

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

БОКІЙ ОЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ



УДК [622.451.001.24:533.6:622.8.001.25] (043.3)

**ЗНИЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ВИКИДІВ ШАХТНОГО  
МЕТАНУ В АТМОСФЕРУ НА ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ**

Спеціальність 21.06.01 – Екологічна безпека

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро - 2016

Дисертацією є рукопис

Дисертація виконана у Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України (м. Красноармійськ).

**Науковий керівник:**

- доктор технічних наук, професор  
**Костенко Віктор Климентійович**,  
завідувач кафедри природоохоронної діяльності  
Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України (м. Красноармійськ).

**Офіційні опоненти:**

- доктор технічних наук, професор  
**Швидкий Микола Іванович**,  
директор науково-дослідного інституту безпеки праці та екології в гірничорудній і металургійній промисловості Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України;

- кандидат технічних наук, доцент  
**Миронова Інна Геннадіївна**,  
доцент кафедри екології Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпро).

Захист відбудеться « 28 » жовтня 2016 р. о 14<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.08.080.02 Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.

Автореферат розісланий « 27 » вересня 2016 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
к. т. н., доцент

Д.08.080.02



В.В. Панченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** За останні два сторіччя концентрація метану в атмосфері Землі збільшилася більш ніж удвічі. Шахтний метан належить до групи парникових газів і його потенціал утримання тепла в атмосфері у 21 раз вищий за потенціал двоокису вуглецю (останній прийнято за одиницю). Тому в умовах підвищення середньої температури Землі його емісія в атмосферу погіршує ці умови. В той же час метан є цінною паливно-енергетичною сировиною.

На вугільних шахтах інтенсивність емісії метану постійно зростає. В той же час істотною перешкодою для використання метану, який каптується, є його недостатня концентрація, пов'язана з низькою проникністю вугільних пластів на родовищах України. Підвищення ефективності його каптажу понизить викиди метану в атмосферу, а утилізація газу для енергетичних потреб дозволить трансформувати метан під час його спалювання у двоокис вуглецю – парниковий газ з меншим потенціалом утримання тепла в атмосфері, а також одержати додатково економічний ефект за рахунок підвищення дебіту підземних дегазаційних свердловин.

Відомі роботи присвячені рішення окремих питань зниження викидів в атмосферу і не базуються на комплексному підході до вирішення цього питання в умовах багатометанових вугільних шахт. Відсутність комплексного критерію оцінки екологічних ризиків викидів метану утруднює оцінку екологічної безпеки при обґрунтуванні параметрів технічних рішень щодо уловлювання і використання метану вугільних родовищ.

Для зниження екологічного ризику викидів шахтного метану важливо обґрунтувати ефективні технічні рішення щодо скорочення викидів метану в атмосферу, оснований на встановлених закономірностях руху метаноповітряної суміші в системі «джерела емісії метану – гірничі виробки – земна поверхня» і встановити ступінь зниження екологічного ризику, який при цьому може бути досягнутий.

Таким чином, обґрунтування комплексного критерію оцінки екологічних ризиків викидів метану в атмосферу, який враховує можливість утилізації метану, і встановлення закономірностей емісії шахтного метану з газоносних гірських масивів для його уловлювання і подальшої переробки, є **актуальною науковою задачею**, яка має важливе значення для підвищення екологічної безпеки функціонування багатометанових вугільних шахт.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження проведено відповідно до Комплексної програми з дегазації вугільних пластів на вугільних шахтах, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України 6 липня 2002 року № 939; Регіональної програми «Донбас-2020», затвердженої рішенням Донецької міськради № 16/10 від 14.12.2007 р.; тематичного плану науково-дослідних робіт ДонНТУ «Зниження техногенного впливу на атмосферу при розробці вугільних родовищ» (№ ДР 0110U004940), в яких автор брав участь як відповідальний виконавець.

**Ідея роботи** полягає у використанні запропонованого комплексного критерію оцінки екологічного ризику викидів парникових газів у атмосферу і встановлених закономірностей емісії шахтного метану з вугільних пластів для обґрунтування ра-

ціональних параметрів технологічних рішень щодо зменшення викидів парникових газів і підвищення екологічної безпеки вугільного виробництва.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертації є зниження екологічного ризику викидів метану в атмосферу на вугільних шахтах шляхом обґрунтування комплексного критерію оцінки екологічного ризику викидів шахтного метану в атмосферу і встановлення закономірностей метановиділення для вибору ефективних засобів його уловлювання під час розробки вугільних родовищ.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані і вирішені наступні завдання дослідження:

- 1) виконати аналіз екологічної небезпеки викидів метану в атмосферу і сучасних технологій його видобутку;
- 2) обґрунтувати комплексний критерій оцінки екологічних ризиків викидів метану в атмосферу і вдосконалити методи розрахунку його емісії;
- 3) встановити закономірності емісії і каптажу метану в умовах багатометанових шахт;
- 4) розробити і апробувати комплекс раціональних технічних рішень щодо управління екологічною безпекою вугільних шахт;
- 5) провести оцінку зниження екологічного ризику в результаті впровадження розроблених технічних рішень щодо управління екологічною безпекою.

**Об'єкт дослідження:** процес емісії метану вугільних шахт з подальшою його утилізацією.

**Предмет дослідження:** закономірності емісії і каптажу метану під час високопродуктивного видобутку вугілля, які використовуються для розробки і обґрунтування технічних рішень щодо підвищення екологічної безпеки гірничого виробництва.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставлених завдань у роботі використаний аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень в галузі екологічної безпеки функціонування вугільних шахт і методи: еколого-математичного аналізу – для обґрунтування комплексного критерію оцінки ризиків викидів шахтного метану в атмосферу; потокового програмування – для дослідження емісії метану у гірничі виробки шахт, а також на земну поверхню; економічного аналізу – для обґрунтування технічних рішень щодо вдосконалення технологій каптажу і утилізації метану у вугільних шахтах; апробацію запропонованих технологічних рішень в умовах реального виробництва.

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

1. Комплексний критерій оцінки екологічних ризиків, викликаних емісією парникових газів з вугільних шахт, враховує: постійну складову, яка відображає викиди метану в атмосферу з вентиляційних стволів під час нормального вентиляційного режиму шахти; динамічну складову, яка відображає викиди метану в атмосферу, пов'язані з технологічними чинниками виникнення несприятливих подій (обвалення вугілля і порід, газодинамічні явища, пожежі); обсяги каптованого метану, утилізація якого дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки функціонування вугільної шахти.

2. Динаміка емісії шахтного метану під час високопродуктивного видобутку вугілля описується параболічною залежністю між продуктивністю очисного вибою і

кількістю газів, що виділяються з нього. Так, при збільшенні продуктивності з 500 до 2500 т/добу кількість газів збільшується з 4-8 до 11-20 м<sup>3</sup>/хв., а потім зменшується, досягаючи 5-15 м<sup>3</sup>/хв. при продуктивності 3500 т/добу; при цьому для кожного шахтопласта існує гіперболічна залежність, що пов'язує тривалість дегазації вуглепородного масиву і розмір блоків, які його складають, так, при частоті тріщин менше 50...100 м<sup>-1</sup>, що відповідає характерному розміру блоку більше 1...2 мм, тривалість витікання всього метану з блоку складає десятки і сотні діб.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Вперше запропонований комплексний критерій оцінки екологічного ризику функціонування високопродуктивних вугільних шахт диференційовано враховує обсяги емісії метану в атмосферу і каптованого метану, а також організовані і неорганізовані його викиди (постійна і динамічна складова критерію) із вугільних шахт. Використання цього критерію дозволило дати екологічну оцінку розробленим технічним рішенням щодо зниження викидів метану в атмосферу.

2. Вперше встановлено, що для кожного шахтопласта існує гіперболічна залежність, яка пов'язує тривалість дегазації вуглепородного масиву і розмір блоків, які його складають, що дозволило визначити раціональні параметри (кількість і кути напрямку «кущів») свердловин дегазації.

3. Вперше отримано оцінку за запропонованим комплексним критерієм зниження екологічного ризику від викидів метану в атмосферу в результаті розробки та впровадження комплексу технічних рішень щодо інтенсифікації його видобутку, каптажу і утилізації в когенераційних станціях.

**Обґрунтованість і достовірність** наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджуються: коректністю постановки і рішення задач досліджень, використанням фундаментальних фізичних закономірностей функціонування високопродуктивної вугільної шахти, експериментальною перевіркою основних теоретичних положень (відхилення одержаних результатів не перевищує 15 %) і позитивними результатами впровадження технологій в практику роботи вугільних шахт.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Розроблено способи каптажу метану вуглегазових родовищ (патент на корисну модель № 37303 МПК E21B 43/25) та дегазації вуглегазових родовищ (патент на корисну модель № 36900 МПК C05D 11/00), що дозволяє визначити раціональну кількість і кути напрямків «кущів» дегазаційних свердловин.

Розроблено технічні рішення щодо підвищення екологічної безпеки функціонування вугільної шахти шляхом створення зон зниженої проникності на межах виробленого простору і попереднього електророзпалення метану, який каптується, у когенераційних станціях, що дозволило знизити екологічний ризик викидів метану в атмосферу на 50-80 %.

Розроблено методичний документ «Рекомендації щодо інтенсифікації метановиділення в дегазаційні свердловини на ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька» (затвердженого директором Гірничого інституту Донецького національного технічного університету 16.12.2012 р.) і доповнення до проекту дегазації шахти імені О.Ф. Засядька «Проведення промислових (приймальних) випробувань способу дегазації вуглепородного масиву для інтенсифікації видобутку метану через поверхневу дегаза-

ційну свердловину ЗД-9 з використанням пневмогідродинамічного впливу» (затвердженого генеральним директором ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька» 12.08.2014 р.).

*Впровадження результатів дисертаційної роботи.*

Отримані в дисертаційній роботі результати теоретичних та експериментальних досліджень впроваджені під час проведення спільних з ТОВ «ДжиІ Україна» робіт з реалізації проекту комплексної дегазації та утилізації шахтного метану на шахті ім. О.Ф. Засядька, вибору та поставки вискоелективного когенераційного енергетичного обладнання для теплоенергетичного комплексу утилізації метану та розробки технічних рішень щодо підвищення екологічної безпеки виробництва, і використані:

- для інтенсифікації метановиділення у дегазаційні свердловини під час відпрацювання 18-й східної лави пласта *m3* «Олександрівський» шахти ім. О.Ф. Засядька (протокол № 1/12 засідання науково-технічної ради ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька» від 03.03.2013 р., акт впровадження від 07.09.2013 р.);

- для інтенсифікації метановиділення поверхневої дегазаційної свердловини (ПДС) ЗД-9 з використанням пневмогідродинамічного впливу (довідка ІГТМ НАН України № 1 від 11.09.2014 р.);

- в навчальному процесі ДонНТУ в дисциплінах «Технологія комплексного використання ресурсів надр», «Технологія використання шахтного метану» і «Нетрадиційні джерела енергії» для студентів факультетів екології, хімічної технології і гірничого виробництва (довідка від 04.06.2016 р.).

Розрахунковий економічний ефект від впровадження розроблених в роботі способів підвищення дебіту підземних дегазаційних свердловин в умовах шахти ім. О.Ф. Засядька складає близько 1756,5 тис. грн / рік. Соціальний ефект полягає в підвищенні екологічної безпеки за рахунок зниження викидів метану в атмосферу (акт впровадження від 11.01.2016 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Автором самостійно сформульовані мета і задачі досліджень, розроблено комплексний критерій і виконані оцінки екологічної безпеки викидів шахтного метану в атмосферу. Розроблені технологічні і технічні рішення щодо підвищення ефективності уловлювання метану і зниження його викидів у атмосферу, самостійно сформульовані основні наукові положення і висновки.

**Апробація роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на Міжнародних симпозіумах «Тиждень гірника» (Москва - 2006, 2007, 2008 рр.), V і VI Міжнародних науково-практичних конференціях «Метан вугільних родовищ України» (Дніпропетровськ, 2008, 2010 рр.), «Aktualne problemy zwalczania zagrozen gorniczuch» (Польща, Бренна – 2011 р.), регіональних конференціях «Комплексне використання ресурсів надр» (Донецьк - 2010, 2011 рр.), «Екологічні проблеми паливно-енергетичного комплексу» (Донецьк - 2009, 2010, 2012 рр.), XII, XIII конференціях молодих учених «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» (Дніпропетровськ, 2014, 2015 рр.).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано у 26 наукових працях, з них 3 самостійно. Статей в наукових фахових виданнях – 19, зокрема, в наукових журналах – 3, збірниках наукових праць – 14, статей у виданнях іноземних держав – 2. Патентів на корисну модель – 2. Публікацій в збірниках матеріалів наукових конференцій – 5.

**Структура і об'єм дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів і висновків, списку використаної літератури і додатків. Загальний об'єм роботи - 178 сторінок, з них 141 сторінка – основного тексту. Дисертація містить 45 рисунків, 17 таблиць. Список використаних джерел містить 171 найменування на 18 сторінках і 7 додатків на 16 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання досліджень. Наведено наукові положення і результати, наукову новизну і практичну цінність роботи.

**У першому розділі** вирішувалось завдання аналізу екологічної безпеки та критеріїв її оцінки в умовах вугільних шахт та сучасних технологій видобутку метану, що дозволило зробити наступні висновки.

Питанням екологічної небезпеки викидів метану в атмосферу, розробки та вдосконалення технологій його видобутку та утилізації присвячені роботи вітчизняних і закордонних учених: Абрамова Ф.О., Айруні А.Т., Алексєєва А.Д., Алідзаєва Є.Д., Антощенко М.І., Баймухаметова С.К., Безпфлюг В.А., Боброва І.В., Бокія Б.В., Борисова С.Ф., Брюханова О.М., Булата А.Ф., Забігайла В.Ю., Костенка В.К., Лідіна Г.Д., Лур'є М.В., Малишева Ю.М., Міронової І.Г., Недашковського І.В., Пучкова Л.О., Трубецького К.М., Швидкого М.І. та інших.

Міграція метану із шахти на земну поверхню змінює склад атмосфери, а також представляє небезпеку для біосфери. До негативних наслідків викидів метану в атмосферу відноситься підсилення парникового ефекту, промислове забруднення повітря. Метан, що виділяється у гірничі виробки, виноситься вентиляційними струменями і викидається в атмосферу. Після надходження на денну поверхню метан, через те, що він легший за повітря, підіймається у верхні шари атмосфери (на висоту 12-15 км). Швидкість підняття залежить від метеорологічних умов і змінюється в межах 250-500 м/добу. Метан є малорозчинним у воді і видалення його з опадами не відбувається. Його перетворення в атмосфері відбувається, в основному, за рахунок хімічних реакцій (80%). При цьому метан є джерелом можливого істотного поповнення енергетичних ресурсів країни. Враховуючи особливості зв'язку метану з вугіллям, основним засобом підвищення екологічної безпеки функціонування вугільних шахт є вдосконалення їх дегазаційних систем. Також, зменшення екологічного впливу можливе шляхом скорочення метановиділення з гірничих виробок.

У даний час застосовуються наступні групи критеріїв оцінки екологічної безпеки навколишнього середовища:

- 1) детермінована оцінка екологічного стану об'єкту в порівнянні з нормативними або фоновими значеннями;
- 2) оцінка вірогідності збитку, який може бути нанесений виникненням несприятливих екологічних подій за статистичними даними;
- 3) оцінка екологічного стану навколишнього середовища за суб'єктивними критеріями, що побічно оцінюють рівень здоров'я людини, флори і фауни.

Використання останньої групи критеріїв є найменш статистично достовірним, оскільки складно розділити природні екологічні і сезонні причини погіршення стану людини, флори і фауни, тому що вони засновані на суб'єктивних оцінках.

Відсутність обґрунтованого комплексного критерію оцінки ризиків викидів метану в атмосферу ускладнює об'єктивну оцінку рівня екологічної безпеки при обґрунтовуванні технічних рішень з утилізації метану вугільних шахт.

Важливою особливістю українських родовищ є низька проникність (менш 1мДа) шарів гірських порід і вугільних пластів, що істотно утруднює попередню їх дегазацію або вживання екрануючих свердловин. Існуючі способи і системи дегазації не забезпечують високого рівня уловлювання метану і подачі його в пристрої утилізації. Якість газової суміші, яка відсмоктується, невисока і нестабільна, вміст метану в ній часто нижче 25%, що передбачено технічними умовами. Недостатня ефективність шахтних дегазаційних установок і низький відсоток утилізації метану визначають актуальність досліджень з їх вдосконалення.

Виходячи з результатів аналізу, сформульовані мета і задачі досліджень.

**У другому розділі** обґрунтовано комплексний критерій оцінки екологічних ризиків викидів метану в атмосферу і вдосконалено методи розрахунку його емісії; встановлено закономірності емісії і каптажу метану в умовах багатометанових шахт; розроблено технічні рішення щодо керування екологічною безпекою гірничого виробництва; оцінено рівень екологічного ризику.

Узагальнена схема руху потоків шахтних газів на земну поверхню відображена на рис.1. Основні шляхи емісії метану у навколишнє середовище: з оголених поверхонь пласта, що розробляється, і оточуючого його породного масиву; з відбитих від масиву шматків вугілля і породи у виробки (з вентиляційним струменем) або атмосферу; по тріщинах, порах розуцільнених порід та інших каналах з гірського масиву в дегазаційні свердловини або у вироблений простір; через геологічні порушення, тріщини, пори у відпрацьованому гірському масиві у верхні шари ґрунту і на поверхню.

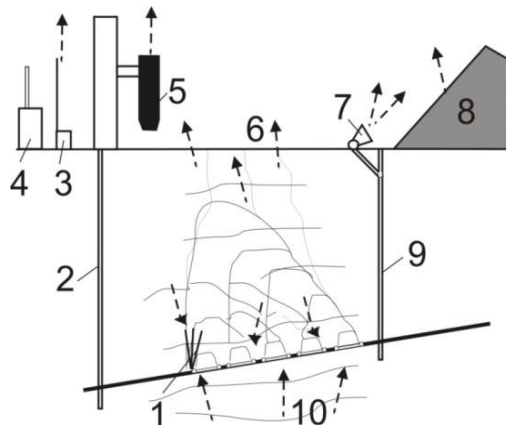


Рисунок 1 – Схема руху основних потоків шахтних газів: 1 – каптаж дегазаційними свердловинами; 2 – переміщення гірничими виробками з гірською масою і водою; 3 – вакуум-насосна установка; 4 – утилізаційна установка; 5 – виділення з вугілля в бункерах і на складах; 6 – виділення із ґрунтів; 7 – викиди з вентиляційними потоками; 8 – виділення з породних відвалів; 9 – переміщення гірничими виробками з вентиляційним струменем; 10 – залишковий метан у надрах



В основу концепції зменшення емісії метану вугільних шахт (йдеться про два види його виділень: емісія у підземні гірничі виробки і викиди в атмосферу) покладено комплексування функціонування вентиляційної і дегазаційної систем для досягнення двох взаємопов'язаних видів мети: зменшення екологічного ризику функціонування гірничого виробництва, збільшення обсягів видобутку і використання техногенного метану.

В роботі реалізована наступна *послідовність розрахунку екологічного ризику*: визначення параметрів інтенсивності емісії метану з джерел метановиділення → математичне моделювання руху метаноповітряної суміші гірничими виробками та на земну поверхню → управління параметрами екологічного впливу за допомогою розроблених технічних рішень → оцінка рівня екологічного ризику.

Аналіз структури екологічного ризику викидів метану з вугільної шахти в атмосферу показав, що можна визначити такі його складові: *постійну* (яка відображає організовані викиди метану в земну атмосферу і метан, який каптується) і *динамічну* (викиди метану при аварійних ситуаціях або таких ситуаціях, які не прогнозуються).

Для комплексної оцінки екологічного ризику функціонування високопродуктивних виїмкових ділянок вугільних шахт, які ведуть видобуток вугілля і метану, обсяги метану, що каптується, і метану, який поступає до рудникової атмосфери, повинні враховуватись незалежно. Використання у вугільній промисловості поняття екологічного ризику (або впливу) вимагає точного кількісного визначення двох найважливіших значень: максимального припустимого та неістотно малого ризику. Слід відзначити, максимально допустима концентрація метану на вихідному струмені повітря, регламентується «Правилами безпеки у вугільних шахтах».

*Постійна складова* відображає викиди метану в атмосферу з вентиляційних стволів за час  $t$ , хв. нормальної роботи шахти і визначається як

$$R^{const} = \sum_{i=1}^{i=n} q_i^b C_i^b t, \quad (1)$$

де  $q_i^b$  - витрата повітря у  $i$ -му вентиляційному стволі, м<sup>3</sup>/хв.;  $C_i^b$  - концентрація у  $i$ -му вентиляційному стволі;  $n$  - кількість вентиляційних стволів шахти. Для численних розрахунків тривалість розрахункового періоду складає 1 рік.

Постійна складова екологічного ризику викидів метану може бути визначена як здобуток

$$R^{const} = q^{const} \cdot A_{\phi} \cdot t, \quad (2)$$

де  $q^{const}$  - відносне метановиділення з гірничих виробок шахти, м<sup>3</sup>/т;  $A_{\phi}$ , (м/рік) – продуктивність вугільної шахти;  $t$  - тривалість (років) ведення гірничих робіт або розрахункового періоду.

*Динамічна складова* відображає екологічний ризик, пов'язаний з технологічними факторами виникнення несприятливих подій (обвалення вугілля і порід, вибухи метану і вугільного пилу, газодинамічні явища, пожежі), та може бути визначена таким чином:

$$R^{var} = \sum_{i=1}^N \beta_i Q_i^{var}, \quad (3)$$

де  $Q_i^{var}$  - сумарний об'єм метану, який виділився під час  $i$ -ї події,  $\text{м}^3$ .

Для визначення імовірності  $\beta_i$  виникнення несприятливих технологічних подій було проведено обробку статистичних даних, отриманих МакНДІ, щодо раптових викидів вугілля і газу. Це дозволило встановити функцію щільності імовірності кількості метану, що викидається у межах виїмкової ділянки (рис. 2).

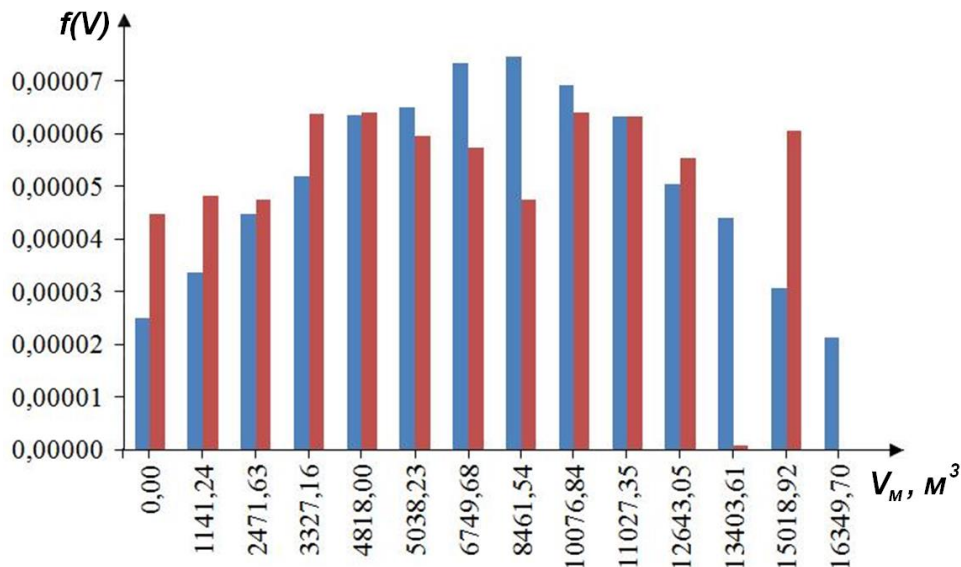


Рисунок 2 – Функція щільності імовірності нормального розподілу кількості метану, що викидається, у межах виїмкової ділянки, отримана у результаті обробки статистичних даних МакНДІ.

У результаті обробки даних також встановлено, що середньостатистична кількість вугілля, викинутого у лаву в результаті підземного викиду, дорівнює 146 т, що відповідає  $5000 \text{ м}^3$  метану, який виділився. Це дозволяє використати отримані результати, як вхідні дані для прогнозування обсягів емісії метану в атмосферу під час виникнення аварійних ситуацій під час підземних раптових викидів вугілля і газу в лаві, а також для визначення імовірності  $\beta_i$  виникнення несприятливої технологічної події, пов'язаної з викидом метану в атмосферу.

Таким чином, запропоновано комплексний критерій екологічного ризику, який складається з трьох компонентів

$$R = \{ R^{const}, R^{bor}, R^{var} \}, \quad (4)$$

де  $R^{const} = \sum_{i=1}^{i=n} q_i^b C_i^b t$  - сумарний об'єм викидів метану з вентиляційних стволів; ви-

значається як  $Q_i^b = q_i^b \cdot C_i^b$ ;  $R^{bor} = \sum_{i=1}^{i=n} q_i^{bor} C_i^{bor} t$  - сумарний об'єм метаноповітря-

ної суміші, яка каптується, з концентрацією  $C_i^{bor}$ ;  $R^{var} = \sum_{i=1}^N \beta_i Q_i^{var}$  - сумарний об'єм метану під час виникнення несприятливої технологічної події з вірогідністю  $\beta_i$ .

Для розрахунку комплексного критерію екологічного ризику необхідно визначити об'єм викидів метану з вентиляційних стволів  $Q_i^b$  та концентрацію метану  $c_i$  в мережі гірничих виробок, що обумовило необхідність розробки математичних методів.

Шляхи руху метаноповітряної суміші по гірничим виробкам були відображені мережними структурами, що включають зосереджені джерела метановиділення. Мережна структура задається графом  $G(X, U)$ , для кожної гілки якого відомі довжина, швидкість повітря, площа поперечного перетину, концентрація метану в початковому і кінцевому вузлі гілки. При моделюванні газорозподілу в мережі враховуються мережні закони, залежності між аеродинамічним опором виробки, її перетином, довжиною і коефіцієнтом аеродинамічного опору. При цьому необхідно визначити розподіл витрат повітря, депресій, концентрацій метану.

Структура рішення задачі розподілу метану по мережі гірничих виробок наведена на рис. 3.

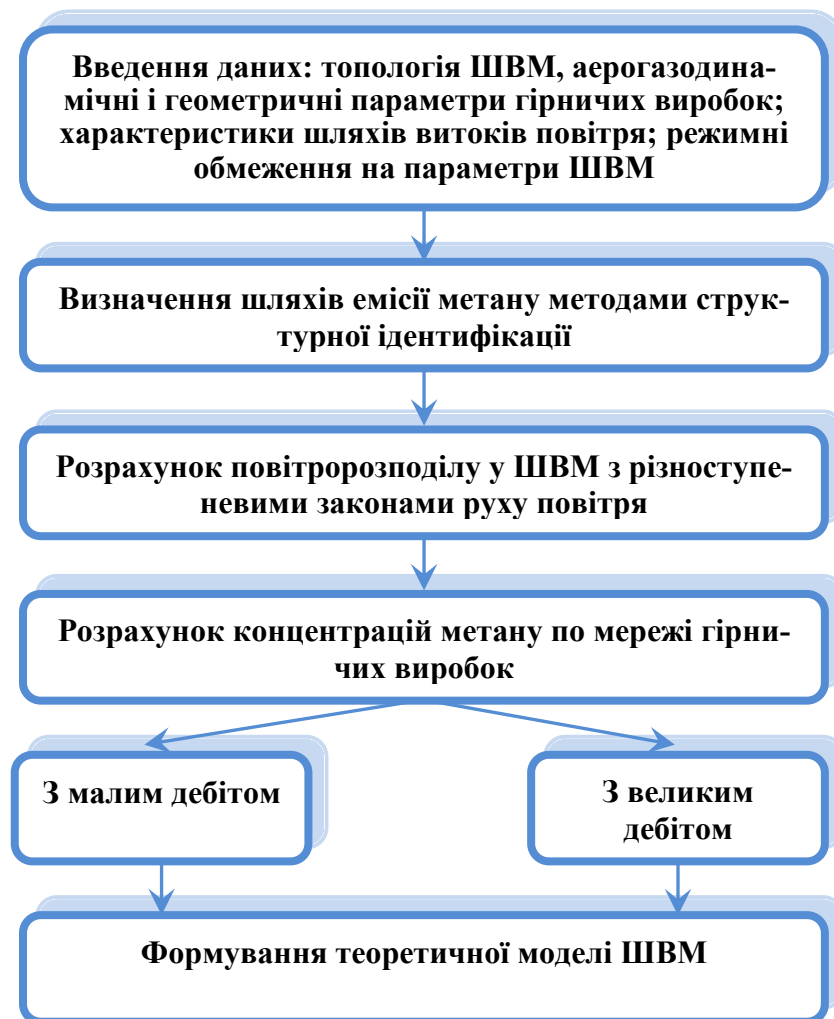


Рисунок 3 – Структура рішення задач розподілу метану по мережі гірничих виробок та на земну поверхню.

В результаті проведених досліджень обґрунтовано *комплексний критерій екологічного ризику викидів метану у земну атмосферу* з урахуванням можливості його каптажу; встановлено імовірності  $\beta_i$  виникнення несприятливих технологічних подій, пов'язаних з викидом метану в атмосферу; розроблено метод розрахунку концентрації метаноповітряної суміші в мережі гірничих виробок, який забезпечує можливість кількісної оцінки емісії метану на земну поверхню.

**У третьому розділі** встановлено закономірності емісії і каптажу метану з вугільно-породного масиву під час високопродуктивного видобутку вугілля в умовах багатометанових шахт Донбасу, що є основою оцінки екологічного ризику викидів метану у земну атмосферу з урахуванням можливості його каптажу. Основні етапи методики проведення досліджень включають теоретичні і експериментальні дослідження закономірностей в процесі відпрацювання вугільного родовища. Як експериментальну дільницю вибрано поле шахти ім. О.Ф. Засядька.

Фільтраційні властивості порушених тріщинами порід і вугілля відносно невеликі. Характеристикою тріщинуватого гірського масиву є упорядкованість розташування оконтурених тріщинами блоків, що визначає залежність тривалості дегазації блоків від їх тріщинуватості.

Встановлено, що при частоті тріщин  $\Gamma$  менше  $50 \dots 100 \text{ м}^{-1}$ , що відповідає характерному розміру блоку більше  $1 \dots 2 \text{ мм}$ , тривалість витікання всього метану  $t$  з блоку складає десятки і сотні діб. Це перевищує тривалість знаходження ділянки в зоні фільтрації і термін відпрацювання виїмкового стовпа (рис. 4).

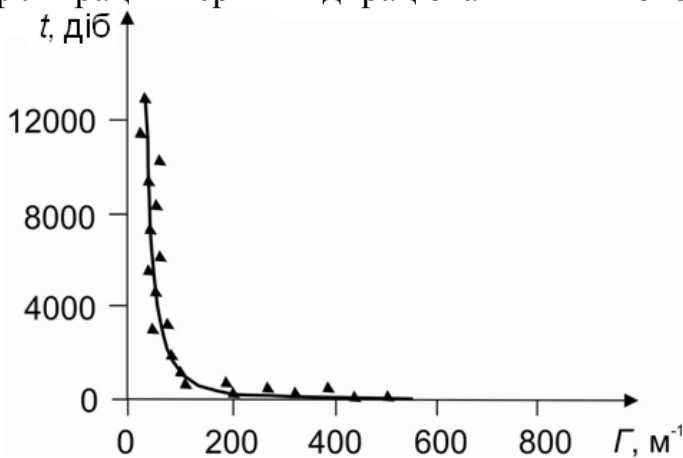


Рисунок 4 - Залежність тривалості дегазації блоків гірського масиву від їх тріщинуватості

Встановлено залежність між навантаженням на очисний вибій ( $A$ ) і метановиділенням в очисну виробку ( $I$ ) в умовах відпрацювання пластів  $l_1$  і  $m_3$  на шахті ім. О.Ф. Засядька. При навантаженні в інтервалі  $500 < A < 2500 \text{ т/добу}$  спостерігалось збільшення метановиділення з  $I=4 \dots 8$  до  $11 \dots 20 \text{ м}^3/\text{хв}$ . Подальше зростання продуктивності лави до  $3500 \text{ т/добу}$  і більше призводило до зменшення  $I$  до значень  $5 \dots 15 \text{ м}^3/\text{хв}$ . Інтенсивність метановиділення в очисну виробку визначає обсяги викидів метану у земну атмосферу.

Метановиділення в очисну виробку залежно від навантаження на очисний вибій описується параболою з гілками, направленими вниз (рис. 5). Підтвердженням встановленої закономірності є експериментальні дані, одержані у трьох лавах пласта  $l_1$  шахти ім. О.Ф. Засядька, в умовах відпрацювання потужного вугільного пласта, з коефіцієнтом кореляції не менше за  $0,7$ .

Нелінійний характер метановиділення в очисну виробку пояснюється сумісною дією геомеханічних і газодинамічних факторів. При невеликих швидкостях просування вибою створюються сприятливі умови для формування фільтруючого середовища в гірському масиві, який оточує лаву, і витікання газів в очисну виробку.

В цих умовах збільшення темпів вуглевиїмання визначає зростання метановиділення в очисну виробку. Подальше збільшення швидкості посування очисного вибою призводить до скорочення розмірів області дренавання метану, що підтверджується зниженням конвергенції ґрунту і покрівлі; тому відбуватиметься скорочення виділення метану в очисну виробку. При цьому збільшується за гіперболічною залежністю тривалість дифузії газу з шматків вугілля.

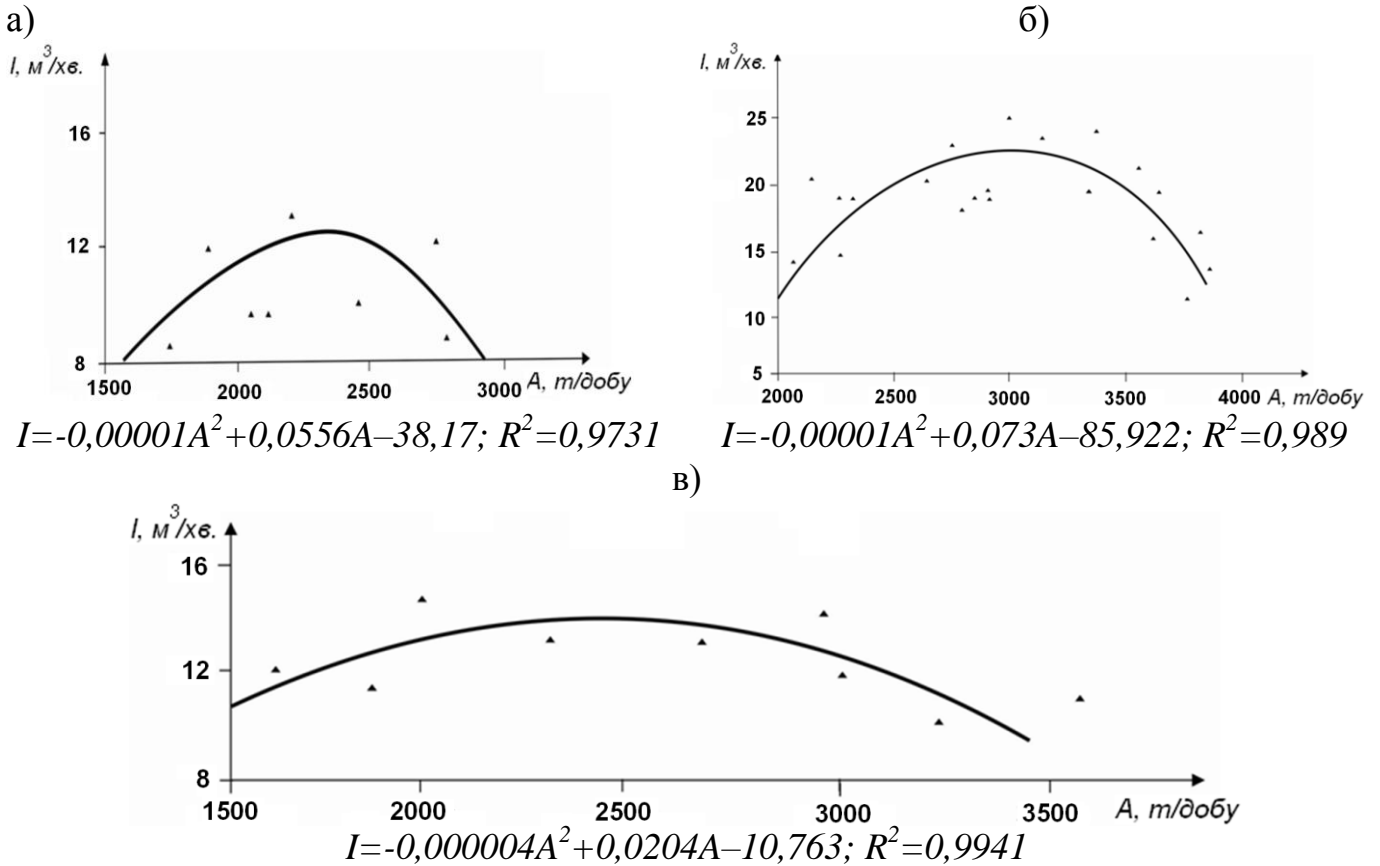


Рисунок 5 - Зв'язок між метановиділенням ( $I$ ) і продуктивністю ( $A$ ) очисного вибою шахти ім. О.Ф. Засядька: а)- 12 східна лава пл.  $l_1$ ; б) 9-а західна лава пласта  $l_1$ ; в) 10 західна лава пл.  $l_1$ .

Проведені дослідження дозволили зробити висновок про те, що одним з перспективних способів скорочення емісії в атмосферу парникових газів є керування вуглевидобутком за індивідуальним для кожного шахтопласта рівнем, що дозволяє скоротити емісію метану на 50 % та більше.

Результати, одержані при рішенні другої і третьої задач, стали основою для обґрунтування і розробки раціонального комплексу технічних рішень щодо управління екологічною безпекою шляхом скорочення емісії техногенного метану в атмосферу за рахунок його каптажу та утилізації.

У четвертому розділі розроблено і апробовано комплекс раціональних технічних рішень щодо управління екологічною безпекою вугільних шахт та проведено оцінку зниження екологічного ризику в результаті впровадження розроблених технічних рішень.

Характеристика розроблених технічних рішень наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Перелік технологічних впливів щодо управління екологічною безпекою шляхом скорочення емісії метану в атмосферу

№	Спосіб дегазації	Місця і технології впливу			
		Вугільний пласт	Товща пород, яка підробляється	Вироблений простір	Місця переробки метано-повітряної суміші
1	Виймка вугілля	Змінення продуктивності вибою	-	-	-
2	Дегазація поверхневими свердловинами	Часткова дегазація пласта через тріщини тиску	Розклинювання тріщин наповнювачем під час гідровпливу	Розташування ПДС над зонами розвантаження, тривала дегазація	-
3	Дегазація підземними свердловинами	Буріння пластових і екрануючих свердловин. Подрібнення вугільних і породних блоків	Розклинювання тріщин під час гідровпливу. Використання бар'єрних свердловин	Охорона устів свердловин і трубопроводів. Буріння і експлуатація бар'єрних свердловин	-
4	Управління газовими потоками	-	-	Зрошення стінок виробок ізолятором	-
				Аерологічна ізоляція шляхом створення «нульової зони», в якій депресія дорівнює нулю	
5	Управління метановиділенням з відбитої маси вугілля	Обробка відбитого вугілля спецсоставом, подрібнення	-	-	-
6	Видалення метаноповітряної суміші до місць переробки	Видалення метану з відбитого вугілля додатковим газовідсмоктувачем	-	Видалення метану газовідсмоктувачем	Переробка метана на КГРС, використання елетророзпалювання для тощих МПС

Приклад розрахунку екологічної ефективності використання розроблених технічних рішень в умовах шахти ім. О.Ф. Засядька за період 2012 р. наведено нижче. Вентиляція шахти в цей період забезпечувалася роботою трьох вентиляторів головного провітрювання (ВГП), які змонтовані на західному вентиляційному стволі (ВЦД-32М продуктивністю  $Q_1^b = 10165 \text{ м}^3/\text{хв.}$  при депресії  $H_1^b = 570 \text{ мм вод. ст.}$ ); на

східному вентиляційному стволі № 1 (ВЦД-47УМ  $Q_2^b = 12608 \text{ м}^3/\text{хв.}$  при депресії  $H_2^b = 780 \text{ мм вод. ст.}$ ); на східному вентиляційному стволі № 3 (ВЦД - 31,5  $Q_3^b = 8683 \text{ м}^3/\text{хв.}$  при депресії  $H_3^b = 550 \text{ мм вод. ст.}$ ).

Концентрація метану у витікаючих струменях повітря шахти знаходилася в межах значень, регламентованих «Правилами безпеки у вугільних шахтах». В цей період шахта працювала з продуктивністю  $A=1591 \text{ тис. т/рік}$  при загальному абсолютному метановиделенні  $145 \text{ м}^3/\text{хв}$  та утилізувала  $317\,709 \text{ т}$  викидів в еквіваленті  $\text{CO}_2$  або об'єм каптованого метану складає  $R^{bar} = 22\,693\,501 \text{ м}^3$ . В одиницях абсолютного метановиділення це приблизно складає  $43 \text{ м}^3/\text{хв.}$ ; коефіцієнт уловлювання при цьому  $k_y = 43/145$ ;  $k_y = 0,3$ .

Постійна складова, яка відображає викиди метану в атмосферу з вентиляційних стволів під час нормальної роботи шахти, визначена по формулі:

$$R^{const} = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i^b C_i^b = Q_1^b C_1^b + Q_2^b C_2^b + Q_3^b C_3^b = 53\,518\,499 \text{ м}^3$$

Динамічна складова  $R^{var}$  визначена середньостатистично; за час протікання викиду метану складає  $R^{var} = 3000 \text{ м}^3$  метану.

Одержані з використанням запропонованих технічних рішень (див. табл.1) показники утилізації метану на шахті ім. О.Ф. Засядька (період 2008-2013 рр.) представлені в табл. 2.

В результаті впровадження способу інтенсифікації роботи дегазаційних свердловин під час довідпрацювання запасів пласта  $m_3$  ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька» очікуваний річний економічний ефект склав  $1756,5 \text{ тис. грн}$  (за умови використання 30 свердловин).

Таблиця 2 – Показники утилізації метану

Рік	Всього обсяг споживання метану КГЕС, $\text{м}^3$	Вироблено електроенергії всього на КГЕС, Мвт/год	Вироблено тепла, Гкал
2008	38247229	131893	59112
2009	38056977	132620	56508
2010	50711582	175932	74582
2011	35558157,5	122046,26	53709,15
2012	19112603,1	65666,77	31836,09
2013	10891643,85	38129,836	17222,98
всього	274249309,16	708711,96	334426,79

Упровадження розроблених автором технічних рішень щодо підвищення екологічної безпеки функціонування вугільної шахти шляхом створення зон зниженої проникності на межах виробленого простору і попереднього електророзпалення метану, який каптується, у когенераційних станціях, дозволило знизити екологічний

ризик викидів метану в атмосферу на 50-80 %, а способів каптажу метану вуглегазових родовищ та способів дегазації вуглегазових родовищ та каптажу метану, направлених на скорочення викидів метану у земну атмосферу, а також на скорочення витрачання традиційних видів палива або заміну їх альтернативними видами енергії в цілому сприяло підвищенню рівня екологічної безпеки регіону.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішене актуальне наукове завдання, що полягає в обґрунтуванні комплексного критерію оцінки екологічного ризику метану і встановлення закономірностей емісії метану, які пов'язують продуктивність очисного вибою з обсягом метану, який виділився, тривалістю дегазації вуглепородного масиву і розмірів блоків, що його складають. Обґрунтовано раціональні параметри комплексу технологічних рішень щодо підвищення екологічної безпеки багатометанових вугільних шахт, що дозволило одержати очікуваний річний економічний ефект у розмірі 1756,5 тис.грн. на одну шахту за рахунок підвищення дебіту підземних дегазаційних свердловин, що має істотне значення для екологічної безпеки вугледобуваючих регіонів.

Основні наукові і практичні результати роботи, висновки і рекомендації полягають у наступному:

1. На підставі виконаного аналізу екологічної дії викидів шахтного метану на земну атмосферу, існуючих екологічних критеріїв, недоліків існуючих технологій видобутку і утилізації метану вугільних шахт було зроблено висновок щодо необхідності обґрунтування критерію оцінки екологічної безпеки і встановлення закономірностей метановиділення в шахтах, що ведуть видобуток вугілля і метану.

2. Вперше запропоновано критерій оцінки екологічного ризику функціонування високопродуктивних вугільних шахт, який диференційовано враховує обсяги емісії метану в атмосферу і метану, який каптується, а також враховує організовані і неорганізовані викиди (постійна і динамічна складові критерію) парникових газів з вугільних шахт. Використання цього критерію дозволило дати екологічну оцінку розробленим технічним рішенням зниження викидів метану в атмосферу.

3. Вперше експериментально встановлено параболічну залежність між продуктивністю очисного вибою і кількістю метану, що виділяється з нього. Для кожного шахтопласта існує екстремум продуктивності, перевищення якого призводить до скорочення виділення метану із вибою. Це дозволило обґрунтувати новий технологічний прийом зниження емісії парникових газів з пласта у рудникову атмосферу. Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено гіперболічну залежність тривалості дегазації вуглепородного масиву від розміру блоків, які його складають, що дозволило визначити раціональні параметри (кількість і кути напряду «кущів») дегазаційних свердловин.

4. Встановлені закономірності послужили підставою для вдосконалення способів дегазації і поліпшення екологічної обстановки під час інтенсивної розробки вугільних родовищ. Розроблені способи дегазації, що дозволяють без додаткових капітальних і експлуатаційних витрат на 20-40% підвищити дебіт підземних дегазаційних свердловин. Суть цих рішень полягає у виборі параметрів місць закладення



підземних дегазаційних свердловин і силової дії на газоносні ділянки гірського масиву. Новизна розроблених способів захищена патентами України.

5. Для утилізації бідної метаноповітряної суміші в когенераційних енергостанціях запропоновано використовувати електророзпалювання. Зміна технологічної схеми утилізації метану в конгенераційних станціях забезпечила можливість повністю або частково відмовитися від використання електроенергії, споживаної в котельнях. Додатковий екологічний ефект від використання результатів роботи полягає в скороченні споживання шахтою вичерпних природних енергетичних ресурсів і негативної дії на навколишнє середовище.

6. Очікуваний економічний ефект від впровадження розроблених в роботі способів підвищення дебіта підземних дегазаційних свердловин в умовах шахти ім. О.Ф. Засядька складає 1756,5 тис. грн. Соціальний ефект полягає в підвищенні екологічної безпеки функціонування високопродуктивних багатометанових вугільних шахт і створенні комфортних умов мешкання населення у вугледобувних регіонах.

## **СПИСОК НАДРУКОВАНИХ ЗДОБУВАЧЕМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Костенко, В.К. Влияние очистных работ на процесс выделения метана из породного массива / В.К. Костенко, А.Б. Бокий, Е.В. Шевченко // Известия Донецкого горного института, 2007. – № 2. – С. 36-43.

2. Костенко, В.К. Перераспределение метана в горном массиве под влиянием очистных работ / В.К. Костенко, А.Б. Бокий, Е.В. Шевченко / Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – № 2. – С. 64-69.

3. Костенко, В.К. О совершенствовании дегазации углегазового массива / В.К. Костенко, А.Б. Бокий. // Проблеми екології. Загальнодержавний науково-технічний журнал, 2008. – №1-2. – С.50-55.

4. Костенко, В.К. Уточнение параметров попутной дегазации угольных пластов / В.К. Костенко, А.Б. Бокий, Е.В. Шевченко / Метан: Отдельный выпуск Горно-аналитического бюллетеня. - М.: "Мир горной книги", 2008. – С. 239-247.

5. Костенко, В.К. О совершенствовании процесса дегазации углегазоносного массива / В.К. Костенко, А.Б. Бокий / Горно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М. "Мир горной книги", 2009. – Т. 11. – № 12. – С. 129-137.

6. Костенко, В.К. Перспектива сокращения эмиссии парниковых газов в горные выработки / В.К. Костенко, Е.В. Шевченко, А.Б. Бокий / Проблеми екології. Загальнодержавний науково-технічний журнал, 2010. – №1-2. – С. 15-24.

7. Исследование целесообразности утилизации шахтного метана, каптируемого системами дегазации / В.К. Костенко, А.Б. Бокий, В.С. Бригада, И.Н. Зинченко // Проблеми екології. Загальнодержавний науково-технічний журнал - 2010. – №1-2. – С. 90-99.

8. Анализ фактического состояния дегазационных систем угольных шахт Украины / В.К. Костенко, А.Б. Бокий, В.С. Бригада, И.Н. Зинченко // Проблеми екології. Загальнодержавний науково-технічний журнал. – 2010. – № 1-2. – С. 7-15.

9. Ирисов, С.Г. Исследование дебита поверхностных дегазационных скважин

/ С.Г. Ирисов, В.В. Чередников, А.Б. Бокий // Физико-технические проблемы горного производства, 2011. – Вып. 14. – С. 115-122.

10. Kostenko, V. Influence of level of coal mining on the discharge of greenhouse gases/ V. Kostenko, A. Boki, Ye. Shevchenko // Aktualne problemy zwalczania zagrozen gorniczych / Polytechnika Slaska, Gliwice - Brenna, 2011. – Pp. 202-212.

11. Kostenko, V. Influence of coal mining level of the discharge of explosive gases to the breakage heading / V. Kostenko, A. Boki, Ye. Shevchenko // Proceeding of Donetsk National Technical University, 2011. – № 2. – Pp. 67-73.

12. Костенко, В.К. Повышение экологической безопасности природно-промышленной системы угольной шахты путем сокращения эмиссии метана / В.К. Костенко, А.Б. Бокий // Проблеми екології. Загальнодержавний науково-технічний журнал, 2013. – № 1. – С. 24-34.

13. Разработка методов математического моделирования эмиссии шахтного метана / Т.В. Бунько, А.В. Боровский, И.Е. Кокоулин, А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 109. – С. 247-255.

14. Бокий, А.Б. Оценка экологичности функционирования выемочных участков угольных шахт / А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 112. – С. 247-255.

15. Бокий, А.Б. Обоснование технических решений по повышению экологической безопасности подземной разработки угольных месторождений / А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 114. – С. 287-292.

16. Совершенствование метода расчета реконфигурируемых шахтных вентиляционных систем с использованием параллельных вычислений / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, А.Ш. Жалилов, А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип.119. – С. 18-27.

17. Совершенствование метода расчета концентраций метана по сети горных выработок, включающих рассредоточенные источники метановыделения / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, А.Ш. Жалилов, А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип.120. – С. 18-27.

18. Зниження екологічного ризику викидів шахтного метану в атмосферу під час функціонування шахтних вентиляційних і дегазаційних мереж, які ре конфігуруються / Т.В. Бунько, І.О. Яценко, О.Б. Бокій, О.Ш. Жалілов, Л.А. Новіков // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України, 2015. – Вип. 122. – С. 279-296.

19. Вопросы обеспечения экологической безопасности при функционировании высокопроизводительных угольных шахт / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, Л.А. Новиков, А.Ш. Жалилов, А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України, 2015. – Вип. 125. – С. 3-15.

20. Патент на корисну модель №37303 МПК E21B 43/25. Спосіб каптажу метану вуглегазових родовищ / В.К. Костенко, А.Б. Бокий, Е.В. Шевченко, Л.Г. Бордюгов / Заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет МОН України. - № u200807202, заявл. 26.05/08, опубл. 25.11. 2008, бюл. №22.

21. Патент на корисну модель №36900 МПК C05D 11/00. Спосіб дегазації газувугільних родовищ/ В.К. Костенко, А.Б. Бокий, Е.В. Шевченко, Л.Г. Бордюгов /

Заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет МОН України. – № u200807232, заявл. 26.05/08, опубл. 10.11. 2008, бюл. № 21.

22. Костенко, В.К. Изменение физических свойств углегазового массива под влиянием очистных работ / В.К. Костенко, А.Б. Бокий / Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції «Метан вугільних родовищ України». – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 80. – С. 90-97.

23. Бокий, А.Б. Влияние уровня угледобычи на дебит парниковых газов в очистную выработку / А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. ін-т Геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Метан вугільних родовищ України». – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 88. – С. 247-255.

24. Костенко, В.К. Особенности выделения метана из газоносного массива под влиянием очистных работ / В.К. Костенко, А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Метан вугільних родовищ України». – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 88. – С. 264-270.

25. Принципы построения кластерной модели выработанного пространства выемочного участка метанообильной угольной шахты / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, С.А. Головкин, А.Ш. Жалилов, А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Матеріали XII конференції «Геотехнічні проблеми розробки родовищ». – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 117. – С. 141-152.

26. Построение имитационной кластерной модели системы «горные выработки – выработанное пространство» / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, С.А. Головкин, Л.А. Новиков, А.Ш. Жалилов, А.Б. Бокий // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Матеріали XII конференції «Геотехнічні проблеми розробки родовищ». – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 118. – С. 81-89.

**Особистий внесок автора в роботи, опубліковані в співавторстві, полягає в:** [1, 6, 22] – збиранні і аналізі результатів, формулюванні висновків; [2, 4, 5, 7, 10] – проведенні шахтних експериментів і теоретичних досліджень закономірностей переходу зв'язаного метану у вільний стан і емісії в гірські виробки; [3, 8, 9, 24] – проведенні теоретичних і практичних досліджень дегазації вугільного масиву; [11, 13] – розробці методів моделювання емісії шахтного метану; [12] – проведенні досліджень екологічної безпеки природно-промислової системи вугільної шахти шляхом скорочення емісії метану; [16] – обґрунтуванні необхідності і розробці алгоритму обчислення аерогазодинамічних параметрів для системи «гірничі виробки – вироблений простір», що містить елементи з різноступеневими законами руху повітря; [17] – участі у розробці методу розрахунку концентрації метану у ШВМ; [18, 19] – оцінки ступеню екологічного ризику під час високопродуктивного видобутку вугілля та метану; [20, 21] – виборі аналогів, формулюванні новизни; [25, 26] – принципи побудови імітаційної моделі виробленого простору виїмкових ділянок.

## АНОТАЦІЯ

Бокій О.Б. «Зниження екологічного ризику викидів шахтного метану в атмосферу на вугільних шахтах». - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 - Екологічна безпека. – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірський університет», Дніпро, 2016 р.

Обґрунтовано критерій оцінки екологічних ризиків функціонування високопродуктивних вугільних шахт з використанням комплексної дегазації і подальшої утилізації метану. Критерій диференційовано враховує об'єми емісії метану в атмосферу і метану, який каптується, а також організовані і неорганізовані викиди парникових газів з вугільних шахт. Використання цього критерію дозволило дати екологічну оцінку розробленим технічним рішенням зниження викидів метану в атмосферу.

Проведені дослідження і встановлені закономірності перерозподілу метану у вуглепородному масиві під дією очисних робіт. Обґрунтовані раціональні технологічні заходи щодо скорочення емісії шахтного метану в атмосферу, що включають: вибір режимів роботи вентиляторів головного провітрювання; створення зони нульової депресії для управління метановиділенням з виробленого простору; зрошування виробленого простору спеціально підготовленою сумішшю; попереднє електророзпалювання для використання суміші з низьким вмістом метану в когенераційних станціях. Одержані результати використані при вдосконаленні системи комплексної дегазації шахти ім. О.Ф. Засядька і в навчальному процесі ДонНТУ.

Ключові слова: екобезпека вугільних шахт, дія метану на навколишнє середовище, вміст метану у вугільних пластах, викиди метану в атмосферу, дегазаційні свердловини, метановість вугільних шахт, імітаційне моделювання, критерій оцінки екологічного ризику, технологічні заходи.

## АННОТАЦИЯ

Бокий А.Б. «Снижение экологического риска выбросов шахтного метана в атмосферу на угольных шахтах». - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 - Экологическая безопасность. – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепр, 2016 г.

Выполнен анализ: экологического воздействия выбросов шахтного метана на земную атмосферу; недостатков существующих технологий добычи и утилизации метана угольных шахт и нормативно-методических документов, регламентирующих экологические расчеты в угольной отрасли.

Обоснован критерий оценки экологических рисков функционирования высокопроизводительных угольных шахт с использованием комплексной дегазации и дальнейшей утилизации метана. Критерий дифференцированно учитывает объемы эмиссии метана в атмосферу и каптированного метана, а также организованные и неорганизованные выбросы (постоянная и динамическая составляющие критерия) парниковых газов из угольных шахт. Использование этого критерия позволило дать

экологическую оценку разработанным техническим решениям снижения выбросов метана в атмосферу. Предложен метод расчета концентраций метана с учетом распределенных и сосредоточенных источников поступления метана в рудничную атмосферу и на земную поверхность.

Проведены исследования и установлены закономерности: перераспределения метана в углепородном массиве под действием очистных работ; между производительностью очистного забоя и его метанообильностью; гиперболическая зависимость длительности дегазации углепородного массива от размера слагающих его блоков, что позволило определить рациональные параметры (количество и углы направления «кустов») дегазационных скважин.

Установленные закономерности послужили основанием для совершенствования способов дегазации и улучшения экологической обстановки при интенсивной разработке угольных месторождений. Разработанные научно-обоснованные рекомендации по практическому использованию установленных закономерностей управления экологической безопасностью позволили снизить эмиссию метана из интенсивно отработываемых угольных месторождений и его поступления в земную атмосферу.

Обоснованы места создания и параметры зоны пониженной проницаемости, и получены аналитические формулы для определения снижения интенсивности газовыделения со стенки воздухоотводящей выработки на участках создания такой зоны; участки выработанного пространства обычной и пониженной проницаемости имеют различные степенные законы движения метановоздушной смеси.

Обоснованы рациональные технологические мероприятия по сокращению эмиссии шахтного метана в атмосферу, включающие: выбор режимов работы вентиляторов главного проветривания, обеспечивающих создание зоны нулевой депрессии для управления метановыделением из выработанного пространства; орошение выработанного пространства специально подготовленной смесью; определение целесообразного количества и углов направления кустов скважин, предназначенных для дегазации выработанного пространства; предварительный электророзжиг для использования смеси с низким содержанием метана в когенерационных станциях.

Для утилизации тощей метановоздушной смеси в когенерационных энергостанциях предложено использовать электророзжиг. Изменение технологической схемы утилизации метана в когенерационных станциях обеспечило возможность полностью или частично отказаться от использования электроэнергии, потребляемой в котельных. Дополнительный экологический эффект от использования результатов работы заключается в сокращении потребления шахтой исчерпаемых природных энергетических ресурсов и негативного воздействия на окружающую среду.

Полученные в диссертационной работе результаты теоретических и экспериментальных исследований были внедрены при проведении совместных с «ДжиИ Украины» работ по реализации проекта комплексной дегазации и утилизации шахтного метана на шахте им. А.Ф. Засядько, выбора и поставки высокоэффективного когенерационного оборудования для теплоэнергетического комплекса утилизации метана и разработки технических решений по повышению экологической безопасности производства. Расчетный экономический эффект от внедрения разработанных в работе способов повышения дебита подземных дегазационных скважин в условиях шахты им. А.Ф. Засядько составляет около 1756,5 тыс. грн / год. Социальный эф-

фект заключается в повышении экологической безопасности за счет снижения выбросов метана в атмосферу

Ключевые слова: экобезопасность угольных шахт, действие метана на окружающую среду, содержание метана в угольных пластах, выбросы метана в атмосферу, дегазационные скважины, метанообильность угольных шахт, имитационное моделирование, критерий оценки экологического риска, технологические мероприятия.

## ABSTRACT

Bokiy O.B. «Decline of ecological risk of the troop landings of mine methane in an atmosphere in coal mining». - Manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of technical sciences on specialty 21.06.01 - Ecological safety. State Higher Educational Establishment «National mine university», Dnipro, 2016.

The criterion of estimation of ecological risks of functioning of high-performance coal mines with the use of the complex degassing and further utilization of methane is grounded. A criterion differentiated takes into account the volumes of emission of methane in an atmosphere and removal methane, and into account the organized and unorganized troop landings of hotbed gases from coal mines. The use of this criterion allowed to give ecological estimation to the developed technical decisions of decline of the troop landings of methane in an atmosphere.

Researches are conducted and conformities to the law are set redistributions of methane in an coal-rock array under action of cleansing works. Rational technological measures on reduction of emission of mine methane in an atmosphere, including, are grounded: choice of the modes of operations of ventilators of above all ventilation, providing creation of zero depression area for the management of methane-apportionment from the produced space; irrigation of the produced space by the specially prepared mixture; preliminary electric-ignite for the use of mixture with low maintenance of methane in the cogeneration stations. It is drawn on got result at perfection of the system of the complex degassing of O.F. Zasyad'ko mine and in the educational process of DonNTU.

Keywords: eko-safety of coal mines, action of methane on an environment, maintenance of methane in coal layers, troop landings of methane in an atmosphere, decontamination mining holes, methane-apportionment of coal mines, imitation modeling, criterion of estimation of ecological risk, technological measures.

БОКІЙ ОЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ

**ЗНИЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ВИКИДІВ ШАХТНОГО  
МЕТАНУ В АТМОСФЕРУ НА ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ**

(Автореферат)

Підп. до друку 16.09.2016 р. Формат 60×90/16  
Гарнітура Times. Друк різнографічний.  
Папір офсетний. 0,9 ум. друк. арк.  
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 1930.  
Друк ТОВ «Барвікс»  
Свідоцтво про внесення до державного реєстру  
№ 24 від 25.07.2000 р.  
49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 17