

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



Пимоненко Дмитро Миколайович

УДК [622.02:539.2/.8]:622.324.5.012.2 (043.3)

ОБҐРУНТУВАННЯ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОЦІНКИ  
МЕТАНОДОБУВАЛЬНОСТІ ДІЮЧИХ ТА ЗАКРИТИХ ШАХТ

Спеціальність 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка»

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова Національної академії наук України.

Науковий керівник: доктор геолого-мінералогічних наук, професор  
ЛУКІНОВ В'ячеслав Володимирович,  
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова  
Національної академії наук України,  
провідний науковий співробітник.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
САДОВЕНКО Іван Олександрович,  
Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет» Міністерства  
освіти і науки України,  
професор кафедри гідрології та інженерної геології.  
кандидат технічних наук,  
ГУНЯ Дмитро Петрович,  
заступник директора з геології  
ВП «Володарське» ПАТ «Шахта ім.О.Ф.Засядька».

Захист відбудеться «23» березня 2018 р. о 13<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.188.01 при Інституті геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова Національної академії наук України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а, факс (0562) 46-24-26.

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

Автореферат розісланий «20» лютого 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
доктор технічних наук



В.Г.Шевченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Проблема промислового видобутку метану з вугільних пластів і вміщуючих порід успішно вирішується в ряді країн Західної Європи й Америки, в першу чергу в США. У більшості країн світу метан вуглегазових родовищ розглядається як самостійна корисна копалина та активно ведеться його видобуток.

Загальні ресурси метану вугленосної товщі Донбасу на глибинах від 500 до 1800 м за різними оцінками становлять від 12 до 25 трлн. м<sup>3</sup>. Однак на теперішній час вугільний метан в нашій країні практично не використовується як самостійна корисна копалина, а його видобуток методами шахтної дегазації незначний.

Основною причиною такого негативного ставлення до комплексного освоєння вуглегазових родовищ є ряд невирішених питань, одним з яких є відсутність кількісної оцінки геомеханічних параметрів виділення найбільш перспективних об'єктів для видобутку метану. Аналіз раніше виконаних досліджень показав, що пропонувані різними авторами параметри подібні, але вони не враховують інтенсивність і характер деформації вугленосних відкладень, що є одним з основних чинників, які впливають на кількість метану у вуглепородному масиві. Також вони не дозволяють зіставити окремі об'єкти і кількісно оцінити їх перспективність.

Через це встановлення закономірностей зміни фізико-механічних властивостей вугілля та порід, пластичних та крихких деформацій у межах Донецького вугільного басейну і обґрунтування геомеханічних параметрів оцінки метанодобувальності діючих та закритих шахт є **актуальною науковою задачею**. Вона має важливе соціальне значення для розробки вуглегазових родовищ України за рахунок можливості планування робіт з дегазації та промислового видобутку метану вугленосних товщ.

**Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація виконувалася відповідно до тематики Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України в рамках держбюджетних тем № 24 «Виконати теоретичні та експериментальні дослідження геологічних умов формування газонасиченого середовища з метою створення комплексу методів геолого-геофізичного прогнозу скупчень метану на вугленосних родовищах» (№ держреєстрації 0197U006861), № II-06-12 «Визначення впливу тектонічних умов на формування техногенних колекторів. Аналіз існуючих і обґрунтування використання перспективних енергозберігаючих технологій утилізації метану із закритих шахт» (№ держреєстрації 0112U004163) та № III-60-11 «Розвиток теоретичних основ енергоперетворення низькорекційного пилувугільного палива та впровадження енергозберігаючих технологій утилізації надлишкового тепла шахтних енергокомплексів» (№ держреєстрації 0111U005129), у яких автор був виконавцем.

**Мета роботи** – обґрунтування геомеханічних параметрів, що характеризують неоднорідність розподілу газів у вуглепородному масиві для визначення перспективних ділянок видобутку метану на діючих та закритих шахтах.

**Ідея роботи** полягає у використанні закономірностей зміни фізико-механічних властивостей вугілля та порід, пластичних і крихких деформацій у межах Донецького вугільного басейну, які впливають на перерозподіл метану в масиві для обґрунтування геомеханічних параметрів оцінки метанодобувальності діючих та закритих шахт.

**Об'єкт дослідження** – процеси формування газонасичених ділянок у вуглепородному масиві.

**Предмет дослідження** – геомеханічні параметри оцінки метанодобувальності діючих та закритих шахт.

**Основні завдання досліджень:**

1. Встановити закономірності зміни деформації вугленосних відкладів на регіональному рівні для врахування їх впливу на розподіл газів в Донбасі.

2. Розробити фізичну модель зміни напружено-деформованого стану масиву з глибиною, що пояснює особливості розподілу газодинамічних явищ та розривної порушеності.

3. Обґрунтувати раціональний комплекс геомеханічних параметрів оцінки метанодобувальності, розробити систему оцінки перспективності об'єктів для видобутку метану.

4. Розробити і впровадити методику оцінки перспективності об'єктів для видобутку метану при освоєнні природних ресурсів техногенних родовищ.

**Методи дослідження.** Для досягнення мети і виконання поставлених завдань здійснено комплекс досліджень, що включає: вивчення закономірностей зміни пластичних та крихких деформацій вугленосних відкладів на регіональному рівні. Для цього були зібрані дані про кути падіння порід, параметри складчастих і розривних дислокацій, розраховані показники і побудовані схеми пластичних і крихких дислокацій Донбасу на регіональному рівні, карти градієнтів локальних структур і потужностей пісковиків (в межах окремих шахт), розривної порушеності. Для розробки фізичної моделі здійснені теоретичні дослідження формування напружено-деформованого стану масиву. Для обґрунтування геомеханічних параметрів, які кількісно характеризують ступінь газонасиченості діючих і закритих шахт, були зібрані й узагальнені дані за паспортами шахт та геолого-промисловими картами (приблизно для 120 шахт), за картами розривної та складчастої порушеності розраховані показники крихких та пластичних деформацій; визначені діапазони змін кожного з параметрів. Статистична обробка результатів досліджень виконувалася за допомогою багатовимірних (факторний, кластерний і компонентний) і кореляційного аналізів, застосувалися моделі множинної лінійної регресії.

**Основні наукові положення, що винесені на захист:**

1. Показники газонасиченості (метанозбагачення, газоносність), фізико-механічних властивостей вугілля та порід (швидкість поздовжніх хвиль, питомий електричний опір), тектонічної дислокованості, що характеризують напружено-деформований стан відкладів, взаємопов'язані, до того ж питомий електричний опір експоненційно зростає при збільшенні показника загальної тектонічної дислокованості  $K_D$ , а швидкість поздовжніх хвиль, метанозбагачення і газоносність характеризуються параболічною залежністю та

в діапазоні 0,4 – 0,5 показника загальної тектонічної дислокованості мають максимум.

2. Закономірна зміна напружено-деформованого стану з глибиною відбувається в різнокомпонентному полі напружень за рахунок зміни співвідношень величин головних нормальних напруг, причому середня зона, яка розташована між поверхнями узагальненого розтягування ( $\sigma_{y(\gamma H)} = \sigma_z$ ) та узагальненого стиснення ( $\sigma_x = \sigma_{y(\gamma H)}$ ), знаходиться нижче 500 м та характеризується переважанням розтягування зі зсувом, що обумовлює підвищення тріщинуватості (на 15-20%), газоносності (20-30%) і газодинамічної активності (у 2-3 рази).

**Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:**

– вперше встановлені залежності між показниками газонасиченості (метанозбагачення, газоносність), фізико-механічних властивостей вугілля і порід (швидкість поздовжніх хвиль і питомий електричний опір) та тектонічної дислокованості, що дозволяє використовувати показники тектонічної дислокованості для оцінки метанодобувальності шахт;

– вперше встановлені закономірності зміни з глибиною напружено-деформованого стану гірського масиву, що дозволяє за результатами натурних вимірювань визначити три регіональні зони, що закономірно змінюють одна одну з глибиною, причому середня зона знаходиться нижче 500 метрів і характеризується переважанням зсувних дислокацій, підвищеною газоносністю та газодинамічною активністю.

**Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей зміни геомеханічних параметрів в залежності від умов формування газоносності вуглепородного масиву й обґрунтуванні виділення перспективних ділянок видобутку метану.**

**Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:**

– розроблені «Методичні основи оцінки перспективності шахт Донбасу за обсягом метанодобувальності»;

– розроблена «Комплексна методика прогнозування газодинамічних зон».

Розроблені методичні основи є обґрунтуванням для виділення найбільш перспективних вугільних шахт (діючих та закритих) для видобутку метану і можуть бути врахованими при розробці проектів щодо раціонального вилучення метану вугільних родовищ, що має соціальне та екологічне значення для вуглегазових родовищ Донбасу.

**Реалізація результатів дослідження**

«Методичні основи оцінки перспективності шахт Донбасу за обсягом метанодобувальності» передані і використовуються ТОВ «Надра Луганщини». За геомеханічними параметрами вугільних шахт (діючих та закритих) ДП «Артемвугілля», ДХК «Краснодонвугілля», «ДТЕК Добропіллявугілля», ДП «Торецьквугілля» обґрунтовано виділення найбільш перспективних для видобутку метану (Акт впровадження результатів від 25.11.2014).

«Комплексна методика прогнозування газодинамічних зон» передана на шахту «Північна» ДП «Торецьквугілля», очікуваний економічний ефект від використання розробленої методики склав 145,8 тис. грн., досягнутий за рахунок використання первинного матеріалу при розрахунках, що значно

знижує собівартість робіт, спрямованих на прогнозування перспективних шахт та ділянок і дозволяє визначити точки закладення свердловин для дегазації під час підготовки ділянок до промислового видобутку метану (Акт впровадження результатів від 17.11.2016).

**Обґрунтованість і достовірність** наукових положень, висновків та методик дисертаційної роботи забезпечується коректною постановкою задач, використанням елементів фундаментальних положень механіки гірських порід і тектонофізики, достатнім обсягом лабораторних досліджень, виконаних апробованими методами. Відносна похибка результатів теоретичних і експериментальних досліджень не перевищує 25%.

**Особистий внесок автора.** Автором самостійно сформульовані мета, ідея, завдання досліджень і визначені шляхи їх вирішення. Автор брав безпосередню участь у виконанні досліджень: збирав дані та розраховував показники тектонічної дислокованості, збирав і узагальнював показники газонасиченості: метанозбагачення, газоносності, фізико-механічних властивостей вугілля та порід, здійснив обґрунтування раціонального комплексу геомеханічних параметрів і розробку системи оцінки перспективності об'єктів для видобутку метану; встановив закономірності зв'язку геомеханічних параметрів з процесами формування газонасичених ділянок у вуглепородному масиві; узагальнив результати шляхом статистичної обробки отриманих даних, на підставі яких сформульовані наукові положення і висновки, розробив методики проведення наукових досліджень. Текст дисертації написано автором самостійно.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи і матеріали досліджень доповідалися і обговорювалися на I і VII Міжнародних науково-практичних конференціях «Метан вугільних родовищ України» (Дніпропетровськ, 20 – 23 вересня 1999 і 2 – 5 жовтня 2012 роки), міжнародній конференції «Форум гірників 2012» (Дніпропетровськ, 3 – 6 жовтня 2012 року), III-й міжнародній науково-практичній конференції «Оцінка, видобуток та використання нетрадиційних видів газу: залучення інвестицій» (Донецьк, 2 – 3 жовтня 2013), науково-практичній конференції «Маркшейдерське забезпечення геотехнологій» (Дніпропетровськ, 23 – 24 квітня 2014 г.).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковані у 22 наукових роботах. Статей у фахових виданнях, рекомендованих МОН України – 14, в тому числі в наукових журналах – 3, збірниках наукових праць – 11, статті у виданнях іноземних держав – 1, патентів на корисну модель – 3. Решта наукових статей та тези доповідей опубліковані у збірниках матеріалів вітчизняних та міжнародних наукових форумів і конференцій – 4.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновку, переліку використаних джерел на 25 сторінках та 3 додатків на 14 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 191 сторінок, основний текст викладено на 152 сторінках. Текстова частина ілюстрована 18 малюнками і містить 26 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі виконаний огляд робіт з оцінки перспективності об'єктів для видобутку й утилізації шахтного метану, викладені мета та завдання дослідження. Дослідженню газоносності вугленосних формацій та вивченню геолого-технологічних критеріїв для виділення об'єктів видобутку метану присвячені роботи провідних вчених та спеціалістів таких наукових закладів і підприємств: як Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, Інститут гірничої справи ім. О.О. Скочинського, Національний гірничий університет Міністерства освіти і науки України, Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України, Інститут проблем комплексного освоєння надр, Український державний науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи України, шахт і об'єднань з видобутку вугілля та інші. У працях науковців обґрунтована доцільність попутного видобутку метану при розробці вугільних родовищ, показані перспективи використання вугільного метану, розглянуті принципи технічних і організаційних рішень з видобутку й використанню шахтного метану.

Розглянуті роботи відображують уявлення про регіональні умови розподілу газів у масиві Донбасу, що пов'язані з вуглефікацією органічних речовин у вугленосній товщі. Однак будова басейну відрізняється складним і нерівномірним характером деформацій, які впливають на умови збереження метану й дотепер не враховуються. Також слід зазначити особливу роль дислокованості в накопиченні, збереженні й міграції газів, отже, при оцінці перспектив газоносності ділянок і шахт зочевидь необхідність врахування показників, що характеризують малоамплітудну розривну й складчасту порушеність.

До теперішнього часу в загальному виді для умов Донецького басейну розглядалися різні геолого-технологічні критерії для виділення об'єктів видобутку метану. Пропоновані критерії подібні, але вони не враховують інтенсивність і характер деформації вугленосних відкладів (у плані й розрізі), які є одним з основних факторів, що впливають на кількість метану у вуглепородному масиві. Вони не дозволяють зіставити окремі ділянки й кількісно оцінити їхню перспективність.

На підставі аналізу наукових літературних джерел, звітів і патентів сформульовано ідею, мету роботи та завдання для її досягнення.

У другому розділі розглядається вплив деформаційно-напруженого стану на регіональні закономірності розподілу газів у вугленосних відкладах.

Для оцінки ступеня деформованості відкладів, використані показники: мінливості кутів падіння порід ( $K_k$ ), розривної ( $K_p$ ) і складчастої порушеності ( $K_c$ ), загальної дислокованості ( $K_d$ ) і побудовані схеми деформацій порід Донбасу, як за окремими показниками, так і за показником загальної дислокованості. Отримані схеми свідчать про наявність регіональних областей з різними умовами деформацій, які впливають на газоносність масиву.

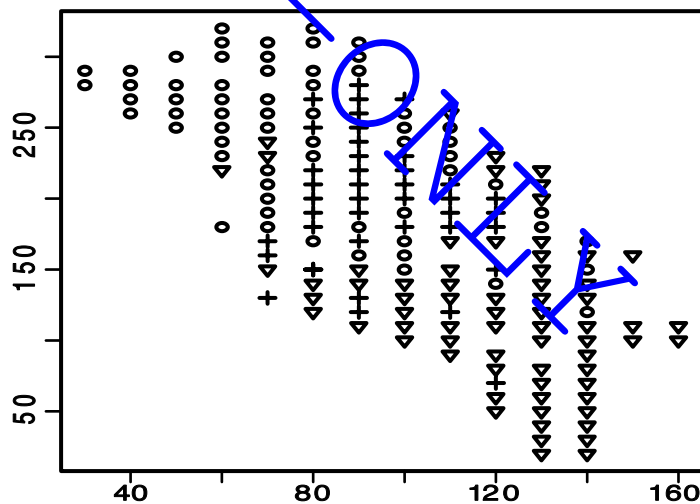
Для уточнення меж областей і виділення даних спостережень у більш-менш однорідні групи, застосований статистичний метод нечіткої кластеризації,

за даними якого виділено три області, що суттєво відрізняються параметрами дислокацій. Отримані значення координат центрів кластерів між трьома усередненими групами в ознаковому просторі. Узагальнення даних по виділеним методом кластерного аналізу областям і гірничо-геологічним умовам дозволило виділити три області, що відрізняються умовами формування скупчень метану (рис.1).

Західна область просторово приурочена до площ розвитку вугленосних відкладів, що вміщують вугільні пласти, складені марками Д, Г и частково Ж. Для неї характерні: невисокі (0,01 – 0,02) показники напружено-деформованого стану, потужність вугленосної товщі менш 3 км, незначна (<10) кількість вугільних пластів, підвищена пористість ( до 12 – 20 %) і проникність порід.

Сприятлива обстановка газонакопичення при наявності потужних колекторів, аргілітових покришок і структурно-літологічних умов. Для цієї області характерні скупчення метану, пов'язані з колекторами порового та тріщино-порового типів.

Центральна область приурочена до площі розвитку відкладів, що вміщують вугілля марок Ж – ПС; показники тектонічної дислокованості змінюються від 0,06 до 0,42, потужність вугленосної товщі 3 – 5 км, кількість вугільних пластів 2 – 25, порівняно висока пористість ( до 4 – 12 %), середня або низька проникність. Мікропороди і локальні скупчення метану пов'язані з колекторами тріщино-порового та порового типів.



1. о – Західна область (K1), 2. + – Центральна область (K2) ; 3. ▽ – Східна область (K3)

Рисунок 1 – Схема розташування областей з різними параметрами дислокацій за даними кластерного аналізу (за  $K_D$ )

Східна область приурочена до площі поширення вугілля марок П – А; потужність вугленосної товщі > 5 км. Характеризується: найбільш високими показниками регіональної тектонічної дислокованості від 0,16 до 0,89, відносно низькою пористістю (до 2 – 4 %), низькою проникністю й малосприятливою



обстановкою газонакопичення вільного газу (без врахування сорбованих газів). Локальні скупчення метану пов'язані з колекторами тріщинного типу. Необхідно відзначити, що частина цієї області представлена високометаморфізованими антрацитами і в ній повністю відсутні скупчення метану, але виділити її за тектонічними показниками не представилося можливим.

Проведене дослідження фізико-механічних властивостей та газоносності порід і вугілля Донбасу у виділених областях на основі зіставлення показників, що характеризують ці фактори. Для характеристики фізичних властивостей пластів пісковиків використовувалися результати геофізичних досліджень: швидкість подовжніх хвиль –  $v_p$  (км/с) і питомий електричний опір –  $\rho_k$  (Ом·м). Порушеність вугільних пластів оцінювалася даними руйнування вугілля –  $R$ . Оцінка газонасиченості масиву проводилась за величиною природній газоносності вугільних пластів  $G$  (м<sup>3</sup>/т) і метанозбагачення виробок  $M$  (м<sup>3</sup>/т).

Усі зібрані дані осереднювались за окремими пластами, шахтами і, в остаточному підсумку, за районами. За зібраними даними були розраховані коефіцієнти парної кореляції (табл.1).

Аналіз коефіцієнтів кореляції показав, що загальний показник дислокованості  $K_d$  тісно пов'язаний з фізико-механічними властивостями ( $R, v_p, \rho_k$ ) і показниками, що характеризують вміст газу в масиві гірських порід ( $G, M$ ). Показники, що характеризують газоносність масиву тісно пов'язані з фізико-механічними параметрами, що, з одного боку, узгоджується з багаторічними дослідженнями цих параметрів у Донбасі й відповідає самій природі перетворення порід і вугілля у регіональному плані, з іншого боку – свідчить про достовірність отриманих результатів.

Таблиця 1 – Коефіцієнти парної кореляції

| Показники, параметри | $K_d$ | $R$  | $v_p$ | $\rho_k$ | $M$  | $G$  |
|----------------------|-------|------|-------|----------|------|------|
| $K_d$                | 1,00  | 0,59 | 0,82  | 0,73     | 0,77 | 0,88 |
| $R$                  | 0,59  | 1,00 | 0,85  | 0,85     | 0,80 | 0,84 |
| $v_p$                | 0,82  | 0,85 | 1,00  | 0,97     | 0,94 | 0,72 |
| $\rho_k$             | 0,73  | 0,85 | 0,97  | 1,00     | 0,89 | 0,67 |
| $M$                  | 0,77  | 0,80 | 0,94  | 0,89     | 1,00 | 0,92 |
| $G$                  | 0,88  | 0,84 | 0,72  | 0,67     | 0,85 | 1,00 |

Для встановлення залежності між газоносністю ( $G$ ) і метанозбагаченням виробок ( $M$ ) з показниками мінливості кутів падіння порід ( $K_k$ ), розривної ( $K_p$ ) і складчастої порушеності ( $K_c$ ), що побічно характеризують напружено-деформований стан масиву, використана модель множинної лінійної регресії.

В результаті чисельних розрахунків із застосуванням методів математичної статистики з урахуванням виразу (1) були отримані наступні рівняння регресії відповідно для газоносності масиву ( $G$ ) і метанозбагачення виробок ( $M$ ):

$$G = 5,0 + 12,2 \cdot K_p - 7,1 \cdot K_c + 14,3 \cdot K_\kappa; r = 0,71 \quad (1)$$

$$M = 7,2 + 11,8 \cdot K_p - 14,7 \cdot K_c + 35,7 \cdot K_\kappa; r = 0,84. \quad (2)$$

Також отримані рівняння регресії (табл.2), що описують взаємозв'язок фізико-механічних властивостей ( $v_p$ ,  $\rho_\kappa$ ) і показників, що характеризують вміст газу в гірському масиві ( $G$ ,  $M$ ) з коефіцієнтом загальної дислокованості  $K_D$ , побудовані графіки (рис.2)

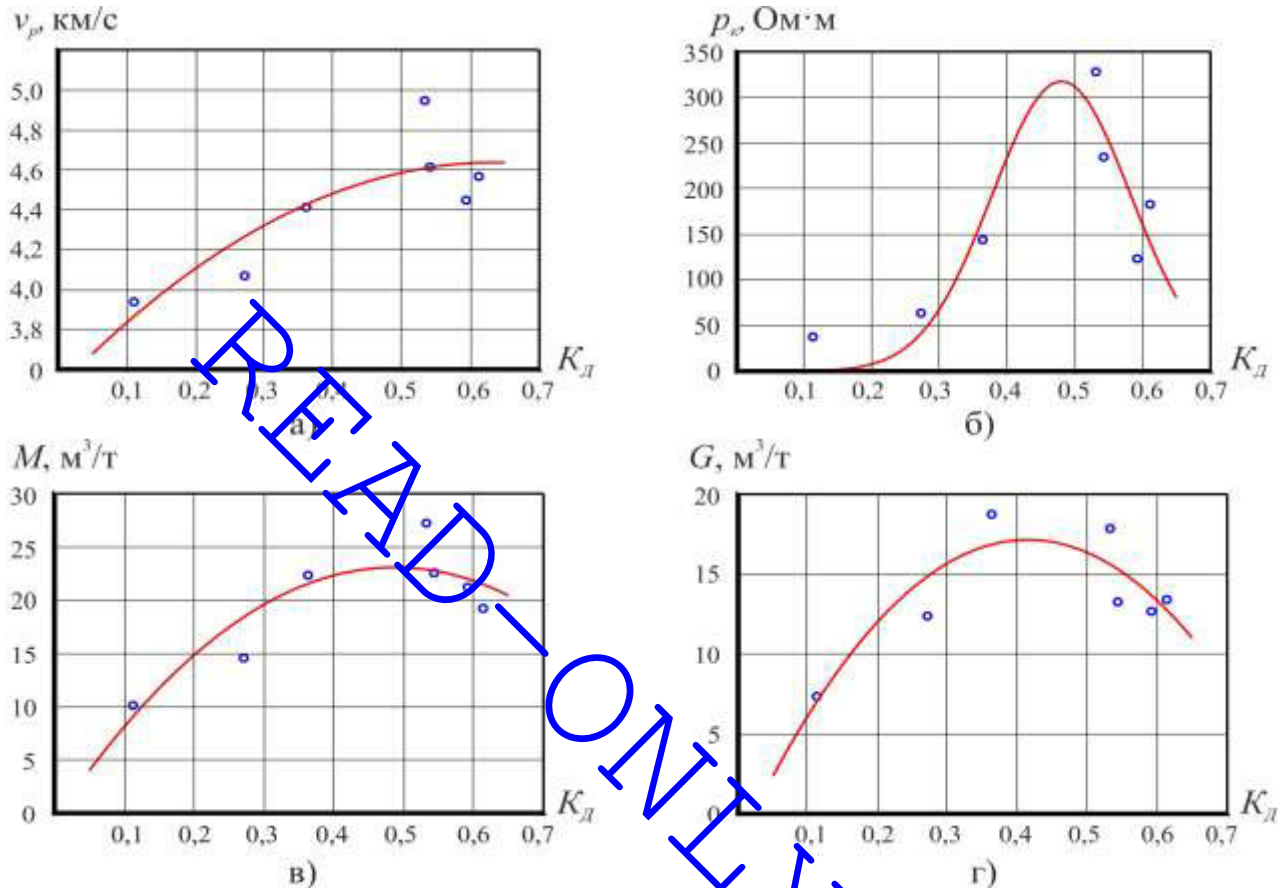


Рисунок 2 – Графіки залежності між величинами коефіцієнта загальної дислокованості  $K_D$  і швидкості подовжніх хвиль  $v_p$  (а), питомого електричного опору  $\rho_\kappa$  (б), метанозбагачення  $M$  (в), газонасиченості вугільних пластів  $G$  (г)

Обробка статистичних даних за критеріями Ст'юдента й Фішера дозволила визначити значимість отриманих результатів і адекватність досліджуваних регресійних моделей.

Таким чином, з використанням методів математичної статистики встановлені узагальнюючі залежності між показниками тектонічної дислокованості й газонасиченості масиву. Отже, закономірності розподілу дислокованості й газонасиченості подібні й взаємозалежні, що відображує вплив на утворення цих факторів єдиних геодинамічних процесів та дозволяє використовувати показники тектонічної дислокованості для прогнозу газонасиченості на регіональному рівні.

Таблиця 2 – Рівняння регресії й критерії перевірки значимості

| №  | Рівняння регресії  | Коефіцієнт кореляції й детермінації $r$ і $r^2$ | Критерії Фішера (F) і Ст'юдента (t) | Довірчі інтервали коеф. рівнянь $b_0, b_1, b_2$                              |
|----|--|---|-------------------------------------|--|
| а) | $v_p = 3,51 + 3,55 \cdot K_d - 2,79 \cdot K_d^2$         | 0,90; 0,81                                      | 8,53; 2,92                          | $2,29 < b_0 < 4,72$<br>$-4,04 < b_1 < 11,14$<br>$-12,85 < b_2 < 7,26$        |
| б) | $\rho_k = e^{-5,13+45,39 \cdot K_d - 47,31 \cdot K_d^2}$ | 0,91; 0,82                                      | 9,11; 3,02                          | $-15,78 < b_0 < 5,52$<br>$0,91 < b_1 < 91,69$<br>$-96,46 < b_2 < -1,85$      |
| в) | $M = -0,63 + 97,33 \cdot K_d - 99,89 \cdot K_d^2$        | 0,89; 0,79                                      | 7,37; 2,72                          | $-18,24 < b_0 < 16,99$<br>$-12,70 < b_1 < 207,36$<br>$-245,73 < b_2 < 45,93$ |
| г) | $G = -1,96 + 92,15 \cdot K_d - 111,11 \cdot K_d^2$       | 0,90; 0,81                                      | 8,53; 2,92                          | $-14,35 < b_0 < 10,43$<br>$14,77 < b_1 < 169,53$<br>$-213,66 < b_2 < -8,56$  |

У третьому розділі розглянутий вплив напружено-деформаційного стану на локальні особливості розподілу газів у вугленосних відкладах.

Напружений стан масиву, створюваний зовнішніми (тектонічними) силами, приводить до порушення первинного залягання відкладів. Залежно від параметрів головних компонентів поля їх зміни в просторі й часу формують індивідуальні особливості структури кожного шахтного поля.

Виходячи з того одним з основних локальних факторів, що впливають на розподіл газів у масиві, є розривна дислокованість, для дослідження зміни порушеності з глибиною. Обрані шахти Центрального району Донбасу (кожною шахтою опрацьовується близько 20 пластів до глибин 800 м; технологія однакова). Дослідження проводилися по матеріалах шахт «Кочегарка», ім. Артема, ім. Ю.О. Гагаріна, ім. В.І. Леніна. За всіма відпрацьованими пластами на 100-метрових інтервалах розраховувалися показники щільності дислокацій, за якими були побудовані графіки зміни порушеності із глибиною. Встановлено: зміна щільності дислокацій із глибиною для різних шахт хвилеподібна й індивідуальна, але ділянки підвищених значень на досліджуваних шахтах збігаються.

Зібрані дані та проаналізовано зміну кількості й інтенсивності газодинамічних явищ із глибиною для Донецько-Макіївського району (736 описів газодинамічних явищ, зареєстрованих у картках МакНДІ, як раптові викиди вугілля й газу). Інтервали, що характеризуються підвищеними середніми значеннями інтенсивності, чергуються з інтервалами низьких значень. Максимальна кількість викидів відзначено на глибинах 500 – 600 м. Ці глибини практично збігаються із визначеними зонами підвищеної порушеності і підтверджуються даними регіональних геофізичних досліджень.

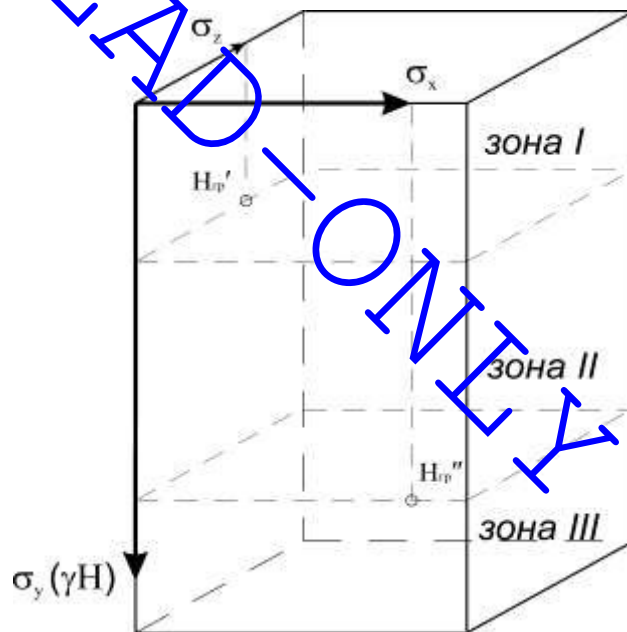
Для пояснення отриманих даних розроблена фізична модель формування регіональних горизонтальних зон (за глибиною). Модель базується на наступних положеннях:

1) природний напружений стан у межах окремого тектонічного блоку на сучасному геологічному етапі практично зберігається незмінним;

2) зовнішній тиск блоків рівномірний і, як наслідок, величини горизонтальних складових компонентів поля напруг із глибиною зберігаються.

Суть моделі: оскільки з глибиною тиск порід, що залягають вище, закономірно збільшується ( $\gamma H$ ), а величини горизонтальних напруг ( $\sigma_x$  і  $\sigma_z$ ) зберігаються, то існують певні глибини, на яких величини тиску товщі, яка знаходиться вище ( $\sigma_{y(\gamma H)}$ ), можуть бути приблизно рівні величинам мінімальної ( $\sigma_z$ ) і максимальної ( $\sigma_x$ ) горизонтальних складових. При наявності вимірів головних компонент поля напруг, прості розрахунки дозволяють виділити три зони, що закономірно змінюють одна одну з глибиною, в яких величини головних нормальних напруг будуть змінюватися в такий спосіб (рис. 3):

– перша зона розташована вище границі  $\sigma_{y(\gamma H)} = \sigma_z$  (поверхня узагальненого розтягнення); в якій співвідношення головних компонентів напруг буде  $\sigma_{y(\gamma H)} < \sigma_z < \sigma_x$  і переважатимуть деформації насувного типу;



$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – компоненти поля напруг;

$H_{zp}$  – границі зон

Рисунок 3 – Схема формування розташованих по глибинах зон з різним напружено-деформованим станом.

– друга – між границями  $\sigma_{y(\gamma H)} = \sigma_z$  і  $\sigma_{y(\gamma H)} = \sigma_x$ ; співвідношення головних компонентів –  $\sigma_z < \sigma_{y(\gamma H)} < \sigma_x$ , що приведе до активізації зсувних деформацій;

– третя – нижче границі  $\sigma_{y(\gamma H)} = \sigma_x$  (поверхня узагальненого стиснення); співвідношення головних компонентів –  $\sigma_z < \sigma_x < \sigma_{y(\gamma H)}$ .

При цьому найбільш активні зрушення будуть відбуватися на границях зон. Саме до цих глибин приурочена максимальна кількість газодинамічних явищ, підвищена газоносність і порушеність, що підтверджується наведеними вище даними й результатами інших дослідників.

Отже, зміна співвідношень величин головних нормальних напруг на різних глибинах, або «переіндексація» осей приводить до зміни типів деформацій у вугленосній товщі.

Натурні виміри поля напруг методом локального гідророзриву, проведені в ІГТМ НАН України, дозволили розрахувати границі регіональних зон і параметри Лоде-Надаї. Усі розраховані значення перебувають в інтервалі від (-0,78) (шахта ім. «Газети «Соц. Донбас») до (-0,43) (ПАТ «Шахта ім. О. Ф. Засядька»), що свідчить про перевагу розтягнення зі зсувною складовою.

Таким чином, врахування зміни з глибиною напружено-деформованого стану масиву і виділення меж зон, дозволяє виділяти найбільш порушені і газонасичені глибини, що має значення для буріння дегазаційних свердловин.

У четвертому розділі розглянутий вплив малоамплітудної порушеності на кількість метану, вилученого дегазаційними свердловинами, і метанозбагачення виробок; обґрунтовані параметри для їхньої оцінки й розроблений методичний підхід до оцінки перспективності видобутку метану, що базується на геомеханічних параметрах газоносності вуглегазових родовищ Донбасу.

На шахтах ім. О.О. Скопинського (8 свердловин), ім. М.І. Калініна (3 свердловини) і «Північна» (9 свердловин) проаналізований вплив малоамплітудних складчастих і розривних деформацій на обсяг вилученого метану й дебіт метану в дегазаційних свердловинах. Глибина пробурених свердловин, товщина пластів вугілля й порід, параметри буріння – однакові. Встановлено, що в свердловинах, які знаходяться у склепінних частинах малоамплітудних складок, порушених і тріщинуватих ділянках, обсяг вилученого метану і його дебіт вище, ніж на непорушених ділянках. Отримані дані показали необхідність врахування параметрів складчастих і розривних деформацій для оцінки метанодобувальності ділянок.

Для оцінки складчастих деформацій у межах ділянок (шахт), відповідно до теоретичних положень фізики гірських порід, запропоновано використовувати величину вигину порід у склепінних частинах складок, при якій відбувається розтягання шарів, що сприяє збільшенню тріщинуватості й, як наслідок проникності, на цих ділянках. В антиклінальних складках (у синклінальних - навпаки) у верхній частині шару при досягненні деформаціями розтягнення гранично припустимих значень утворюються тріщини, у нижній – ні. У масиві порід товщина порушеного шару (ефективна товщина), формується під дією тектонічних сил, як результат перевищення гранично припустимих значень деформацій розтягнення ( $\varepsilon_{KR}$  для пісковиків становлять 0,003 – 0,004, аргілітів 0,006 – 0,008, для вугілля 0,002 – 0,003) залежно від товщини породи й кривизни складки.

Побудований графік залежності між градієнтами локальних структур (рис.4), які розраховувалися як відношення амплітуди складки до половини її довжини, і критичною товщиною шару пісковіку при  $\varepsilon_{KR} = 0,003$ , приблизно

відповідає графіку гіперболічної функції, що дозволяє представити функцію у вигляді

$$y = b_0 + b_1 / x$$

де  $b_i$  – параметри (коефіцієнти) регресії;  $x_i$  – регресор (фактори моделі).

Розрахунки, виконані для надійної ймовірності 0,95; привели до наступних значень:

– коефіцієнти кореляції й детермінації відповідно рівні 0,96 і 0,92;

– регресійна модель – рівняння  $y = (1,55/x) - 6$

де  $y$  – критична товщина шарів пісковиків, м;

$x$  – градієнт кривизни локальних складок;

– критерії Фішера та Ст'юдента відповідно рівні 126,5 і 11,3; надійний інтервал коефіцієнтів рівняння регресії  $-11,99 < b_0 < -0,01$  і  $1,24 < b_1 < 1,87$ .



Рисунок 4 – Графік залежності між величинами градієнтів локальних структур і критичною товщиною пластів пісковиків ( при  $\varepsilon_{KR} = 0,003$ )

Аналіз побудованого графіка дозволяє зробити наступні висновки:

– у пологих складках ( $l = 2000$  м;  $h = 20 - 40$  м) при товщині пластів пісковиків у Донбасі 10 – 50 м ефективна товщина пластів настільки мала, що видобуток метану з них потребує застосування додаткових засобів –  $grad = 0,02 - 0,05$ ;

– при  $grad = 0,05 - 0,15$  – у складчастих структурах створюються умови для утворення тріщинуватих зон ефективною товщини в пісковиках середньої (20 – 40 м) товщини ;

– зі збільшенням кривизни складчастості  $grad > 0,15$  ефективна товщина буде суттєво вище;

– приймаючи до уваги величини критичної товщини аргілітів, залягання їх у розрізі вище пісковиків буде сприяти збереженню газів у порушених зонах.

Таким чином, для характеристики перспективності ділянок запропоновано використовувати градієнт ( $grad$ ) кривизни локальних складок, який розраховується за тим ж алгоритмом, що й локальні структури і дозволяє оцінити товщину шару порушеного тріщинами.

Для обґрунтування оцінки критерію розривної порушеності для шахт Донецько-Макіївського району за параметрами середньо- і крупноамплітудних розривних дислокацій розраховані коефіцієнти  $K_p$  і зіставлені з даними інтенсивності фонові тріщинуватості вугілля та порід. Показано, що загальна тенденція зміни тектонічної дислокованості зберігається на всіх рівнях узагальнення. Що дозволяє, використовувати показник  $K_p$  у якості критерію для оцінки перспективності ділянок за рівнем метанодобувальності. Однак ця величина характеризує ділянки, пов'язані із крупно- і середньоамплітудними розривними дислокаціями, тому для виділення перспективних шахт більш точним є розрахунки критерію за параметрами порушень, виділених на відпрацьованих пластах.

Для типізації метанодобувальності шахт і ділянок на локальному рівні (в 200 м інтервалі) в якості класифікаційної одиниці прийнята площа шахтного поля з комбінацією основних класифікаційних ознак, до яких віднесені наступні критерії:

1.  $\Sigma m_{вуг}$  – сумарна товщина вугільних пластів, м;
2.  $\Sigma m_{вуг.пр.}$  – сумарна товщина вугільних прошарків, м;
3.  $\Sigma m_n$  – сумарна товщина пісковиків, м;
4.  $H$  – глибина (з урахуванням ступеня метаморфізму вугілля), м;
5.  $G$  – природна газоносність,  $\text{м}^3/\text{т.с.г.м.}$ ;
6.  $g_y$  – густина запасів метану,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ ;
7. Ресурси метану, млрд.  $\text{м}^3$ ;
8. Наявність покришок, м;
9.  $grad$  – показник інтенсивності складчастих деформацій, який характеризує тріщинувату потужність пісковиків (колекторів), б.р;
10.  $K_p$  – показник інтенсивності розривної порушеності, б.р;
11.  $K_{в.п.}$  – коефіцієнт відкритої пористості, %;
12.  $K_d$  – інтенсивність загальної дислокованості, б.р.

Для виділених кластерним методом газоносних областей (див рис. 1) в кожній з них за паспортами шахт та геолого-промисловими картами визначені діапазони змін кожного з критеріїв. Величини геомеханічних параметрів, які сприяють більшій газонасиченості масиву, оцінюємо 3 балами, середній – 2, найменшій – 1 балом.

Враховуючи величини густоти запасів метану, що витягуються із підроблених вугільних пластів –  $g_y$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2$  (для умов коли сумарна товщина відпрацьованих пластів  $\Sigma m_{від} = 1\text{м}$  і товщина інтервалу підробки  $M = 100\text{м}$ ), залежно від ступеня метаморфізму вугілля, для першої області ця величина змінюється від 0,5 до 3,5  $\text{м}^3/\text{м}^2$ ; другої та третьої – від 5 до 15  $\text{м}^3/\text{м}^2$ .

Наявність порід-покришок області обумовлює можливість збереження газу під надлишковим тиском. До таких порід-покришок у центральній і східній областях віднесені пласти вапняку, перекриті аргілітами. На відміну в першій області, для вугленосних світ характерна наявність тонких (до 0,6 м) прошарків вапняку, які не можуть бути надійними покришками, то вугільні пласти, нарівні з аргілітами, є газопорами.

Відомі критерії доповнені запропонованими показниками, що кількісно характеризують напружено-деформований стан ділянок (шахт) –  $grad$  и  $K_p$ ,  $K_d$ .

На підставі викладеного, оцінюючи пропоновані геомеханічні параметри в діапазоні їх зміни для кожної з областей за балами, можливо кількісно оцінити умови газонасиченості для кожного досліджуваного об'єкта (табл. 3).

Таблиця 3 – Геомеханічні параметри виділення об'єктів різної газонасиченості на локальному рівні

| Показники   | Бали | 1         | 2           | 3      |
|---|------|-----------|-------------|--------|
| Західна область (вугілля марок Д – ГЖ)                        |      |           |             |        |
| $\Sigma m_{\text{вуг.}}$ , м                                  |      | до 0,5    | 0,5–1,0     | >1,0   |
| $\Sigma m_{\text{вуг. пр.}}$ , м                              |      | до 5      | 5,0 – 10, 0 | > 15   |
| $\Sigma m_n$ , м  |      | до 10     | 10 – 25     | >25    |
| $H$ , м   |      | до 600    | 600 – 900   | > 900  |
| $g_v$ , м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>                        |      | 0,5       | 2,0         | 3,5    |
| Наявність покришки, м   |      | до 2 м    | 2-8         | > 8    |
| $K_{в.п.}$ , %  |      | 5 – 7,5   | 7,5 – 15    | > 15   |
| Природна газонасиченість вугільних пластів, м <sup>3</sup> /т |      | 5         | 10          | > 15   |
| Інтенсивність розривних порушень $K_p$                        |      | <0,2      | 0,2 – 0,4   | > 0,4  |
| Інтенсивність складчастих дислокацій (grad)                   |      | ≤ 0,05    | 0,05 – 0,15 | ≥ 0,15 |
| Інтенсивність загальної дислокованості $K_D$                  |      | >0,06     | 0,06 – 0,20 | >0,20  |
| Ресурси метану у вугільних пластах, млрд.м <sup>3</sup>       |      | <4        | 4 – 10      | >10    |
| Центральна і східна (частково) області (вугілля марок Ж – А)  |      |           |             |        |
| $\Sigma m_{\text{вуг.}}$ , м                                  |      | до 0,8    | 0,8–1,5     | > 1,5  |
| $\Sigma m_{\text{вуг. пр.}}$ , м                              |      | до 5      | 5,0 – 10, 0 | > 10,0 |
| $\Sigma m_n$ , м  |      | до 10     | 10 – 30     | > 30   |
| $H$ , м   |      | до 600    | 700 – 900   | > 900  |
| $g_v$ , м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>                        |      | 5         | 10,0        | 15,0   |
| Наявність покришки, м   |      | 1 – 3     | 3 – 5       | 5 – 7  |
| $K_{в.п.}$ , %  |      | 1,0 – 4,0 | 4,0 – 7,0   | >7     |
| Природна газонасиченість вугільних пластів, м <sup>3</sup> /т |      | 15 – 20   | 20 – 25     | > 25   |
| Інтенсивність розривних порушень $K_p$                        |      | <0,3      | 0,3 – 0,5   | > 0,5  |
| Інтенсивність складчастих дислокацій (grad)                   |      | ≤ 0,05    | 0,05 – 0,15 | ≥ 0,15 |
| Інтенсивність загальної дислокованості $K_D$                  |      | <0,15     | 0,15 – 0,40 | >0,40  |
| Ресурси метану у вугільних пластах, млрд.м <sup>3</sup>       |      | <4        | 4 – 10      | >10    |



Ресурси метану у вугільних пластах розраховуються за стандартними методиками.

Стосовно до оцінки перспективи видобутку метану в гірському масиві, запропоновано за сумою балів виділяти три типи умов: малоперспективні, середні й перспективні (умовно прийняте, що внесок факторів рівноцінний).

Для досліджуваних регіонів сприятливі умови оцінюються: 36 балами, найменш сприятливі – 12. Діапазон змін оцінок приблизно однаковий. Виділені підтипи умов характеризуються наступними балами: до 20 малоперспективні; 20 – 28 середні; > 28 перспективні

Пропонований підхід дозволяє зіставити й кількісно виділити найбільш перспективні ділянки для видобутку метану вугільних родовищ Донбасу.

**У п'ятому розділі** наведені результати застосування методики оцінки перспективності метанодобувальності діючих і закритих шахт. В якості об'єктів дослідження обрані шахти, розташовані в різних газоносних областях басейну (табл.4). Методичний підхід до визначення сприятливості гірничо-геомеханічних умов збереження й накопичування метану в підробленому масиві ґрунтується на:

- 1) з'ясуванні приналежності досліджуваної ділянки до певної області, що кількісно характеризує напружено-деформований стан масиву;
- 2) зборі даних з природної газоносності вугільних пластів, розривної та складчастої порушеності, літолого-фаціального складу порід, глибини залягання, товщини відпрацьованих вугільних пластів, наявності порід-покришок;
- 3) оцінці гірничо-геологічних умов і визначенні по сумі балів категорії метанодобувальності ділянки.

За наведеними у табл. 4 даними зроблено висновок, що найбільш перспективною для видобутку метану є шахта ім. О.О. Скочинського; менш сприятливі умови на шахтах: «Кочегарка», ім. М.І. Калиніна та ім. 50-річчя СРСР; малоперспективною є шахта «Білицька». Результати прогнозу передані в ТОВ «Надра Луганщини».

Дослідження газоносності вугільних пластів і гірських порід на газовугільних родовищах Донбасу дозволяють зробити деякі узагальнення, які, на наш погляд, можуть бути використані при організації робіт з вилучення й утилізації метану в промислових обсягах у рамках створення промислових (енергетичних) кластерів.

При виборі технологій утилізації шахтного метану й супутніх газів (азот, вуглекислий газ і т.д.) діючих і закритих шахт слід враховувати їхню приуроченість до однієї з виділених газових областей.

Так, для шахт, розташованих в 1-й області, максимальна ефективність може бути отримана в результаті застосування попередньої дегазації вугленосної товщі за допомогою свердловин, пробурених з поверхні. При цьому може бути вилучений газ пластових покладів, приурочених до склепінних частин купольних структур, флексурних складок, а також покладів літологічно обмежених або тектонічно екранованих пасток.

Таблиця 4 – Оцінка шахт за перспективами метанодобувальності

| Шахти  | ім.О.О.<br>Скочин<br>ського | Им. М.І.<br>Калиніна | Білицька | ім. 50-<br>річчя<br>СРСР | Коче-<br>гарка |
|--|-----------------------------|----------------------|----------|--------------------------|----------------|
| $\Sigma m_{\text{вуг.}}$ , М                                 | 3                           | 2                    | 2        | 3                        | 3              |
| $\Sigma m_{\text{вуг. пр.}}$ , М                             | 2                           | 2                    | 2        | 3                        | 3              |
| $\Sigma m_n$ , М   | 2                           | 2                    | 1        | 2                        | 3              |
| $H$ , м  | 3                           | 3                    | 2        | 2                        | 3              |
| $g_v$ , М <sup>3</sup> /М <sup>2</sup>                       | 2                           | 2                    | 1        | 2                        | 2              |
| Наявність покришки, м  | 3                           | 1                    | 1        | 1                        | 2              |
| $K_{\text{в.н.}}$ , %  | 3                           | 2                    | 3        | 3                        | 1              |
| Природна газонасиченість<br>$G$ , М <sup>3</sup> /т          | 3                           | 2                    | 3        | 3                        | 1              |
| Інтенсивність<br>складчастих дислокацій<br>(grad)            | 2                           | 3                    | 1        | 3                        | 3              |
| Інтенсивність розривних<br>порушень $K_p$                    | 1                           | 1                    | - 1      | 1                        | 1              |
| Ресурси метану у<br>вугільних пластах<br>млрд.М <sup>3</sup> | 27                          | 1                    | 2        | 1                        | 1              |
| Сума балів   | 27                          | 22                   | 17       | 24                       | 24             |

У 2-й області інтенсивні надходження метану в гірничі виробки обумовлюються великою метанонасиченістю вугільних пластів, що розроблюються, та пластів-супутників, а також досить високою метанонасиченістю порід, що вміщують вугілля (в основному пісковиків), пов'язані з їхньою пористістю й тріщинуватістю. У зв'язку з тим, що складовими газового балансу шахт другої області є метан, що перебуває як у вільному, так і в сорбованому стані, доцільно використовувати комплексні методи вилучення, що поєднують підземні свердловини різної просторової орієнтації й свердловини, пробурені з поверхні, об'єднані в єдину систему для підтримки кондиційних параметрів метаноповітряної суміші, що вилучається. При використанні зазначених заходів практично в будь-яких умовах ведення гірничих робіт, за винятком найбільш складних, вдається забезпечувати концентрації метану, що вилучається, на рівні 30 % і вище.

У 3-й газовій області основними джерелами газовиділень у гірничі виробки шахт є розроблювальні пласти й пласти-супутники. Пористість і проникність порід, що вміщують вугілля, у цій зоні вкрай низькі, у зв'язку із чим, навіть із пісковиків газовиділення незначні за обсягом. Специфічні особливості розподілу газів у вугленосних відкладах цієї зони обумовлюють особливі методи дегазації. У зв'язку з низькою швидкістю газовіддачі вугільних пластів цієї зони дегазація дає ефект при бурінні дегазаційних свердловин з поверхні в товщу, розвантажену видобуванням одного із пластів, або

застосуванні різних способів інтенсифікації газовіддачі метановугільних родовищ.

Таким чином, на основі розробленої методики за геомеханічними параметрами шахт ДП «Артемвугілля», ДХК «Краснодонвугілля», «ДТЕК Добропіллявугілля», ДП «Торецьквугілля» проведена оцінка гірничо-геологічних умов метанодобувальності, та визначена перспективність об'єктів видобутку метану

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальне наукове завдання – встановлення закономірностей зміни деформації вугленосних відкладів на регіональному рівні для врахування їх впливу на розподіл газів в Донбасі, залежностей між показниками газонасиченості (метанозбагачення, газоносність), фізико-механічних властивостей вугілля і порід (швидкість поздовжніх хвиль і питомий електричний опір) і тектонічної дислокованості й закономірностей зміни з глибиною напружено-деформованого стану гірського масиву, обґрунтовані геомеханічні параметри оцінки метанодобувальності діючих та закритих шахт, що дозволило розробити методику оцінки перспективності шахт за обсягом метанодобувальності й одержати очікуваний економічний ефект у розмірі 145,8 тис. грн., досягнутий за рахунок використання первинного матеріалу при розрахунках, що значно знижує собівартість робіт, спрямованих на прогнозування перспективних шахт та ділянок і дозволяє визначити точки закладення свердловин для дегазації під час підготовки ділянок до промислового видобутку метану.

Проведені дослідження дозволили одержати наступні наукові і практичні результати:

1. Проведений аналіз сучасного стану питання вивчення закономірностей розподілу газів у вугленосних відкладах, показав, що перспективність вилучення метану з діючих і закритих шахт визначається геологічними умовами і фізико-механічними властивостями вугілля і порід об'єкту досліджень. Більшість дослідників відзначають вплив напружено-деформованого стану масиву на умови збереження і міграції газів, проте кількісної оцінки величин пластичних і крихких деформацій, закономірності їх зміни за площею і з глибиною, їх зв'язки з газонасиченістю вугленосного масиву і фізико-механічними властивостями порід та вугілля не встановлені. Запропоновані критерії також не дозволяють зіставити декілька шахт та визначити більш перспективну для вилучення метану. Через це встановлення закономірностей зміни фізико-механічних властивостей вугілля та порід, пластичних і крихких деформацій у межах Донецького вугільного басейну, обґрунтування геомеханічних параметрів оцінки метанодобувальності діючих та закритих шахт і розробка методики визначення перспективності метанодобувальності шахт є актуальною науковою задачею, яка має важливе соціальне значення для розробки вуглегазових родовищ України за рахунок можливості планування робіт з дегазації та промислового видобутку метану вугленосних товщ.

2. Вперше встановлені залежності між показниками газонасиченості (метанозбагачення, газоносність), фізико-механічних властивостей вугілля і порід (швидкість поздовжніх хвиль і питомий електричний опір) і тектонічної дислокованості за площею басейну, які підтверджено розрахованими кореляційними зв'язками (0,67 – 0,97); що дозволяє використовувати показники тектонічної дислокованості для оцінки метанодобувальності шахт.

3. Показники газонасиченості (метанозбагачення, газоносність), фізико-механічних властивостей вугілля та порід (швидкість поздовжніх хвиль, питомий електричний опір), тектонічної дислокованості, що характеризують напружено-деформований стан відкладів, взаємопов'язані, причому питомий електричний опір експоненційно зростає при збільшенні показника загальної тектонічної дислокованості  $K_D$ , а швидкість поздовжніх хвиль, метанозбагачення і газоносність характеризуються параболічною залежністю та в діапазоні 0,4 – 0,5 показника загальної тектонічної дислокованості мають максимум, що дозволяє за показниками тектонічної дислокованості оцінювати метанодобувальність діючих та закритих шахт. Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів підтверджується адекватним вибором теоретичної моделі, використанням елементів фундаментальних положень механіки гірських порід і тектонічної фізики, задовільною збіжністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

4. Дістало подальший розвиток дослідження зміни кількості, щільності і маси викидів вугілля й газу з глибиною; визначено, що глибини максимальних значень цих параметрів (200, 500м, 900м) практично однакові на різних шахтах і збігаються з глибинами підвищеної порушеності, газоносності, зміни фізико-механічних властивостей відкладів, які були визначені раніше в інших районах Донбасу, що свідчить про закономірність цих змін.

5. Вперше запропонована фізична модель формування регіональних зон, що характеризуються різним напружено-деформованим станом; та встановлені закономірності зміни з глибиною напружено-деформованого стану гірського масиву, що дозволяє за результатами натурних вимірювань з точністю 25% визначити три регіональні зони, що закономірно змінюють одна одну з глибиною.

6. Закономірна зміна напружено-деформованого стану з глибиною відбувається в різнокомпонентному полі напружень за рахунок зміни співвідношень величин головних нормальних напруг, причому середня зона, розташована між поверхнями узагальненого розтягування ( $\sigma_{y(\gamma H)} = \sigma_z$ ) та узагальненого стиснення ( $\sigma_x = \sigma_{y(\gamma H)}$ ), знаходиться нижче 500 м і характеризується переважанням розтягування зі зсувом, що обумовлює підвищення тріщинуватості (на 15-20%), газоносності (20-30%) і газодинамічної активності (у 2-3 рази). Вірогідність отриманих результатів підтверджується наведеними даними з розподілу газодинамічних явищ і порушеності, розрахунковими значеннями коефіцієнтів Лоде-Надаї, виконаних за результатами експериментів.

7. Обґрунтовані геомеханічні параметри оцінки метанодобувальності шахт і ділянок Донецького басейну; вперше розроблена система балів для оцінки основних геомеханічних параметрів – сумарна товщина вугільних пластів

( $\Sigma m_{\text{вуг}}$ ) і прошарків ( $\Sigma m_{\text{вуг.пр.}}$ ), сумарна товщина пісковиків ( $\Sigma m_n$ ), глибина ( $H$ ), коефіцієнт відкритої пористості порід ( $K_{e.n.}$ ), природна газоносність вугільних пластів, наявність покришок над газоносними пластами, складчаста ( $\text{grad}$ ) і розривна порушеність ділянок ( $K_p$ ), густина запасів ( $g_y$ ) – яка дозволяє визначити ділянки, найбільш перспективні для видобутку метану. Найбільш перспективні ділянки оцінюються 36 балами, найменш – 12. Діапазон змін оцінок приблизно однаковий. Виділені підтипи умов характеризуються наступними балами: до 20 малоперспективні; 20 – 28 середні; > 28 перспективні. Достовірність методики ґрунтується на значному об'ємі використаних матеріалів - для кожної області розрахунки діапазонів проводилися за даними геолого-промислових карт та паспортами 30 – 40 шахт, показниками роботи поверхневих дегазаційних свердловин та результатами видобутку метану.

8. На прикладі закритих і діючих шахт ДП «Артемвугілля», ДХК «Краснодонвугілля», «ДТЕК Добропіллявугілля», ДП «Торецьквугілля» визначені геомеханічні параметри й з урахуванням ресурсів метану вугільних пластів визначена перспективність ділянок для видобутку метану на діючих та закритих шахтах.

9. Результати дисертаційної роботи використані при розробці методики оцінки перспективності шахт Донбасу за обсягом метанодобувальності й комплексної методики прогнозування газодинамічних зон, які передані й використовуються ТОВ «Надра Луганщини» (акт впровадження від 25.11.2014) і шахтою «Північна» ДП «Торецьквугілля» (акт впровадження від 17.11.2016). Розроблені методики є обґрунтуванням для виділення найбільш перспективних вугільних шахт для видобутку метану і будуть враховані при розробці проектів по раціональному видобутку метану вугільних родовищ.

10. Очікуваний економічний ефект від використання розроблених методик склав 145,8 тис. грн., досягнутий за рахунок використання первинного матеріалу при розрахунках, що значно знижує собівартість робіт, спрямованих на прогнозування перспективних шахт та ділянок і дозволяє визначити точки закладення свердловин для дегазації під час підготовки ділянок до промислового видобутку метану

### **ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО В ТАКИХ ПУБЛІКАЦІЯХ**

1. Лукинов В.В., Пимоненко Л.И., Полякова Н.С., Пимоненко Д.Н. Влияние тектоники на горно-геологические условия разработки и экологию угольных месторождений. Сборник научных трудов НГАУ, 1998. №3. том 2. С. 200 – 203.

2. Бурчак А.В., Барановский В.И., Пимоненко Д.Н., Поляшов А.С., Попозогло В.И., Слободяникова В.К. Применение структурных характеристик угля для исследования тектоники месторождений. Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 1998. Вып.10. С.64 – 70.

3. Лукинов В.В., Пимоненко Л.И., Пимоненко Д.Н. О возможности прогноза малоамплитудной нарушенности угольных пластов на основе фрактальной геометрии. Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 1999. Вып. № 15. С. 127 – 132.

4. Пимоненко Д.Н., Слободяникова И.Л. Влияние тектоники на газообильность выработок в условиях Донецко-Макеевского района. Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2000. Вып.17. С.180 – 186.

5. Полякова Н.С., Пимоненко Д.Н., Слободяникова В.К., Слободяникова И.Л. Влияние температурных условий и современных движений на состав газов в Донбассе. Науковий вісник НГАУ, 2000. №4. С.37 – 39.

6. Гончаренко В.А., Пимоненко Л.И., Пимоненко Д.Н. Влияние геодинамических процессов на петрофизические свойства угленосного массива Донбасса. Сб. науч. тр. НГУ. Днепропетровск, 2002. № 15. С. 59 – 62.

7. Чемерис И.Ф., Пимоненко Д.Н. К вопросу реализации энергетического потенциала котлового оборудования шахтных котельных Донецкого бассейна. Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины: Днепропетровск, 2011. Вып. № 93. С. 65 – 71.

8. Булат А.Ф., Чемерис И.Ф., Пимоненко Д.Н. Теоретические основы разработки гидропаровой турбины со знакопеременным движением рабочего тела для утилизации избыточного низкопотенциального тепла. Геотехническая механика. Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины: Днепропетровск, 2012. Вып. № 97. С. 294 – 299.

9. Булат А.Ф., Пимоненко Л.И., Безручко К.А., Пимоненко Д.Н., Приходченко А.В. Перспективы освоения газугольных месторождений Западного Донбасса. Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2012. Вып. №98. С.3 – 10.

10. Пимоненко Д.Н. Утилизация каптируемого метана угольных пластов в шахтных котельных установках. Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2012. Вып. № 102. С. 270 – 276.

11. Булат А.Ф., Пимоненко Л.И., Блюсс О.Б., Пимоненко Д.М. Вплив тектоніки на регіональні закономірності розподілу газів у вугленосних відкладах Донбасу. Доповіді НАНУ, 2013. №7. С.89 – 95.

12. Лукинов В.В., Пимоненко Д.Н. Закономерности распределения разрывной малоамплитудной нарушенности в угленосных отложениях Донецкого бассейна. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. Екатеринбург, 2013. № 6. С. 76 – 84.

13. Булат А.Ф., Пимоненко Л.И., Пимоненко Д.М. До питання багатопрофільного використання газових ресурсів вугільних родовищ Донбасу. Геолог України, 2013. №3(43) С. 21 – 25.

14. Булат А.Ф., Пимоненко Л.И., Пимоненко Д.Н. Оценка перспективности объектов для добычи метана углегазовых месторождений Донбасса. Уголь Украины, 2014. №6. С.41 – 47.

15. Пимоненко Л.И., Шматовский Л.Д., Пимоненко Д.Н., Зайцев М.С., Ананьева О.И. Способ оценки напряженного состояния массива горных пород

путем определения направления и формы трещин гидроразрыва. Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2015. Вып. №124. С.47 – 57.

16. Пимоненко Д.Н., Полякова Н.С. Геомеханические критерии прогноза ресурсов угольного метана. Форум гірників 2012: матеріали міжнар. конф., 3-6 жовт. 2012 р. Дніпропетровськ: НГУ, 2012. С. 174 – 178.

17. Булат А.Ф., Пимоненко Д.Н. Некоторые аспекты использования метана для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии в котельных. Сборник статей участников VI Международной научно-практической конференции «Инновации в технологиях и образовании» филиал КузГТУ. Белово, 2013. ч.2. С.257 – 262.

18. Пилипенко Ю.Н., Пимоненко Д.Н. Влияние типа деформаций на газообильность выработок. Материалы научно-практической конференции «Проблемы безопасности и эффективности освоения георесурсов в современных условиях». Горный институт Уро РАН. Пермь, 2014. С.399 – 404.

19. Пимоненко Л.И., Шматовский Л.Д., Пимоненко Д.Н., Зайцев М.С. Об изменении составляющих главных напряжений в породном массиве с глубиной (по экспериментальным данным). Доповіді науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Маркшейдерське забезпечення геотехнологій». НГУ. Дніпропетровськ, 2014. С.109 – 119.

20. Патент України №63198 Україна, МПК<sup>51</sup> F01D 1/32. Реактивна турбіна / А.Ф. Булат, І.Ф. Чемерис, Д.Н. Пимоненко. №201106646; заявл. 27.05.2011; опубл. 26.09.2011, Бюл.№18.

21. Патент України №85992 Україна, МПК<sup>51</sup> F01D 1/32. Турбіна / А.Ф. Булат, Д.Н. Пимоненко. №201306992; заявл. 03.06.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл.№23.

22. Патент України №103760, МПК G01Y 3/00, E21C 39/00. Спосіб оцінки напруженого стану масиву гірських порід / Л.І. Пимоненко, Д.М. Пимоненко, Л.Д. Шматовський, М.С. Зайцев. № 201507025; заявл. 14.07.2015; опубл. 25.12.2015, Бюл. №24.

Особистий внесок здобувача в праці, створені у співавторстві:

[1,2,3,5] – аналіз та статистична обробка результатів лабораторних та експериментальних досліджень; [4,6,18] – розрахунок показників тектонічної дислокованості та деформованості, встановлення кореляційних і регресійних зв'язків між ними та показниками газонасиченості масиву, фізико-механічних властивостей порід та вугілля; [11] – проведення розрахунків з виділення областей з різними умовами формування напружено-деформованого стану кластерним методом, аналіз отриманих результатів; [12,15,19,22] – розробка фізичної моделі формування порушених зон; [14,16] – формулювання мети та завдань роботи, обґрунтування геомеханічних параметрів оцінки перспективності об'єктів видобутку метану, аналіз отриманих результатів; [7,8,9,10,13,17,20,21] – узагальнення результатів теоретичних досліджень, розглянуті питання комплексного освоєння природних ресурсів техногенних родовищ.

## АНОТАЦІЯ

Пимоненко Д.М. Обґрунтування геомеханічних параметрів оцінки метанодобувальності діючих та закритих шахт. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка». – Інститут геотехнічної механіки імені М.С.Полякова Національної академії наук України, Дніпро, 2017.

Дисертаційна робота присвячена обґрунтуванню геомеханічних параметрів оцінки метанодобувальності діючих та закритих шахт. У роботі викладений огляд стану досліджень по вивченню газонасиченості вугільних пластів, особливостей розподілу газів у вугленосній товщі з урахуванням тектонічної дислокованості, обґрунтуванню параметрів виділення перспективних об'єктів для видобутку й утилізації метану.

Установлена залежність між показниками тектонічної дислокованості, фізико-механічних властивостей порід, вугіль та газонасиченості масиву, що відбиває взаємозв'язок цих факторів і дозволяє використовувати показники тектонічної дислокованості для прогнозу газонасиченості на регіональному рівні.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень запропонована фізична модель формування горизонтальних зон, що характеризуються різним напруженим станом, умовами тріщиноутворення, газонасиченістю. Показане, що при наявності вимірів параметрів головних компонентів поля напруг і даних по характеру розвитку тектонічних дислокацій у межах досліджуваного геологічного об'єкта, можна виділити й прогнозувати зміни типів порушень у гірському масиві із глибиною

Обґрунтований раціональний комплекс геомеханічних параметрів, що впливають на умови скупчення й збереження газів у масиві, розроблена система балів для оцінки параметрів, яка дозволяє кількісно визначити ділянки, найбільш перспективні для видобутку метану.

Результати дисертаційної роботи, використані при розробці методичних основ оцінки перспективності шахт Донбасу за обсягом метанодобувальності й комплексної методики прогнозування газодинамічних зон, які передані й використовуються ТОВ «Надра Луганщини» і шахтами ДП «Торецьквугілля». Очікуваний річний економічний ефект від використання розроблених методик склав 145,8 тис. грн.

Ключові слова: вуглепородний масив, газонасиченість, геомеханічні параметри, метанодобувальність, метан вугільних родовищ.

## АННОТАЦИЯ

Пимоненко Д.Н. Обоснование геомеханических параметров оценки метанодобываемости действующих и закрытых шахт. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». – Институт геотехнической механики имени Н.С.Полякова Национальной академии наук Украины, Днепр, 2017.



Диссертационная работа посвящена обоснованию геомеханических параметров оценки метанодобываемости действующих и закрытых шахт. В работе изложен обзор состояния исследований по изучению газоносности угольных пластов, особенностей распределения газов в угленосной толще с учетом тектонической дислоцированности, обоснованию параметров выделения перспективных объектов для добычи и утилизации шахтного метана.

Установлена зависимость между показателями тектонической дислоцированности, физико-механических свойств пород, углей и газонасыщенности массива, что отражает взаимосвязь этих факторов и позволяет использовать показатели тектонической дислоцированности для прогноза газоносности на региональном уровне.

На основе теоретических и экспериментальных исследований предложена физическая модель формирования горизонтальных зон, характеризующихся различным напряженным состоянием, условиями трещинообразования, газоносностью. Показано, что при наличии замеров параметров главных компонент поля напряжений и данных по характеру развития тектонических дислокаций в пределах исследуемого геологического объекта, можно выделить и прогнозировать изменение типа нарушений в горном массиве с глубиной.

Обоснованы рациональный комплекс геомеханических параметров, влияющих на условия скопления и сохранения газов в массиве, разработана система баллов для оценки параметров, которая, позволяет количественно определить участки, наиболее перспективные для добычи метана.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке методических основ оценки перспективности шахт Донбасса по объему метанодобываемости и комплексной методики прогнозирования газодинамических зон, которые передаются и используются ООО «Недра Луганщины» и шахтами ГП «Горецкуголь». Ожидаемый годовой экономический эффект от использования разработанных методик составил 145,8 тыс. грн.

Ключевые слова: газоносность, геомеханические параметры, метанодобываемость, метан угольных месторождений, углепородный массив.

## SUMMARY

Pimonenko D.N. Justification of geomechanical parameters of estimation methane workability the operating and closed mines. – Manuscript.

Thesis for a degree of candidate of technical sciences on specialty 05.15.09 – «Geotechnical and mining mechanical engineering». – Institute of geotechnical mechanical engineering under National academy of sciences of Ukraine, Dnepr, 2018.

Paper is dedicated to justification of geomechanical parameters of estimation methane workability the operating and closed mines. In work the review of a condition of researches on studying gas content coal seams, features of distribution gases in a coal-bearing strata is stated in view of tectonic dislocation, to a substantiation parameters allocation of perspective objects for extraction and utilization coal mine methane.

Dependence between parameters tectonic dislocation is established, physico-mechanical properties rocks, coals and gas saturation, that reflects interrelation of these factors and allows to use parameters tectonic dislocation for the forecast gas content at a regional level.

On the basis of theoretical and experimental researches the physical model of formation of the horizontal zones described by a various stressed state, conditions creation fractures, gas content is offered. It is shown, that at presence of gaugings parameters main component a field of stress and the data on character development of tectonic dislocation within the limits of researched geological object, it is possible to allocate and predict change type as breakdowns in a rock mass with depth.

Are proved a rational complex of the geomechanical parameters influencing conditions accumulation and conservation gases in a rock mass, the system of points for an estimation parameter which, allows to define quantitatively sites, the most perspective for extraction of methane is developed.

Results of dissertational work are used by development of methodical bases of an estimation perspective mines of Donbass on volume methane workability and a complex technique of forecasting gas dynamic zones which are transferred «Nedra Luganshiny» and to the mines SE «Toretskugol» are used. Expected annual economic effect of use the developed methodic has made 145,8 thousand of UAH.

Keywords: gas content, geomechanical parameters, methane workability, methane coal deposits, coal-rock mass.

PREPARED ONLY