

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

САЇК ПАВЛО БОГДАНОВИЧ



УДК 622.278:622.031.54

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ
СВЕРДЛОВИННОЇ ПІДЗЕМНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЛЯ
ЗІ ЗБЛИЖЕНИХ ПЛАСТІВ**

Спеціальність 05.15.02 – підземна розробка родовищ
корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник:

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

**ДИЧКОВСЬКИЙ
Роман
Омелянович**

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України,

**ГАЙКО
Геннадій
Іванович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту фізики гірничих процесів Національної академії наук України, вчений секретар інституту (м. Дніпропетровськ).

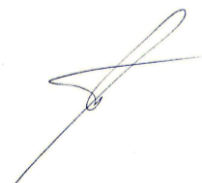
**КАЛУГІНА
Надія
Олександрівна**

Захист відбудеться «02» липня 2015 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 із захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. (0562) 47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий «29» травня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03
кандидат технічних наук, доцент



М.В. Петльованій

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Характерною особливістю Донецького та Львівсько-Волинського басейнів є те, що запаси вугілля зосереджені в геологічних світах, де розробка пластів взаємно впливає на ефективне ведення гірничих робіт. За цих умов більшість вугільних запасів знаходиться в тонких та надтонких пластах, що віднесені до класу зближених. Вітчизняний та закордонний досвід показав, що виймання таких запасів механізованими комплексами є недоцільним через негативні прояви гірського тиску в очисних вибоях та підготовчих виробках. Це суттєво впливає на собівартість видобутого вугілля й аварійність ведення гірничих робіт. Уникнути такої ситуації, як показує світова практика, можна шляхом впровадження нової технології – свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ).

Необхідно зазначити, що основним недоліком технології СПГВ є низька продуктивність станцій з газифікації вугілля, усунути який можливо екстенсивним способом – збільшенням кількості одночасно працюючих газогенераторів, що розташовуються на зближених пластах із роботою на одну систему газовиділення, переробки і використання генераторних газів та хімічних продуктів. Нині наявні технологічні рішення газифікації вугілля зі зближених пластів повною мірою не вивчені та вимагають удосконалення.

Для газифікації вугільних пластів необхідно визначитись з їх положенням у гірському масиві, що впливає на технологічні параметри роботи підземного газогенератора. Це вирішує нову наукову задачу та має важливе практичне значення для розвитку і забезпечення енергетичної незалежності України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» відповідно до плану найважливіших держбюджетних робіт Міністерства освіти і науки України на період 2011 – 2014 рр.: тема ОБ-54 «Комплексна генерація та утилізація енергії в умовах урбанізованих та промислових територій України» (№ держреєстрації 0111U009111); тема ГП-464 «Обґрунтування технічних та технологічних параметрів енергохімічного комплексу на базі свердловинної підземної газифікації вугілля» (№ держреєстрації 0112U000869); господарчих договорів Національного гірничого університету із ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»: тема 10-0/820-У/010176, 2010 – 2011 рр. «Обґрунтування технології свердловинної підземної газифікації в умовах ВАТ Павлоградвугілля»; господарчого договору Національного гірничого університету із ВАТ «Донецьксталь – металургійний завод»: тема 11-11/132-ПД/010178, 2011 р. «Реалізація технології газифікації вугілля Західного Донбасу на стендовій установці з отриманням товарної енергетичної та хімічної сировини» та ін. Дисертаційна робота відповідає Енергетичній програмі розвитку України до 2030 р. та Стратегії розвитку вугільної промисловості України до 2030 року, де автор приймав безпосередню участь у проведенні досліджень.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні раціональних параметрів технології свердловинної підземної газифікації вугілля зі зближених пластів на основі

встановлених закономірностей зміни опускань міжпластових порід з урахуванням термохімічних процесів у підземному газогенераторі.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані та вирішені такі завдання:

- формування передумов зміни технології видобування вугілля зі зближених вугільних пластів;
- визначення коефіцієнта зближення вугільних пластів при їх підземній газифікації;
- обґрунтування величини відставання між одночасно працюючими газогенераторами на зближених пластах зі збереженням рівномірності посування вогневого вибою;
- обґрунтування раціональних параметрів технології свердловинної підземної газифікації вугілля та встановлення їх економічної доцільності.

Ідея роботи полягає в урахуванні закономірностей впливу коефіцієнта зближення вугільних пластів для раціонального вибору послідовності роботи підземних газогенераторів та збільшення продуктивності станції з підземної газифікації вугілля.

Об'єкт дослідження – процес свердловинної підземної газифікації при взаємодії підземного газогенератора з гірським масивом.

Предмет дослідження – закономірності впливу коефіцієнта зближення вугільних пластів на параметри технології газифікації вугілля з тонких і надтонких пластів.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань у роботі використано комплексний метод досліджень, що містив: аналіз світового та вітчизняного досвіду в області підземної газифікації вугілля; використання теорії деформації пластичних, пружно-пластичних систем, теплообміну, методи математичної статистики; проведення комп'ютерного моделювання та стендових експериментальних досліджень.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Відставання вогневого вибою підземного газогенератора по верхньому пласту (L) визначається коефіцієнтом зближення вугільних пластів ($k_{зб.}$), який залежить від потужності міжпластових порід (h) та потужності нижнього вугільного пласта (m) й апроксимується алгебраїчним рівнянням першого степеня. Це дає можливість забезпечити стійкий процес газифікації вугілля зі зближених тонких та надтонких вугільних пластів за рахунок уникнення дестабілізації зон протікання термохімічних реакцій у підземному газогенераторі.

2. Збереження рівномірності посування вогневого вибою підземного газогенератора за шириною стовпа газифікації забезпечується часом його переходу на режим реверсу (t) за експоненціальною залежністю від потужності вугільного пласта (m). Це дозволяє підвищити теплоту згоряння горючих генераторних газів на 54 – 61 %.

Наукова новизна отриманих результатів:

– уперше встановлено коефіцієнт зближення вугільних пластів при їх газифікації на підґрунті забезпечення стійкої роботи газогенератора;

- отримано нові залежності зміни відставання верхнього вогневого вибою від нижнього, за умови його випередження через коефіцієнт зближення вугільних пластів;

- уперше отримано експоненціальну залежність, що описує час переходу підземного газогенератора на режим реверсу;

- встановлено нові закономірності зміни теплоти згоряння генераторних газів з виходом підземного газогенератора на режим реверсу.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується використанням апробованих методів теоретичних й стендових експериментальних досліджень, застосуванням основних положень теорії теплообміну порід, деформації пластичних, пружно-пластичних систем, математичної статистики, достатнім обсягом виконаних експериментів і високою відповідністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень (збіжність отриманих результатів складає 76 – 92 %). Відповідність результатів експериментальних досліджень забезпечувалася застосуванням спеціального сертифікованого обладнання.

Наукове значення роботи полягає у встановленні раніше невідомого коефіцієнта зближення вугільних пластів при їх газифікації, на основі якого обґрунтовано раціональні параметри технології свердловинної підземної газифікації вугілля зі зближених пластів.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблені рекомендації щодо відпрацювання запасів вугілля зі зближених пластів технологією свердловинної підземної газифікації;

- розроблена методика оцінки зближення вугільних пластів при підземній газифікації вугілля;

- визначено оптимальні технологічні параметри роботи підземних газогенераторів, дотримання яких дозволяє проводити ефективний режим газифікації вугілля зі зближених пластів;

- запропоновано технологічну схему ведення вогневих робіт при газифікації тонких та надтонких зближених вугільних пластів.

Реалізація результатів роботи. Для шахт «Зарічна» та «Червоноградська» ДП «Львіввугілля» розроблено рекомендації щодо відпрацювання зближених пластів технологією свердловинної підземної газифікації вугілля.

Особистий внесок здобувача полягає у постановці мети й завдань дослідження, ідеї роботи та її наукових положень; обробці, узагальненні й аналізі отриманих результатів; обґрунтуванні технологічних параметрів газифікації вугілля зі зближених пластів.

Апробація результатів. Результати досліджень дисертаційної роботи представлено на всеукраїнських, міжнародних та відомчих науково-технічних конференціях, форумах і семінарах: Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених «Наукова весна» (Дніпропетровськ, 2012); «Школа підземної розробки» (Ялта, 2010, 2013; Бердянськ, 2014); III міжнародна конференція «Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання» (Дніпропетровськ, 2013), Szkoła Eksploatacji Podziemnej (Краків, Польща, 2013); «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2011, 2012, 2014).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 21 наукову працю, у.т.ч. колективна монографія, 6 робіт опубліковано у фахових виданнях з переліку МОН України, 8 – тези матеріалів конференцій, 6 – статті у закордонних виданнях з високим індексом цитування.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 142 найменувань на 16 сторінках; містить 150 сторінок машинописного тексту, 39 рисунків, 11 таблиць і додатки на 16 сторінках; загальний обсяг роботи – 168 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність вибраної теми досліджень, розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету, ідею та завдання досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, викладено основні наукові положення, наукову новизну та значення отриманих результатів, наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів та структуру роботи.

Перший розділ дисертації присвячений розгляду питань, що зумовлюють зміну технології видобування вугілля. З погляду розвитку ресурсозберігаючих технологій підвищення ефективності роботи вугледобувних підприємств можливе лише за рахунок експлуатації як продуктивних, так і малопотужних вугільних пластів. На думку багатьох світових вчених та спеціалістів з галузі паливно-енергетичного комплексу, однією з досить перспективних, ресурсозберігаючих та інноваційних технологій у гірничо-енергетичній сфері є впровадження технології – свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ).

Над втіленням нетрадиційних способів виймання та переробки вугілля, що є новим рівнем ресурсозбереження, на теренах нашої держави працювали і працюють вчені таких науково-дослідних інститутів: Інституту фізики гірничих процесів НАН України, Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України та навчальних закладів: Державного ВНЗ «НГУ», ДонДТУ, ДонНТУ; закордонні колеги із Гірничо-металургійної академії ім. Станіслава Сташиця, Головного інституту гірництва (Польща), ІГС ім. О.О.Скочинського, ФДУП «Інститут горючих копалин» (Росія), Фрайберзької гірничої академії (Німеччина), а також співробітники «Clean Energy» (структурний підрозділ австралійської компанії «Linc Energy»), канадської компанії «Ergo Energy», китайської компанії «ENN Coal Gasification Mining Corporation», американських компаній «Lawrence Livermore National Laboratory», «Carbon County» та ін. Групою дослідників на базі виконаних науково-експериментальних робіт розроблено інноваційні технологічні рішення, що пов'язані з забезпеченням ефективності й економічності застосування даних технологій.

За останнє десятиліття все більше зростає зацікавленість технологіями СПГВ, що підтверджується багатьма розробленими проектами в таких провідних країнах як Австралія, Англія, США, Канада, Китай та ін. Відбувається збільшення частки патентів та охоронних документів в світі: 2005 – 3,36 %, 2008 – 9,24 %, 2011 – 11,38 %, 2014 – 12,45 % (за даними Worldwide European Patent Office).

На основі проведеного аналізу встановлено, що велика кількість вугільних запасів знаходиться в тонких та надтонких пластах і відноситься до класу зближених, а відомі технологічні рішення з газифікації вугілля зі зближених пластів вивчено ще недостатньо. Відсутнє наукове обґрунтування коефіцієнта зближення вугільних пластів при їх газифікації, на основі якого можна обґрунтувати раціональні параметри технології свердловинної підземної газифікації вугілля.

Це дало можливість сформулювати мету та ідею роботи, завдання досліджень для розв'язання нової актуальної науково-практичної задачі.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню методики дослідження, вибору засобів автоматизації процесу обчислення та методу фізичного моделювання, що дають можливість: кількісно й якісно відобразити механізм поведінки гірського масиву, дослідити розповсюдження температурного поля навколо підземного газогенератора, встановити енергетичні показники процесу газифікації.

Для відображення геомеханічної ситуації, що відбувається в гірському масиві, автором був застосований пакет ліцензійної прикладної програми Flac 5.00. Важливою перевагою цього продукту є свобода у заданні форми дослідних областей, що беруться до аналізу; граничних умов дослідження залежно від структурних особливостей дослідної області та її фізико-механічних властивостей. Виходячи з урахування впливу підземного газогенератора на надвугільну товщу, обґрунтування геометричних параметрів моделі проводилось на основі розповсюдження вертикальних компонент напружень (σ_y). Мінімумально допустимі розміри моделі визначались за умови стабілізації вертикального поля напруження на її межах відповідно до початкового стану гірського масиву (γH).

Застосування інформаційної програми «Матеріально-тепловий баланс свердловинної підземної газифікації вугілля» («МТБ СПГВ»), що розроблена у Державному ВНЗ «НГУ» співробітниками кафедр підземної розробки родовищ та хімії, та пройшла апробацію на промисловому газогенераторі в умовах експериментальної шахти «Барбара» (м. Катовіце, Польща), з великим ступенем достовірності дає можливість встановлювати параметри матеріально-теплого балансу процесу газифікації вугільних пластів.

Моделювання процесу підземної газифікації вугілля на стендовій експериментальній установці з урахуванням анізотропії середовища шаруватих гірських порід різних за метаморфічними властивостями, кондукційного та конвекційного теплообмінів дозволило встановити якісні та кількісні зміни деформаційних характеристик гірського масиву, що знаходяться в оточенні зближених вугільних пластів. Стендова експериментальна установка була спроектована та запатентована в Державному ВНЗ «НГУ».

Достовірність експериментальних досліджень забезпечувалась відповідністю результатів у системі «модельований об'єкт – об'єкт натури». Переведення результатів від моделі до натури здійснювалося через відповідні коефіцієнти, що враховували зміну геометричних параметрів і фізичних властивостей натури. Вони визначались виходячи із принципів статичної, кінематичної та динамічної подібностей.

Для формування адекватної та достовірної моделі, що відображає процеси у

гірському масиві, автором роботи розроблена блок-схема, що містить алгоритм проведення досліджень від аналітичних підходів до експериментальних вимірів на стендовій установці.

У третьому розділі наведено результати експериментальних та теоретичних досліджень впливу вогневого вибою підземного газогенератора на гірський масив. Це дало можливість встановити швидкість посування вогневого вибою підземного газогенератора, умови зближення вугільних пластів при їх газифікації, на основі яких обґрунтовано величини відставання між одночасно працюючими газогенераторами на зближених пластах зі збереженням рівномірності посування вогневих вибоїв.

Теоретичне визначення лінійної швидкості посування вогневого вибою проводилось шляхом дослідження його посування в окислювальній та відновній зонах підземного газогенератора. Експериментальна швидкість посування вогневого вибою встановлювалась за класичними залежностями між шляхом і часом, за який вогневий вибій подолає цей шлях, тобто в знаходженні положення вогневого вибою за максимумом температур з урахуванням часу, через який вибій опинився в цьому максимумі. Дослідження термополя навколо підземного газогенератора проводилось за допомогою температурних датчиків. У побудову залежностей зміни швидкості посування вогневого вибою (рис. 1) від потужності вугільного пласта при стендових експериментальних (1) і теоретичних дослідженнях (2) покладено критерій збалансованості між окислювальною та відновною зонами підземного газогенератора за довжиною вогневого вибою, який дорівнює $k = 2,13 - 2,7$. Стабільний режим газифікації вугілля відбувається за умови, коли окислювальна зона підземного газогенератора становить 27 – 32 %, а відновна 73 – 68 %.

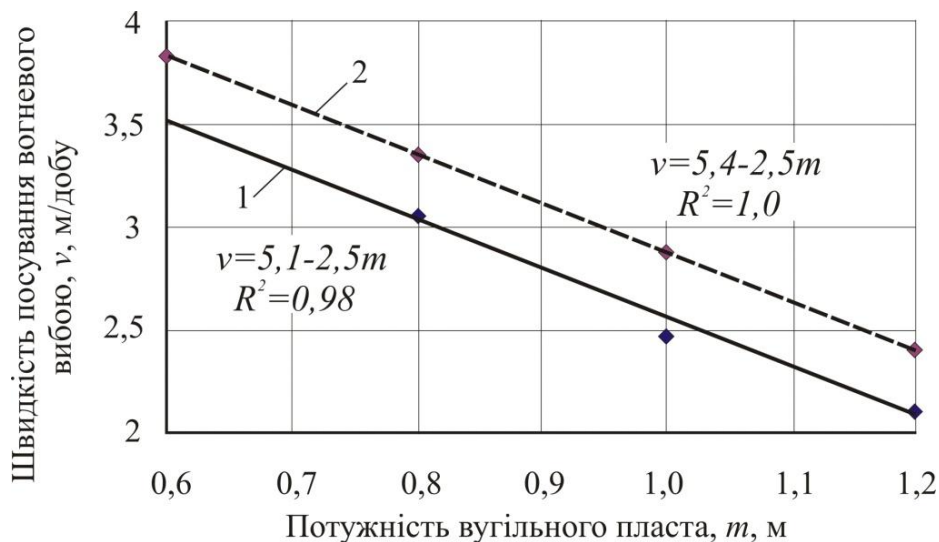


Рисунок 1 – Залежність зміни швидкості посування вогневого вибою від потужності вугільного пласта: 1 – стендові дослідження; 2 – теоретичні дослідження

Отримані залежності дають можливість встановити збіжність між результатами експериментальних і теоретичних досліджень (80 %) і спрогнозувати швидкість посування вогневого вибою на тонких та надтонких

вугільних пластах. Це дає можливість прогнозувати час ефективної роботи підземних газогенераторів за довжиною стовпа газифікації та визначити просторове розміщення вогневого вибою в процесі газифікації.

Автор запропонував досліджувати умови зближення вугільних пластів при їх газифікації, беручи за основу дані з опускань підосви верхнього вугільного пласта при газифікації нижнього шляхом проведення стендових досліджень та їх порівняльного аналізу з теоретичними дослідженнями (результати комп'ютерного моделювання).

У ході виконання стендових досліджень створені три моделі підземних газогенератора зі змінною потужністю міжпластових порід від 3,6 до 5,5 м. Потужність вугільного пласта, що газифікувався, склала 1,2 м. Дослідження за опусканням пластів міжпластя та процесом їх обвалення здійснювалось за 18 замірними станціями (реперними датчиками), що розташовувались у три ряди по площі підземного газогенератора на рівні підосви верхнього вугільного пласта. Відстань між реперними датчиками за довжиною стовпа газифікації склала 1,6 м. Відстань до першого ряду реперних датчиків від штучно створеного реакційного – 1,2 м. У результаті проведених досліджень встановлено залежності опускання шарів літологічної різниці, що фіксувались вимірювальною лінійкою та системою оптичних датчиків. Максимальні опускання реперних датчиків при потужності порід міжпластя $h = 3,6$ м настали на 5 добу газифікації і становили 0,46 м, при $h = 5,4$ м – 0,28 м, при $h = 6,6$ м – 0,21 м. Характер опускання порід масиву в кожній моделі мав як свої власні, так і спільні риси.

При проведенні теоретичних досліджень було розроблено 27 моделей гірського масиву з розміщенням у ньому підземного газогенератора, для яких досліджувався характер опускань міжпластових порід. Точки дослідження у розроблених моделях закладались виходячи з результатів стендових експериментальних досліджень.

На основі опрацювання отриманих графіків в ході проведення комп'ютерного моделювання встановлено, що отримані результати з опускання міжпластових порід не суперечать даним експериментальних досліджень. Максимальна розбіжність між результатами 24 %.

З аналізу виконаних робіт багатьма дослідниками раніше встановлено, що величина опускань надвугільної товщі, представленої алевролітами, більше ніж на 200 мм є критичною. Горизонтальні деформації $\xi > 5$ мм/м. При таких деформаціях у вказаних шарах гірських порід формуються зони наскрізних тріщин, що сприяють утворенню в них газопровідних каналів, через які відбувається завихрення дуттьових і газовідвідних сумішей нижнього та верхнього підземних газогенераторів.

На основі проведених досліджень опускань підосви верхнього вугільного пласта встановлено, що коефіцієнт зближення вугільних пластів залежить від потужності нижнього вугільного пласта, що газифікується, та потужності міжпластових порід. За результатами аналізу даних (рис. 2) встановлено, що при підземній газифікації зближеними можна вважати пласти, при яких виконується нерівність:

$$\frac{h}{m} \leq 5,5 - 5,7,$$

де h – потужність міжпластових порід, м; m – потужність нижнього вугільного пласта, що газифікується, м.

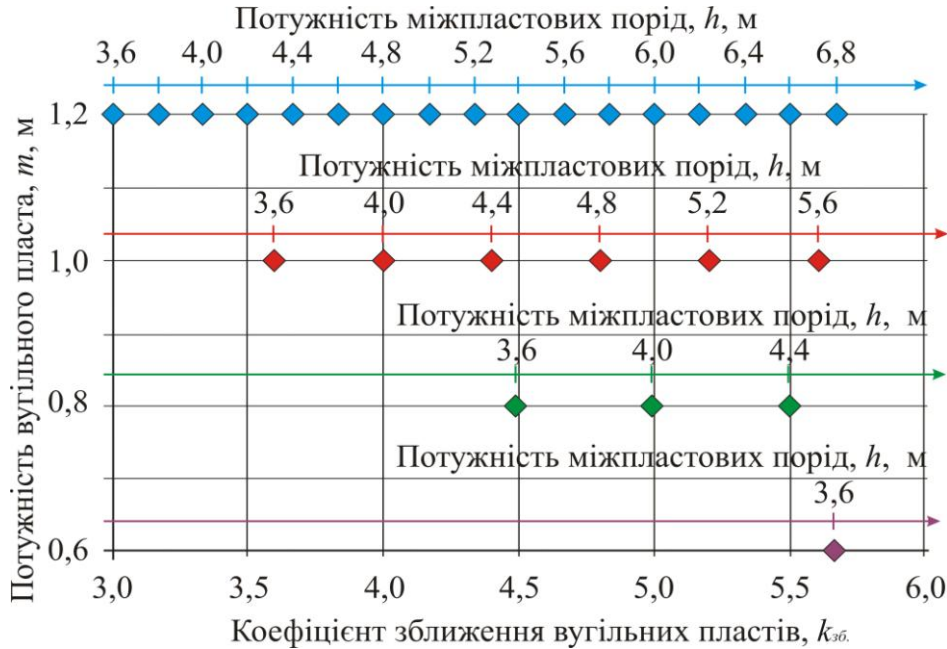


Рисунок 2 – Формування поля даних коефіцієнта зближення вугільних пластів від потужності міжпластових порід та вугільного пласта

При значеннях коефіцієнта $k_{зб.} \geq 5,5 - 5,7$ газифікацію вугільних пластів можна проводити як в низхідному, так і у висхідному порядках. Низхідний порядок газифікації відбувається за умови:

$$m_2 < m_1, \text{ тобто } V_2 = f(m_2) > V_1 = f(m_1),$$

висхідний:

$$m_2 > m_1, \text{ тобто } V_2 = f(m_2) < V_1 = f(m_1).$$

де m_1, m_2 – потужність, відповідно, нижнього та верхнього вугільних пластів, що газифікуються, з однаковими фізико-механічними властивостями, м; V_1, V_2 – швидкість посування вогневого вибою підземного газогенератора, що знаходиться відповідно на нижньому та верхньому вугільних пластах, м/доб.

Порядок газифікації вугілля зі зближених пластів у низхідному порядку не впливає на роботу нижнього підземного газогенератора, а ведення газифікації у висхідному порядку може призвести до дестабілізації зон протікання термохімічних реакцій в підземних газогенераторах. Отже, важливою складовою проведення досліджень є знаходження відставання підземного газогенератора по верхньому пласту.

Для відображення достовірності даних, отриманих під час експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання було встановлено збіжність між отриманими результатами, що становить 76 – 90 %. Це дало нам можливість побудувати, з великим ступенем достовірності, залежності зміни величини відставання вогневих вибоїв між собою від встановленого коефіцієнта зближення вугільних пластів (рис. 3).

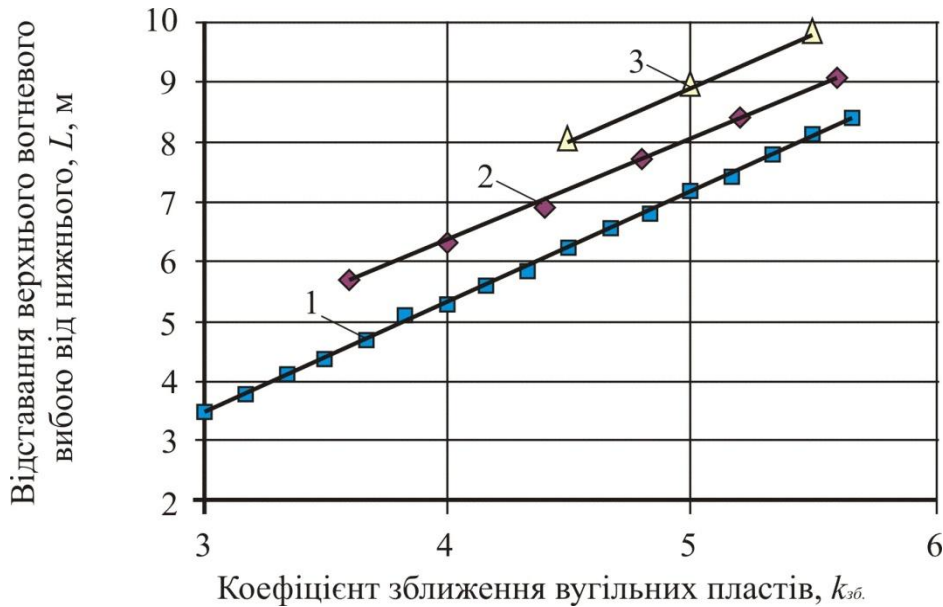


Рисунок 3 – Залежності відставання верхнього від нижнього вогневого вибою від коефіцієнта зближення вугільних пластів та їх потужності: 1 – 1,2 м; 2 – 1,0 м; 3 – 0,8 м

У загальному вигляді отримані залежності (рис. 3) можна записати таким чином:

$$L = 2,5mh - 4,9h + 4,12 \frac{h}{m} - 4,8m + 3,9, \text{ м}, R^2 = 0,97.$$

У результаті досліджень встановлено, що відставання верхнього вогневого вибою від нижнього (L), за умови його випередження при газифікації вугілля, визначається коефіцієнтом зближення вугільних пластів ($k_{зб}$), який залежить від потужності міжпластових порід (h) та потужності нижнього вугільного пласта (m) й апроксимується алгебраїчним рівнянням першого степеня. Це дає можливість забезпечити стійкий процес газифікації вугілля зі зближених вугільних пластів за рахунок уникнення дестабілізації зон протікання термохімічних реакцій у підземному газогенераторі.

При вигазовуванні вугільного пласта відбувається нерівномірне посування вогневого вибою підземного газогенератора за шириною стовпа газифікації. Це викликає відхилення розповсюдження зон стабілізації газифікації та нерівномірності опускань міжпластових порід, що ускладнює процес збереження відставання верхнього вогневого вибою від нижнього. Тому були проведені дослідження зі збереження рівномірності посування вогневих вибоїв.

Забезпечення рівномірності руху вогневого вибою при газифікації зближених вугільних пластів є складовим елементом, що дозволяє зберігати раніше встановлені геометричні параметри відставання вогневих вибоїв між собою. Проаналізувавши дане явище для проведення досліджень було розроблено розподільний трійник і проведено його підключення до стендової установки, що дало можливість проводити реверс дуттьовими сумішами для формування лінії вогневого вибою.

Час, який визначає перехід підземного газогенератора на даний режим роботи, встановлювався на основі концентрації горючих генераторних газів на виході з підземного газогенератора. Визначення часу відбувалось з урахуванням усереднених концентрацій горючих генераторних газів ($\text{H}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO}$) та встановлених швидкостей посування вогневого вибою за певний проміжок часу.

При газифікації вугільного пласта потужністю 1,2 м до початку режиму реверсу максимальна концентрація горючих генераторних газів склала біля 30 %, потужністю 1,0 м – 27 % і 0,8 м – 30 %. При переході на режим реверсу максимальна концентрація коливалась на рівні 40 – 44 %.

З аналізу даних отриманих при проведенні досліджень, встановлено, що на пластах потужністю 1,2 м режим реверсу необхідно проводити через кожні 2,7 доби, при 1,0 м – 2,2 доби, при 0,8 м – 1,9 доби. При потужності вугільного пласта 0,6 м крок переходу підземного газогенератора на режим реверсу становить 1,5 діб. Перевірка кроку була проведена через встановлені середні експериментальні та теоретичні швидкості посування вогневого вибою від маси вигазовуваного вугілля. Проведені дослідження зі встановлення концентрації горючих генераторних газів дали можливість отримати залежність зміни часу виконання реверсу в підземному газогенераторі від потужності вугільного пласта (рис. 4).

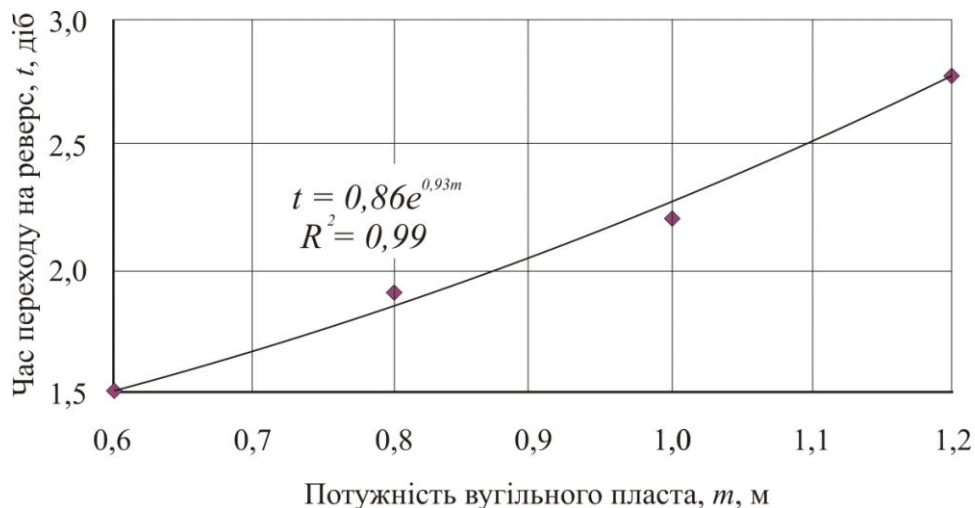


Рисунок 4 – Залежність зміни часу переходу підземного газогенератора на режим реверсу від потужності вугільного пласта

Із даної залежності виходить, що час переходу на режим реверсу на пластах потужністю 0,6 м відбувається в 1,8 раз швидше ніж на пластах потужністю

1,2 м. Це пов'язано зі швидкістю вигазування вугільного пласта як за довжиною вогневого стовпа, так і за площиною вибою – знизу доверху.

Окремим важливим елементом дослідження було встановлення енергетичної цінності отриманого генераторного газу, показником якої є його теплота згоряння Q , МДж/м³. Графік теплоти згоряння генераторних газів упродовж проведення експериментів наведено на рис. 5.

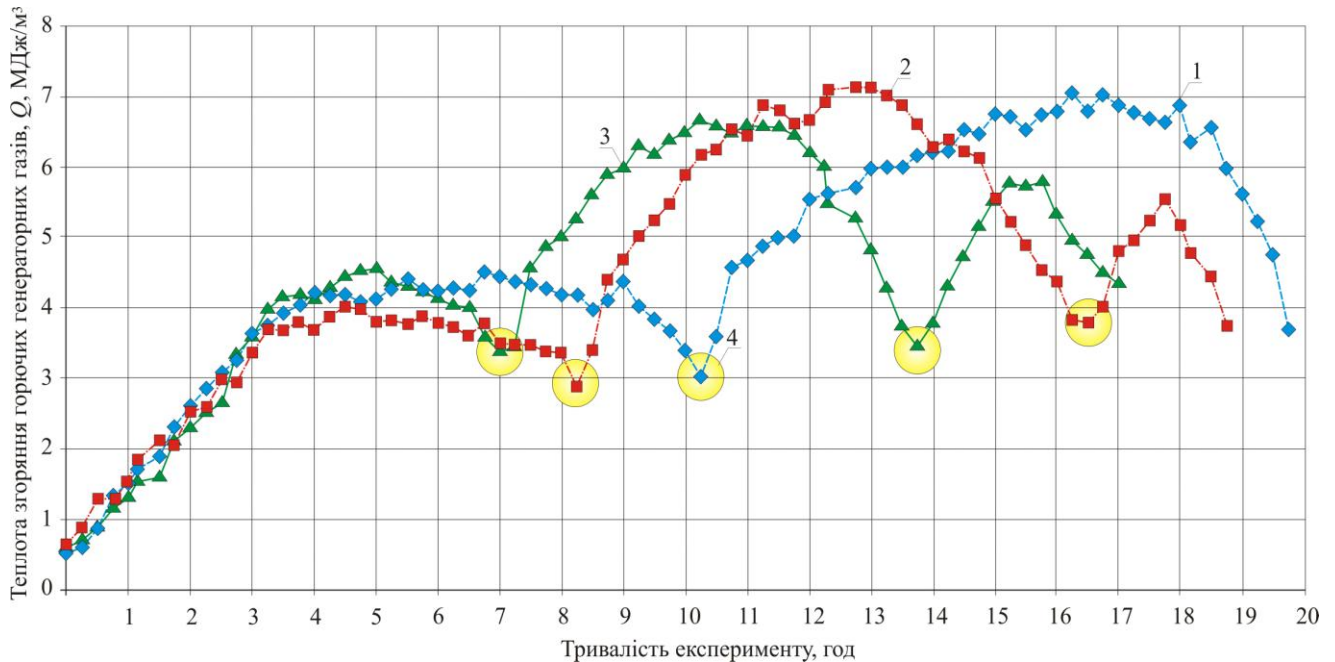


Рисунок 5 – Графік зміни теплоти згоряння горючих генераторних газів упродовж проведення експериментів при потужності вугільних пластів відповідно: 1 – 1,2 м; 2 – 1,0 м; 3 – 0,8 м; 4 – зона переходу на режим реверсу

Максимальна теплота згоряння генераторних газів до режиму реверсу становила 3,8 – 4,2 МДж/м³. Така незначна теплота згоряння пояснюється зменшенням інтенсивності гетерогенних процесів, які відбуваються на межі розподілу двох фаз – твердої та газоподібної, що виникли через нерівномірність вигазування вугільного пласта. Під час досліджень встановлено залежність збільшення теплоти згоряння генераторного газу до режиму реверсу та після:

$$(1,54 \div 1,61) Q_{b.r.} = Q_{a.r.}, \text{ МДж/м}^3,$$

де $Q_{b.r.}$ – середня теплота згоряння горючих генераторних газів до режиму реверсу, МДж/м³; $Q_{a.r.}$ – середня теплота згоряння горючих генераторних газів після режиму реверсу, МДж/м³.

У результаті проведених досліджень з'ясовано, що збереження рівномірності посування вогневого вибою підземного газогенератора за шириною стовпа газифікації забезпечується часом його переходу на режим реверсу (t), який змінюється залежно від потужності вугільного пласта (m) й апроксимується експоненціальною залежністю. Це дозволяє підвищити теплоту згоряння горючих

генераторних газів на 54 – 61 %.

Під час експериментальних досліджень додатково було визначено якість генераторного газу та кількісний склад хімічних продуктів процесу газифікації. Встановлено, що широкий діапазон застосування в дуттьових сумішах різних газів у поєднанні з підвищеною наявністю в дутті кисню забезпечує селективність отримання продуктів ПГВ і стабільність процесу газифікації вугільних пластів з урахуванням гірничо-геологічних, техногенних і технічних умов експлуатації підземних газогенераторів. Отримані результати добре корелюють з результатами комп'ютерного моделювання («МТБ СПГВ»). Збіжність результатів склала 80 – 92 %.

У четвертому розділі виконано обґрунтування технологічних параметрів газифікації вугілля з тонких та надтонких зближених пластів, а також уточнено критерії придатності технології СПГВ з урахуванням умов їх зближення.

За результатами проведених досліджень розроблено дві технологічні схеми підземної газифікації вугілля. Перша передбачає розкриття вугільних пластів вертикальними (похилими) свердловинами (дуттьова, газовідвідна), що окремо пробурені на кожний пласт. Перевагами цієї схеми газифікації є простота розкриття підземних газогенераторів (виконання бурових робіт із встановленням обсадної колони), нескладність керування процесами реверсування дуттьовими сумішами. Друга передбачає розкриття вугільних пластів через спільну вертикальну частину експлуатаційної свердловини. Дана схема дає можливість проведення окремого реверсування, що виникає через нерівномірність руху вогневого вибою по кожному із пластів. Конструктивні особливості вертикальної складової свердловини дозволяють проводити реверсування за рахунок зміни призначення каналів свердловини.

Впровадження даної схеми дозволяє розширити область застосування технології свердловинної підземної газифікації вугілля (ПГВ). Це призводить до мінімізації шкідливого впливу продуктів газифікації та втрат вугілля в надрах, зменшення трудомісткості робіт із буріння, підвищення продуктивності станцій із газифікації, вилучення продуктів газифікації у замкнутому технологічному циклі.

Економічна оцінка доцільності газифікації вугілля зі зближених пластів проводилась на основі визначення місячного прибутку від реалізації отриманих енергоносіїв та хімічної продукції при порівнянні двох варіантів газифікації вугілля – роздільному й одночасному. Місячний прибуток при одночасній газифікації вугілля зі зближених пластів у порівнянні з роздільною газифікацією є більшим на 50 – 71 тис. грн залежно від розмірів ділянки, що газифікується, та потужності вугільного пласта.

Проведені дослідження дали можливість розробити рекомендації щодо технологічного удосконалення розробки вугільних пластів технологією свердловинної підземної газифікації для гірничо-геологічних умов шахт Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених закономірностей зміни опускань міжпластових порід з урахуванням термохімічних процесів у підземному газогенераторі вирішена нова актуальна задача з обґрунтування параметрів технології свердловинної підземної газифікації вугілля зі зближених пластах. Це є важливим науково-практичним результатом для ефективного відпрацювання вугільних запасів зі зближених пластів.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Виконано аналіз передумов до якісної зміни технології традиційного вугледобування зі зближених вугільних пластів на основі впровадження технології свердловинної підземної газифікації. Встановлено, що відсутність наукового обґрунтування коефіцієнта зближення вугільних пластів при застосуванні технології свердловинної підземної газифікації потребує додаткового його вивчення.

2. Запропонований комплекс методик дослідження процесу підземної газифікації вугілля дозволяє визначити особливості впливу параметрів роботи підземного газогенератора на зближені вугільні пласти.

3. Отримано новий коефіцієнт зближення вугільних пластів при їх газифікації $k_{зб.} \leq 5,5 - 5,7$, що впливає на вибір послідовності відпрацювання пластів і посування вогневих вибоїв.

4. Встановлено, що відставання верхнього вогневого вибою від нижнього (L), за умови його випередження при газифікації вугілля, визначається коефіцієнтом зближення вугільних пластів ($k_{зб.}$), який залежить від потужності міжпластових порід (h) та потужності нижнього вугільного пласта (m) й апроксимується алгебраїчним рівнянням першого степеня

$$L = 2,5mh - 4,9h + 4,12 \frac{h}{m} - 4,8m + 3,9 \quad (R^2 = 0,97).$$
 Урахування цієї залежності дає

можливість забезпечити стійкий процес газифікації вугілля зі зближених тонких та надтонких вугільних пластів за рахунок уникнення дестабілізації зон протікання термохімічних реакцій у підземному газогенераторі.

5. Обґрунтовано умови збереження рівномірності посування вогневого вибою підземного газогенератора за шириною стовпа газифікації, що забезпечуються часом його переходу на режим реверсу (t), який змінюється залежно від потужності вугільного пласта (m) й апроксимується експоненціальною залежністю $t = 0,86e^{0,93m}$ ($R^2 = 0,99$). Це дозволяє підвищити теплоту згоряння горючих генераторних газів на 54 – 61 %.

6. Розроблено схеми газифікації зближених вугільних пластів і визначено оптимальні режими процесу газифікації за рахунок реверсування дуттьовими сумішами з орієнтацією на конкретних споживачів генераторного газу та

хімічних продуктів. Обґрунтовано послідовність роботи підземних газогенераторів на зближених пластах досліджуваних ділянок шахт ДП «Львівугілля».

7. Обґрунтовано доцільність застосування розробок та ефективності використання доповнень до існуючих технологічних рішень газифікації вугільних пластів на основі встановлення місячного прибутку від реалізації отриманої енергії та хімічних продуктів з генераторного газу. Орієнтовний прибуток від реалізації запропонованих технологічних рішень при газифікації вугілля зі зближених пластів становить 112 – 114 тис. грн на місяць залежно від наявної системи газогенератора та її геометричних розмірів.

Основні положення і результати дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Саїк П.Б. Економічні й екологічні аспекти комплексної генерації та утилізації енергії в умовах урбанізованих та промислових територій / Г.Г. Півняк, О.С. Бешта, П.І. Пілов [та ін.]. – Д.: НГУ, 2013. – 176 с.

2. Саїк П.Б. Дослідження адаптаційних процесів системи «породовугільний масив – підземний газогенератор» на стендовій установці / [В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, В.Г. Лозинський, П.Б. Саїк] // Науковий вісник НГУ. – 2011. – № 6. – С. 66 – 74.

3. Саїк П.Б. Моделювання поведінки гірського масиву при одночасному висхідному порядку вигазуванні зближених тонких вугільних пластів / П.Б. Саїк // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: НГУ, 2013. – № 42. – С. 125 – 132.

4. Саїк П.Б. До питання одночасної газифікації зближених тонких вугільних пластів / П.Б. Саїк // Науковий вісник НГУ. – 2014. – № 6. – С. 33 – 37.

5. Саїк П.Б. Визначення параметрів порожнин розшарування над газогенератором при газифікації буровугільного пласта / [В.С.Фальштинський, Р.О. Дичковський, В.Г. Лозинський, П.Б. Саїк] // Зб. наук. праць НГУ. – Д.: НГУ, 2013. – № 42. – С. 114 – 124.

6. Саїк П.Б. Способи рекуперації тепла порід при підземній газифікації вугілля / [В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, М.М. Табаченко, П.Б. Саїк] // Гірнича електромеханіка і автоматика: наук.-техн. зб. – 2011. – № 86. – С. 184 – 190.

7. Саик П.Б. Когенерационная реализация газа скважинной газификации угольных пластов на традиционных энергоустановках / [Н.М. Табаченко, Е.Р. Дычковский, В.С. Фальштынский, П.Б. Саик] // Науковий вісник НГУ. – 2011. – № 3. – С. 34 – 41.

8. Saik P. Justification of the gasification channel length in underground gas generator / [V. Falshtynskiy, R. Dychkovskyy, V. Lozynskyy, P. Saik] // Mining of mineral deposits. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2013. – P. 125 – 132.

9. Saik P. New method for justification the technological parameters of coal gasification in the test setting / [V. Falshtynskiy, R. Dychkovskyy, V. Lozynskyy & P. Saik] // Geomechanical processes during underground mining. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2012. – P. 201 – 208.

10. Саїк П.Б. Аналіз сучасного стану і перспективи промислового застосування свердловинної підземної газифікації вугілля в Україні / [В.Г. Лозинський, П.Б. Саїк, О.В. Павленко, Д.О Кошка] // Школа підземної розробки: матеріали IV міжнар. наук.-практич. конф. – Д.: НГУ. – 2010. – С. 279 – 287.

11. Саїк П.Б. Економічна доцільність сумісного відпрацювання вугільних пластів способом свердловинної підземної газифікації / [Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський П.Б. Саїк, В.Г. Лозинський] // Школа підземної розробки: матеріали V міжнар. наук.-практич. конф. – Д.: НГУ. – 2011. – С. 403 – 411.

12. Saik P.B. Secondary Energy Products Utilization at Underground Coal Gasification / [V.S. Falshtynskyi, R.O. Dychkovskyi, M.M. Tabachenko, P.B. Saik] // Scientific Reports on Resource Issues. International University of Resources: Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg. – 2012. – Vol. 2. – P. 100 – 105.

13. Саїк П.Б. Особливості застосування технології свердловинної підземної газифікації при сумісній розробці свити вугільних пластів / [Р.О. Дичковський, В.С.Фальштинський П.Б. Саїк, В.Г. Лозинський] // Форум гірників: матеріали міжнар. конф. – Д.: НГУ, 2011. – С 73 – 78.

14. Саїк П.Б. Про деякі закономірності процесу газифікації вугільних пластів / [М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський, П.Б. Саїк] // Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання: матеріали III міжнар. конф. – Д.: НГУ, 2013. – С. 206 – 211.

15. Saik P.B. Determination of the technological parameters of borehole underground gasification for thin coal seams / [V.S. Falshtynskyi, R.O. Dychkovskyi, V.G. Lozynskyi, P.B. Saik] // Journal of sustainable mining. – 2013. – № 12. – P. 8 – 16.

16. Саик П.Б. Обоснование способов газификации угольных пластов / Н.М. Табаченко, Р.Е. Дычковский, В.С. Фальштынский [и др.] // Розробка родовищ: щорічн. наук.-техн. зб. – Д.: ЛізуновПрес, 2013. – С. 345 – 353.

17. Саїк П.Б. Інтенсифікація процесу свердловинної підземної газифікації вугілля малопотужних вугільних пластів / В.Г. Лозинський, П.Б. Саїк // Наукова весна: матеріали III Всеукраїнської наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених. – Д.: НГУ, 2012. – С. 39 – 40.

18. Saik P.B. Research an adaptation process of the system «rock and coal massif – underground gasgenerator» on stand setting / [V.S. Falshtynskyi, R.O Dychkovskyi, V.G, Lozynskyi, P.B Saik] // Szkola Eksploatacji podziemnej: Instytut Gospodarki Surowcami mineralnymi i energij Polskiej akademii nauk, 2012. – Str. 241 – 254.

19. Саїк П.Б. До питання створення замітника природного газу при свердловинній підземній газифікації вугілля / М.О. Іляшов Р.О. Дичковський, В.С.Фальштинський [та ін.] // Форум гірників: матеріали міжнар. конф. – Д.: НГУ, 2012. – С. 41 – 49.

20. Saik P. Some aspects of technological processes control of an in-situ gasifier during coal seam gasification / [V. Falshtynskyi, R. Dychkovskyy, P. Saik & V. Lozynskyy] // Progressive Technologies of coal, coalbed methane and ores mining. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2014. – P. 109 – 112.

21. Саїк П.Б. Особливості експлуатації геотехнологічних свердловин при підземній газифікації вугільних пластів / М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С.Фальштинський [та ін.] // Форум гірників: матеріали міжнар. конф. – Д.: НГУ, 2014. – С. 57 – 64.

Особистий внесок автора в роботи, опубліковані у співавторстві: полягає в наступному: [1] – участь у написанні другого розділу монографії, [2, 19] – участь у проведенні досліджень та узагальненні отриманих результатів, [5, 8, 15] – формування технологічних схем підземних газогенераторів, [6, 9, 12, 20] – участь у проведенні досліджень та розробка розрахункових схем підземної частини газогенератора, [7, 14] – дослідження особливостей збалансованості протікання фізико-хімічних реакцій процесу газифікації, [10, 17] – аналіз літературних джерел, опрацювання та систематизація даних з визначення пріоритетних напрямів розвитку технології підземної газифікації вугілля, [11] – аналіз економічної доцільності від впровадження результатів дослідження, [13, 16, 18, 21] – постановка завдання дослідження, обробка результатів досліджень. Зміст дисертації та автореферату автором викладено самостійно.

АНОТАЦІЯ

Саїк П.Б. Обґрунтування параметрів технології свердловинної підземної газифікації вугілля зі зближених пластів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин. – Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» МОН України, Дніпропетровськ, 2015.

У дисертаційній роботі на основі встановлених закономірностей зміни опускань міжпластових порід з урахуванням термохімічних процесів у підземному газогенераторі вирішена нова актуальна задача з обґрунтування параметрів технології свердловинної підземної газифікації вугілля на зближених пластах. Це є важливим науково-практичним результатом для ефективного відпрацювання вугільних запасів зі зближених пластів.

За результатами теоретичних і стендових експериментальних досліджень газифікації вугільних пластів, що знаходяться на різних горизонтах, встановлено коефіцієнт їх зближення $k_{зб.} \leq 5,5 - 5,7$, що впливає на вибір послідовності вигазовування вугільних пластів.

Встановлено, що відставання вогневого вибою підземного газогенератора по верхньому пласту визначається коефіцієнтом зближення вугільних пластів, який залежить від потужності міжпластових порід та потужності нижнього вугільного пласта. Урахування цієї залежності дає можливість забезпечити стійкий процес газифікації вугілля зі зближених вугільних пластів за рахунок уникнення дестабілізації зон протікання термохімічних реакцій у підземному газогенераторі.

Визначено умови збереження рівномірності посування вогневого вибою підземного газогенератора за шириною стовпа газифікації, що забезпечуються

часом його переходу на режим реверсу, який змінюється за експоненціальною залежністю.

Розроблено рекомендації щодо відпрацювання запасів вугілля зі зближених пластів технологією свердловинної підземної газифікації в умовах шахт «Зарічна» та «Червоноградська» ДП «Львіввугілля». Економічна оцінка підтверджує доцільність застосування технології свердловинної підземної газифікації запасів вугілля, що знаходяться в зближених пластах.

Ключові слова: підземна газифікація вугілля, зближені пласти, підземний газогенератор, вогневий вибій, генераторний газ.

АННОТАЦІЯ

Саик П.Б. Обоснование параметров технологии скважинной подземной газификации угля со сближенных пластов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Государственный ВУЗ «Национальный горный университет» МОН Украины, Днепрпетровск, 2015.

В диссертационной работе решена новая актуальная задача по установлению закономерностей изменения опусканий межпластовых пород с учетом термохимических процессов в подземном газогенераторе и обоснованию параметров технологии скважинной подземной газификации угля со сближенных пластов.

Одним из основных недостатков технологии скважинной подземной газификации угля является низкая производительность станций по газификации угля, решить который можно экстенсивным способом – увеличением количества одновременно работающих газогенераторов, которые располагаются на разных рабочих горизонтах и работают на одну систему газовыделения, переработки и использования генераторных газов и химических продуктов. Для газификации угольных пластов необходимо определиться с их положением в горном массиве, относятся ли данные пласты к сближенным, что существенно влияет на технологические параметры работы подземных газогенераторов.

По результатам теоретических и стендовых экспериментальных исследований газификации угольных пластов, находящихся на разных горизонтах, установлен коэффициент их сближения $k_{сб.} \leq 5,5 - 5,7$, что влияет на выбор последовательности выгазовывания угольных пластов.

Оптимальная скорость подвигания подземного газогенератора по длине огневого забоя прямо пропорционально зависит от мощности угольного пласта и сбалансированности окислительной (27 – 32%) и восстановительной (73 – 68%) зон химических реакций. Это позволяет прогнозировать время эффективной работы подземного газогенератора по длине столба газификации. Обеспечение оптимальной скорости подвигания огневого забоя возможно путем подачи необходимого количества дутьевой смеси в подземный газогенератор, что приводит к процессу полного сгорания угля в окислительной зоне по длине и ширине огневого забоя.

Установлено, что отставание огневого забоя подземного газогенератора по верхнему пласту определяется коэффициентом сближения угольных пластов. Данный коэффициент зависит от мощности межпластовых пород и нижнего пласта. Это дает возможность обеспечить устойчивый процесс газификации угля, не допуская дестабилизации зон протекания термохимических реакций в подземном газогенераторе.

Определены условия сохранения равномерности подвигания огневого забоя подземного газогенератора по ширине столба газификации, обеспечиваются время его перехода на режим реверса, который изменяется по экспоненциальной зависимости. Установлено, что время перехода подземного газогенератора на режим реверса при воздушном дутье на пластах мощностью 0,6 м происходит в 1,8 раза быстрее, чем на пластах мощностью 1,2 м. Средняя теплота сгорания генераторного газа при этом увеличивается на 54 – 61 % и составляет 6,4 – 6,7 МДж/м³.

Приведены уравнения для определения длины эксплуатационных скважин от общего количества сближенных угольных пластов, что находятся в одновременной разработке.

Разработаны рекомендации по отработке запасов угля со сближенных пластов технологией скважинной подземной газификации в условиях шахт «Заречная» и «Червоноградская» ГП «Львовуголь». Экономическая оценка, от реализованной энергии и химических продуктов из генераторного газа подтверждает целесообразность применения технологии скважинной подземной газификации запасов угля, что находятся в сближенных пластах.

Ключевые слова: подземная газификация угля, сближены пласты, подземный газогенератор, огневого забой, генераторный газ.

ABSTRACT

Saik P.B. Substantiation the parameters of borehole underground coal gasification technology with contiguous seams. – Manuscript.

Candidate of technical sciences' dissertation on specialty 05.15.02 – “Underground mining of mineral deposits”. – SHEI “National Mining University”, Dnipropetrovsk, 2015.

In the thesis based on established dependences of changes of rock subsidence with account thermochemical processes in the underground gasifier is solved a new problem with relevant to study parameters of borehole technology for underground coal gasification of adjacent layers. This is an important scientific and practical result for the effective working of coal reserves from the contiguous seams.

According to theoretical and experimental investigation of coal seams gasification that are located in different horizons are set their rates of convergence $k_{con} \leq 5,5 - 5,7$, influencing the choice of coal seams sequence.

It is established that combustion face delay of underground gasifier along the upper seam is determined with convergence coefficient of coal seams, which depends on rock thickness and thickness of lower coal seam. Considering of this dependence makes it possible to ensure stable coal gasification process with contiguous coal seams

by avoiding destabilizing flow zones of thermochemical reactions in underground gasifier.

The terms of preserving the uniformity advance of underground gasifier with width of gasification column provided by the time of its transition to the reverse mode, which varies according to the exponential dependence are determined.

Based on conducted researches the recommendations for coal gasification with contiguous coal seam in the mine “Zarichna” and “Chervonogradska” SE “Lvivugillya” are developed. Economic evaluation confirms the feasibility of borehole technology of underground gasification of coal reserves which are located in contiguous seams.

Keywords: underground coal gasification, contiguous seams, underground gasifier, combustible face, generator gas.

Саїк Павло Богданович

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ
СВЕРДЛОВИННОЇ ПІДЗЕМНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЛЯ
ЗІ ЗБЛИЖЕНИХ ПЛАСТІВ**

(Автореферат)

Підписано до друку 22.05.15. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 прим. Зам. №367

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19