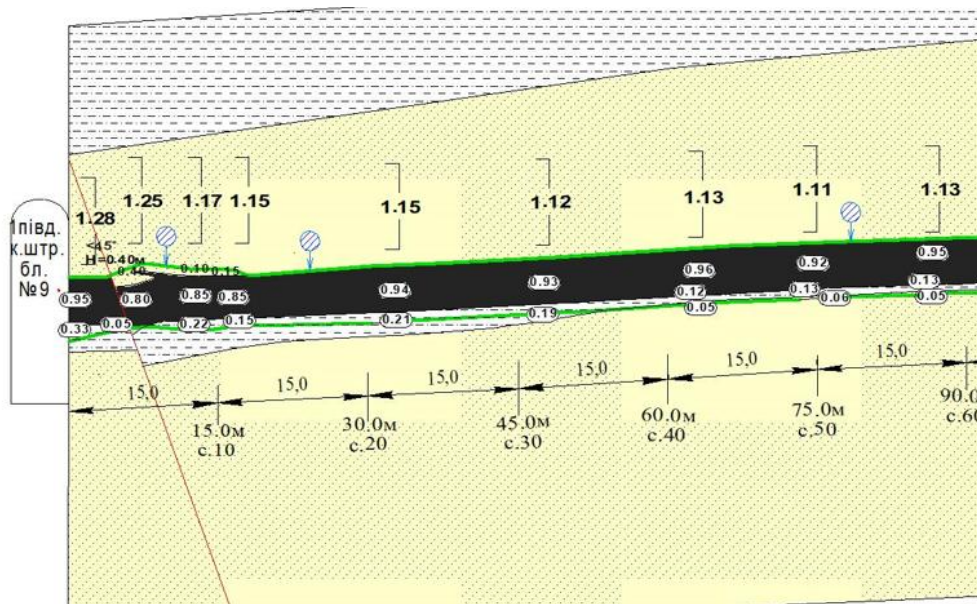


Рисунок 4.1 – Фрагмент геологічного розрізу 1-ї південної лави блоку 9 з зображенням порушення

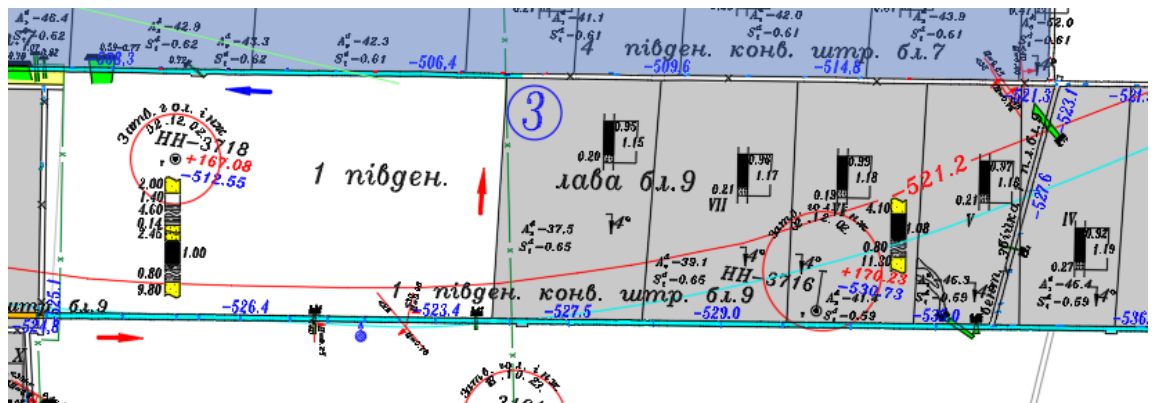


Рисунок 4.2 – Викопіювання з плану гірничих робіт з зображенням 1-ї південної лави блоку 9

Дані, що наведені у таблиці 4.1 можна згрупувати за типами порушень та проаналізувати значення виділення метану у цих зонах. Результати аналізу даних наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Узагальнені показники метановиділення та наявності зон геологічних порушень при роботі 1-ї південної лави блоку 9 у серпні 2024 року

Тип порушення	Число днів роботи у зоні порушення	Мінімальне виділення метану, м ³ /хв	Максимальне виділення метану, м ³ /хв	Середньозважене значення виділення метану, м ³ /хв
Розмив пласта	14	6,98	8,28	7,74
Зкид	8	6,98	7,91	7,64
Порушення відсутнє	9	7,21	7,91	7,52

Як свідчить аналіз наведених даних максимальне значення виділення метану має місце при роботі у зоні геологічного порушення й становить 8,28 м³/хв.

Порівняння середньозважених значень виділення метану показує, що у зонах порушень виділення метану вище:

- 1) зони розмиву пласта – середнє значення виділення метану становить 7,74 м³/хв й на 0,22 м³/хв (3 %) вище середнього значення роботи лави поза зоною порушення 7,52 м³/хв;
- 2) зони зкиду – середнє значення виділення метану становить 7,64 м³/хв й на 0,12 м³/хв (1,6 %) вище середнього значення роботи лави поза зоною порушення 7,52 м³/хв.

Графік зміни метановиділення при роботі 1-ї південної лави блоку 9 у серпні 2024 року наведено на рисунку 4.3.

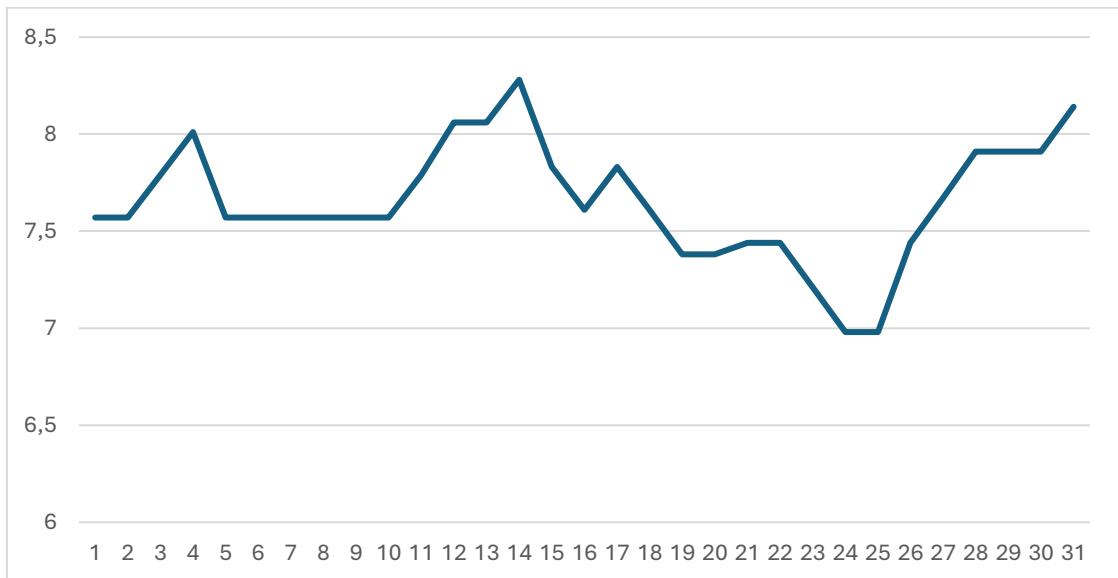


Рисунок 4.3 – Графік метановиділення при роботі 1-ї південної лави блоку 9 у серпні 2024 року

4.2 Аналіз гірничо – геологічних умов та показників роботи очисного вибою на пласті середньої потужності

До розгляду прийнята робота 6-ї лави південної панелі блоку 10 у серпні 2024 року, - це лава на пласті середньої потужності. Дані щодо показників роботи наведені у таблиці 4.3.

Геологічна потужність пласта знаходилась у діапазоні від 1,76 м до 1,87 м з середньозваженим значенням 1,83 м. Лава вела роботи у зоні непрогнозованих геологічних порушень, що були представлені зкидами з амплітудою 0,3 – 0,45 м. Пласт має складну будову, де верхня частина представлена вугіллям потужністю 1,11 – 1,21 м, нижня – вугільним сланцем потужністю 0,55 – 0,76 м. Фрагмент геологічного розрізу по лаві з зображенням порушення наведено на рисунку 4.4.

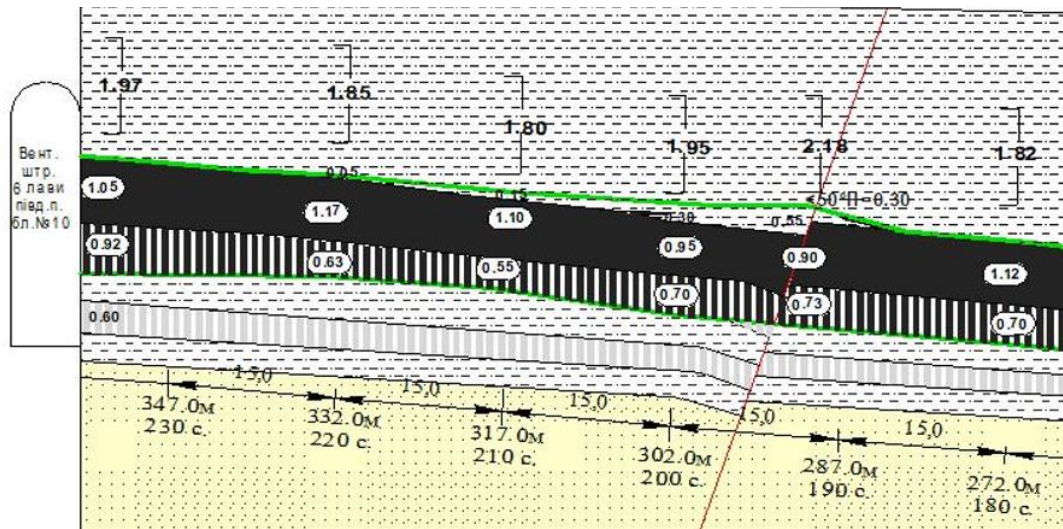


Рисунок 4.4 – Фрагмент геологічного розрізу 6-ї лави південної панелі блоку 10 з зображенням порушення

Таблиця 4.3 – Показники та умови роботи 6-ї лави південної панелі блоку 10 у серпні 2024 року

День місяця	Фактичний видобуток, т/добу	Наявність характеристика порушення	та	Протяжність порушення по довжині лави, м	Витрата метану у вихідному струмені повітря, м ³ /хв
1	2	3		4	5
1	5500	Відсутнє			12,07
2	5500	Відсутнє			12,07
3	5500	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою H=0,35 м	3	26	13,49
4	5500	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою H=0,4 м	3	26	14,2
5	5500	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою H=0,35 м	3	26	12,78
6	5500	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою H=0,4 м	3	30	12,78
7	5500	Непрогнозоване порушення, зкид з амплітудою H=0,4 м	3	30	12,78

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5
8	5500	Непрогнозоване порушення, амплітудою $H=0,45$ м	зкид з 30	12,78
9	5500	Непрогнозоване порушення, амплітудою $H=0,45$ м	зкид з 30	12,78
10	5500	Відсутнє		12,78
11	5500	Відсутнє		13,14
12	5500	Відсутнє		13,23
13	5500	Непрогнозоване порушення, амплітудою $H=0,4$ м	зкид з 30	13,94
14	5500	Непрогнозоване порушення, амплітудою $H=0,4$ м	зкид з 28	14,30
15	5500	Непрогнозоване порушення, амплітудою $H=0,35$ м	зкид з 30	14,30
16	5500	Непрогнозоване порушення, амплітудою $H=0,45$ м	зкид з 28	14,30
17	5500	Непрогнозоване порушення, амплітудою $H=0,4$ м	зкид з 30	13,59
18	5500	Непрогнозоване порушення, амплітудою $H=0,43$ м	зкид з 24	13,59
19	5500	Відсутнє		13,94
20	5500	Відсутнє		13,59
21	5500	Відсутнє		13,73
22	5500	Відсутнє		14,09
23	5500	Відсутнє		13,73
24	5500	Відсутнє		11,2
25	5500	Відсутнє		11,2
26	5500	Відсутнє		13,73
27	5500	Відсутнє		14,09
28	5500	Відсутнє		14,09
29	5500	Непрогнозоване порушення, амплітудою $H=0,35$ м	зкид з 22	13,73
30	5500	Непрогнозоване порушення, амплітудою $H=0,25$ м	зкид з 28	13,73
31	5500	Непрогнозоване порушення, розмив пласта з залишковою потужністю 1,63 м	23	14,09

Як видно з наведеної таблиці всі геологічні порушення мали характер непрогнозованих, на протязі місяця мали місце в основному зкиди, протяжність порушень по довжині лави складала від 22 до 30 метрів.

На рисунку 4.5 наведено викопіювання з плану гірничих робіт з розташуванням 6-ї лави південної панелі блоку 10.

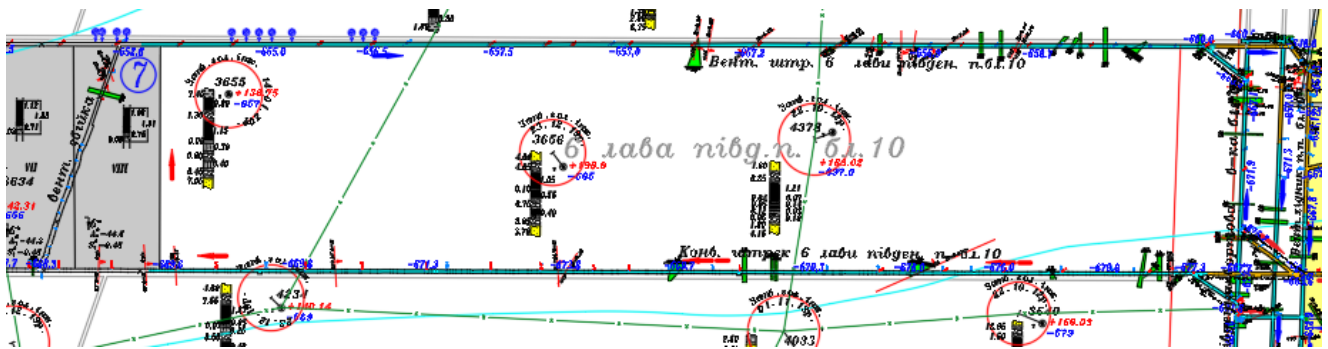


Рисунок 4.5 – Випокіювання з плану гірничих робіт з зображенням 6-ї лави південної панелі блоку 10

Дані, що наведені у таблиці 4.3 можна згрупувати за типами порушень та проаналізувати значення виділення метану у цих зонах. Результати аналізу даних наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Узагальнені показники метановиділення та наявності зон геологічних порушень при роботі 6-ї лави південної панелі блоку 10 у серпні 2024 року

Тип порушення	Число днів роботи у зоні порушення	Мінімальне виділення метану, м ³ /хв	Максимальне виділення метану, м ³ /хв	Середньозважене значення виділення метану, м ³ /хв
Розмив пласта	1	14,09	14,09	14,09
Зкид	15	12,78	14,3	13,54
Порушення відсутнє	15	11,2	14,09	13,11

Як свідчить аналіз наведених даних максимальне значення виділення метану має місце при роботі у зоні геологічного порушення й становить 14,3 м³/хв.

Порівняння середньозважених значень виділення метану показує, що у зонах порушень виділення метану вище – наведена інформація про зони зкиду – середнє значення виділення метану становить 13,54

м³/хв й на 0,43 м³/хв (3,3 %) вище середнього значення роботи лави поза зоною порушення 13,11 м³/хв.

Графік зміни метановиділення при роботі 6-ї лави південної панелі блоку 10 у серпні 2024 року наведено на рисунку 4.6.

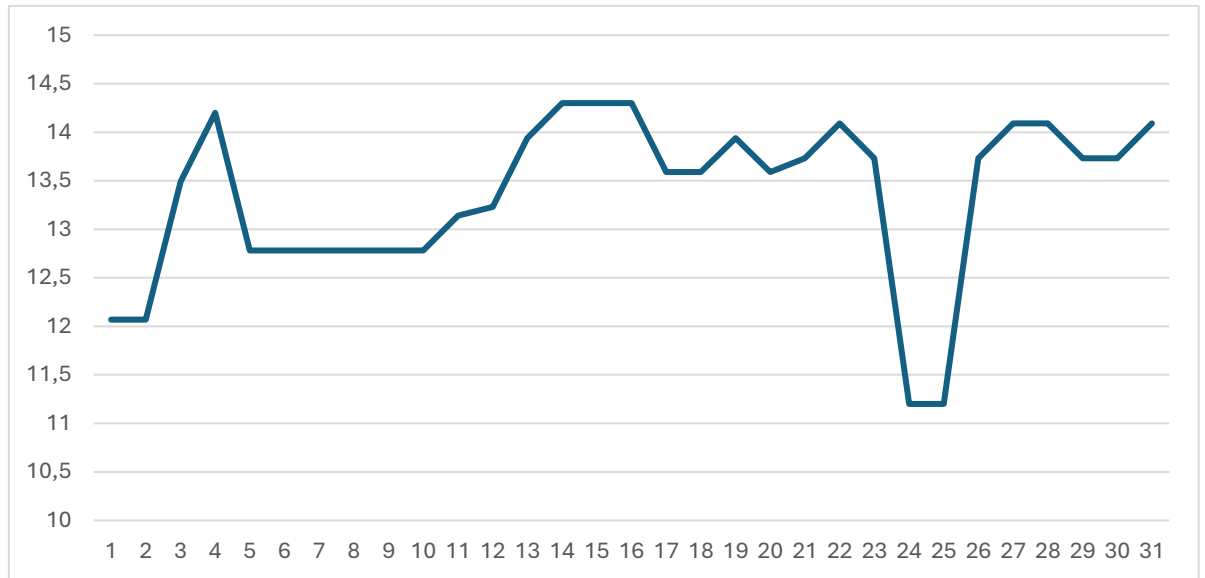


Рисунок 4.6 – Графік метановиділення при роботі 6-ї лави південної панелі блоку 10 у серпні 2024 року

4.3 Аналіз взаємозв'язку показників виділення метану та гірничо – геологічних умов на пласті малої та середньої потужності

При порівнянні результатів аналізу показників виділення метану у різних умовах роботи очисних вибоїв, на пласті малої та середньої потужності, які наведені у підрозділах 4.1 та 4.2, отримано наступні висновки:

- 1) значення метановиділення значно вищі при роботі очисних вибоїв на пласті середньої потужності. Наприклад, навіть поза

зонами геологічних порушень, середнє значення виділення метану для лави на пласті середньої потужності становить 13,11 м³/хв, та 7,52 м³/хв на пласті малої потужності. Тим самим виділення метану при роботі лав на пласті середньої потужності вище в 1,74 рази;

- 2) у зонах геологічних порушень таких як зкид, бо вони найчастіше зустрічаються при роботі обох типів лав, середнє виділення метану становить 13,54 м³/хв, що вище в 1,77 рази від відповідного значення для пласта малої потужності, яке становить 7,64 м³/хв;
- 3) різниця між середніми значеннями виділення метану у зонах порушень та поза зонами порушень становить порядку 3 % як для лав на малій потужності, так і для лав на середній потужності;
- 4) порушення носили непрогнозований характер;
- 5) типи порушень, що мали місце, при роботі вибоїв – це розмиви та зкиди. Розмиви більш характерні для лав на пласті малої потужності;
- 6) значення видобутку є рівномірним на пласті середньої потужності, бо основним обмежуючим чинником є обмеження за газом й підприємство дотримувалось встановленого значення навантаження. На пласті з малою потужністю видобуток є нерівномірним, бо вплив також має й технічний фактор й продуктивність комбайна через складність гірничо – геологічних умов та їх вплив на показники роботи.

4.4 Аналіз врахування гірничо – геологічних умов при виконанні розрахунку навантаження на очисний вибій за газовим фактором

На підприємстві розрахунок максимального припустимого навантаження на очисний вибій за газовим фактором виконується за наступними формулами:

$$A_{max} = \left(\frac{Q_{оч.мах} * k_{ут.в} * (C - C_0)}{128 * \left\{ \left(\frac{C - C_0}{C_{тр} - C_0} \right) * [A] + [B] \right\}} \right)^{1,6667} * \bar{I}_p^{-1,6667} * \left(\frac{L_{оч.р.}}{L_{оч.ф.}} \right)^{-0,6667} * A \quad (4.1)$$

$$[A] = k_{в.п.у} * k_{ізол} * (1 - k_{д.с.}) * (1 - k_{д.в.п}) \quad (4.2)$$

$$[B] = (1 - k_{в.п.у}) + k_{в.п.у} * (1 - k_{ізол}) * (1 - k_{д.скв}) * (1 - k_{д.в.п}) \quad (4.3)$$

Ці формули застосовуються відповідно до «Керівництва по проектуванню вентиляції вугільних шахт» [2], Правил визначення максимально дозволеного навантаження на високопродуктивний очисний вибій з урахуванням фактичного метановиділення і досягнутої ефективності дегазації [4], наукових робіт, що були виконані безпосередньо для умов підприємства ІГТМ НАН України.

Усі виконані розрахунки навантаження на очисний вибій за газовим фактором, до початку роботи лави, в обов'язковому порядку, узгоджуються з галузевим спеціалізованим інститутом ІГТМ НАН України.

$$Q_{оч.мах} = Q_{уч.} = Q_{в.ш.} + Q_{ізол} + Q_{д.в.п} \quad (4.4)$$

де: $Q_{д.в.п.}$ – витрата метаноповітряної суміші в трубопроводі дегазації виробленого простору, м³/хв;

$Q_{в.ш.}$ – витрата повітря у вентиляційній виробці, м³/хв;
визначається за формулою:

$$Q_{\text{в.ш}} = \frac{100}{C - C_0} * \bar{I}_{\text{уч.}} * k_{\text{н}} * [(1 - k_{\text{в.п.у.}}) + k_{\text{в.п.у.}} * (1 - k_{\text{д.с.}}) * (1 - k_{\text{д.в.п.}}) * (1 - k_{\text{и.от.}})] \quad (4.5)$$

$Q_{\text{ізол}}$ – витрата повітря у трубопроводі ізолюваного відведення метану, м³/хв; визначається за формулою:

$$Q_{\text{ізол}} = \frac{100}{C_m - C_0} * \bar{I}_{\text{уч.}} * k_{\text{в.п.у.}} * k_{\text{ізол.}} * k_{\text{н}} * (1 - k_{\text{д.с.}}) * (1 - k_{\text{д.в.п.}}) \quad (4.6)$$

$k_{\text{ізол}}$ – коефіцієнт ефективності ізолюваного відведення метану;

$k_{\text{д.с}}$ – коефіцієнт ефективності дегазації свердловинами;

$k_{\text{д.в.п.}}$ – коефіцієнт ефективності дегазації виробленого простору;

C – допустима концентрація газу в струмені, що виходить із виїмкової ділянки, %;

C_0 – концентрація газу у вентиляційному струмені, що надходить на виїмкову ділянку, %.

$l_{\text{оч.р.}}$ – довжина очисної виробки, для якої розраховується очікуване метановиділення, м;

$l_{\text{оч.ф.}}$ – довжина очисної виробки, для якої визначено фактичне метановиділення, м;

$K_{\text{в.п.у.}}$ - коефіцієнт, що враховує частку метановиділення з виробленого простору, розраховується за формулою:

$$K_{\text{в.п.у.}} = \frac{\bar{I}_{\text{в.п.}}}{\bar{I}_{\text{уч}}} \quad (4.7)$$

Коефіцієнт, що враховує витіки повітря через вироблений простір у межах виїмкової ділянки, визначається за формулою:

$$k_{\text{ут.в}} = 1 + 0,13 * m_{\text{в.пр.}} * \exp(0,35 * \bar{f} - 0,25 S_{\text{оч.мін}}) \quad (4.8)$$

де: \bar{f} – середньозважений коефіцієнт міцності порід покрівлі на відстані від покрівлі пласта, що дорівнює $8 * m_{\text{в.пр.}}$;

$S_{\text{оч.мін}}$ – площа поперечного перерізу призабійного простору очисної виробки у світлі, м².

$m_{\text{в.пр.}}$ – потужність пласта, що виймається, м.

$$\bar{f} = \frac{f_{\text{п.и.}} \sum m_{\text{п.и.}} + f_{\text{п.с.}} \sum m_{\text{п.с.}} + f_{\text{г.с.}} \sum m_{\text{г.с.}}}{\sum m_{\text{п.и.}} + \sum m_{\text{п.с.}} + \sum m_{\text{г.с.}}} \quad (4.9)$$

де: $f_{\text{п.и.}}$, $f_{\text{п.с.}}$, $f_{\text{г.с.}}$ – коефіцієнт міцності відповідно пісковиків і вапняків, піщаних сланців, глинистих сланців за шкалою проф. Протод'яконова;

$\sum m_{\text{п.и.}}$, $\sum m_{\text{п.с.}}$, $\sum m_{\text{г.с.}}$ – сумарна потужність відповідно пісковиків і вапняків, піщаних сланців, глинистих сланців.

$I_{\text{р.}}^- = I_{\text{уч.}}^-$ - очікуване середнє метановиділення на виїмковій ділянці визначається за формулою:

$$I_{\text{уч.}}^- = I_{\text{уч.ф.}}^- * \left(\frac{l_{\text{оч.р.}}}{l_{\text{оч.ф.}}} \right)^{0,4} * \left(\frac{A_{\text{р.}}}{A_{\text{ф.}}} \right)^{0,6} * k_{\text{с.р.}} * k_{\text{г.р.}} \quad (4.10)$$

$k_{\text{с.р.}}$ – коефіцієнт, що враховує зміну системи розробки;

$k_{\text{г.р.}}$ – коефіцієнт, що враховує зміну метановості виробок з глибиною;

$\bar{I}_{\text{уч.ф.}}$ – середня витрата газу у вентиляційному струмені, що виходить із виїмкової ділянки, м³/хв.

Отже, якщо дослідити складові формули розрахунку навантаження на очисний вибій за газовим фактором, бачимо, що безпосередньо враховуються гірничо – геологічні умови при розрахунку коефіцієнту, що враховує витoki повітря через вироблений простір у межах виїмкової ділянки $k_{\text{ут.в.}}$.

У формулі розрахунку максимального навантаження на очисний вибій за газовим чинником ця складова є у вигляді множника, який зведений до ступеню 1,6667.

Візьмемо узагальнені значення складових формули, що прийнятні для умов шахтоуправління, а саме \bar{f} – середньозважений коефіцієнт міцності порід покрівлі на відстані від покрівлі пласта, що виймається, рівному $8 * m_{в.пр.}$ та $S_{оч.min}$ – площа поперечного перерізу призабійного простору очисної виробки у світлі, м² й розрахуємо вплив зміни потужності пласта на значення цього коефіцієнта.

Розрахунки виконані окремо для лави на малій та на середній потужності, дані взято згідно даних шахтоуправління.

Для 1-ї південної лави блоку 9 маємо:

$$\bar{f} = 6,28$$

$$S_{оч.min} = 3,2$$

Тоді залежність для розрахунку коефіцієнту, що враховує витоки повітря через вироблений простір, розрахована за формулою (4.8) має наступний вигляд:

$$k_{ут.в} = 1 + 0,13 * m_{в.пр.} * \exp(0,35 * 6,28 - 0,25 * 3,2)$$

$$k_{ут.в} = 1 + 0,52 * m_{в.пр.}$$

За допомогою програми Microsoft Excel виконані розрахунки за отриманою залежністю, та розраховано коефіцієнт впливу на значення навантаження на очисний вибій.

Результати розрахунків зведено до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Розрахунок залежності зміни потужності пласта на коефіцієнт витоків повітря та коефіцієнт впливу на навантаження для 1-ї південної лави блоку 9

Потужність пласта, м	Кут.в.	Зміна коефіцієнта по відношенню до попереднього значення	Коефіцієнт впливу на навантаження	Зміна коефіцієнта по відношенню до попереднього значення
0,7	1,364		1,678	
0,8	1,416	0,052	1,786	0,108
0,9	1,468	0,052	1,896	0,111
1	1,52	0,052	2,010	0,113
1,1	1,572	0,052	2,126	0,116
1,2	1,624	0,052	2,244	0,119
1,3	1,676	0,052	2,365	0,121
1,4	1,728	0,052	2,489	0,124
1,5	1,78	0,052	2,615	0,126

Отже, можна сказати, що для лав на пласті малої потужності, зміна потужності пласта на 0,1 м дозволяє змінити навантаження в середньому на 0,117.

Для 6-ї лави південної панелі блоку 10 маємо:

$$\bar{f} = 6,19$$

$$S_{\text{оч.мін}} = 4,6$$

Тоді залежність для розрахунку коефіцієнту, що враховує витки повітря через вироблений простір, розрахована за формулою (4.8) має наступний вигляд:

$$k_{\text{ут.в}} = 1 + 0,13 * m_{\text{в.пр.}} * \exp(0,35 * 6,19 - 0,25 * 4,6)$$

$$k_{\text{ут.в}} = 1 + 0,36 * m_{\text{в.пр.}}$$

За допомогою програми Microsoft Excel виконані розрахунки за отриманою залежністю, та розраховано коефіцієнт впливу на значення навантаження на очисний вибій.

Результати розрахунків зведено до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Розрахунок залежності зміни потужності пласта на коефіцієнт витоків повітря та коефіцієнт впливу на навантаження для 6-ї лави південної панелі блоку 10

Потужність пласта, м	Кут.в.	Зміна коефіцієнта по відношенню до попереднього значення	Коефіцієнт впливу на навантаження	Зміна коефіцієнта по відношенню до попереднього значення
1,3	1,468		1,896	
1,4	1,504	0,036	1,975	0,078
1,5	1,54	0,036	2,054	0,079
1,6	1,576	0,036	2,135	0,081
1,7	1,612	0,036	2,217	0,082
1,8	1,648	0,036	2,300	0,083
1,9	1,684	0,036	2,384	0,084
2	1,72	0,036	2,470	0,086
2,1	1,756	0,036	2,556	0,087
2,2	1,792	0,036	2,644	0,088
2,3	1,828	0,036	2,733	0,089
2,4	1,864	0,036	2,824	0,090
2,5	1,9	0,036	2,915	0,091

Отже, можна сказати, що для лав на пласті середньої потужності, зміна потужності пласта на 0,1 м дозволяє змінити навантаження в середньому на 0,085.

Визначимо вплив зміни метановиділення у зоні гірничо – геологічного порушення на навантаження очисного вибою. Цей вплив може бути врахований через зміну такої складової, як $I_{р.}^- = I_{уч}^-$ - очікуване

середнє метановиділення на виїмковій ділянці. До формули розрахунку навантаження її значення входить у ступеню « - » 1,667.

У роботі було визначено, що середнє метановиділення на виїмковій ділянці у зоні геологічного порушення зростає на 3 % на пласті малої потужності, й на 3,3 % на пласті середньої потужності.

Отже, з урахуванням складників формули (4.1) навантаження у зоні порушення має становити 0,95 від нормативного навантаження, визначеного для роботи поза зоною порушення, тобто має бути зменшене на 5 %.

4.5 Методика розрахунку оптимального діапазону вуглевидобутку у зонах гірничо – геологічних порушень

З урахуванням характеру прояву гірничо – геологічних порушень, наявності прогнозованих та непрогнозованих зон порушень у роботі визначено два варіанти визначення оптимального діапазону вуглевидобутку, з дотриманням існуючих вимог законодавства.

Регламент визначення навантаження для зони прогнозованого порушення:

1. Головний геолог підприємства під час підготовки планових обсягів виробництва готує інформацію щодо прогнозних умов роботи кожного очисного вибою, яка містить дані щодо потужності пласта, типу та протяжності зон порушення.
2. Виробничий відділ виконує окремо розрахунки навантаження для роботи лави поза зоною геологічного порушення та у зоні геологічного порушення. Розрахунки виконуються за технічним

фактором та за умовами обмеження по виділенню метану. З розрахованих значень обирається найменше та приймається для подальшого планування роботи.

3. Виробничий відділ, згідно даних геологічної служби та виконаних розрахунків, виконує планування обсягів видобутку по кожній ділянці на місяць та встановлює загальний обсяг видобутку підприємства.

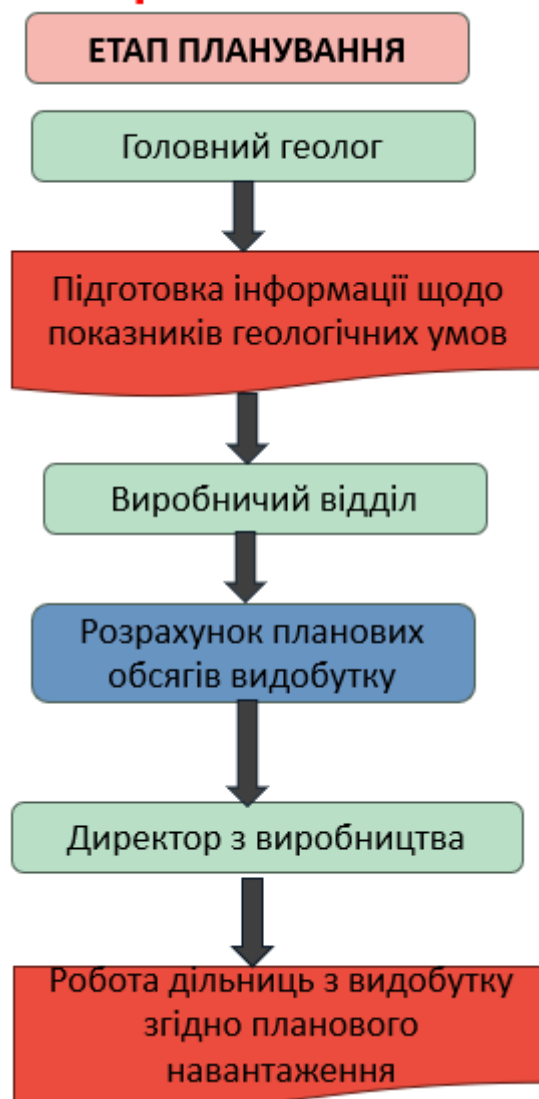


Рисунок 4.7 – Блок – схема реалізації методики у разі зон прогнозованих порушень

Регламент визначення навантаження для зони непрогнозованого порушення.

1. У разі появи непрогнозованого геологічного порушення інженерно – технічний нагляд дільниці ставить до відома про цей факт головного геолога, директора з виробництва, начальника дільниці ВТБ.
2. Головний геолог наносить фактично виявлене порушення на прогнозний паспорт, на підставі статистичних даних роботи очисних вибоїв у аналогічних умовах робить аналіз та прогноз щодо подальшого можливого розвитку порушення.
3. Директор з виробництва дає вказівку гірничому диспетчеру щодо оперативного коригування планового навантаження на очисний вибій з використанням середньозважених коефіцієнтів, визначених у цій роботі – зниження навантаження на 5 %.
4. Начальник дільниці ВТБ виконує перерахунок навантаження на очисний вибій за газовим чинником, з урахуванням зміни гірничо – геологічних умов, повідомляє отримане значення директору з виробництва для подальшого планування видобутку на час роботи у зоні порушення.

Розроблена методика дозволить:

- 1) забезпечити дотримання у виробництві принципів «оперативність – гнучкість – ефективність»;
- 2) керувати значеннями навантаження на очисний вибій з виконанням оперативного, майже миттєвого, коригування у разі зміни гірничо – геологічних умов;
- 3) уникнути зупинок роботи виїмкових дільниць через перевищення припустимих концентрацій метану;
- 4) підвищити плановий і фактичний видобуток у разі покращення гірничо – геологічних умов та відсутності порушень.



Рисунок 4.8 – Блок – схема реалізації методики у разі зон непрогнозованих порушень

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

З урахуванням того, що робота виконується за напрямком планування оптимального діапазону вуглеводобутку в виїмкових панелях з геологічними порушеннями, розділ охорони праці та техніки безпеки містить інформацію щодо безпечної роботи та контролю виділення метану при роботі очисних вибоїв саме у цих зонах.

5.1 Місця контролю метану у зонах гірничо – геологічних порушень при роботі очисних вибоїв

Періодичність контролю метану у місцях, пов'язаних з гірничо – геологічними порушеннями, при роботі очисного вибою, наведена у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Контроль метану при роботі очисного вибою у зоні геологічного порушення

Місце, де виконується вимірювання метану	Періодичність вимірювання	Прилади, що застосовуються	Особи, що мають здійснювати виміри
1	2	3	4
Очисний вибій - зона гірничо – геологічного порушення	Не рідше одного разу на добу	ШИ – 11 К-600	Гірничий майстер дільниці ВТБ
	Під час обстеження	ШИ – 11 К-600	Старший нагляд дільниці ВТБ
	Під час обстеження	ШИ – 11 К-600	Старший нагляд шахти
	Не менше трьох раз за зміну	ШИ – 11 К-600	Гірничий майстер дільниці з видобутку

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4
Очисний вибій - зона гірничо - геологічного порушення	Під час обстеження	ШИ – 11 К-600	Старший нагляд дільниці з видобутку
	Під час обстеження	ШИ – 11 К-600	Гірничий майстер дільниці «Прогноз»
	Під час обстеження	ШИ – 11 К-600	Старший нагляд дільниці «Прогноз»
	Під час обстеження	ШИ – 11 К-600	Гірничий майстер дільниці «Дегазація»
	Під час обстеження	ШИ – 11 К-600	Старший нагляд дільниці «Дегазація»
	За 10 метрів до проходу комбайном зони порушення та через 10 метрів після проходу комбайном зони порушення	СМС-5 К-600	МГВМ дільниці з видобутку
Коло місць гірничо – геологічних порушень – шарові скупчення на протязі порушення	Не рідше одного разу за добу	ШИ – 11 К-600	Гірничий майстер дільниці ВТБ
	Щозміни – не менше трьох раз за зміну	ШИ – 11 К-600	Гірничий майстер дільниці з видобутку
У куполах обвалення породи	Щозміни – не менше трьох раз за зміну	ШИ – 11 К-600	Гірничий майстер дільниці з видобутку
	Не менше одного разу за зміну	ШИ – 11 К-600	Гірничий майстер дільниці ВТБ
	За 10 метрів до проходу комбайном зони порушення та через 10 метрів після проходу комбайном зони порушення	СМС-5 К-600	МГВМ дільниці з видобутку
	Під час обстеження	ШИ – 11 К-600	Старший нагляд дільниці, шахти

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4
Зона гірничо-геологічного порушення (буріння шпурів для виконання додаткових заходів)	При бурінні шпурів у зоні порушення	Сигнал – 5 К-600	Старший робітник на виконанні операцій з буріння
	Щозміни – не менше трьох раз за зміну	ШИ – 11 К-600	Гірничий майстер дільниці з видобутку
	Не менше одного разу за зміну	ШИ – 11 К-600	Гірничий майстер дільниці ВТБ
	Під час обстеження	ШИ – 11 К-600	Старший нагляд дільниці, шахти

5.2 Додаткові заходи з попередження газодинамічних явищ при веденні очисних робіт у зоні гірничо – геологічного порушення

З урахуванням того, що вугільний пласт на площі шахтного поля є загрозливим або небезпечним за раптовими викидами під час ведення робіт у зоні геологічних порушень додатково виконується ряд заходів саме за цим напрямком питань безпеки.

Якщо порушення має прогнозований характер, то геологічна служба має про це попередити за 20 метрів до підходу до зони порушення головного інженера, начальника дільниці «Прогноз», директора з виробництва, начальника дільниці з видобутку.

У разі розкриття зони порушення виконується оцінка ступеню його викиднебезпеки. Оцінка виконується шляхом порівняння параметрів зони розвантаження привибійної частини вугільного пласта, у геологічному порушенні та при роботі поза зоною геологічного порушення, на відстані не менше 20 метрів від зони порушення.

Якщо зона порушення є пасивною за викидами то заходи безпеки при роботі очисного вибою мають бути такими ж як і у нормальних умовах залягання пласта.

Шпури для прогнозу ступеню викидонебезпечності зон гірничо – геологічних порушень мають розташовуватись наступним чином:

1) у геологічних порушеннях диз'юнктивного типу (порушення з руйнуванням суцільності, порушення розривного типу) – по 2 контрольних шпури з кожного боку від площини зміщення на відстані 1 метр від лінії зміщення та один від одного, далі, по 10 метрів в обидва боки від зони порушення на відстані не більше трьох метрів один від одного;

2) у геологічних порушеннях плікативного типу (порушення складчастого типу, без розриву суцільності) - контрольні шпури розташовують на відстані 3 метри один від одного на протязі зони порушення та по 10 метрів в обидва боки від зони порушення.

При прогнозі «небезпечно» й пасивному геологічному порушенні виймання вугілля по усій довжині лави має здійснюватися з дотриманням наступних вимог:

1) схема виймання – однобічна;

2) рух комбайну під час виймання має співпадати з напрямком руху свіжого струменю повітря;

3) при русі комбайну назустріч руху струменю повітря має здійснюватись лише зачистка, без руйнування масиву;

4) після кожного циклу виймання має бути технологічна перерва тривалістю не менше двох годин.

Керування комбайном під час перетину зони геологічного порушення має виконуватись дистанційно, вмикання та вимикання комбайну, з відстані не менше 15 м з боку свіжого струменю повітря, з відсутністю людей на вихідному струменю повітря. Коло комбайну

мають право знаходитись один МГВМ та два ГРОВ.

Якщо при підході до геологічного порушення або під час його перетину прогнозом була виявлена небезпечна зона або виявлені попереджувальні ознаки раптових викидів:

- 1) відтискання або висипання вугілля з вибою;
- 2) тріск або удари у масиві;
- 3) різке збільшення виділення метану з вугільного масиву;
- 4) відскакування шматочків вугілля;
- 5) посилення тиску на кріплення;
- 6) винесення штибу, газу, затискання бурового інструменту під час буріння шпурів, свердловин;
- 7) зменшення міцності вугілля

виконуються противикидні заходи – гідрорихління вугільного пласта з контролем його ефективності за динамікою початкової швидкості виділення метану, або виймання має виконуватись буропідривним способом у режимі струсного підривання.

Після виконання противикидних заходів, й ефективної оцінки їх виконання, приступають до виймання вугілля з дотриманням наступних вимог:

- 1) схема виймання – однобічна;
- 2) рух комбайну під час виймання має співпадати з напрямком руху свіжого струменю повітря;
- 3) при русі комбайну назустріч руху струменю повітря має здійснюватись лише зачистка, без руйнування масиву;
- 4) після кожного циклу виймання має бути технологічна перерва тривалістю не менше двох годин.

У разі неможливості або неефективності гідрорихління перетини гірничо – геологічного порушення виконують буропідривним способом у режимі струсного підривання, як на протязі зони порушення так і по 10 метрів в обидва боки від зони порушення.

Перетин зон активних геологічних порушень виконують буропідричним способом у режимі струсного підривання, як на протязі зони порушення так і по 10 метрів в обидва боки від зони порушення у комбайновій частині лави.

5.3 Заходи безпеки з уникнення фрикційного іскріння

З урахуванням того, що під час багатьох аварій мало місце фрикційне іскріння, як то було розглянуто у другому розділі даної роботи, наведемо основні заходи щодо попередження фрикційного іскріння під час виконання робіт з видобутку.

1. Роботи з виймання вугілля комбайном у лаві дозволено виконувати лише у разі забезпечення працездатності конструкції системи зрошення та пилопридушення, яка передбачена заводом – виробником.

2. Гірничий майстер та МГВМ дільниці з видобутку мають забезпечити щозмінний контроль працездатності системи зрошення комбайна.

3. Щозміни, до початку робіт з виймання вугілля, МГВМ дільниці з видобутку має виконати роботи з ревізії та прочистки форсунок, перевірку стану та заміну непридатних різців, що встановлені на виконавчому органі комбайна.

4. МГВМ повинен мати при собі прилад постійного контролю концентрації метану типу «Сигнал».

5. Роботи з виймання вугілля у очисному вибої дозволено виконувати тільки у разі наявності справного ТМРК та реле тиску на комбайні.

6. При веденні робіт у зонах гірничо – геологічних порушень або обвалень порід покрівлі має бути забезпечений контроль вмісту метану

у куполах обрушень та на протязі зони порушення до проходу комбайном цієї частини лави. У разі виявлення концентрації, що перевищує припустиму, роботи мають бути зупинені, виконані заходи щодо зниження концентрацій метану.

7. Для зниження концентрації метану, що утворюється у куполі обрушення порід треба додатково встановити та задіяти до роботи аератори, ежектори.

8. Роботи з виймання вугілля у зонах геологічних порушень є роботами підвищеної небезпеки і мають виконуватись у присутності особи нагляду дільниці з видобутку.

5.4 Організаційно – технічні заходи при веденні робіт у зоні геологічного порушення

1. Начальник дільниці та головний геолог мають забезпечити постійний аналіз та уточнення даних, що наведені в прогнозному гірничо – геологічному паспорті.

2. При веденні робіт у зоні порушення щозміни має проводитись інструктаж щодо безпеки робіт саме у зоні порушень як під час проведення наряду, так і додатково на робочих місцях.

3. Під час ведення робіт у зоні порушення на дільниці має бути постійно забезпечено запас лісоматеріалів у обсязі не менше обсягу достатнього для трьох діб роботи.

4. Роботи з виймання вугілля безпосередньо у зоні порушення мають вестись під контролем особи нагляду дільниці з видобутку, які мають виконувати додатковий контроль концентрацій метану у зоні геологічного порушення.

5. У разі наявності куполу обвалення порід роботи з виймання вугілля комбайном у цій зоні мають виконуватись лише після закладання зони вивалу, додаткового затягування покрівлі.

6. На протязі лави має бути трубопровід стисненого повітря Ф 32 мм, що з'єднаний з трубопроводами стисненого повітря, які прокладені по виїмковим штрекам діляниці. На трубопроводі стисненого повітря, що знаходиться в лаві, мають бути через кожні 20 метрів встановлені спеціальні відводи з перемикаючою арматурою. Це дасть змогу виконати у будь – якому місці лави роботи з буріння, виконання додаткових операцій у разі появи зони геологічного порушення.

7. На полиці резерву діляниці, що знаходиться у шахті, для ведення робіт при переході зони порушення мають бути три перфоратори, три комплекти бурових штанг, штангове кріплення, бурові коронки, анкери з хімічним заповнювачем, комплект різців для комбайну.

8. На секціях, що розташовані у зоні геологічного порушення, мають знаходитись оборники довжиною 2 – 2,5 м з кільцевою ручкою на одному кінці й пикою на іншому.

Основні фактори, що ускладнюють роботи при переході зони порушення та заходи боротьби з ними наведено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Фактори, що ускладнюють ведення робіт, при роботі очисного вибою у зоні геологічного порушення

Назва фактору	Заходи підвищення рівня безпеки
1	2
Утворення вивалу порід покрівлі	При висоті вивалу до 1 метра, над секціями викладають костри, при висоті більше 2 м – накатний костер у 2 – 3 шари
Вхід вибою лави у зону нестійкої покрівлі	У частині лави з нестійкими породами покрівлі, схильними до обвалення, виконується встановлення випереджуючого штангового кріплення. Швидкість комбайну у цих зонах не має перевищувати 0,5 м/хвилину. Під час роботи комбайну в таких зонах він зупиняється кожні три метри й виконується зтягування порід покрівлі лісоматеріалами.
Заміщення вугільного пласта породами з міцністю більше 60 МПа	Руйнування масиву з застосуванням буропідривних робіт, з дотриманням вимог безпеки, для виконання робіт у зверхкатегорійних шахтах
Роздув пласта	Виконувати виймання на усю потужність, додатково виконувати зтягування порід покрівлі, зведення кострів на верхніх перекриттях секцій механізованого кріплення
Похилі секції у місцях вивалу або нестійких порід покрівлі	Вирівнювання секцій механізованого кріплення за допомогою спеціального додаткового гідродомкрату

ВИСНОВКИ

Основною метою даної кваліфікаційної магістерської роботи є дослідження динаміки метановиділення в виїмкових дільницях ПрАТ «Шахтоуправління «Покровське» в зонах з геологічними порушеннями і розробка методики розрахунку оптимального діапазону вуглевидобутку.

Крім детального розгляду даного питання було виконано розгляд загальних характеристик підприємства, виконано аналіз кейсів зупинок ведення очисних робіт саме у зонах гірничо – геологічних порушень, детально розглянуті аварії, що мали місце у 2-ій північній лаві центральної панелі блоку 8 та у 5-ій південній лаві центральної панелі блоку 8, розглянуто висновки та рекомендації галузевих інститутів щодо уникнення спалахів вибухонебезпечної метаноповітряної суміші у очисних виробках.

Виконано розгляд світових практик врахування неоднорідності виділення метану на вугільних підприємствах таких країн як США, Австралія, В'єтнам, Німеччина, Польща, аналіз законодавства цих країн, порівняння з нормативами та технологіями України.

У основній частині виконано:

- 1) аналіз гірничо – геологічних умов та показників роботи очисного вибою на пласті малої потужності та середньої потужності;
- 2) аналіз взаємозв'язку показників виділення метану та гірничо – геологічних умов;
- 3) аналіз врахування гірничо – геологічних умов при виконанні розрахунку навантаження на очисний вибій за газовим фактором.

Результатом виконання роботи є розроблена методика розрахунку оптимального діапазону вуглевидобутку у зонах гірничо – геологічних порушень, яка дозволить керувати значеннями навантаження на очисний вибій з виконанням оперативного, майже миттєвого, коригування у разі зміни гірничо – геологічних умов.

Виконано розгляд питань охорони праці та техніки безпеки, наведені місця контролю метану у зонах гірничо – геологічних порушень при роботі очисних вибоїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Проект відпрацювання запасів у 2024 році ПРАТ «ШУ «ПОКРОВСЬКЕ». Том 1 / ТОВ «КОМПАНІЯ «ДЕЙТА ЕКСПРЕС». Київ, 2023. 84 с.
2. Керівництво по проектуванню вентиляції вугільних шахт / заг. ред. Г.П. Яковенко. Київ, 1994. 312 с.
3. Руководство по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах. Второе издание. ООН. 2016. 132 с.
4. Правила визначення максимально дозволеного навантаження на високопродуктивний очисний вибій з урахуванням фактичного метановиділення і досягнутої ефективності дегазації URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1125-22#Text> (дата звернення 27.12.2024 року).
5. Про затвердження Правил безпеки у вугільних шахтах URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0398-10#Text> (дата звернення 27.12.2024 року).
6. Методи прогнозу гірничо-геологічних умов розробки вугільних родовищ: навч. посібник / В.В. Лукінов, В.Ф., Приходченко, М.В. Жикаляк, О.В., Приходченко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т, – Дніпро: НГУ, 2016.- 216с
7. Угольная промышленность США глазами немецких специалистов.– Уголь №3, 1997.- С. 69-74.
8. Рекомендации Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины по повышению эффективности работы систем пылеподавления и обеспечения фрикционной искробезопасности на рабочих органах выемочных и проходческих комбайнов в горно-геологических условиях ЧАО «Шахтоуправление «Покровское. Днепр, 2018. 12 с.

9. Оценка целесообразности внедрения камерно - столбовой системы разработки на шахтах.– Уголь, №3, 1998.- С. 21-25.
10. Зависимость метаноносности и относительной метанообильности угольных пластов на шахте МАО ХЕ от глубины их залегания. Фам Дик Тханг, Фан Туан Ань, Горный информационно – аналитический бюллетень, 2020. – № 6 -1 - с.26 – 37.
11. Повышение безопасности ведения горных работ в метанообильных шахтах Вьетнама с использованием моделей прогнозной аналитики. И.О. Темкин, До Чи Тхань, А. Агабубаев, Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 8. С. 142 - 151.
12. 50 лет исследований в угольной промышленности – газовыделение, проветривание, микроклимат. Глюкауф, № 4, 2023. – с.23 – 30.
13. Руководство по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах. ООН. 2010. 87 с.
14. Руководство по наилучшей практике эффективного извлечения и утилизации метана на выведенных из эксплуатации угольных шахтах. ООН. 2020. 91 с.
15. Рёнер Вольфганг. Добыча и использование рудничного газа в земле Северный Рейн Вестфалия / Форум. Энергия и защита климата, 11 июня 2003 г.
16. Оценка методов метанобезопасности на шахтах Карагандинского бассейна (Казахстан): Монография / Н.А. Дрижд, Д.Р. Ахматнуров, А.М. Захаров, И.М. Шмидт-Федотова, Н.М. Замалиев, Р.А. Мусин. Карагандинский государственный технический университет. - Караганда: Изд-во КарГТУ,2016. 224 с.
17. Польский геологический институт <https://www.pgi.gov.pl/docman-tree-all/publikacje-2/special-papers/7/2479-7-polish-geological-special-papers-7-23-philpott-evaluation-of-the-bogdanka-mine/file.html> (дата звернення 01.01.2025 року).

18. Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górniczo-geologiczną w 2023 roku, Wyższy Urząd Górniczy, Katowice 2024

19. Zagrożenia gazodynamiczne w kopalniach jastrzębskiej spółki węglowej sa, Górnictwo i Geoinżynieria • Rok 31 • Zeszyt 3/1 • 2007, Tadeusz Majcherczyk*, Antoni Jakubów