

Національна академія наук України  
Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова



ФІЛАТЬЄВ МИХАЙЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК [622.333+622.83](043.5)

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ БЕЗПЕЧНОЇ ВІДРОБКИ ГАЗОНОСНИХ  
ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ ПРИ ЗСОВУВАННІ МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД

05.15.02 – "Підземна розробка родовищ корисних копалин"

05.26.01 – "Охорона праці"

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Дніпро – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Донбаському державному технічному університеті (ДонДТУ) Міністерства освіти і науки України (м. Лисичанськ).

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор  
**Бондаренко Володимир Ілліч**  
завідувач кафедри підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу НТУ «Дніпровська політехника» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпро).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Костенко Віктор Климентійович**  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України, завідувач кафедри природоохоронної діяльності;

доктор технічних наук, професор  
**Лапшин Олександр Олександрович**  
ДВНЗ «Криворізький національний університет» МОН України, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки;

доктор технічних наук, професор  
**Мінсєв Сергій Павлович**  
Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, завідувач відділу керування динамічними проявами гірничого тиску.

Захист дисертації відбудеться «03» липня 2019р. о 13<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.188.01 при Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а.

Автореферат розісланий «03» червня 2019 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
доктор технічних наук, професор



В.Г. Шевченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Практика ведення гірничих робіт показує, що газовиділення у виробки і дегазаційні свердловини виїмкових дільниць вугільних шахт безперервно змінюється під впливом багатьох факторів і цей процес носить динамічний характер. З цієї причини для успішної боротьби з газопроявами при веденні очисних робіт необхідно знати не тільки середньопрогнозовану величину газовиділення і коефіцієнт її коливання, як це передбачається діючими нормативними документами, а й безперервне змінення метановиділення.

Як правило, основне газовиділення (іноді більше 90%) відбувається з підроблених порід і вугільних пластів, що пов'язано з порушенням їх природного стану. Порушення природного стану вміщуючих порід і системи газ - вугілля зближених пластів на досягнутих глибинах ведення очисних робіт (близько 1500 м) відбувається у всій підроблюваній товщі. Залежно від умов підробки і розташування зближених пластів по відношенню до розроблюваного пласту і денної поверхні утворюються зони, які відрізняються між собою різним протіканням процесів зсовування порід і газовиділенню з джерел. Така особливість протікання процесів десорбції і зсовування підроблюваних порід практично не враховується діючими нормативними документами.

Останнім часом в Донбасі, на жаль, не припинилися аварії, пов'язані з вибухами газу у вугільних шахтах. Складні гірничо-геологічні умови вугільного родовища Донбасу зумовили наявність великої кількості небезпечних і шкідливих, супутніх гірничому виробництву чинників, які призводять до високого рівня травматизму. На шахтах України за останні кілька десятиліть відбулося понад сорок аварій з груповим травматизмом, в тому числі з причини вибухів газу - близько 30 аварій. В результаті цих катастроф травмована значна кількість працівників, в тому числі з причини вибухів газу 78% від загальної кількості травмованих. Така тенденція зберігається і в даний час. Наведені факти свідчать, що актуальними є науково-дослідні роботи, направлені на створення безпечних умов відробки газоносних вугільних пластів.

Аналіз наукових положень, закладених в основу розробки заходів, щодо безпечної відробки газоносних вугільних пластів, показав, що не встановлені закономірності динаміки газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі в залежності від геомеханічних процесів зсовування порід і земної поверхні, не обгрунтовані критерії досягнення максимумів газовиділення в межах виїмкових дільниць і всього шахтного поля, не розроблені методи прогнозу газовиділення під спільним впливом розвитку гірничих робіт і зміною навантаження на очисний вибій. З цієї причини встановлення закономірностей газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі, розробка методики визначення геомеханічних параметрів зсовування порід і вдосконалення нормативної бази безпечної відробки газоносних вугільних пластів є **актуальною науковою проблемою**, рішення якої має істотне значення для зниження аварійності та травматизму у вугільних шахтах.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційну роботу виконано відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України "Новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці",

стратегією розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2030 року "Вугільна промисловість" і планів держбюджетних НДР Донбаського державного технічного університету: тема № 178 "Розробка теоретичних основ оцінки підготовлених до відпрацювання виїмкових дільниць на аномальність метановиділення" (№ 0110U000096), № 201 "Обґрунтування раціональних параметрів схем провітрювання і дегазації виїмкових дільниць вугільних шахт з урахуванням геомеханічних процесів" (№ 0112U00367), № 208 "Розробка підсистеми прогнозу і управління динамікою метанообільності гірничих виробок" (№ 0114U004419). Деякі результати були отримані при виконанні робіт за господарськими договорами з Луганським науково-технічним центром Академії гірничих наук України: "Комплекс науково-технічних робіт з удосконалення мережі гірничих виробок і обґрунтування параметрів технології дегазації виїмкових полів СП "Шахтоуправління "Суходольська - Східна"" ПАТ "Краснодонвугілля"(2014р.), а також з ДП "Донбасантрацит" для шахт ім. газети "Ізвестія", "Хрустальська" та "Краснокутська" (2012-2013рр.). У зазначених НДР здобувач брав участь в якості виконавця.

**Ідея роботи** полягає у використанні встановлених закономірностей впливу геомеханічних параметрів зсовування підроблених порід і земної поверхні на газовиділення для удосконалення нормативної бази безпечної відробки газоносних вугільних пластів.

**Мета роботи** полягає у встановленні закономірностей газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі в залежності від геомеханічних процесів зсовування порід і земної поверхні, розробці методу прогнозу газовиділення і удосконалення нормативної бази безпечної відробки газоносних вугільних пластів для зниження аварійності і травматизму в вугільних шахтах.

**Об'єкт дослідження** - процеси безпечної відробки газоносних вугільних пластів при зсовуванні масиву гірських порід.

**Предмет дослідження** - закономірності змінення газовиділення з вуглепородної товщі під впливом геомеханічних процесів зсовування підроблених порід і земної поверхні.

**Досягнення поставленої мети передбачало вирішення таких проблем і основних завдань:**

1. Систематизувати та узагальнити методи прогнозу газовиділення існуючої нормативної бази і дослідити причини її невідповідності практиці ведення очисних робіт із забезпечення безпечних умов.

2. Встановити закономірності змінення параметрів осідання земної поверхні від розмірів очисних виробок і геомеханічних характеристик підробленої вуглепородної товщі.

3. Вивчити змінення основних параметрів зсовування підроблених порід і земної поверхні від гірничотехнічних і гірничо-геологічних факторів та запропонувати емпіричні залежності для здійснення інженерних розрахунків основних геомеханічних параметрів.

4. Розробити методику розрахунку розмірів зони зсовування порід з розривом їх суцільності з використанням геомеханічних параметрів.

5. Встановити закономірності змінення газовиділення від геомеханічних процесів зсовування порід та розробити і впровадити методику прогнозу основних па-

раметрів газовиділення для удосконалення нормативної бази безпечного ведення очисних робіт.

**Методи дослідження.** Використано комплексний метод досліджень, який включає: аналіз і узагальнення наукового і практичного досвіду про метановиділення і методах її прогнозу, експериментальні дослідження рівня виділення метану в межах виїмкових ділянок і всього шахтного поля, узагальнення відомих результатів дослідження геомеханічних процесів зсування земної поверхні і підроблених порід, які були отримані за останні п'ятдесят років, методи математичного моделювання геомеханічних процесів зсування підроблених порід і земної поверхні, статистичні методи обробки результатів досліджень.

**Основні наукові положення, які виносяться на захист:**

1. Встановлено розмір очисної виробки, при якому процеси зсування порід досягають земної поверхні в прямо пропорційній залежності від гірничо-геологічних і гірничотехнічних чинників, абсолютні відхилення розрахункових значень від експериментальних, при визначенні місцезнаходження точки в якій починається осідання земної поверхні перебували в діапазоні  $3 \div 36$  м

2. Траєкторія максимального осідання точок земної поверхні заходиться в експоненційній залежності від розміру очисної виробки, її емпіричні коефіцієнти визначаються потужністю пласта в діапазоні  $0,91 \div 4,20$  м, глибиною ведення робіт при  $106 \div 1195$  м і швидкістю посування очисного вибою в інтервалі  $20 \div 240$  м/міс.

3. Максимуми сумарного метановиділення в гірничі виробки і дегазаційні свердловини визначаються лінійним розміром виробленого простору і глибиною ведення очисних робіт, вони характеризуються відстанню між очисним вибоєм та розрізною піччю, абсолютне значення якої описується експоненціальним рівнянням в залежності від співвідношення лінійного розміру виробленого простору і глибиною ведення очисних робіт та при умові повної підробки знаходиться у діапазоні  $80 \div 120$  м.

4. У більшості випадків (понад 90%) зростання видобутку вугілля в початковий період експлуатації виїмкових ділянок описується експоненційною залежністю при віддаленні очисного вибою від розрізної печі, за аналогічною залежності відбувається зміна сумарного газовиділення, при цьому коефіцієнти, що характеризують змінення видобутку вугілля та газовиділення пов'язані між собою прямо пропорційною залежністю, це дозволяє планувати темпи навантажень на очисний вибій і прогнозувати відповідне їм газовиділення з підроблюваною вуглепородною товщі.

5. Середньоквадратичне відхилення газовиділення зростає прямопропорційно зі збільшенням значення максимального газовиділення, це свідчить про сталість коефіцієнта коливання газовиділення з підроблюваною вуглепородною товщі ( $K_H \approx 1.43$ ) незалежно від рівня газовиділення, як це передбачено нормативним документом.

**Наукова новизна отриманих результатів полягає в:**

1. Вперше встановлено розмір очисної виробки, при якому процеси зсування порід досягають земної поверхні в залежності від гірничо-геологічних і гірничотехнічних чинників, що дозволяє визначати місцезнаходження точки в якій починається осідання земної поверхні.

2. Вперше встановлені закономірності змінення геомеханічних параметрів зсування підроблених порід і земної поверхні від гірничотехнічних і гірничо-



геологічних умов ведення очисних робіт: кутів повних зрушень; кутів максимальних осідань порід; траєкторій максимальних осідань точок земної поверхні і розробці нового методологічного підходу до визначення цих параметрів.

3. Вперше встановлені закономірності досягнення максимумів метановиділення в залежності від ступеня розвитку очисних робіт в межах виїмкової ділянки і всього шахтного поля. У розробці нового методологічного підходу до прогнозу максимального газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі.

4. Вперше встановлені закономірності збільшення видобутку вугілля до досягнення планових показників і зміни поточного газовиділення та розробці нового методологічного підходу до прогнозування газовиділення при одночасному збільшенні видобутку вугілля і розвитку очисних робіт.

5. Вперше встановлені закономірності коливання газовиділення з підробленої вуглепородної товщі і розробці нової фізико-математичної моделі формування газовиділення під впливом геомеханічних чинників, відповідно до запропонованої теорії виникнення локальних і абсолютних максимумів метановиділення.

6. Вперше розроблено фізико-математичну модель визначення параметрів геомеханічних процесів з використанням траєкторій максимального осідання точок земної поверхні. Це дозволило достовірно встановити геомеханічні параметри зсування підроблених порід, в тому числі розміри їх зон зсування з розривом суцільності.

**Наукове значення роботи** полягає у встановленні закономірностей змінення геомеханічних параметрів зсування підроблених порід і земної поверхні від умов ведення очисних робіт, залежності траєкторій максимального осідання точок земної поверхні від гірничотехнічних і гірничо-геологічних чинників, закономірностей досягнення максимумів метановиділення в залежності від ступеня розвитку очисних робіт в межах виїмкової ділянки і всього шахтного поля, які визначають безпечну відробку газоносних вугільних пластів, розробці нового методологічного підходу до прогнозу максимального газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі, розробці нового методологічного підходу до прогнозу газовиділення при одночасному збільшенні видобутку вугілля і розвитку очисних робіт, встановленні коливання газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі і розробці нової фізико-математичної моделі формування газовиділення під впливом геомеханічних факторів відповідно до запропонованої теорії виникнення локальних і абсолютних максимумів метановиділення.

#### **Практичне значення роботи:**

1. Розроблено технічні рішення визначення параметрів геомеханічних процесів для встановлення зон зсування порід з розривом їх суцільності, це дозволяє встановлювати межі у вуглепородній товщі, з якої відбувається газовиділення.

2. Розроблено нову методику визначення геомеханічних характеристик зсування підроблених порід, яка пов'язує між собою основні чинники, що виключає отримання "диких" результатів.

3. Розроблено методику прогнозу газовиділення з вуглепородної товщі в залежності від параметрів зсування підроблених очисними виробками порід і земної поверхні, це дозволяє враховувати розвиток очисних робіт як в межах відокремленої виїмкової ділянки, так і в крилі шахтного поля.

4. Розроблено методичні рекомендації по аналізу відповідності положень нормативного документу практиці ведення гірничих робіт в частині газовиділення з підроблюваного вуглепородного масиву.

#### **Реалізація результатів досліджень.**

1. Отримані в дисертаційній роботі результати теоретичних і експериментальних досліджень впроваджені при науковому обґрунтуванні прогнозу газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі для підготовлюваної до експлуатації 1-ої північної лави пласта  $\ell_4$  горизонту 885м шахтою ім. Д.Ф. Мельникова ПАТ "Лисичанськвугілля"(акт впровадження від 09.04.2019р.).

2. Підготовлено та передано ІГТМ ім М. С. Полякова НАН України пропозиції щодо вдосконалення "Руководства по проектированию вентиляции угольных шахт" в частині прогнозу газовиділення і вибору схем провітрювання виїмкових діляниць(довідка від 15.04.2019р.).

3. Окремі положення дисертації використовуються у навчальному процесі ДВНЗ НТУ "Дніпровська політехніка" МОН України в рамках викладання спеціальних дисциплін студентам спеціальностей 184 - Гірництво та 263 - Цивільна безпека(довідка від 12.04.2019р.).

4. Очікуваний економічний ефект від впровадження рекомендацій щодо безпечного відпрацювання 1-ої північної лави пласта  $\ell_4$  шахтою ім. Д.Ф. Мельникова становить близько 1800 тис. грн/рік (акт впровадження від 09.04.2019р.). Соціальний ефект полягає в забезпеченні безпечних умов відробки газоносних вугільних пластів.

**Достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується використанням апробованих методів досліджень, положень механіки зрушення підроблених порід, проведенням обчислювальних експериментів на науково обґрунтованих математичних моделях геомеханічних процесів зсовування підроблених порід і земної поверхні; відповідністю закономірностей зміни параметрів зсовування порід і земної поверхні з результатами прогнозу динаміки газовиділення; позитивними результатами впровадження методик; емпіричні коефіцієнти встановлених залежностей характеризуються високим кореляційним відношенням ( $r = 0,78 \div 0,96$ ), це дозволяє використовувати їх в інженерних розрахунках без проведення трудомістких експериментів.

**Особистий внесок автора.** Автором самостійно сформульована ідея роботи, мета і завдання досліджень, основні висновки та наукові положення, які виносяться на захист. Розроблено фізико-математичну модель визначення параметрів геомеханічних процесів з використанням траєкторій максимального осідання точок земної поверхні. Встановлені закономірності досягнення максимумів метановиділення в залежності від ступеня розвитку очисних робіт в межах виїмкової ділянки і всього шахтного поля. Розроблено методику експерименту з вивчення залежності стану підробленої вуглепородної товщі від параметрів мульд зрушення земної поверхні. На підставі отриманих результатів обґрунтована і запропонована нова методика прогнозування газовиділення під впливом навантаження на очисний вибій і розвитку

очисних виробок. Розроблено методичні рекомендації до нормативного документу, щодо удосконалення нормативної бази безпечної відробки газоносних вугільних пластів.

Текст дисертації викладено особисто автором.

**Апробація результатів роботи.** Головні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і отримали схвалення на засіданнях наукових конференцій та семінарів: Міжнародна науково-практична конференція "Школа підземної розробки", м. Ялта, 22 - 27 вересня 2013р.; Міжнародна науково-практична конференція "Школа підземної розробки", м. Бердянськ, 17 - 22 серпня 2015р.; Міжнародна науково-практична конференція "Школа підземної розробки", м. Бердянськ, 15-18 серпня 2016р.; E3S Web of Conferences Ukrainian School of Mining Engineering Berdiansk, Ukraine, September 4-8, 2018.; E3S Web of Conferences Ukrainian School of Mining Engineering Berdiansk, Ukraine, September 4-8, 2018.; International Scientific and Technical Internet Conference "Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing", Petroșani, Romania, December 14, 2018.

**Публікації.** Основні наукові положення і результати дисертації опубліковані в 45 наукових працях, з них: 3 - монографії, 23 - в спеціалізованих фахових виданнях (з яких 7 в закордонних виданнях та виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз), 19 - в збірниках наукових праць.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел 140 - найменувань, містить 326 сторінок машинописного тексту (основна частина 264 сторінки), містить 82 малюнки, 34 таблиці, 18 додатків на 227 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

*Перший розділ* дисертації присвячений аналізу сучасних уявлень про газовиділення на виїмкових ділянках під впливом геомеханічних процесів зсовування вуглепородної товщі та чинникам, які визначають безпеку ведення очисних робіт. Цьому напрямку присвятили свої роботи ряд дослідників, серед яких слід відмітити вчених Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Національного гірничого університету МОН України, Державного Макіївського науково-дослідного інституту з безпеки робіт у гірничій промисловості Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, Інституту фізики гірничих процесів НАН України, Донецького державного науково-дослідного вугільного інституту, Донецького національного технічного університету МОН України, Українського науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України, Інституту гірничої справи ім. О.О. Скочинського, Інституту проблем комплексного освоєння надр РАН та інші.

Аналіз статистичних даних, стосовно аварій на вугільних шахтах України, за останнє п'ятнадцятиліття показує, що найбільша кількість жертв припадає на вибухи газу у гірничих виробках. Так із всіх аварій більше 70% пов'язані з вибухами газу у гірничих виробках з причини перевищення норм концентрації метану, а кількість



жертв більше 60%, що становить понад 500 чоловік. Це вказує на необхідність коригування нормативних документів в частині забезпечення умов безпечного відпрацювання газоносних вугільних пластів.

Аналіз стану проблеми також показав відсутність науково обґрунтованих теорій механізму формування газовиділення з підробленої вуглепородної товщі. Мають місце і протиріччя в оцінці впливу геологічних, технологічних і організаційних чинників на максимуми метановиділення в межах виїмкових дільниць і всього шахтного поля.

Основне джерело газовиділення в сучасних шахтах - підроблювані вугільні пласти і породи, тому крім видобутку вугілля істотними факторами, що визначають газовиділення з цих джерел, є параметри геомеханічних процесів зсовування порід. Перебіг таких процесів залежить від ступеня розвитку очисних робіт, як в межах окремого виїмкової дільниці, так і всього шахтного поля.

На початковій стадії відпрацювання виїмкової дільниці віддалення очисного вибою від розрізної печі характеризує змінення газовиділення, обумовлене як підвищенням видобутку вугілля (швидкості посування очисного вибою) так і розвитком процесів зсовування підроблюваних порід.

Весь період експлуатації виїмкової дільниці за рівнем видобутку вугілля умовно ділиться на три стадії.

Перша стадія експлуатації виїмкової дільниці розглядається з урахуванням двох критеріїв - досягнення планового видобутку вугілля і максимального рівня газовиділення в міру віддалення очисного вибою від розрізної печі.

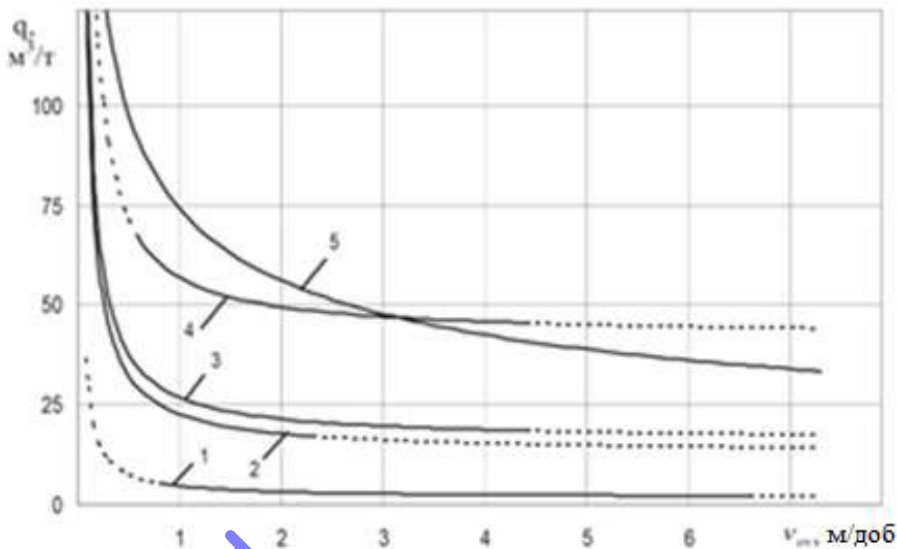
Наступній стадії експлуатації виїмкової дільниці, як правило, відповідає стабільний (плановий) видобуток вугілля.

Заключна стадія експлуатації виїмкової дільниці, з огляду на специфіку відпрацювання вугільних пластів довгими лавами, пов'язана з поступовим скороченням видобутку вугілля до повного його припинення.

Для досягнення поставленої мети розроблена загальна схема, яка об'єднує параметри розвитку очисних робіт з процесами зсовування підроблених порід і земної поверхні. При її обґрунтуванні використовували одне з наукових положень дисертаційної роботи Лобкова Н.І., яке полягає в наступному: формування області повних зрушень покрівлі відбувається в процесі відходу лави від розрізної печі на відстань, рівну довжині лави або ширині виробленого простору, що утворився при відпрацюванні декількох суміжних лав. У виїмковому полі лави утворюється квадрат виробленого простору, який представляє собою зону впливу очисних робіт. При подальшому посуванні лави відбувається утворення зони впливу виробленого простору, в якій параметри повних зрушень покрівлі не змінюються до відпрацювання лавою всього виїмкової поля (рис. 1).

Розроблена схема впливу очисних робіт дозволяє визначити взаємозалежні параметри зсовування підроблених порід і земної поверхні для всієї різноманітності гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов виїмки пологих вугільних пластів. На її основі розроблені математичні моделі визначення параметрів геомеханічних процесів з використанням траєкторій максимального осідання точок земної поверхні. Це дозволяє достовірно встановлювати геомеханічні параметри зсовування підроблених порід, в тому числі розміри зон їх зсовування з розривом суцільності.





- 1 - шахта «Краснолиманська», 3-тя південна лава, пласта  $\ell_3$ ;
- 2 - шахта ім. газети «Ізвестія», 9-а західна лава пласта  $\ell_2^6$ ;
- 3 - шахта ім. газети «Ізвестія», 8-а західна лава пласта  $\ell_2^6$ ;
- 4 - шахта ім. О. Ф. Засядька, 16-а східна лава, пласта  $m_3$ ;
- 5 - прогнозована залежність згідно з нормативним документом для умов шахти ім. газети «Ізвестія».

Рисунок 2 - Експериментальні і прогнозована залежності відносної газорясності ( $q$ ) від швидкості посування очисних вибоїв ( $v_{оч}$ ).

Розташування експериментальних кривих 1 - 4 свідчить про суттєву відмінність залежностей, отриманих в різних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах, що не в повній мірі враховується чинним нормативним документом.

Експериментальна частина роботи по встановленню особливостей зсовування підроблених порід і земної поверхні заснована на результатах досліджень, проведених за останні п'ятдесят років вітчизняними та зарубіжними вченими. Зокрема, використані експериментальні дані, отримані Аверінім Г.А., Авершиним С.Г., Акімовим А.Г., Борзих А.Ф., Гавриленко Ю.М., Земісевим В.Н., Іофісем М.А., Кулібабою С.Б., Ларченко В.Г., Назаренко В.О., Ягуновим А.С. Узагальнюючи ці обширні експериментальні дані, які отримані в різних вугільних басейнах, передбачили вирішення завдань, що характеризують особливості зсовування порід і земної поверхні.

Методикою передбачили вивчення впливу на формування динаміки метановиділення розвитку очисних робіт, як в межах окремих виїмкових дільниць, так і всього шахтного поля. Такі спостереження проведені протягом декількох років в умовах шахт ім. газети «Ізвестія» ДП «Донбасантрацит» і «Суходольська-Східна» ПАТ «Краснодонвугілля». Вони полягали у вимірюванні витрати газу у вихідних вентиляційних струменях повітря і дегазаційних свердловинах протягом всього періоду відпрацювання виїмкових дільниць.

Додатково використані експериментальні данні Бокія Б.В. при відпрацюванні пласта  $m_3$  шахтою ім. О.Ф. Засядька і Ярембаша І.Ф. при відпрацюванні пласта  $\ell_3$  шахтою «Краснолиманська».

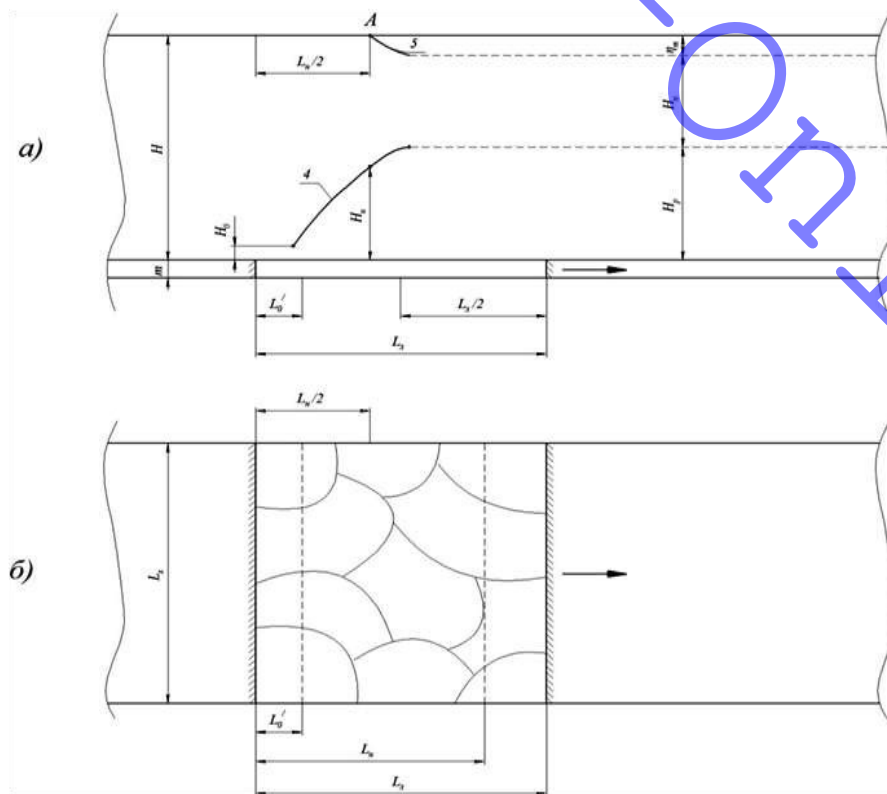
У другому розділі розроблені математичні моделі динаміки зсовування підроблених порід і земної поверхні з використанням загальної схеми відпрацювання виїмкових дільниць (рис. 1). Зокрема, розроблена схема зв'язку параметрів мульд земної поверхні з розмірами очисної виробки і зсовуванням підроблюваних порід при віддаленні вибою від розрізної печі. Використання експериментальних кривих траєкторій точок максимального осідання земної поверхні дозволяє визначити положен-

ня точки початку осідання земної поверхні і відповідні їй параметри очисних виробок і зсовування підроблених порід.

На підставі розроблених математичних моделей встановлена необхідність використання в розрахункових схемах близько двох десятків параметрів, що залежать від гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов. Ступінь достовірності їх визначення різна: до параметрів, що визначаються з високим ступенем точності відносяться глибина ведення робіт ( $H$ ), потужність пласта ( $m$ ), кут його падіння ( $\alpha$ ) і довжина лави ( $L_L$ ). Відповідність рекомендованих нормативним документом кутових параметрів зсовування підроблених порід (кути повних зрушень  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$ ; граничні кути  $\gamma_0, \beta_0, \delta_0$  і кути максимального осідання порід  $\theta$ ) і розмірів напівмульд зрушення земної поверхні розрахунковій схемі вимагають додаткового вивчення.

Основні геомеханічні процеси зсовування підроблених порід і земної поверхні відбуваються після первинного осідання основної покрівлі при віддаленні очисного вибою від розрізної печі на деяку відстань  $L'_0$ .

Ця відстань в сукупності з довжиною лави ( $L_L$ ), глибиною ведення очисних робіт ( $H$ ), потужністю пласта ( $m$ ) визначають, за інших рівних умов, місце розташування точки ( $A$ ) початку осідання земної поверхні (рис. 3). При незначних кутах падіння пластів, що розробляються (до  $5^\circ$ ) проекція точки  $A$  буде знаходитися орієнтовно над серединою виробленого простору, на відстані, приблизно рівному половині віддалення ( $L_H$ ) очисного вибою від розрізної печі. На положення точки  $A$ , крім кута падіння пласта, можуть впливати міцнісні властивості підроблюваних порід і швидкість посування очисного вибою.



$L'_0, L_H$  - віддалення очисного вибою від розрізної печі відповідно при первинному осіданні основної покрівлі та початку осідання точки  $A$  на земній поверхні;  $H_0, H_n, H_p$  - верхня межа поширення зони повних зрушень в підроблених породах відповідно після первинного осідання основної покрівлі, початку осідання точки  $A$  на земній поверхні і утворення квадрату виробленого простору зі стороною  $L_L$ ;  $\eta_m$  - максимальне осідання земної поверхні при віддаленні очисного вибою від розрізної печі на відстані більше  $L_L$ ;

Рисунок 3 - Схема залежності параметрів верхньої межі зони повних зрушень підроблених порід і мульди на земній поверхні (а) від розвитку очисних робіт (б) при відпрацюванні одиночної лави і виконанні співвідношення  $L_H < L_L$ .



Відстань  $L_n$  пов'язана певними співвідношеннями з  $L'_0$  і  $L_n$ . Значення  $L_n$  не може бути менше  $L'_0$ , так як початок осідання земної поверхні повинно відбуватися після осідання основної покрівлі. З цієї причини в розрахунковій схемі повинна дотримуватися умова  $L_n \geq L'_0$ .

Від співвідношення між  $L'_0$  і  $L_n$  залежить характер зсовування підроблюваних порід під впливом первинних і наступних осідань основної покрівлі. Наступними осіданнями вважали процеси зсовування підроблених порід після первинного осідання основної покрівлі під впливом яких верхня межа зони повних зрушень віддаляється від розроблюваного пласта внаслідок подальшого розвитку очисних робіт до утворення квадрату виробленого простору.

Наступні осідання можливі, якщо дотримується умова  $L_n > L_n > L'_0$  (рис. 3). У цьому випадку після первинного осідання основної покрівлі спостерігається подальший розвиток процесів зсовування порід в сторону земної поверхні. Під їх впливом при віддаленні очисного вибою від розрізної печі на відстань рівну довжині лави та утворенню квадрату виробленого простору, формується верхня межа (4) зони повних зрушень.

Початок осідання точки  $A$  земної поверхні відбувається для розглянутого випадку після первинного осідання основної покрівлі до утворення квадрату виробленого простору зі стороною  $L_n$ . Після утворення квадрату подальше посування очисного вибою не приведе до збільшення максимального ( $\eta_m$ ) осідання земної поверхні, так як верхня межа зони повних зрушень буде знаходитися на незмінній відстані ( $H_p$ ) від розроблюваного пласта.

Якщо між параметрами складеться співвідношення  $L'_0 < L_n < L_n$ , то процеси зсовування підроблених порід не будуть досягати земної поверхні після відпрацювання однієї лави. Утворення мильди на земній поверхні можливо тільки після подальшого відпрацювання чергових суміжних лав і утворення квадрата загального виробленого простору зі стороною рівною або більше  $L_n$ .

При відпрацюванні вугільних пластів довгими лавами в більшості випадків спостерігається нерівність  $L_n > L'_0$ . Крім таких варіантів можливі і інші співвідношення. Комбінації поєднання параметрів  $L_n$ ,  $L'_0$  і  $L_n$  визначають різний перебіг процесів зсовування підроблених порід і земної поверхні. Аналізуючи співвідношення цих параметрів теоретично можливо прогнозувати умови прояву первинного осідання основної покрівлі, положення верхньої межі зони повних зрушень підроблених порід і ступінь розвитку мильди на земній поверхні. Аналіз можливих співвідношень параметрів наведений в таблиці 1.

На підставі розроблених схем і проведеного аналізу встановлено необхідність додаткового вивчення залежності параметрів від гірничо-геологічних умов.



Таблиця 1 - Співвідношення між параметрами  $L_n$ ,  $L_n$  і  $L'_0$  і відповідні їм процеси зсозування підроблених порід і земної поверхні

Співвідношення між параметрами $L_n$ і $L_n$	Можливі варіанти співвідношення $L_n$ і $L'_0$ за умови $L_n \geq L'_0$	Характерні особливості процесів, що визначають верхню межу поширення зони повних зрушень підроблених порід і ступінь підробки земної поверхні
$L_n < L_n$	$L_n > L'_0$	Первинне осідання основної покрівлі відбувається до утворення квадрату виробленого простору зі стороною $L_n$ . Можливі наступні осідання, але процеси зсозування порід не досягають земної поверхні.
	$L_n = L'_0$	Первинне осідання основної покрівлі відбувається при утворенні квадрату виробленого простору зі стороною $L_n$ . Положення верхньої межі зони повних зрушень по відношенню до розроблюваного пласту залишається постійною. Процеси зсозування порід не досягають земної поверхні і мульда не утворюється.
	$L_n < L'_0$	Первинне осідання основної покрівлі відсутнє. Осідання земної поверхні не відбувається. Співвідношення параметрів характерні для протяжних виробок або відпрацювання пластів камерами.
$L_n = L_n$	$L_n > L'_0$	Після первинного осідання основної покрівлі відбуваються наступні до утворення квадрата виробленого простору зі стороною $L_n = L_n$ . Процеси зсозування порід досягають земної поверхні, але формування мульди не відбувається.
	$L_n = L'_0$	Первинне осідання відбувається при утворенні квадрату виробленого простору зі стороною $L_n = L'_0$ . Процеси зсозування порід досягають земної поверхні, але формування мульди не відбувається.
$L_n > L_n$	$L_n > L'_0$	Первинне осідання основної покрівлі відбувається до утворення квадрата виробленого зі стороною $L_n$ . Можливі наступні осідання, в результаті яких процеси зсозування порід досягають земної поверхні з утворенням мульди.

У третьому розділі на підставі експериментальних даних отримано емпіричне рівняння для визначення розрахункового значення ( $L_n^p$ ) виробленого простору, при якому починається осідання земної поверхні в залежності від  $m$ ,  $H$  і швидкості посування очисного вибою ( $v_{оч}$ ):

$$L_n^p = H \left[ 0,329 - 0,096m / 0,223 \right] 0,002v_{оч} + 0,145 \text{ , м.} \quad (1)$$

Абсолютні відхилення розрахункових значень  $L_n^p$  від  $L_n$ , отриманих на підставі експериментальних даних, перебували в діапазоні 3 - 36 м, а відносні - 1,8 - 29,3%. В середньому відхилення по всіх шахтах склали 19%. Це свідчить про те, що використовуючи рівняння (1), що враховує три впливові чинники  $H$ ,  $m$  і  $v_{оч}$ , можна досить точно визначати значення  $L_n^p$  для конкретних умов. На підставі отриманих результатів сформульовано перше наукове положення, яке виноситься на захист.

Статистичний аналіз експериментальних даних показав, що криву траєкторії максимального осідання точок земної поверхні в залежності від розмірів очисної виробки найбільш точно можна описати експоненційною залежністю:

$$\eta_m = a - b \cdot \exp(c \cdot L) \text{ , мм,} \quad (2)$$

де  $a, b, c$  - емпіричні коефіцієнти експоненціального рівняння.

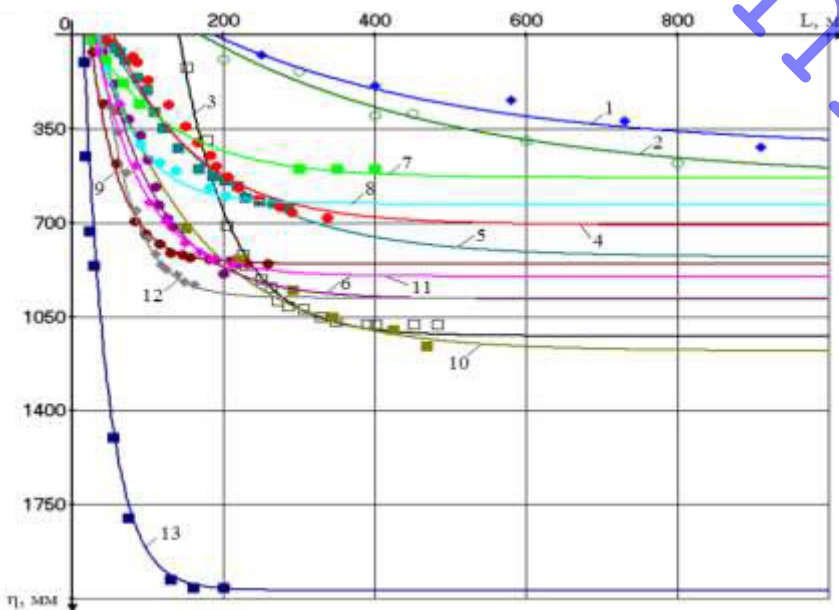
Коефіцієнт  $a$  характеризує максимально можливе значення  $\eta_m$ . В даному випадку воно відповідає глибині плоского дна мульди зрушення земної поверхні на стадії ведення очисних робіт. Коефіцієнти  $b$  і  $c$  визначають положення кривої, щодо осі абсцис і ширину зростаючої ділянки (активну стадію).

Результати статистичної обробки експериментальних даних представлені в таблиці 2. Надійність отриманих результатів підтверджується критерієм Фішера при рівні значущості 0,95. Для прийнятої до аналізу математичної моделі значення середньої помилки апроксимації по всіх досліджуваних об'єктах знаходилося в діапазоні від 4,6% до 12,9%.

Таблиця 2 - Емпіричні експоненціальні рівняння для різних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов

Шахта, пласт	Експоненціальна залежність	Кореляційне відношення R
	$\eta_m = a - b \cdot \exp(c \cdot L)$	
ім. М.В.Фрунзе, $h_8$	$\eta_m = 427,5 - 750 \cdot \exp(-0,003L)$	0,940
ім. П.Л. Войкова, $k_5^1$	$\eta_m = 540 - 900 \cdot \exp(-0,003L)$	0,967
Шахта Аппалачського басейну	$\eta_m = 1122 - 9350 \cdot \exp(-0,015L)$	0,997
ім. Г.Г. Капустіна, $m_3^H$	$\eta_m = 1177,5 - 1500 \cdot \exp(-0,0075L)$	0,989
«Степова», $C_6$	$\eta_m = 852,5 - 1550 \cdot \exp(-0,026L)$	0,998
«Ювілейна», $C_6'$ (Лави 530)	$\eta_m = 927 - 1520 \cdot \exp(-0,014L)$	0,971
«Степова», $C_6'$ (Лави 715, 713)	$\eta_m = 648 - 1350 \cdot \exp(-0,015L)$	0,970
«Степова», $C_6$ (Лави 606)	$\eta_m = 980 - 2450 \cdot \exp(-0,025L)$	0,994
«Степова», $C_6$ (Лави 604)	$\eta_m = 899 - 1450 \cdot \exp(-0,016L)$	0,991
«Першотравнева», $C_4'$ (Лави 302, 304)	$\eta_m = 532 - 665 \cdot \exp(-0,0095L)$	0,997
«Ювілейна», $C_1$ (2-я сх. Лави)	$\eta_m = 630 - 1210 \cdot \exp(-0,019L)$	0,991
«Ювілейна» $C_6'$ (Лави 605, 607)	$\eta_m = 708 - 1180 \cdot \exp(-0,0093L)$	0,983
№9, (лава №76)	$\eta_m = 2070 - 3233 \cdot \exp(-0,031L)$	0,965

Рівняння (2), коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$  якого визначено методом найменших квадратів, практично функціонально описує траєкторію максимального осідання точок земної поверхні для кожного розглянутого об'єкта (табл. 2, рис. 4). З цієї причини можна вважати, що з високою ймовірністю вони відповідають конкретним умовам проведення експериментів для кожного розглянутого об'єкта.



◆, ○, □, ●, ■, ◆, ◆, ◆, ◆, ◆, ◆, ◆, ◆, ◆, ◆, ◆ - експериментальні дані максимального осідання земної поверхні.

1-13 - усереднюючі криві максимального осідання земної поверхні відповідно в умовах шахт ім. М.В.Фрунзе (пласт  $h_8$ ), ім. П.Л.Войкова (пласт  $k_5^1$ ), шахти Аппалачського басейну, «Ювілейній» (пласт  $C_6'$ , лави 605, 607), «Степовій» (пласт  $C_6$ , лави 715, 716), «Ювілейній» (пласт  $C_6'$ , лави 530), «Першотравневої» (пласт  $C_4'$ , лави 302, 304), «Ювілейній» ( $C_1$ , 2-а сх. лави), «Степовій» (пласт  $C_6$ ), ім. Г.Г.Капустіна (пласт  $m_3^H$ ), «Степовій» (пласт  $C_6$ , лави 604), «Степовій» (пласт  $C_6$ , лави 606), шахти №9 (лава №76);

Рисунок 4 - Графік залежності максимального осідання земної поверхні ( $\eta_m$ ) від зміни одного з геометричних розмірів виробленого простору ( $L$ ) для різних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов.

Ступінь тісноти кореляційної залежності емпіричних коефіцієнтів ( $a, b, c$ ) рівняння (2), отриманих в результаті обробки експериментальних даних методом найменших квадратів від впливаючих гірничо-геологічних і гірничотехнічних факторів приведена в таблиці 3.

Таблиця 3 - Результати визначення парних коефіцієнтів кореляції між емпіричними коефіцієнтами ( $a, b, c$ ) експоненційних рівнянь і параметрами гірничо-геологічних умов.

Коефіцієнти експоненціального рівняння	Парні коефіцієнти кореляції з параметрами, котрі характеризують гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови											
	$m$	$H$	$v_{oc}$	$mH$	$\frac{H}{m}$	$\frac{m}{H}$	$m v_{oc}$	$\frac{v_{oc}}{m}$	$\frac{v_{oc}}{H}$	$\frac{v_{oc}}{mH}$	$\frac{v_{oc} m}{H}$	$\frac{H}{v_{oc}}$
$a$	0,56	-0,53	0,41	-0,33	-0,69	0,78	0,51	0,11	0,51	0,19	0,62	-0,65
$b$	-0,43	0,17	-0,96	0,06	0,30	-0,36	-0,94	-0,76	-0,88	-0,48	-0,96	0,43
$c$	0,24	0,74	-0,12	0,70	0,74	-0,80	-0,06	-0,19	-0,54	-0,62	-0,34	0,70

На підставі результатів кореляційного аналізу (табл. 3) визначено прогнозовані коефіцієнти  $a_{np}$ ,  $b_{np}$ ,  $c_{np}$  рівняння (2) від гірничотехнічних факторів:

$$a_{np} = 374 + 7,4 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{m}{H}, (r = 0,78), \quad (3)$$

$$b_{np} = 717 - 41 \cdot v_{oc}, (r = -0,96), \quad (4)$$

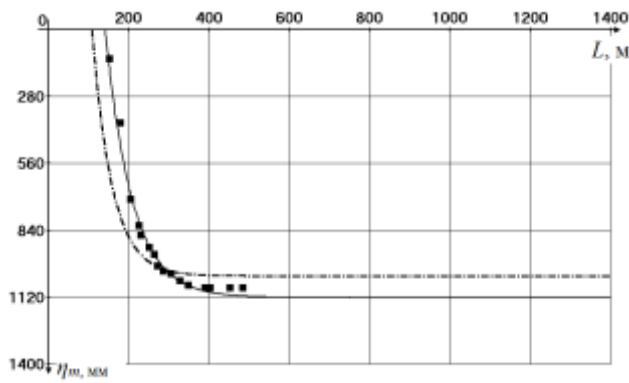
$$c_{np} = \frac{1}{-0,5 \cdot H + 14,6}, (R = 0,90). \quad (5)$$

Прогнозовані коефіцієнти рівняння (2), розраховані на підставі кореляційного аналізу ( $a_{np}, b_{np}, c_{np}$ ) для окремих об'єктів спостережень, досить тісно корелюють з коефіцієнтами ( $a, b, c$ ), визначеними способом найменших квадратів (табл. 4).

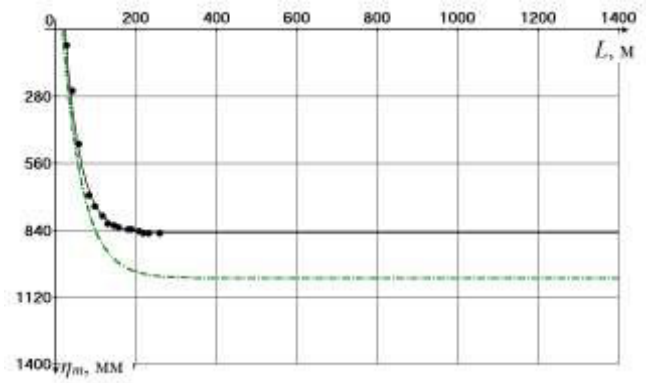
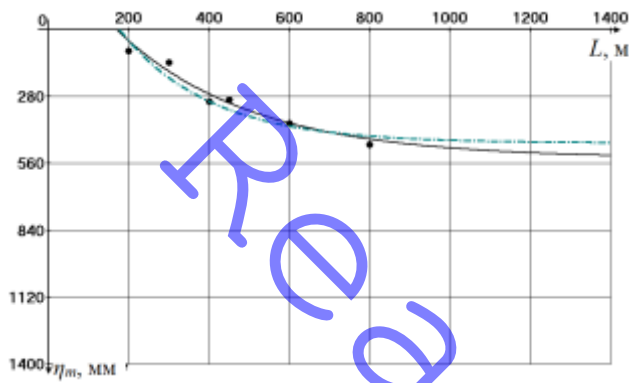
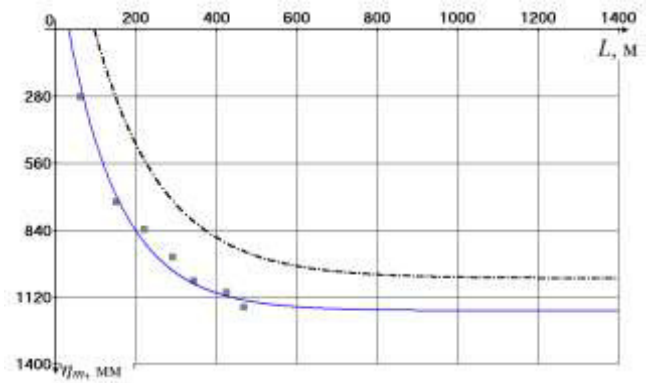
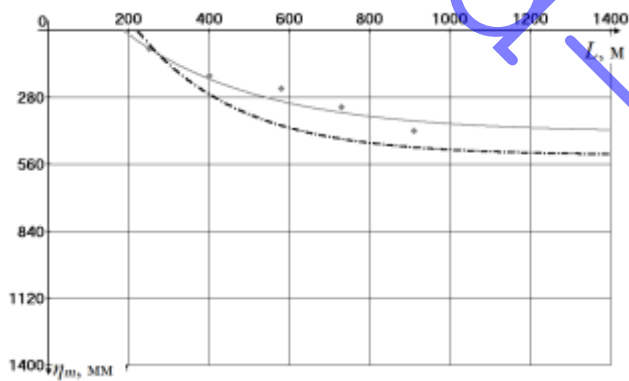
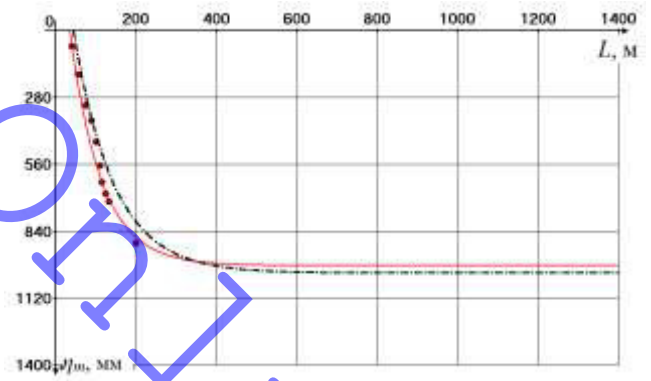
Таблиця 4 - Результати визначення парних коефіцієнтів кореляції ( $r$ ) між коефіцієнтами рівняння (2), визначених методом найменших квадратів і прогнозованих з використанням гірничотехнічних параметрів.

Коефіцієнти рівнянь	Значення парних коефіцієнтів кореляції ( $r$ )		
	$a_{np}$	$b_{np}$	$c_{np}$
$a$	0,78	-	-
$b$	-	0,96	-
$c$	-	-	0,89

Приклад прогнозування траєкторії максимального осідання точок земної поверхні на підставі коефіцієнтів експоненціального рівняння, визначених кореляційним аналізом, для умов деяких шахт наведено на рисунку 5.



шахта Аппалачського басейну

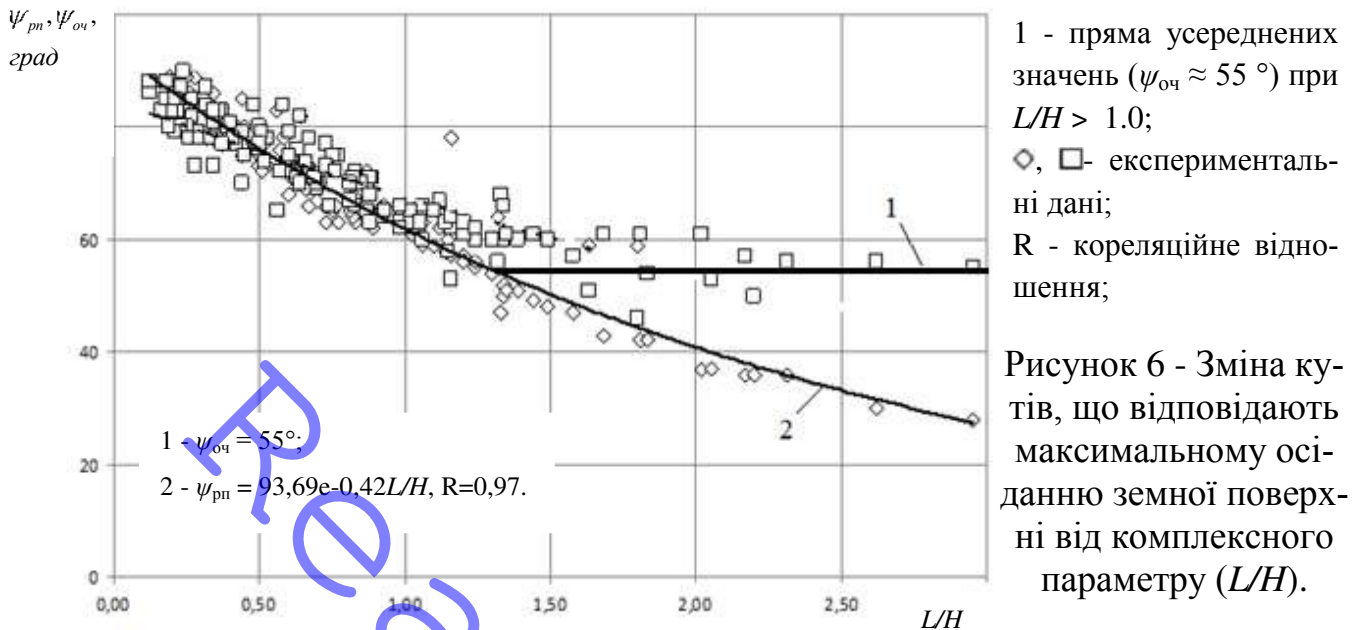
шахта «Степова»,  $C_6$ шахта ім. П.Л. Войкова,  $k_5^1$ шахта ім. Г.Г. Капустіна,  $m_3^H$ шахта ім. М.В.Фрунзе,  $h_8$ шахта «Ювілейна», (лава 530)  $C_6'$ 

— криві, визначені методом найменших квадратів; - - - - траєкторії, розраховані за допомогою кореляційного аналізу в залежності від гірничо-геологічних параметрів; ● - експериментальні дані.

Рисунок 5 - Приклад визначення траєкторії максимального осідання точок земної поверхні ( $\eta_m$ ) від розмірів очисних виробок ( $L$ ) в умовах різних шахт.

Визначення емпіричних коефіцієнтів математичних рівнянь запропонованим способом дозволить в подальшому уникнути трудомістких і тривалих безпосередніх спостережень в шахті і на земній поверхні. На підставі отриманих результатів сформульовано друге наукове положення про закономірності змінення параметрів осідання земної поверхні від розмірів очисних виробок і геомеханічних параметрів зсування підроблених порід.

Результати обробки (рис. 6) показали тісну кореляційну залежність зміни кутів, що відповідають максимальному осіданню земної поверхні, як з боку розрізної печі ( $\psi_{pn}$ ), так і над очисним вибоєм ( $\psi_{оч}$ ) від комплексного параметру  $L/H$ .



Розглянули залежність кута максимального осідання порід  $\theta = \varphi(L/H)$ . Графік цієї залежності (рис. 7) вказує на загальну тенденцію змінення експериментальних даних для різних об'єктів.

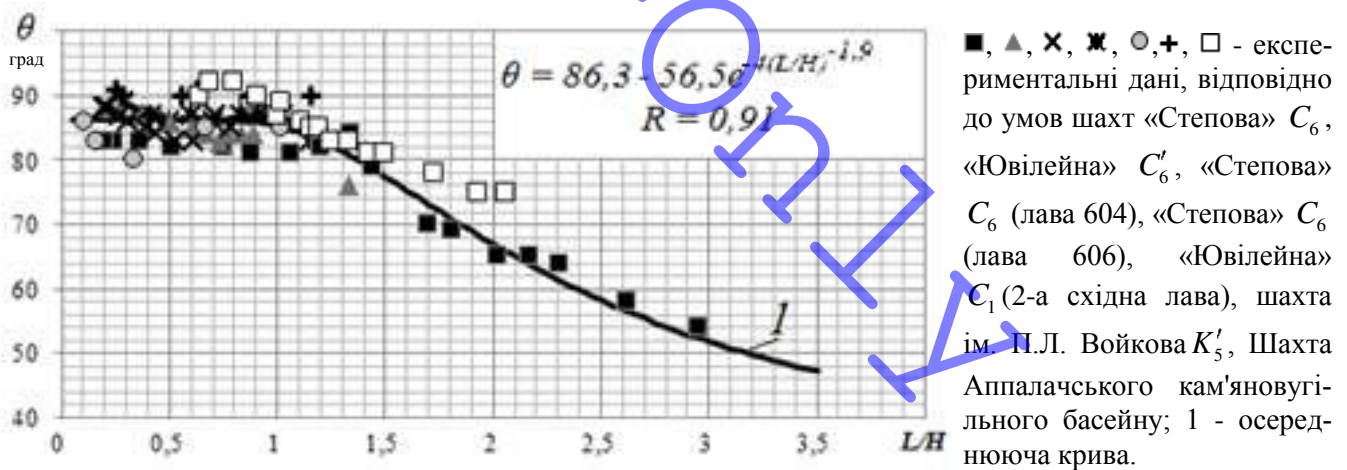


Рисунок 7 - Залежність експериментальних значень кутів максимального осідання порід  $\theta$  від параметра  $L/H$ .

Попередній аналіз експериментальних даних показав, що для опису всіх стадій протікання процесу осідання точки земної поверхні ( $\eta$ ) над очисним вибоєм більшою мірою підходить логістична залежність. Вона застосовується, як правило, для математичного моделювання процесів переходу від одного стабільного стану в інший.



$$\eta = \frac{a}{1 + b \cdot \exp(c \cdot L)}, \quad (6)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  - емпіричні коефіцієнти;  $L$  - відстань від точки спостереження до проекції лінії очисного вибою, м.

Результати статистичної обробки методом найменших квадратів показали, що при постійних значеннях потужності розроблюваного пласта ( $m$ ), глибини ведення очисних робіт ( $H$ ), міцнісних властивостей вміщуючих порід, довжини лави ( $L_n$ ) і швидкості посування очисного вибою ( $v_{оч}$ ), залежність  $\eta$  від  $L$  описується, практично функціонально емпіричними рівняннями.

Можливість і доцільність застосування для прогнозування параметрів осідання земної поверхні емпіричних коефіцієнтів ( $a_p$ ,  $b_p$ ,  $c_p$ ), визначених іншим способом, можна довести їх близькістю з коефіцієнтами ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ), які розраховані методом найменших квадратів.

За результатами кореляційного аналізу отримані залежності емпіричних коефіцієнтів рівняння (6) від гірничотехнічних і гірничо-геологічних факторів:

$$a_p = \frac{1}{(-2,64 \cdot 10^{-4} \cdot m + 1,54 \cdot 10^{-3})}, (R = 0,88), \quad (7)$$

$$b_p = \frac{1}{(-0,14 \frac{v_{оч}}{H} + 0,19)}, (R = 0,88), \quad (8)$$

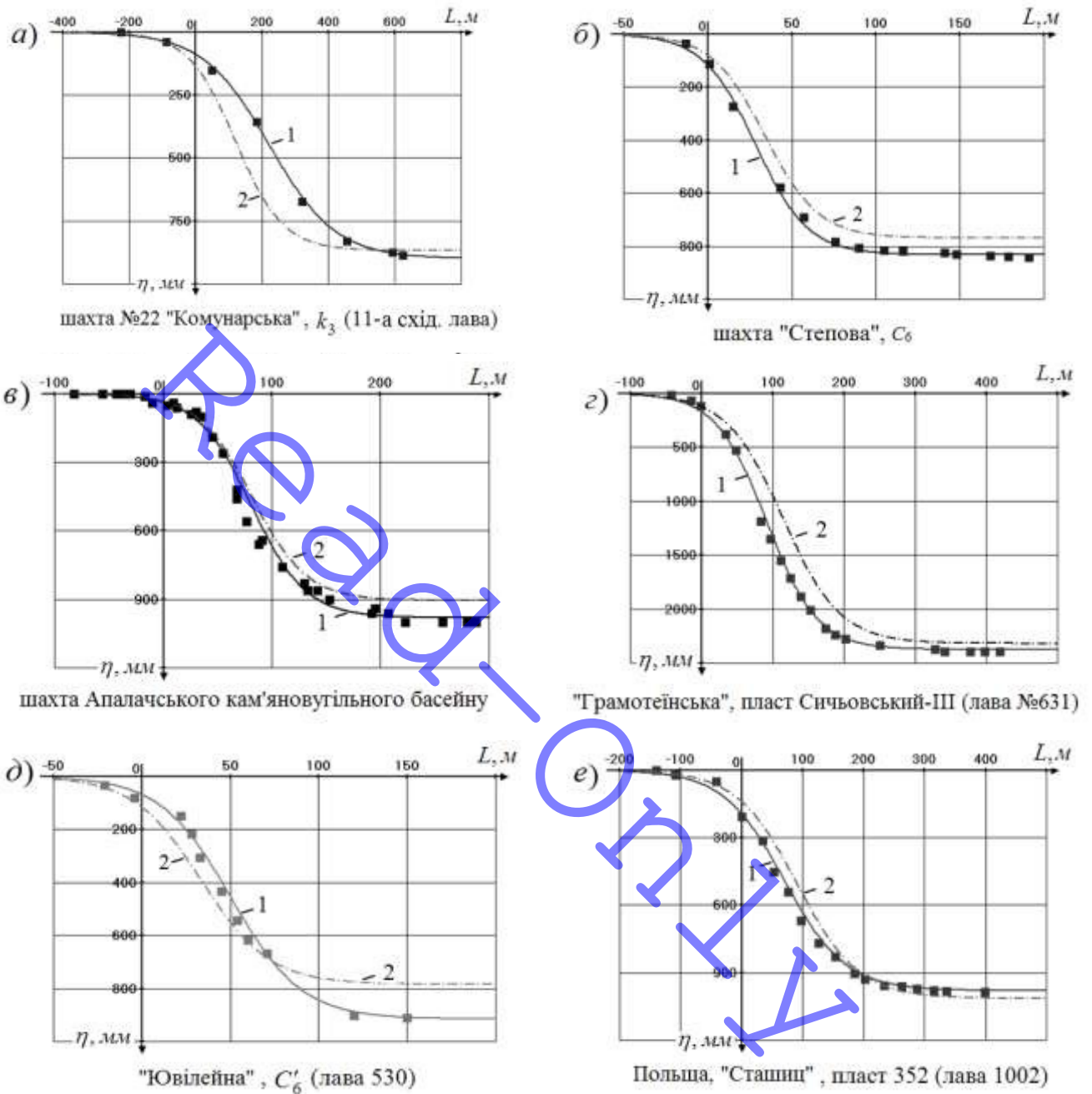
$$c_p = 0,205 + 0,0148 \cdot \ln\left(\frac{1}{m \cdot L_n \cdot H}\right), (R = 0,99). \quad (9)$$

Використовуючи тісноту кореляційних зв'язків емпіричних коефіцієнтів і значення параметрів ( $m$  (м),  $H$  (м),  $v_{оч}$  (м/добу),  $L_n$  (м)), для кожного об'єкта розраховували значення  $a_p$ ,  $b_p$ ,  $c_p$  (табл. 5).

Таблиця 5 - Результати визначення емпіричних коефіцієнтів логістичної залежності.

Шахта, пласт (лава)	Коефіцієнти логістичного рівняння					
	визначені методом найменших квадратів			визначені методом кореляційного аналізу		
	$a$	$b$	$c$	$a_p$	$b_p$	$c_p$
«Білозерська»	810	4,1	-0,016	836	5,9	-
Шахта №22 «Комунарська», $k_3$ (11-а сх. Лава)	900	9,3	-0,010	868	5,5	-0,019
«Степова», $C_6$	832	5,8	-0,064	769	8,7	-0,063
Шахта Аппалачського кам'яновугільного басейну	980	26,0	-0,040	905	26,8	-0,040
«Грамотеїнська», пласт Сичевський-III (лава №631)	2375	13,0	-0,028	2319	17,7	-0,025
«Ювілейна», $C'_6$ (Лава 530)	915	12,5	-0,050	784	5,8	-0,052
Ш. ім. О.Ф. Засядька, $m_3$ (13-а зап. Лава)	400	7,0	-0,006	1015	5,6	-0,007
Німеччина, (Рур), пласт Grimberg 2/3 (лава 31)	1420	5,8	-0,010	1 043	5,8	-0,007
Польща, «Сташиц», пласт 352 (лава 1002)	980	4,1	-0,020	1015	6,3	-0,020

Згідно з отриманими рівняннями (7, 8, 9), спрогнозували осідання земної поверхні, враховуючи вплив  $m$ ,  $H$ ,  $v_{оч}$ ,  $L_d$  (Рис. 8).



1 - криві, визначені методом найменших квадратів; 2 - криві динаміки осідання, визначені методом кореляційного аналізу; ■ - експериментальні дані;  $\eta$  - осідання земної поверхні;  $L$  - відстань від точки спостереження до проекції лінії очисного вибою.

Рисунок 8 - Осідання земної поверхні під впливом рухомого очисного вибою

У четвертому розділі наведено теоретичне обґрунтування і експериментальне підтвердження розташування характерних точок осідання земної поверхні над очисним вибоєм.

Крива осідання точки земної поверхні над очисним вибоєм для всіх об'єктів, за даними різних авторів, практично функціонально описується логістичною, експоненційною або гіперболічного тангенса залежностями. У всіх випадках кореляційне відношення становило близько 0,99. Характерними точками кривої осідання є: *A* - відповідає початку осідання земної поверхні; *O* - знаходиться в створі з очисним вибоєм; *B* - початок активної стадії; *C* - максимальна швидкість осідання і точка перегину кривої; *D* - завершення активної стадії; *F* - початок залишкового впливу.

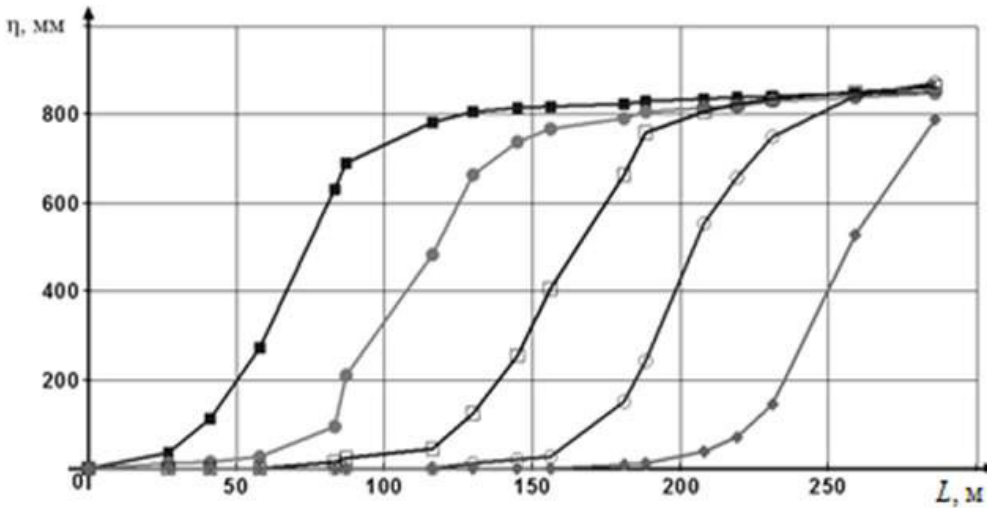
Використовуючи принципи визначення стадій протікання процесів осідання земної поверхні за допомогою похідних, розраховали для всіх трьох залежностей відстані між проекцією очисного вибою і характерними точками кривої осідання земної поверхні ( $L_A, L_B, L_C, L_D, L_F$ ). Їх значення, розраховані відповідно до цих рівнянь, були близькі між собою. У подальших розрахунках використовували середні значення  $\bar{L}_A, \bar{L}_B, \bar{L}_C, \bar{L}_D, \bar{L}_F$ .

Координати характерних точок (*A, O, B, C, D, F*) кривої осідання земної поверхні, визначені згідно вихідним залежностям, зведені в таблицю 6.

Таблиця 6 - Залежності для визначення координат характерних точок кривої осідання земної поверхні згідно експоненціальної, гіперболічного тангенса і логістичної рівнянням.

Характерні точки кривої осідання земної поверхні	Експоненціальне рівняння		Рівняння гіперболічного тангенса		Логістичне рівняння	
	Абсциса $L$ , м	ордината $\eta$ , мм	Абсциса $L$ , м	ордината $\eta$ , мм	Абсциса $L$ , м	ордината $\eta$ , мм
<i>A</i>	$-L_H$	0	$-\frac{2,298+n_3}{n_2}$	0	$\frac{4,595-\ln b}{-c}$	0
<i>O</i>	0	$\eta_K \left[ 1 - \exp(-\beta_2 \cdot L_0^2) \right]$	0	$\eta_K \left[ 1 + \tanh n_3 \right]$	0	$\frac{\eta_K}{1+b}$
<i>B</i>	$\frac{0,5246}{\sqrt{\beta_1}} - L_H$	$0,241 \eta_K$	$-\frac{0,658+n_3}{n_2}$	$0,21 \eta_K$	$\frac{\ln 0,73/b}{-c}$	$0,21 \eta_K$
<i>C</i>	$\frac{0,7071}{\sqrt{\beta_1}} - L_H$	$0,393 \eta_K$	$-\frac{n_2}{n_3}$	$0,50 \eta_K$	$\frac{\ln b}{c}$	$0,50 \eta_K$
<i>D</i>	$\frac{1,2247}{\sqrt{\beta_1}} - L_H$	$0,777 \eta_K$	$\frac{0,658-n_3}{n_2}$	$0,80 \eta_K$	$\frac{\ln 0,268/b}{-c}$	$0,79 \eta_K$
<i>F</i>	$\sqrt{\frac{\ln d}{-\beta_1}} - L_H$	$(0,97 \div 0,99) \eta_K$	$\frac{1,946-n_3}{n_2}$	$(0,97 \div 0,99) \eta_K$	$\frac{3,892-\ln b}{c}$	$(0,97 \div 0,99) \eta_K$

Детальна методика обробки експериментальних даних приведена на прикладі шахти «Степова». До аналізу залучили дані про осідання реперів 25, 30, 35, 40 і 45, які в процесі віддалення очисного вибою від розрізної печі потрапили в зону повної підробки (рис. 9).



■, ●, □, ○, ◆ - експериментальні дані осідань відповідно реперів 25, 30, 35, 40 і 45.

Рисунок 9 - Осідання реперів ( $\eta$ ) на земній поверхні при віддаленні ( $L$ ) очисного вибою від розрізної печі на шахті «Степова»

Потім результати цих спостережень систематизували, прийнявши за початок координат момент перетину очисним вибоєм вертикальної лінії, проведеної через точку (репер) спостереження (рис. 10).

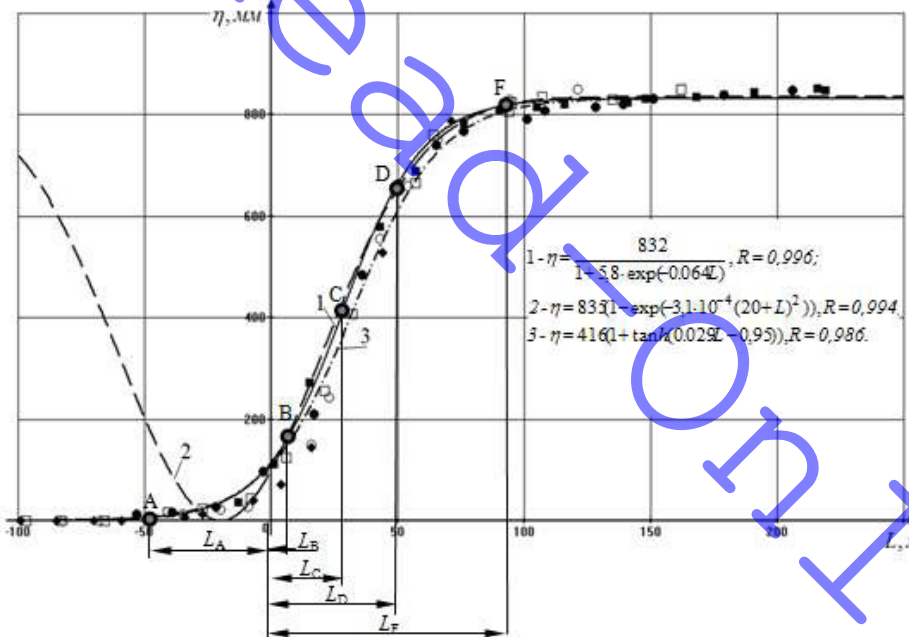


Рисунок 10 - Осідання ( $\eta$ ) точок земної поверхні при веденні очисних робіт шахтою «Степова», щодо положення проекції очисного вибою ( $L$ ).

Результати визначення координат характерних точок осідання земної поверхні при її підробці очисними виробками шахти "Степова" наведені в таблиці 7. За аналогічною методикою провели обробку експериментальних даних і визначили емпіричні коефіцієнти для інших об'єктів спостережень (табл. 8).

Використовуючи емпіричні коефіцієнти рівнянь (табл. 8) для всіх шахт розраховували абсиси характерних точок  $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_C$ ,  $L_D$  і  $L_F$ . Розраховані за різними рівняннями ці параметри відрізнялися між собою максимум на 20%. У подальших розрахунках використовували їх середні значення  $\bar{L}_A$ ,  $\bar{L}_B$ ,  $\bar{L}_C$ ,  $\bar{L}_D$  і  $\bar{L}_F$ . На підставі даних визначили залежності усереднених значень абсис характерних точок від глибини ведення очисних робіт.

Таблиця 7 - Результати визначення координат характерних точок осідання земної поверхні при її підробці шахтою «Степова»

Результати обробки і характерні точки	Математичні функції					
	Логістична залежність		Експоненціальна залежність		Гіперболічний тангенс	
	$\eta = \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-c \cdot L)}$		$\eta = \eta_k \cdot \exp[-\beta_2(L + L_0)^2]$		$\eta = n_1[1 + \tanh(n_2L + n_3)]$	
Кореляційне відношення	0,996		0,994		0,986	
Емпіричні коефіцієнти	$a = \eta_k = 832; b = 5,8; c = 0,064$		$\beta_2 = 3,1 \cdot 10^{-4}; L_0 = L_n = -20; \eta_k = 835$		$n_1 = 416 = 0,5\eta_k; n_2 = 0,029; n_3 = -0,95$	
<i>A</i>	$L_A = L_n = -44м$	$\eta_A = 0мм$	$L_A = L_n = 20м$	$\eta_A = 0мм$	$L_A = L_n = 46м$	$\eta_A = 0мм$
<i>O</i>	$L_O = 0м$	$\eta_O = 122мм$	$L_O = 0м$	$\eta_O = 97мм$	$L_O = 0м$	$\eta_O = 108мм$
<i>B</i>	$L_B = 7м$	$\eta_B = 175мм$	$L_B = 10м$	$\eta_B = 201мм$	$L_B = 10м$	$\eta_B = 175мм$
<i>C</i>	$L_C = 27м$	$\eta_C = 416мм$	$L_C = 20м$	$\eta_C = 328мм$	$L_C = 33м$	$\eta_C = 416мм$
<i>D</i>	$L_D = 48м$	$\eta_D = 657мм$	$L_D = 50м$	$\eta_D = 649мм$	$L_D = 55м$	$\eta_D = 665мм$
<i>F</i>	$L_F = L_k = 88м$	$\eta_F = 815мм$	$L_F = L_k = 112м$	$\eta_F = 818мм$	$L_F = L_k = 100м$	$\eta_F = 815мм$

Таблиця 8 - Результати визначення емпіричних коефіцієнтів і кореляційних відношень (*R*) методом найменших квадратів для інших об'єктів спостережень

Шахта, пласт	математичні функції											
	Логістична				Експоненціальна				гіперболічний тангенс			
	$a = \eta_k$	$b$	$c$	$R$	$\beta_1$	$L_n$	$\eta_k$	$R$	$n_1 = 0,5\eta_k$	$n_2$	$n_3$	$R$
«Білозерська»	810	4,1	0,016	0,998	2,0	105	810	0,999	405	0,008	-0,70	0,997
№22 «Комунарська», $k_3$	900	9,3	0,010	0,998	1,0	70	900	0,976	450	0,005	-1,11	0,998
«Грамотеїнська», Сичовський-III	2375	13,0	0,028	0,999	5,0	30	2420	0,987	1180	0,015	-1,28	0,995
Шахта Аппалачського басейну	980	26,0	0,040	0,995	6,5	20	1010	0,991	490	0,019	-1,65	0,994
«Ювілейна», $C'_6$	915	12,5	0,050	0,997	1,5	20	910	0,974	458	0,026	-1,27	0,996
ім. О.Ф. Засядька, $m_3$	400	7,0	0,006	0,997	3,0	70	400	0,974	200	0,003	-1,20	0,996
«Сташиц», 352	980	4,1	0,020	0,999	5,0	60	980	0,984	490	0,010	-0,70	0,999
Шахта Рурського басейну, Grimberg 2/3	1420	5,8	0,010	0,998	5,5	200	1420	0,979	710	0,005	-0,87	0,998
ім. С.М. Кірова, ПО «Ленінськвугілля», Болдиревський	1300	7,1	0,070	0,996	3,3	21	1310	0,997	638	0,041	-0,98	0,994

Результати цих розрахунків показують, що абсциси характерних точок прямопропорційно залежать від глибини гірничих робіт (табл. 9). За абсолютною величиною коефіцієнти кореляції (*r*) для різних вугільних басейнів знаходилися в діапазоні 0,50-0,89.



Таблиця 9 - Емпіричні рівняння для визначення усереднених координат характерних точок осідання земної поверхні по осі абсцис в залежності від глибини ведення очисних робіт.

Характерні точки осідання земної поверхні	Залежності відстаней характерних точок ( $L_A, L_B, L_C, L_D, L_F$ ) від глибини ведення робіт ( $H$ ) для всіх вугільних басейнів		Залежності відстаней характерних точок ( $L_A, L_B, L_C, L_D, L_F$ ) від глибини ведення робіт ( $H$ ) для шахт Донецького басейну	
	емпіричні рівняння	Коефіцієнт кореляції, $r$	емпіричні рівняння	Коефіцієнт кореляції, $r$
$A$	$L_A = -0,231 \cdot H$	-0,89	$L_A = -0,264 \cdot H$	-0,96
$B$	$L_B = 0,071 \cdot H$	0,50	$L_B = 0,107 \cdot H$	0,92
$C$	$L_C = 0,208 \cdot H$	0,75	$L_C = 0,290 \cdot H$	0,98
$D$	$L_D = 0,358 \cdot H$	0,81	$L_D = 0,466 \cdot H$	0,99
$F$	$L_F = 0,681 \cdot H$	0,84	$L_F = 0,862 \cdot H$	0,99

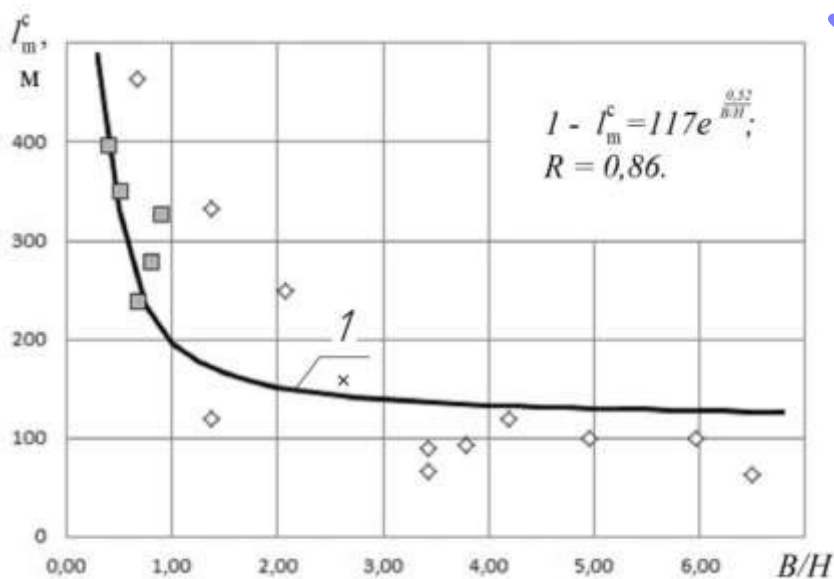
У *п'ятому розділі* обґрунтовано методику прогнозу газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі. Спільний аналіз експериментальних даних і розрахункових параметрів показав, що максимуми сумарного газовиділення в гірничі виробки і дегазаційні свердловини залежать від співвідношення розмірів очисних виробок в межах шахтного поля ( $B$ ) до глибини ведення робіт ( $H$ ). Максимуми газовиділення формуються після осідання основної покрівлі (рис. 11).

Зростання видобутку вугілля ( $A$ ) після початку експлуатації виїмкової ділянки і віддаленні очисного вибою від розрізної печі ( $L$ ) у більшості випадках відбувається по експоненційній залежності:

$$A = A_m(1 - e^{-k_1 L}), \quad (10)$$

де  $A_m$  - плановий (максимальний) рівень видобутку вугілля, т / добу;

$k_1$  - емпіричний коефіцієнт, що характеризує зміну видобутку вугілля.



$l$  - осереднююча крива; - кореляційне відношення;  $\diamond$ ,  $\square$ ,  $\times$  - експериментальні дані, отримані відповідно в умовах шахт ім. газети «Ізвестія», «Суходольська-Східна» та ім. О.Ф. Засядька.

Рисунок 11 - Залежність відстані між очисними вибоями і розрізними печами ( $l_m^с$ ) від ступеня розвитку очисних робіт у шахтному полі ( $B/H$ ), при якому досягається максимум сумарного газовиділення.

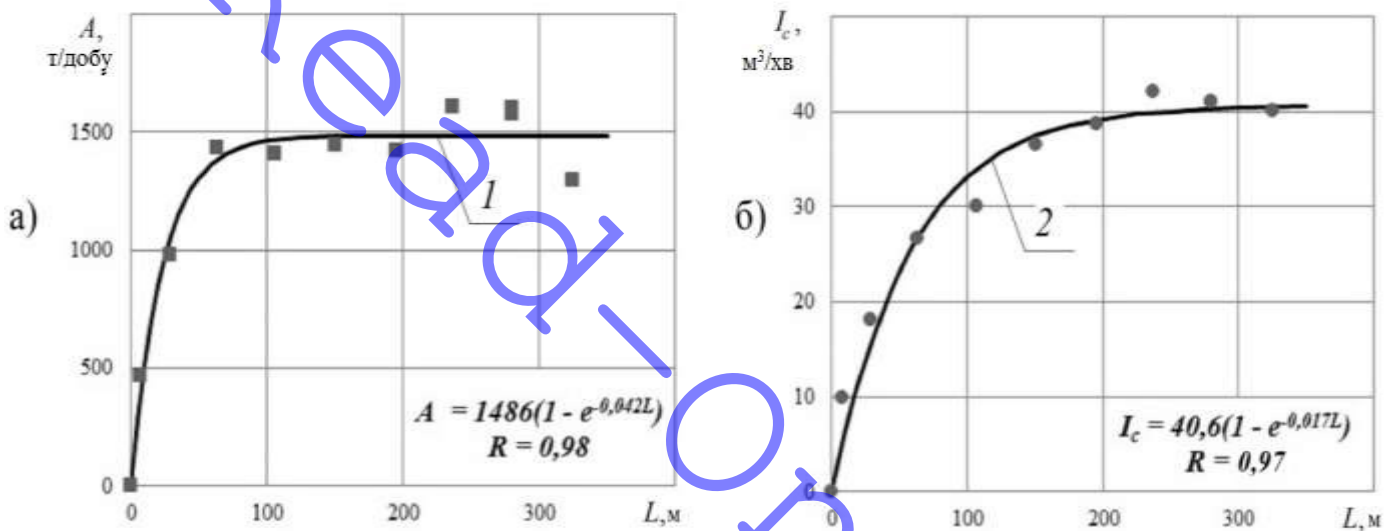
Поточне зміння метановиділення ( $I_c$ ) по мірі збільшення відстані ( $L$ ) можна також описати експоненційної кривої, що виходить з початку координатної сітки:

$$I_c = I_m(1 - e^{-k_2 L}), \quad (11)$$

де  $I_m$  - рівень газовиділення, який відповідає плановому видобутку вугілля  $A_m$ , м<sup>3</sup>/хв;

$k_2$  - емпіричний коефіцієнт, що характеризує гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови експлуатації конкретної лави.

Як приклад (рис. 12) наведені графіки зміни рівня видобутку вугілля і сумарного газовиділення в гірничі виробки і свердловини при відпрацюванні 25-ї західної лави шахти «Суходольська-Східна».



■, ● - експериментальні дані; 1, 2 - криві зміни відповідно видобутку вугілля і газовиділення;  $R$  - кореляційне відношення.

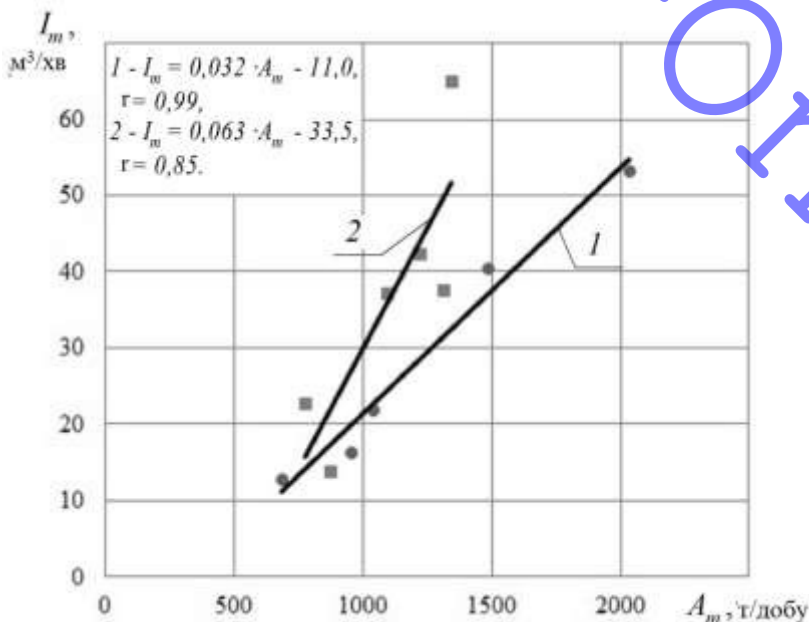
Рисунок 12 - Приклад зміння видобутку ( $A$ ) вугілля (а) і сумарного газовиділення ( $I_c$ ) в виробки і свердловини (б) від відстані ( $L$ ) між очисним вибоєм і розрізною виробкою при відпрацюванні 25-ї західної лави пласта  $i_3'$  шахтою «Суходольська-Східна».

Таке зміння середньомісячного видобутку вугілля і газовиділення було характерним для більшості виїмкових ділянок (табл. 10).

Встановлено прямопропорційну залежність  $I_m$  від  $A_m$ . Вони суто індивідуальні для конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов (рис. 13).

Таблиця 10 - Відомості про емпіричні коефіцієнти експоненційних рівнянь (10, 11) і параметри, що характеризують залежність видобутку вугілля ( $A$ ) і газовиділення ( $I_G$ ) при віддаленні очисних вибоїв від розрізних виробок

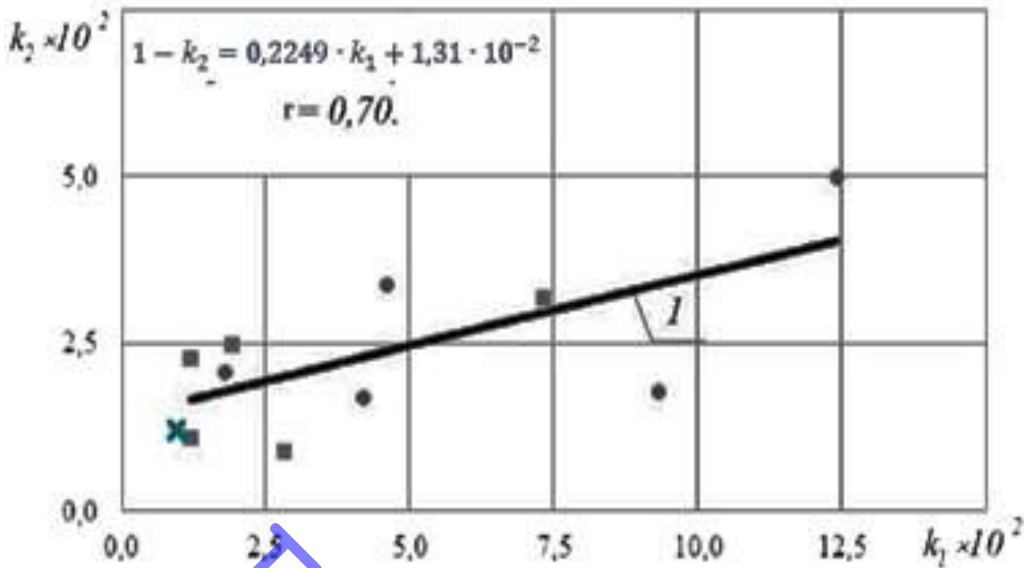
лава	рівняння 10				рівняння 11			
	видобуток $A_m$ , т/добу	емпіричний коефіцієнт $k_1$	кореляційне відношення $R$	середньоквадратичне відхилення $\sigma_A$ , т/добу	метановиділення $I_m$ , м <sup>3</sup> /хв	емпіричний коефіцієнт $k_2$	кореляційне відношення $R$	середньоквадратичне відхилення $\sigma_I$ , м <sup>3</sup> /хв
шахта "Суходольська-Східна"								
12-а біс східна	1039	0,124	0,96	77	21,9	0,050	0,89	3,2
24-а східна	2034	0,046	1,00	28	53,3	0,034	0,95	7,8
25-а західна	1 486	0,042	0,98	102	40,6	0,017	0,86	2,5
34-а східна	687	0,093	0,95	65	12,8	0,018	0,97	1,0
37-а західна	954	0,018	0,95	113	16,4	0,021	0,99	0,9
шахта ім. газети "Ізвестія"								
1-а біс західна	280	0,019	0,87	62	-	-	-	-
2-а західна	+1095	0,028	0,90	250	37,3	0,009	0,95	4,4
3-тя західна	1313	0,012	0,93	201	37,7	0,011	0,97	4,4
4-а західна	+1722	0,002	0,64	397	-	-	-	-
5-а західна	1222	0,012	0,85	261	42,4	0,023	0,91	7,4
6-а західна	775	0,426	0,36	280	22,7	0,052	0,84	4,8
7-а західна	тисячі	0,024	0,96	145	-	-	-	-
8-а західна	один	0,019	0,99	71	65,1	0,025	0,96	9,2
9-а західна	872	0,073	0,99	74	13,9	0,032	0,98	1,6
Шахта ім. О.Ф. Засядька								
16-а східна	2878	0,012	0,99	66	80,9	0,011	0,80	14,1



●, ■ - експериментальні дані; 1, 2 - усереднені прямі відповідно для виїмкових дільниць шахт «Суходольська-Східна» та ім. газети «Ізвестія»;  $r$  - коефіцієнт кореляції.

Рисунок 13 - Залежність максимального газовиділення ( $I_m$ ) від планового навантаження ( $A_m$ ) на очисні вибої.

Значення  $k_1$  і  $k_2$  корелюють між собою (рис. 14), що, очевидно, обумовлено схожими процесами зсовування підроблених порід в різних гірничо-геологічних умовах.

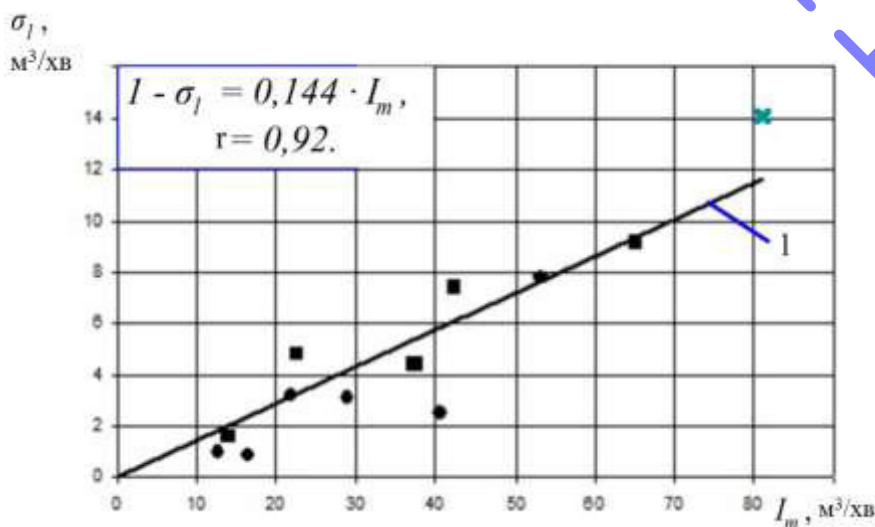


●, ■, × - експериментальні дані відповідно для виїмкових дільниць шахт «Суходольська-Східна», ім. газети «Ізвестія» і ім. О.Ф. Засядька; 1 - усереднююча пряма; r - коефіцієнт кореляції

Рисунок 14 - Залежність емпіричного коефіцієнта  $k_2$  від  $k_1$

Чим більше по абсолютному значенню  $k_1$ , тим крутіше крива зростання видобутку вугілля відповідна рівнянню 10. Виходячи зі співвідношення між  $k_1 > k_2$ , залежність газовиділення відповідно до рівняння (11) буде більш пологою порівняно з кривою зростання видобутку вугілля (12) при віддаленні очисного вибою від розрізної печі. Це вказує на те, що збільшення газовиділення відстає в часі і просторі від зростання навантаження на очисний вибій.

Між середньоквадратичним відхиленням газовиділення  $\sigma_l$  і значенням  $I_m$  спостерігалася прямопропорційна залежність (рис. 15). Співвідношення між  $\sigma_l$  і  $I_m$  свідчить, що зміна  $\sigma_l$  відбувається пропорційно  $I_m$ . Це вказує на те, що зі збільшенням  $I_m$  коефіцієнт коливання газовиділення залишається приблизно постійним, а не зменшується, як прийнято згідно з нормативного документу.



●, ■, × - експериментальні дані відповідно для виїмкових дільниць шахт «Суходольська-Східна» і ім. О.Ф. Засядька; 1 - усереднююча пряма; r - коефіцієнт кореляції.

Рисунок 15 - Залежність середньоквадратичного відхилення метановиділення ( $\sigma_l$ ) від максимального його значення ( $I_m$ ).

На підставі шахтних експериментів встановлені максимуми метановиділення в дегазаційні свердловини, пробурені над монтажними камерами і відповідні їм відда-

лення очисних вибоїв від розрізних печей. Визначивши розміри очисних виробок і використовуючи отримані раніше емпіричні залежності, розраховали кутові і лінійні параметри осідання земної поверхні і порід, що відповідають максимумам газовиділення (табл. 11). Зону зсовування порід з розривом суцільності ( $H'_p, H''_p, H'''_p$ ) розраховали трьома способами з використанням різних геомеханічних параметрів.

Як приклад наведена графічна інтерпретація зміни параметрів зсовування, підроблюваної вуглепородної товщі і відповідних їм максимумів газовиділення (рис. 16).

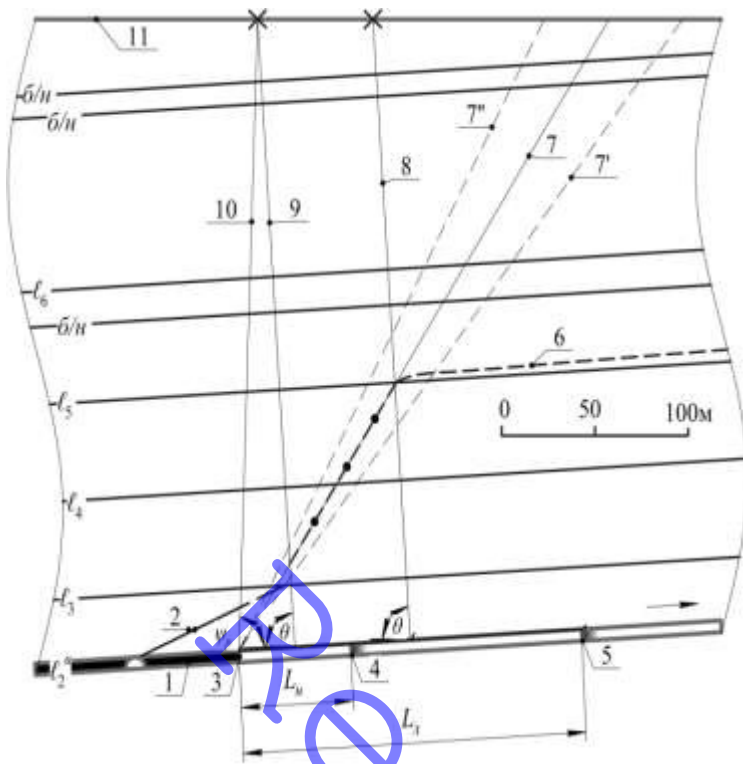
Близькі значення розрахункових параметрів ( $H'_p, H''_p$  і  $H'''_p$ ) для однакових відстаней між очисним вибоєм і розрізною виробкою (табл. 11) свідчать про приблизно однакову достовірність результатів, отриманих різними способами. Це є також непрямым підтвердженням відповідності максимумів газовиділення максимальному зсовуванню порід.

Таблиця 11 - Вихідні експериментальні відомості про газовиділення в дегазаційні свердловини і розрахункові параметри зсовування вуглепородної товщі при експлуатації виїмкових ділянок шахтою ім. газети "Ізвестія".

Характерні показники газовиділення і осідання земної поверхні	Відстань між очисним вибоєм і розрізною виробкою $L$ , м	$L/H$	Параметри зсовування підроблених порід				
			$\theta$ , град	$\psi'_p$ , град	$H'_p$ , м	$H''_p$ , м	$H'''_p$ , м
2-я біс західна лава							
Початок осідання земної поверхні	59	0.20	86	86	42	29	40
Початок газовиділення $I_m^0$	83	0.29	86	83	59	51	58
Перший максимум газовиділення $I_m^1$	89	0.31	86	82	64	58	62
Другий максимум газовиділення $I_m^2$	127	0.43	86	78	90	88	90
Третій максимум газовиділення $I_m^3$	160	0.55	86	74	114	118	116
Віддалення очисного вибою на відстань $L_n$	185	0.64	86	72	132	134	130
3-тя західна лава							
Початок осідання земної поверхні	99	0.34	86	81	70	65	70
Початок газовиділення $I_m^0$	75	0.26	86	84	53	43	48
Перший максимум газовиділення $I_m^1$	80	0.28	86	83	57	51	52
Другий максимум газовиділення $I_m^2$	104	0.36	86	81	74	65	68
Третій максимум газовиділення $I_m^3$	114	0.39	86	80	81	73	80
Четвертий максимум газовиділення $I_m^4$	202	0.70	86	70	143	150	136
Віддалення очисного вибою на відстань $L_n$	205	0.71	86	70	146	150	140

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють запропонувати загальний порядок прогнозування основних параметрів газовиділення на всіх стадіях експлуатації виїмкових ділянок. Цей порядок передбачає наступні розрахунки:





1 - розроблюваний пласт; 2 - дегазаційні свердловини; 3 - розрізна виробка; 4, 5 - віддалення очисного вибою від розрізної виробки відповідно при досягненні процесами зсуювання порід земної поверхні  $L_H$  і утворення квадрата виробленого простору зі стороною, що дорівнює довжині лави ( $L_n$ ); 6 - верхня межа зон зсуювання порід з розривом суцільності; 7 - відрізок прямої, що визначає середній кут  $\psi = 55^\circ$ ; 7', 7'' - відрізки прямих, що відповідають значенням  $\psi = 50^\circ$  і  $60^\circ$ ; 8, 9 - відрізки прямих, що визначають кути максимального осідання земної поверхні ( $\theta$ ) відповідно при  $L = L_n$  і  $L = L_H$ ; 10 - кут  $\psi_p$ , відповідний  $L_H$ ; 11 - земна поверхня; × - точки максимального осідання земної поверхні при  $L = L_H$  і  $L = L_n$ ; • - точки максимального осідання порід, відповідні віддаленню очисного вибою від розрізної виробки при досягненні максимумів газовиділення; → - напрямки посування очисного вибою.

Рисунок 16 - Схема зв'язку параметрів газовиділення і зрушення порід при експлуатації 2-ї біс західної лави шахти ім. газети "Ізвестія"

- задавши ступінь близькості поточних значень видобутку вугілля ( $A$ ) до планового показника ( $A_m$ ) і віддалення очисного вибою від розрізної печі ( $L$ ), на якому  $A \approx A_m$  з рівняння (10) визначається коефіцієнт  $k_1$ ;

- відповідно до рівняння (рис. 14) за значенням  $k_1$  розраховується коефіцієнт  $k_2$  рівняння 11;

- прийнявши поточне значення  $I_c \approx I_m$  з рівняння 11 визначається відстань  $L$  на якій буде досягтися газовиділення  $I_m$ ;

- використовуючи один з відомих способів прогнозу для планового видобутку вугілля ( $A_m$ ) визначається рівень газовиділення ( $I_m$ );

- для стадії стабільної роботи виїмкової ділянки визначаються можливі коливання  $I_m$  з урахуванням середньоквадратичного відхилення ( $\sigma_I$ ), що визначається відповідно до залежності (рис. 15);

- на заключній стадії доопрацювання лави газовиділення буде знижуватися пропорційно скороченню видобутку вугілля. Темпи її зниження можна передбачити виходячи з умов доопрацювання виїмкової ділянки.

На підставі отриманих результатів розділу 5 сформульовані третє, четверте і п'яте наукові положення, які виносяться на захист.

На основі проведених досліджень розроблені пропозиції, щодо вдосконалення нормативних документів в частині безпечного відпрацювання газоносних вугільних пластів із застосуванням сучасних знань геології, вуглехімії, геомеханіки підроблених порід і земної поверхні, аерології гірничих підприємств і деяких інших наукових напрямків.

В даний час жодним нормативним документом не розглядається можливість газовиділення в гірничі виробки і дегазаційні свердловини при активізації зсуювання порід.

Документами враховується в сукупності чотири чинника-умови підтримки (погашення) виробки, спосіб її охорони, вид вентиляційного струменя (вихідний або свіжий) і розташування виробки, з якої бурять свердловини, по відношенню до масиву вугілля і виробленого простору. Явище активізації (повторного) зрушення порід властиво для всіх періодів розвитку очисних робіт у шахтному полі. Виняток становить відпрацювання першої лави, коли газовиділення з підроблюваних пластів викликано тільки первинними зрушення порід.

Якщо враховувати характерне розташування зон газовиділення, викликаних первинними і вторинними зрушення порід, період часу між експлуатацією суміжних очисних вибоїв і черговість їх відпрацювання, тривалість процесів зрушення і ущільнення порід, вид і напрямок вентиляційних струменів повітря, то при виборі схем дегазації необхідно розглядати вплив наступних факторів: ступінь розвитку очисних робіт; черговість утворення і розташування характерних зон газовиділення; порядок відпрацювання лав; час, що минув з моменту відпрацювання суміжної лави; параметри зрушення порід над виробленими просторами відпрацьованих і експлуатованих лав; кількість лав, одночасно експлуатованих на пласті; розташування (примикання) виробки, з якої бурять свердловини до вироблених просторів відпрацьованих і експлуатованих лав; напрямок витоків повітря через вироблений простір діючої і відпрацьованих лав; вид вентиляційного струменя повітря, що проходить по виробці, з якої бурять свердловини; розташування дегазаційних свердловин по відношенню до вибоїв зупинених і діючих лав, спосіб охорони виробок, з яких пробурені свердловини; умови підтримання (погашення) виробок.

Проведені дослідження показали, що для забезпечення безпечних умов виїмки газоносних вугільних пластів необхідно:

- розробити прогноз максимального газовиділення з кожної характерної зони впливу очисних виробок при розвитку гірничих робіт в двох взаємоперпендикулярних напрямках;
- вибір схем дегазації виїмкових дільниць пов'язувати зі схемами провітрювання з урахуванням не тільки максимальної ефективності дегазації, а й можливості забезпечення безпечних умов в гірничих виробках;
- ефективність схем дегазації оцінювати, як мінімум, з урахуванням дванадцяти чинників, а не чотирьох.

Для конкретної реалізації пропонованих пропозицій щодо безпечної відробки газоносних вугільних пластів автором попередньо теоретично опрацьовані і експериментально підтверджені наступні питання:

- умови і чинники, що обумовлюють газопрояви в вугільних шахтах;
- активізація зсосування порід над виробленим простором експлуатованих і раніше відпрацьованих лав;
- математична модель процесів осідання земної поверхні і підроблених порід при розвитку очисних робіт;
- емпіричні залежності для прогнозування параметрів процесів зсосування підроблених порід і земної поверхні;
- математична модель прогнозування зон підвищеного метановиділення;
- ефективність схем провітрювання та вимоги до їх вибору з урахуванням можливих зон газовиділення.

Отримані результати теоретичних і експериментальних досліджень впроваджені при прогнозі газовиділення в умовах шахти ім. Д.Ф. Мельникова ПАТ "Лисичанськвугілля", очікуваний економічний ефект від впровадження рекомендацій, щодо безпечної відробки 1-ої північної лави пласта  $\ell_4$  склав близько 1800 тис. грн./рік.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова проблема встановлення закономірностей в області забезпечення безпечних умов ведення очисних робіт по газовому фактору, розробці математичної моделі визначення параметрів геомеханічних процесів з використанням траєкторій максимального осідання точок земної поверхні, встановлення закономірностей газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі в залежності від геомеханічних процесів зсонування порід, удосконалення теорії аномальних газопроявів у вугільних шахтах, удосконалення нормативної бази безпечного ведення гірничих робіт та розробці методики прогнозу газовиділення, впровадження яких дозволило отримати економічний ефект у сумі 1800 тис.грн./рік за рахунок відмови від буріння дегазаційних свердловин із гірничої виробки при відпрацюванні газоносного вугільного пласта.

Результати досліджень дозволили зробити наступні висновки:

1. Аналіз наукових положень, закладених в основу розробки заходів щодо безпечного відпрацюванні газоносних вугільних пластів показав, що вони не завжди відповідають практиці ведення гірничих робіт. Однією з причин такої ситуації є відсутність у діючих нормативних документах єдиної логічної схеми розрахунків, а також протиріччя прийнятих окремих положень. Такі обставини не дозволяють встановлювати закономірності газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі в залежності від геомеханічних процесів зсонування порід.

2. Розроблено новий методологічний підхід до вивчення газовиділення з вуглепородної товщі, який базується на урахуванні чинників, що характеризують процеси зсонування порід і земної поверхні.

3. Розроблено фізико-математичну модель визначення параметрів геомеханічних процесів, що вперше враховує траєкторії максимального осідання точок земної поверхні, це дозволяє достовірно встановлювати параметри зсонування підроблюваних порід, в тому числі розміри зон їх зсонування з розривом суцільності.

4. Встановлена емпірична залежність розміру очисної виробки при якому починається осідання земної поверхні. Головними впливаючими чинниками є глибина ведення робіт, потужність пласта і швидкість посування очисного вибою. Абсолютні відхилення розрахункових значень перебували в діапазоні  $3 \div 36$ м, а відносні -  $1,8 \div 29,3\%$ . В середньому відхилення по всіх об'єктах склали 19%.

5. Встановлено, що крива траєкторії максимального осідання точок земної поверхні в залежності від розмірів очисної виробки описується експоненціальним рівнянням. Кореляційні залежності перебували в діапазоні  $0,965 \div 0,997$ . Емпіричні коефіцієнти цих рівнянь визначаються потужністю пласта, глибиною його залягання і швидкістю посування очисного вибою. Тіснота зв'язку цих факторів з коефіцієнтами

експоненційних рівнянь характеризувалися коефіцієнтами кореляції в діапазоні  $0,78 \div 0,96$ .

6. Встановлено, що кути повних зрушень ( $\psi$ ) до утворення плоского дна мульди на земній поверхні визначаються відношенням лінійного розміру очисної виробки ( $L$ ) до глибини ведення гірничих робіт ( $H$ ). При  $0 < L/H \leq 1.0$  значення  $\psi$  змінюються в діапазоні  $90-50^\circ$ . При  $L/H > 1.0$  - значення  $\psi$  знаходяться в діапазоні  $50-60^\circ$ .

7. Встановлено, що кути максимальних осідань порід до повної підробки не залишаються постійними, а змінюються від  $L/H$  в діапазоні  $90-52^\circ$  по експоненційній залежності. Тіснота цієї залежності характеризується кореляційним відношенням, рівним  $0,91$ .

8. Вперше експериментально доведено, що максимуми сумарного метановиділення в гірничі виробки і дегазаційні свердловини ( $I_m^c$ ) визначаються лінійним розміром виробленого простору ( $B$ ) і глибиною ведення очисних робіт ( $H$ ). Досягнення значення  $I_m^c$  відбувається при віддаленні очисного вибою від розрізної печі на відстань  $\ell_m^c$ , абсолютне значення якого описується експоненційним рівнянням в залежності від  $B/H$ . Більшим значенням  $\ell_m^c$  відповідають умови неповної підробки земної поверхні ( $B/H \leq 1,4$ ). При  $B/H > 1,4$  відстань  $\ell_m^c$  залишається приблизно постійною і знаходиться в діапазоні  $80 \div 120$ м.

9. Встановлено, що в більшості випадків (понад  $90\%$ ) зростання видобутку вугілля ( $A$ ) до досягнення планових навантажень ( $A_m$ ) у початковий період експлуатації виїмкових дільниць описується експоненціальною залежністю при віддаленні очисного вибою ( $L$ ) від розрізної виробки  $A = A_m(1 - \exp k_1 \cdot L)$ . За аналогічною залежністю відбувається зміння сумарного газовиділення  $I_c = I_m(1 - \exp k_2 \cdot L)$ . Встановлена прямопропорційна залежність між емпіричними коефіцієнтами ( $k_2 = 0.225 \cdot k_1 + 1.31 \cdot 10^{-2}$ ), що дозволяє планувати темпи досягнення планових навантажень на очисний вибій ( $A_m$ ) і прогнозувати відповідну їм динаміку газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі.

10. Встановлена прямопропорційна залежність між середньоквадратичним відхиленням газовиділення ( $\sigma$ ) і значеннями максимального газовиділення ( $I_m$ )  $\sigma = 0.144 \cdot I_m$ . Це свідчить про сталість коефіцієнта коливання газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі ( $K_H \approx 1.43$ ) незалежно від рівня газовиділення.

11. Розроблено методику прогнозу газовиділення з вуглепородної товщі в залежності від параметрів зсовування підроблених очисними виробками порід і земної поверхні, що дозволяє вдосконалити нормативну базу з питань безпеки ведення гірничих робіт.

12. Отримані в дисертаційній роботі результати теоретичних і експериментальних досліджень впроваджені при науковому обґрунтуванні прогнозу газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі для підготовлюваної до експлуатації 1-ої північної лави пласта  $\ell_4$  горизонту 885м шахтою ім. Д.Ф. Мельникова ПАТ "Лисичанськвугілля".

13. Підготовлено та передано ІГТМ НАН України пропозиції щодо вдосконалення "Руководства по проектированию вентиляции угольных шахт" в частині прогнозу газовиділення і вибору схем провітрювання виїмкових дільниць

14. Окремі положення дисертації використовуються на кафедрі "Розробки родовищ" ДВНЗ "Дніпровська політехніка" в рамках викладання спеціальних дисциплін.

## **ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В ТАКИХ РОБОТАХ:**

### **Монографії**

1. Антощенко Н.И., Коптиков В.П., Филимонов П.Е., Крыжановский Ю.Ю., Филатьев М.В. Безопасная отработка газоносных угольных пластов с учётом геомеханических процессов сдвижения подработанных пород. Монография. Алчевск: ДонГТУ, 2014. 339 с.

2. Дубовик А.И., Филатьев М.В., Филатьева Э.Н. Инженерная геомеханика при отработке угольных пластов. Монография. Лисичанск: ДонГТУ, 2017. 250 с.

3. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Дубовик А.И. Геомеханические процессы сдвижения подработанных пород и обоснование методики прогноза газовыделения в угольных шахтах. Монография. Лисичанск: ДонГТУ, 2017. 298 с.

### **Статті у наукових фахових виданнях**

4. Антощенко Н.И., Чепурная Л.А., Крыжановский Ю. Ю., Филатьев М.В. Расчётная схема начала сдвижения земной поверхности при её подработке угольными пластами / Сб. научных трудов ДонГТУ. Алчевск: 2013. Вып. 41. С. 41-46.

5. Чепурная Л.А., Антощенко Н.И., Филатьев М.В. Определение условий начала сдвижения земной поверхности при отработке угольных пластов / Уголь Украины. 2014. №4. С. 7 -9.

6. Антощенко Н.И., Чепурная Л.А., Филатьев М.В. Определение эмпирических коэффициентов для прогнозирования динамики сдвижения земной поверхности при отработке угольных пластов / Сб. научных трудов ДонГТУ. Алчевск: 2014. Вып. 1(42). С. 6-14.

7. Филатьев М.В., Крыжановский Ю.Ю., Антощенко Н.И. Роль поверхностных скважин в формировании газового баланса при отработке угольных пластов на глубоких горизонтах / Сб. научных трудов ДонГТУ. Алчевск: 2014. Вып. 1(42). С. 49-55.

8. Филатьев М.В., Крыжановский Ю.Ю., Антощенко Н.И. Соотношение метановыделения в выработки и дегазационные скважины при отработке газоносных угольных пластов / Сб. научных трудов ДонГТУ. Алчевск: 2014. Вып. 1(42). С. 60-67.

9. Филатьев М.В., Чепурная Л.А., Антощенко Н.И. О подработке земной поверхности антрацитовыми пластами / Уголь Украины. 2014. №6. С. 3-7.

10. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Крыжановский Ю.Ю. Теоретические и практические положения прогноза динамики газовыделения из подрабатываемых угольных пластов и вмещающих пород / Сб. научных трудов ДонГТУ. Алчевск: 2014. №2(43). С. 4-11.



11. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Гасюк Р.Л. Об эффективности схем проветривания выемочных участков угольных шахт при активизации сдвижения подработанных пород / Сб. научных трудов ДонГТУ. Алчевск: 2014. №2(43). С. 17-25.
12. Филатьев М.В., Пыжов С.В., Антощенко Н.И. Теоретическое обоснование параметров минимальновозможной степени подработанности земной поверхности при выемке угольных пластов / Сб. научных трудов ДонГТУ. Алчевск: 2014. №2(43). С. 30-34.
13. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Гасюк Р.Л., Харин Е.Н. Особенности газовыделения из подрабатываемых источников / Уголь Украины. 2014. №10. С. 37-41.
14. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В. Формирование зон сдвижения подработанных пород и земной поверхности / Уголь Украины. 2014. №11. С. 5-7.
15. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В. Сдвижение земной поверхности при отработке угольных пластов / Уголь Украины. 2015. №5. С. 12-16.
16. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В. Влияние глубины ведения очистных работ на сдвижение земной поверхности / Зб. наук. праць ДонДТУ. Лисичанськ: 2015. Вип. №1(44). С. 29-34.
17. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В. Особенности формирования траектории максимального оседания точек земной поверхности при её подработке угольными пластами / Зб. наук. праць ДонДТУ. Лисичанськ: 2015. Вип. №1(44). С. 35-43.
18. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В. Параметры для реализации математической модели сдвижения подработанных угольными пластами пород и земной поверхности / Зб. наук. праць ДонДТУ. Лисичанськ: 2015. Вип. №1(44). С. 44-49.
19. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В. Рациональная подработка земной поверхности при выемке угольных пластов / Уголь Украины. 2015. №9. С. 17-19.
20. Крыжановский Ю. Ю., Антощенко Н.И., Филатьев М.В., Кулакова С.И. Влияние первичных осадок основной кровли и развития очистных работ на максимум газовыделения в угольных шахтах / Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. научных трудов МакНИИ. Макеевка: МакНИИ, 2014. №2(32). С.77-89.
21. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Гасюк Р.Л., Пыжов С.В. Экспериментальное определение углов максимальных оседаний подработанных очистными выработками пород / Уголь Украины. 2015. №11. С. 3-6.
22. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В., Дубовик А.И. Определение зон сдвижения подработанных пород с разрывом сплошности / Уголь Украины. 2016. №3. С. 9-16.
23. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В. Формирование динамической и стационарной полумульд сдвижения земной поверхности при отработке угольных пластов / Сб. научных трудов ДонГТУ. Лисичанск: 2016. Вып. 1(45). С. 15-24.
24. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Пыжов С.В. Схема сдвижения подработанных пород с использованием параметров мульд земной поверхности и очистных выработок / Сб. научных трудов ДонГТУ. Лисичанск: 2016. Вып. 1(45). С. 25-30.

25. Филатьев М., Мельник В., Антощенко Н.И., Дубовик А.И. Закономерности оседания земной поверхности и сдвижения пород на контуре участковых выработок / Mining of Mineral Deposits. National Mining University: 2016. Volume 10. Issue 3. P. 59-64.

26. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Дубовик А.И. Зависимость высоты зон сдвижения пород с разрывом сплошности от размеров очистных выработок / Mining of Mineral Deposits. National Mining University: 2016. Volume 10. Issue 4. P. 44-49.

27. Филатьев М.В., Дубовик А.И., Антощенко Н.И. Зависимость динамики газовыделения от параметров сдвижения углепородной толщи / Уголь Украины. 2017. №1-2. С. 21-25.

28. Филатьев М.В., Филатьева Э.Н. Влияние схем проветривания на газовыделение из источников при их подработке очистными выработками / Сб. научных трудов ДонГТУ. Лисичанск:2017. Вып. 1(46). С. 65-70.

29. Филатьев М.В., Антощенко Н.И. Зависимость параметров динамики газовыделения из подрабатываемой углепородной толщи от влияющих факторов / Сб. научных трудов ДонГТУ. Лисичанск:2017. Вып. 1(46). С. 23-29.

30. Филатьев М.В., Антощенко Н.И. Отклик на статью В.В. Назимко, Н.А. Колесник "Стохастические основы маркшейдерского обеспечения безопасного ведения горных работ" / Уголь Украины. 2017. №7-8. С. 74-75.

31. Филатьев М.В., Филатьева Э.Н. Эффективность и критерии классификации схем проветривания выемочных участков газообильных шахт / Уголь Украины. 2017. №9-10. С. 39-45.

32. Филатьев М.В., Филатьева Э.Н., Трунов М.В., Антощенко Н.И. О размерах зон с разрывом сплошности пород при их подработке очистными выработками/ Сб. научных трудов ДонГТУ. Лисичанск:2018. Вып. 1(47). С. 4-13.

33. Филатьев М.В., Филатьева Э.Н., Антощенко Н.И., Трунов М.В. К вопросу оценки ресурсов углеводородных газов в угольных месторождениях Донбасса / Сб. научных трудов ДонГТУ. Лисичанск:2018. Вып. 1(47). С. 28-39.

34. Филатьева Э.Н., Филатьев М.В., Олейниченко А.А., Антощенко Н.И. Влияние скорости подвигания очистных забоев (добычи угля) на газовыделение в выработки и дегазационные скважины/ Уголь Украины. 2018. №12. С. 20-23.

**Статті в зарубіжних виданнях і у виданнях України,  
що входять в міжнародні наукометричні бази**

35. Cherpurnaya L., Antoshchenko M., Filatyev M. The calculation scheme of mathematical modeling of displacement process of a terrestrial surface by working out of coal layers / Mining of Mineral Deposits. CRC Press. Taylor Francis Group, Boca Raton, London, New York, AK Leiden, A Balkema Book, 2013. P. 17-21.

36. Филатьев М.В. Аналитическое определение координат характерных точек оседания земной поверхности над очистным забоем / Науковий вісник НГУ. 2017. №1. С. 37-33.

37. Филатьев М.В. Определение корреляционных зависимостей между параметрами мульды земной поверхности и сдвижением подработанных пород / Науковий вісник НГУ. 2017. №3. С. 43-48.

38. Filatiev M. Effect of rocks displacement activation on the formation of the surface trough during anthracite seams extraction / Mining of Mineral Deposits. National Mining University. 2017. Volume 11. Issue 2. pp. 91-95.

39. Filatiev M. Laguta A. Experimental determination of angle values of the rocks full displacement when undermining them by breakage headings / Mining of Mineral Deposits. National Mining University. 2017. Volume 11. Issue 4. pp. 111-116.

### **Тези доповідей і матеріали конференцій**

40. Прогнозирование параметров процессов сдвижения земной поверхности при отработке угольных пластов / Чепурная Л.А., Антощенко Н.И., Филатьев М.В. / Щорічний науково-технічний збірник «Розробка родовищ». Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. С. 105-113.

41. Обобщенная схема сдвижения подработанных угольными пластами пород и земной поверхности / Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Гасюк Р.Л., Пыжов С.В. / Щорічний науково-технічний збірник "Розробка родовищ". Дніпропетровськ: «Літограф», 2015. С.375-382.

42. Зависимость высоты зон сдвижения пород с разрывам сплошности от размеров очистных выработок / Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Дубовик А.И. / Тези доповідей X міжнародної науково-практичної конференції "Школа підземної розробки". Бердянськ 15-18 серпня 2016 р. Дніпропетровськ: "ЛізуновПрес". 2016. С. 71-72.

43. Filatiev M., Filatieva E., Antoshchenko M. Dependence of gas emission from the sources undermined by stope mine workings on the rocks displacement parameters. URL://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000019

44. Filatiev M., Filatieva E. Recommended and experimental values of the earth surface shift troughs parameters when conducting the stope works. URL://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000040

45. Effect of the speed of movement of treatment faces (coal mining) on the gas release from mining sources / Filatiev M., Filatieva E., Antoshchenko M. / International Scientific and Technical Internet Conference "Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing". Book of Abstracts. Petroș ani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018. – p. 150-152.

### **Особистий внесок автора в роботи опубліковані у співавторстві**

[1] - встановлено прогнозування параметрів процесів зсовування підроблених порід та земної поверхні, виконано експериментальне дослідження процесу газовиділення при зсовуванні підроблених порід, [2] - дослідження характерних особливостей та фізико-математичних моделей зсовування підроблених порід і земної поверхні, [3] - аналіз сучасних методів прогнозу газовиділення згідно нормативних документів, обґрунтування та розробка методики прогнозу газовиділення, [4-6, 15-17, 19, 20, 23-26, 29, 32, 33, 36] - виконано аналіз досвіду попередніх наукових досліджень впливу очисних виробок на геомеханічні процеси зсовування порід і розроблені схеми визначення їх параметрів, [7, 10, 13, 27, 35] - досліджені головні чинники, що впливають на геомеханічні процеси зсовування підроблених порід, [18] - встановлено особливості формування траєкторії максимального осідання точок земної поверхні, [22] - експериментально визначені кути максимальних осідань підроблених порід, [8, 9,

14, 37] - встановлена роль поверхневих свердловин у формуванні газового балансу виїмкових ділянок і співвідношення ресурсів вуглеводневих газів у вугільних пластах і вміщуючих породах, [12, 30] - встановлено вплив схем провітрювання на газовиділення в межах шахтного поля, [21, 28, 31] - експериментально вивчено вплив осідання покрівлі та розвитку очисних робіт на максимуми газовиділення, [11] - розроблена методика прогнозу динаміки газовиділення, [40-45] - на міжнародних конференціях доповідалися результати досліджень, в яких автор брав участь.

## АНОТАЦІЯ

Філат'єв М.В. Розвиток наукових основ безпечної відробки газоносних вугільних пластів при зсовуванні масиву гірських порід. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.02 - "Підземна розробка родовищ корисних копалин" та 05.26.01 - "Охорона праці" - Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова Національної академії наук України, Дніпро, 2019р.

Виконано аналіз, який показав відсутність науково обґрунтованих теорій механізму формування газовиділення з підроблюваної вуглепородної товщі. Встановлено протиріччя в оцінці впливу геологічних, технологічних і організаційних факторів на газовиділення з підроблюваних джерел згідно нормативно-методичних документів.

Запропоновано схему впливу очисних робіт на геомеханічні параметри зсовування підробленої вуглепородної товщі і газовиділення з можливих джерел.

У теоретичній частині роботи розроблено кілька моделей визначення геомеханічних параметрів процесів зсовування підроблених порід і земної поверхні. Обґрунтовано залежність верхньої межі зони зсовування з розривом суцільності порід від ступеня розвитку очисних робіт.

Проведено дослідження і встановлені умови, при яких процеси зсовування порід досягають земної поверхні.

Встановлено емпіричні залежності для визначення кривих траєкторій максимального осідання точок земної поверхні, кутів повних зрушень і кутів максимального осідання порід до повної підробки земної поверхні.

Вивчено умови прояву максимумів сумарного метановиділення в гірничій виробки і дегазаційні свердловини, встановлені впливаючі фактори.

Вперше розроблена методика прогнозу газовиділення з підробленої вуглепородної товщі в залежності від параметрів зсовування підроблених очисними виробками порід і земної поверхні, що дозволяє вдосконалити нормативну базу з питань безпеки ведення гірничих робіт.

Отримані в дисертаційній роботі результати теоретичних і експериментальних досліджень впроваджені при прогнозі газовиділення в умовах шахти ім. Д.Ф. Мельникова ПАТ "Лисичанськвугілля". Розрахунковий економічний ефект від впровадження рекомендацій щодо безпечної відробки 1-ої північної лави пласта  $\ell_4$  склав близько 1800 тис. грн. / рік.



Підготовлено та передано ІГТМ НАН України рекомендації щодо вдосконалення "Руководства по проектированию вентиляции угольных шахт" в частині прогнозу газовиділення і виборі схем провітрювання виїмкових ділянок.

**Ключові слова:** вуглепородна товща, зсовування, підробка, вироблений простір, виїмкова ділянка, земна поверхня, геомеханічні процеси, газовиділення, залежності, прогноз, газonosні пласти, безпека, нормативна база.

## АННОТАЦИЯ

Филатьев М.В. Развитие научных основ безопасной отработки газоносных угольных пластов при сдвигении массива горных пород. – На правах рукописи. Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальностям 05.15.02 – "Подземная разработка месторождений полезных ископаемых" и 05.26.01 – "Охрана труда" – Институт геотехнической механики имени М.С. Полякова Национальной академии наук Украины, Днепр, 2019р.

Выполнен анализ, который показал отсутствие научно обоснованных теорий механизма формирования динамики газовыделения из подрабатываемой углепородной толщи. Установлены противоречия в оценке влияния геологических, технологических и организационных факторов на газовыделение из подрабатываемых источников согласно нормативно-методическим документам.

Предложена схема влияния очистных работ на геомеханические параметры сдвижения подработанной углепородной толщи и газовыделение из возможных источников.

В теоретической части работы разработано несколько моделей определения геомеханических параметров процессов сдвижения подработанных пород и земной поверхности. Обоснована зависимость верхней границы зоны сдвижения с разрывом сплошности пород от степени развития очистных работ.

Проведены исследования и установлены условия, при которых процессы сдвижения пород достигают земной поверхности.

Установлены эмпирические зависимости для определения кривых траекторий максимального оседания точек земной поверхности, углов полных сдвижений и углов максимального оседания пород до полной подработки земной поверхности.

Изучены условия проявления максимумов суммарного метановыделения в горные выработки и дегазационные скважины, установлены влияющие факторы.

Впервые разработана методика прогноза газовыделения из подрабатываемой углепородной толщи в зависимости от параметров сдвижения подрабатываемых очистными выработками пород и земной поверхности, что позволяет усовершенствовать нормативную базу по вопросам безопасного ведения горных работ.

Полученные в диссертационной работе результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены при прогнозе динамики газовыделения в условиях шахты им. Д.Ф. Мельникова ПАО "Лисичанскуголь". Расчетный экономический эффект от внедрения рекомендаций по безопасной отработке 1-й северной лавы пласта  $\ell_4$  составил около 1800 тыс. грн./год.



Подготовлены и переданы ИГТМ НАН Украины предложения по усовершенствованию "Руководства по проектированию вентиляции угольных шахт" в части прогноза газовой выделенности и выборе схем проветривания выемочных участков.

**Ключевые слова:** выработанное пространство, сдвигание, подработка, угленосная толща, выемочный участок, земная поверхность, геомеханические процессы, газовыделение, зависимости, прогноз, газоносные пласты, безопасность, нормативная база.

## ANNOTATION

Filatiev M. The development of scientific foundations for the safe mining of gas-bearing coal seams during the movement of the rock mass. - As a manuscript.

The dissertation on the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.15.02 - "Underground mining of mineral deposits", 05.26.01 - "Labor Protection" - Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S. Polyakova National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, 2019r.

The analysis was performed, which showed the absence of scientifically grounded theories of the mechanism for the formation of the dynamics of gas evolution from the coal-bearing strata being mined. The contradictions in the assessment of the influence of geological, technological and organizational factors on the gas emission from working on sources are established according to the regulatory and methodological documents.

A scheme is proposed for the effect of refining work on the geomechanical parameters of displacement of the under-worked coal and rock formation and gas emission from possible sources.

In the theoretical part of the work, several models have been developed for determining the geomechanical parameters of the processes of displacement of undermined rocks and the earth's surface. The dependence of the upper boundary of the zone of displacement with a discontinuity of rocks on the degree of development of sewage works is substantiated.

Studies have been carried out and conditions have been established under which rock migration processes reach the earth's surface.

Empirical dependencies are established to determine the curve of the trajectory of maximum subsidence of points on the earth's surface, the angles of complete displacement and angles of maximum sedimentation of rocks until the full undermining of the earth's surface.

The conditions for the manifestation of maxima of total methane release in mine workings and drainage wells have been studied, and influencing factors have been established.

For the first time, a method has been developed for predicting gas emission from the coal-bearing strata being mined depending on the displacement parameters of the undermined rocks and the earth's surface, which makes it possible to improve the regulatory framework for the safe conduct of mining operations.

The results of theoretical and experimental research obtained in the thesis were implemented with the forecast of gas evolution under the conditions of the mine named after D.F. Melnykova PC "Lisichanskugol". The estimated economic effect from the

implementation of recommendations for the safe mining of the 1st northern lava of the reservoir was about 1800 thousand. uah/year

IGTM of the National Academy of Sciences of Ukraine prepared and submitted proposals for the improvement of the “Guidelines for the design of ventilation of coal mines” regarding the gas release forecast and the selection of ventilation patterns for excavation sites.

**Keywords:** developed space, displacement, underworking, coal-bearing strata, excavation site, earth surface, geomechanical processes, gas emission, dependencies, forecast, gas-bearing layers, safety, normative base.

Research-Only

Філатєв Михайло Володимирович

Розвиток наукових основ безпечної відробки газоносних вугільних пластів  
при зсовуванні масиву гірських порід

(Автореферат)

Підписано до друку 31.05.2019 р.  
Гарнітура Times. Друк різнографічний.  
Папір офсетний. 1,8 умов. друк. арк.  
Тираж 100 прим. Зам. №268  
Друк ПП ВКП "ПЕТИТ"

Свідоцтво про внесення до державного реєстру  
№000647 від 28.04.2005 р.  
93400, м. Сєвєродонецьк, вул. Федоренко, 10