

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

ЗАЄВ ВІКТОР ВІКТОРОВИЧ

УДК 622.278:622.222

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВІДВІДНИХ
СВЕРДЛОВИН ПРИ ПІДЗЕМНІЙ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЬНИХ 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 будівельних геотехнологій Донбаського державного технічного університету Міністерства освіти і науки України (м. Лисичанськ).

Науковий керівник:

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**

Офіційні опоненти:

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**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу вібропневмотранспортних систем та комплексів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ).

**РЯБЦЕВ
Олег
Вікторович**

Захист відбудеться «2» липня 2015 року о 11⁰⁰ 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 ознайомитися у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий «30» травня 2015 р.

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

М.В. Петльований

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Погіршення гірничо-геологічних умов підземної розробки вугілля (малопотужні пласти, великі глибини розробки, підвищений гірський тиск, небезпечні газодинамічні явища) обмежує обсяги видобутку, збільшує собівартість вугілля та показники травматизму гірників. Значна частина запасів вугілля належить до категорії забалансових, що виключає їх економічно доцільну розробку традиційними технологіями. У цих умовах значну перспективу отримує оптимізація розробки вугільних родовищ із залученням різноманітних технологій, у тому числі шляхом підземної термохімічної переробки вугільних пластів.

Останнім часом досягнуто значних успіхів у розвитку технології підземної газифікації вугілля (ПГВ): теплота згоряння генераторного газу доведена до 10 – 12 МДж; освоєно технології спрямованого буріння свердловин по гірських породах і вугільному пласту; закладки виробленого простору газогенератора; розроблено ефективне обладнання контролю; знижено ризик екологічних проблем; розширено спектр комплексного використання продуктів газифікації; створено когенераційні системи отримання енергії за ПГВ, що відкриває перспективи промислового освоєння технології.

Проте втрати теплової енергії в надрах залишаються значними (30 – 50%), що істотно знижує загальну ефективність ПГВ. Одночасно це свідчить про значний потенціал підвищення її конкурентоспроможності в разі продуктивного використання теплової енергії підземного газогенератора (ПГГ).

У зв'язку з цим утилізація теплової енергії ПГВ за допомогою тепловідвідних свердловин, що використовують рідинний теплоносій (перегріту воду), та обґрунтування їх технологічних параметрів є актуальною новою задачею, яка має важливе наукове й практичне значення для розвитку технологій підземної термохімічної переробки вугільних пластів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі будівельних геотехнологій Донбаського державного технічного університету відповідно до плану держбюджетних НДР Міністерства освіти і науки України в межах теми № 196 ДБ (№ ДР 0111U01746) «Розробка технологічних основ паливно-енергетичної системи для утилізації енергії підземного спалювання вугільних пластів», у якій автор брав участь як виконавець. Дисертаційна робота відповідає Стратегії розвитку вугільної промисловості України та Енергетичній програмі розвитку України до 2030 року.

Мета й завдання досліджень - обґрунтування технологічних параметрів тепловідвідних свердловин для утилізації теплової енергії підземного газогенератора й підвищення загальної ефективності технології підземної газифікації вугільних пластів.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовано й виконано наступні завдання досліджень:

1. Проведено моделювання теплового поля підземного газогенератора й визначено закономірності розподілу температур у виробленому (вигазованому) просторі.

2. Визначено розмір зони продуктивного теплообміну залежно від потужності пласта, температури вогневого вибою, стадії роботи підземного газогенератора, відстані від вогневого вибою до породного завалу.

3. Проведено стендові випробування трубного поставу під навантаженням від завалених порід покрівлі та оцінено надійність його експлуатації.

4. Розроблено способи утилізації теплової енергії підземного газогенератора з використанням тепловідвідних свердловин.

5. Обґрунтовано технологічні параметри тепловідвідних свердловин, які використовують рідинний теплоносій.

Ідея роботи полягає у використанні закономірностей розподілу температурного поля в підземному газогенераторі для обґрунтування технологічних параметрів тепловідвідних свердловин з циркулюючим рідинним теплоносієм.

Об'єктом досліджень є фізико-технологічні процеси, які відбуваються в підземному газогенераторі.

Предметом досліджень є технологічні параметри тепловідвідних свердловин з циркулюючим рідинним теплоносієм для утилізації теплової енергії процесу ПГВ.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань було використано комплексний метод досліджень, що містить узагальнення та аналіз літературних і патентних джерел; моделювання розподілу теплового поля підземного газогенератора методом електрогідродинамічних аналогій (ЕГДА) й методом скінченних елементів (МСЕ); стендові випробування деформування трубного поставу від обвалених порід покрівлі; дослідження процесів теплообміну на фізичній моделі; аналітичні дослідження технологічних параметрів тепловідвідних свердловин.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Температура у виробленому просторі підземного газогенератора експоненціально знижується по мірі віддалення від вогневого вибою, а високотемпературна зона ($T \geq 300$ °С) має розміри від 3,9 до 8,4 м, що дозволяє визначити фактичний розмір ділянки продуктивного теплообміну й розрахувати раціональні параметри подавання теплоносія.

2. Раціональна відстань між тепловідвідними свердловинами уздовж вогневого вибою залежить від середньої температури виробленого простору підземного газогенератора й змінюється для діапазону температур 200 – 800 °С за гіперболічним законом та становить відповідно від 5 до 20 м, що дозволяє визначити кількість тепловідвідних свердловин у вугільному блоці заданого розміру та обґрунтувати їх техніко-економічні показники.

Наукова новизна одержаних результатів:

- уперше встановлено закономірності розподілу температури у виробленому просторі підземного газогенератора, з яких випливає, що зона продуктивного теплообміну має розмір до 8,4 м, причому найбільший вплив на розмір високотемпературної зони чинить температура вогневого вибою, а найменший - потужність вугільного пласта;

- уточнено механізм й отримано рівняння регресії процесу теплообміну рідинного теплоносія, що циркулює в трубних ставах тепловідвідних свердловин і високотемпературного виробленого простору підземного газогенератора;

- уперше встановлено гіперболічний характер залежності між температурою вигазованого простору підземного газогенератора й відстанню між тепловідвідними свердловинами;

- уперше досліджено вплив товщини зольного шару на перерозподіл навантаження від обвалених порід покрівлі та встановлено, що несуча здатність трубного ставу багаторазово зростає вже за наявності шару золи, що на 3 ... 5 см перевищує його діаметр, а збільшення товщини шару ще на 10 см подвоює здатність трубної конструкції нести навантаження.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей розподілу теплового поля у виробленому просторі підземного генератора в залежності від потужності пласта, температури вогневого вибою, стадії роботи підземного газогенератора, відстані від вогневого вибою до породного завалу на основі яких обґрунтовані раціональні параметри утилізації теплової енергії за технологією СПГВ.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- розроблено способи свердловинної утилізації теплової енергії ПГВ для пологих (горизонтальних) і похилих пластів (захищені патентами України), які ефективно поєднуються з традиційною технологією підземної газифікації вугілля та підвищують її рентабельність за рахунок продуктивного використання теплової енергії підземного газогенератора;

- запропоновано новий спосіб газифікації тонких і надто тонких пластів (захищений патентом України), у якому фронт горіння формують у свердловині вздовж трубного поставу, а функції продуктивної й тепловідвідної свердловини поєднують в одній, що забезпечує швидке введення в роботу підземного газогенератора й створює можливість формування високотемпературної зони великих розмірів, значно збільшуючи продуктивність теплообміну;

- розроблено стенд і методику випробувань трубного поставу за навантаження обваленими породами покрівлі вигазованого пласта, що дозволяє врахувати вплив захисного шару золи;

- обґрунтовано раціональні технологічні параметри тепловідвідних свердловин: довжина ділянки продуктивного теплообміну, діаметр трубного поставу й нагнітального рукава, витрати теплоносія, відстань між тепловідвідними свердловинами; теплова потужність свердловини.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій роботи забезпечується використанням апробованих методів аналітичних й експериментальних досліджень, задовільною збіжністю результатів моделювання методом ЕГДА й методом скінченних елементів, а також аналітичних та експериментальних досліджень (розбіжність не перевищує 18 %).

Реалізація результатів роботи. Основні положення роботи використано під час упровадження в проектну практику розроблених способів підземної газифікації вугілля для ЕТК «КазСланець» (родовище «Білокаменське», Східний Казахстан), а також у «Рекомендаціях щодо використання теплової енергії підземної термохімічної переробки вугільних пластів», які прийняті для використання в проектній практиці ПАТ «Луганськдіпрошахт» м. Лисичанськ. Очікуваний економічний ефект від впровадження, за умов відпрацювання одного енергетичного блоку складає 8 млн. грн. або 364 тис. грн. на кожну тепловідвідну свердловину у блоці.

Результати досліджень використовуються також у навчальному процесі для підготовки бакалаврів напряму «Гірництво». Результати проведення лабораторних досліджень були використані під час підготовки магістерських робіт.

Особистий внесок здобувача полягає в постановці мети й завдань досліджень; розробці методик і проведенні лабораторних експериментів, конструюванні й виготовленні випробувального стенду; моделюванні параметрів теплового поля підземного газогенератора методами ЕГДА й МСЕ; підборі й аналізі програмного комплексу для розв'язання задач теплопровідності; розробці нових способів утилізації теплової енергії за допомогою тепловідвідних свердловин; розрахунку технологічних параметрів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи повідомлено, обговорено й схвалено на міжнародних конференціях «Школа підземної експлуатації» (м. Краків, 2011 р.), «Школа підземної розробки» (м. Ялта, 2011 р.), «Форум гірників» (м. Дніпропетровськ, 2010, 2011 рр.), форумі - конкурсі молодих учених «Проблеми надрокористування» (м. Санкт-Петербург, 2008, 2012 рр.), на науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Вдосконалення технології будівництва шахт і підземних споруд» (м. Донецьк, 2007, 2009, 2011 рр.), на наукових семінарах кафедри будівельних геотехнологій ДонДТУ (2007 – 2013 рр.), об'єднаному науковому семінарі кафедр РРКК і БГ ДонДТУ (2012, 2014 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 16 наукових робіт, з яких: 1 монографія, 6 у провідних спеціалізованих виданнях з переліку МОН України, у тому числі 1 у виданнях з високим рівнем цитування, 6 у збірниках науково-практичних конференцій, 3 патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація викладена на 142 сторінках машинописного тексту й складається із вступу, 5 розділів і висновків, містить 70 рисунків, 11 таблиць, список літературних джерел із 143 найменувань на 15 сторінках і 10 додатків на 84 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 241 сторінка.

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 містить огляд стану питання, який показав, що сучасний рівень науково-технічного прогресу дав новий поштовх для розвитку технології підземної газифікації вугілля, відкриваючи можливість переходу науково-дослідних робіт на рівень промислового впровадження. Це стало можливим завдяки використанню цілої низки технічних новацій: спрямоване буріння свердловин в гірських породах і вугільному пласту; комбінування подавання окиснювача (пароповітряне, парокисневе дуття); кероване переміщення точки дуття уздовж

робочої ділянки свердловини; реверсивні технології в нових типах підземних газогенераторів; закладання вигазованого простору; розвиток технології для малих (до 500 м) і великих (понад 1000 м) глибин. Важливим досягненням технологій останніх років є збільшення теплотворної здатності генераторного газу до 10 – 12 МДж / м³, а також комплексне використання продуктів газифікації вугілля й когенераційних способів отримання енергії, що істотно підвищило конкурентоспроможність технології ПГВ. У теперішній час у світі експлуатується близько 20 станцій ПГВ, розроблено більше 50 проектів нових станцій, що свідчить про значний інтерес до технології ПГВ в умовах постійного зростання цін на традиційні енергоносії.

Досягнення останніх десятиріч у розвитку технології ПГВ були отримані завдяки значному внеску вітчизняних і зарубіжних учених: Аренса В.Ж., Бондаренка В.І., Гончарова Є.В., Дичковського Р.О., Колоколова О.В., Крейніна Є.В., Рубана А.Д., Табаченка М.М., Фальштинського В.С., Янка С.В., а також наукових підрозділів компаній «Linc Energy» (Австралія), «Ergo Energy» (Канада), «Carbon County» (США), «Xinwen Coal Industry Group» (Китай) та ін.

Незважаючи на досягнуті останнім часом успіхи в розвитку технології ПГВ, проблема значних втрат теплової енергії в процесі газифікації пласта залишається не вирішеною. Як показують дослідження, у надрах втрачається від 30 до 50 % теплової енергії. Її утилізація дозволить істотно (на 15 – 25 %) підвищити загальну рентабельність і конкурентоспроможність технології ПГВ.

Питання утилізації теплової енергії підземного газогенератора досліджувалися Абрамкіним М.І., Бурчаковим А.С., Гайком Г.І., Глузбергом Є.І., Дядькіним Ю.Д., Колоколовим О.В., Прокопенком С.А., Ржевським В.В., Селівановим Г.І., Табаченком М.М. та ін. Найбільш широке застосування отримали способи утилізації тепла генераторного газу за допомогою різних теплообмінників. Однак ці способи не змінюють ситуацію в самому підземному газогенераторі й не перешкоджають втратам значної частини тепла, що йде на даремний розігрів порід.

Необхідно окремо згадати технологію підземного спалювання вугілля (ПСВ), спрямовану на отримання теплової енергії, розроблену низкою вчених під керівництвом академіка В.В. Ржевського. Однак, середня величина коефіцієнта вилучення фізичного тепла під час ПСВ сягала лише 14 %. У цьому зв'язку було розроблено способи утилізації теплової енергії підземного газогенератора за допомогою пари, яку використовували як теплоносії. Керування процесами утилізації тепла не отримало ефективних рішень і не забезпечило можливості генерації електроенергії, оскільки енергетичні характеристики отриманого теплоносія були надто нестабільні.

Значних перспектив набула розроблена в НГУ технологія, що забезпечує спільне виробництво електричної, механічної й теплової енергії на базі свердловинної підземної газифікації вугільних пластів, реалізуючи тим самим принцип когенерації енергоносіїв за ПГВ. Нові можливості такого підходу відкрилися завдяки розробці гідропарових турбін, що забезпечують високий коефіцієнт корисної дії (ККД) за температури теплоносія 150 – 250 °С.

У ДонДТУ було розроблено шахтний спосіб підземної газифікації вугілля, який припускав газифікацію підготовлених блоків вугільного пласта з одночасною

утилізацією теплових втрат за допомогою трубного колектора в підшві вугільного пласта, по якому циркулює перегріта вода. Подібне рішення було запропоноване в НГУ для відпрацювання шахтних вугільних ціликів, відмінністю якого є використання двокомпонентного теплоносія з більш низькою межею кипіння. Слід зауважити, що способи вилучення теплової енергії підземного газогенератора в умовах шахт відрізняються великою технічною складністю монтажних робіт і високою вартістю, а обсяги застосування в умовах ліквідації шахт або відпрацювання ціликів - надто обмежені.

У цьому зв'язку досить перспективним є розвиток свердловинних способів утилізації теплової енергії підземного газогенератора з використанням тепловідвідних свердловин та рідинного теплоносія (перегрітої води), що може забезпечити стабільні, надійно контрольовані характеристики паливно-енергетичної системи для виробництва дешевої електроенергії додатково до продуктів ПГВ.

У другому розділі подано експериментальні дослідження розподілу температурного поля в підземному газогенераторі, що проведені з метою визначення впливу основних гірничо-геологічних чинників, на розмір ділянки продуктивного теплообміну.

Для вирішення проблеми вилучення й подальшої утилізації теплової енергії ПГВ запропоновано концепцію, згідно з якою тепловідвідна свердловина розташовується в підшві пласта, що відпрацьовується, і оснащується герметичним трубним ставом, в якому рухається рідинний теплоносій. Основною технологічною характеристикою тепловідвідних свердловин є розмір ділянки продуктивного теплообміну, який визначається довжиною високотемпературної зони ($T \geq 300^\circ\text{C}$) поблизу вогневого вибою, де відбувається основний теплообмін (рис. 1).

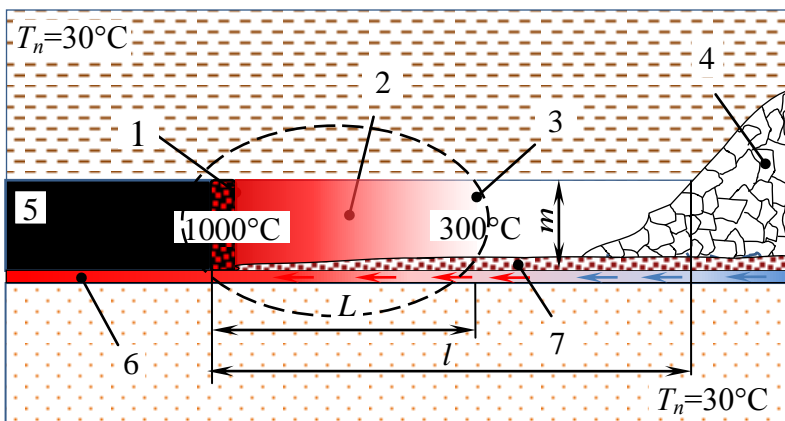


Рисунок 1 – Схема підземного газогенератора з тепловідвідною свердловиною: 1 – вогневий вибій; 2 – високо-температурна зона; 3 – газогенератор; 4 – обвалені породи; 5 – пласт вугілля; 6 – тепловідвідна свердловина, обладнана трубним ставом; 7 – шар золи.

обвалення порід (l) віднесена до потужності вугільного пласта (m), яка виражається відношенням:

Показник нижньої межі ділянки продуктивного теплообміну, що відповідає температурі 300°C , зумовлений параметрами необхідної температури теплоносія ($150 - 250^\circ\text{C}$), який використовується на гідропарових турбінах для виробництва електроенергії (з урахуванням можливих теплових втрат за його транспортування).

Для виконання поставленого завдання використовувався метод ЕГДА на електропровідному папері. Для зручності й наочності відображення отриманих результатів використовувалась наведена відстань r (відстань від вогневого вибою до зони

$$r = x / m \quad (1)$$

де x – відстань від вогневого вибою до зони, у якій проводиться визначення температури, м ($0 \leq x \leq l$); m – потужність вугільного пласта, м.

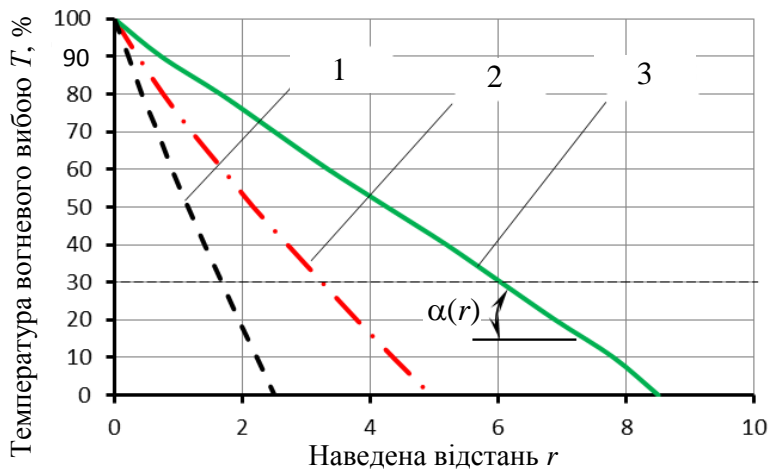


Рисунок 2 – Визначення високотемпературної зони в залежності від наведеної відстані r : 1 – $r = 2,5$; 2 – $r = 5,0$; 3 – $r = 8,5$.

Отримані відстані характеризують довжину ділянки, на якій буде здійснюватися відбір тепла. Проведене моделювання показало, що чим більше відношення r , тим менш різко відбувається падіння температури, а розмір цього показника змінюється за градієнту $\alpha(r)$.

Моделювання на електропровідному папері не дозволило повною мірою врахувати фактичну теплопровідність середовища вигазований простір - породний масив. Тому, для уточнення отриманих результатів було проведено моделювання МСЕ із застосуванням програмного комплексу ELCUT[®] 5.8.

Під час моделювання розмірів високотемпературної зони ($T \geq 300$ °С) було враховано такі чинники: температура вогневого вибою пласта T_H (змінювалася в межах від 1000 до 1500 °С); потужність пласта m (від 0,5 до 3 м); ширина вигазованої зони l , тобто відстань від вогневого вибою до заваленої покрівлі пласта (від 5 до 10 м); температурний режим газогенератора в початковій стадії роботи ($T_K = 30$ °С) і в сталій стадії роботи газогенератора ($T_K = 200$ °С); а також фактична теплопровідність вугілля, вміщувальних порід, газоповітряного середовища.

Усього було розглянуто 28 моделей, для яких було виконано розрахунки розподілу температури за різних комбінацій впливових чинників. На рис. 3 представлені результати проведених досліджень з визначення розміру високотемпературної зони.

Як видно із графіків (рис. 3а), потужність вугільного пласта має незначний вплив на розмір високотемпературної зони. Так збільшення потужності пласта від 0,5 до 3 м збільшує розмір високотемпературної зони ($T \geq 300$ °С) усього на 9 – 13 % (приблизно в 1,1 рази). Таким чином, у розглянутому діапазоні зміни потужності

У ході досліджень моделювалися три, характерні для умов вугільних басейнів України, випадки співвідношення r , їх значення становили $r = 2,5$; 5,0 та 8,5. Отримані залежності відображені на (рис. 2).

Узявши за базові параметри температуру вогневого вибою, що дорівнює 1000 °С і потужність вугільного пласта $m = 1,0$ м, можна зробити висновок, що при відношенні $r = 2,5$ високотемпературна зона ($T \geq 300$ °С) поширюється на відстані $L = 1,7$ м від вогневого вибою, для $r = 5$ відповідно на $L = 3,2$ м і для $r = 8,5$ - на $L = 6$ м.

пластів, найбільш характерному для умов вугільних родовищ України, вплив цього чинника є незначним. Це пояснюється тим, що зі збільшенням потужності пласта відбувається пропорційне збільшення об'єму газогенератора, підвищується концентрація тепла поблизу вогневого вибою (за рахунок висоти вигазованого простору), зростає передавання тепла стосовно вертикалі (вміщувальним породами). Дещо більшого значення потужність пласта набуває безпосередньо в зоні вогневого вибою. Наприклад, рівень температури в $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ за потужності вугільного пласта $m = 0,5\text{ м}$ спостерігається на віддаленні $0,6\text{ м}$, а при $m = 3,0\text{ м}$ – на відстані $1,5\text{ м}$.

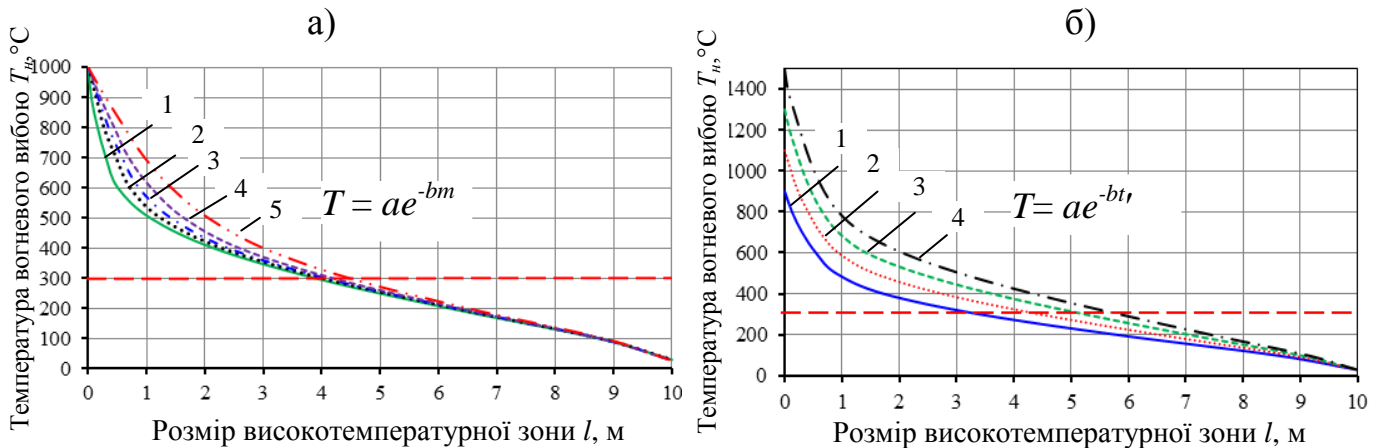


Рисунок 3 – Визначення розміру високотемпературної зони при впливі потужності вугільного пласта (а): 1 – $0,5\text{ м}$; 2 – $1,0\text{ м}$; 3 – $1,5\text{ м}$; 4 – $2,0\text{ м}$; 5 – $3,0\text{ м}$, та впливі температури вогневого вибою (б): 1 – $900\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Як видно із графіків (рис. 3б), зміна температури горіння вугільного пласта T_H від 900 до $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ призводить до збільшення розміру високотемпературної зони ($T \geq 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) від $3,3$ до $5,8\text{ м}$, тобто в $1,75$ рази. Однак характер зміни температури з наближенням до вогневого вибою змінюється. Так рівень температури $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ спостерігається на відстані від вибою при $T_H = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ на відстані $0,55\text{ м}$, а при $T_H = 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ на відстані $2,1\text{ м}$, тобто розмір зони змінився в 4 рази. Таким чином, у безпосередній близькості до вогневого вибою (від 1 до 2 м) вплив температури значно вищий (у $3 - 4$ рази), ніж за віддалення від вогневого вибою, що підтверджує спадний характер кривих на ділянці поблизу вогневого вибою.

Істотне збільшення розмірів високотемпературної зони досягається в умовах сталої стадії роботи підземного газогенератора, коли вогневий вибій просунувся на декілька десятків метрів і вміщувальні породи розігрілися до температур близько $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Дослідження показали, що розмір високотемпературної зони зростає в $1,6 - 2$ рази за сталої стадії роботи підземного газогенератора. За потужності вугільного пласта $m = 1,0\text{ м}$ розмір високотемпературної зони збільшується з 5 м (початкова стадія) до 8 м (стабільна стадія), при $m = 2,0\text{ м}$ з $5,3$ до $8,1\text{ м}$, при $m = 3,0\text{ м}$ з $5,7\text{ м}$ до $8,2\text{ м}$. Аналогічні залежності простежуються й для інших потужностей вугільних пластів. Тому на більшій частині підземного газогенератора розмір

високотемпературної зони в умовах сталої стадії роботи буде в межах 7,6 - 8,4 м.

Ширина вигазованого простору (відстань від вогневого вибою до породного завалу) так само суттєво впливає на величину високотемпературної зони. Так, за ширини вигазованої зони $l = 5$ м (умови середнього метаморфізму) ширина високотемпературного поля становила близько 2,5 м, а за ширини вигазованого простору $l = 10$ м (умови високого метаморфізму) його розмір становив 4,7 м. Це може пояснюватися збільшенням площі контакту розпечених генераторних газів із вміщувальними породами ПГГ.

Слід зазначити, що на розмір високотемпературної зони має найбільший вплив чинник температури вогневого вибою вугільного пласта. У цьому випадку розмір високотемпературної зони ($T \geq 300$ °С) становить від $L = 3,5 - 6$ м, а найменший вплив має потужність вугільного пласта, у цьому випадку розмір високотемпературної зони становить до $L = 4 - 4,5$ м, що відкриває можливість ефективного застосування запропонованої концепції використання тепловідвідних свердловин за ПГВ для умов тонких і надто тонких пластів.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що температура у виробленому просторі підземного газогенератора експоненціально знижується в міру віддалення від вогневого вибою, а високотемпературна зона ($T \geq 300$ °С) має розміри від 3,9 до 8,4 м, що дозволяє визначити фактичний розмір ділянки продуктивного теплообміну й розрахувати раціональні параметри подавання теплоносія.

Для оцінювання впливу температури зони нагріву й витрат теплоносія на працездатність тепловідвідних свердловин за утилізації теплової енергії було проведено фізичне моделювання процесу теплообміну. Стенд складався з трубного ставу, мережі подавання теплоносія, мірної колби, нагрівального модуля з датчиками температур і термометрів для води на вході та виході з трубного ставу.

У результаті повного двочинникового експерименту (з урахуванням взаємовпливу чинників) було отримано рівняння регресії, яке досить точно описує процес теплообміну:

$$\Delta t = 7.58 - 4.25Q + 4.75T_{з.н} - 3.58QT_{з.н}, \quad (2)$$

де Δt – зміна температури теплоносія на виході; Q – об'єм теплоносія; $T_{з.н}$ – температура зони нагрівання.

Фізичне моделювання процесу теплообміну довело практичну здійсненність запропонованого способу утилізації теплової енергії ПГВ й дозволило оцінити ступінь впливу основних чинників, що впливають (температура та об'єм теплоносія залежно від розміру ділянки теплообміну й характеристик теплового поля).

У третьому розділі подано результати стендових випробувань трубного колектора підземного газогенератора в умовах обвалення порід покрівлі, при цьому розглядалися випадки передавання тиску безпосередньо на трубні стави і через шар золи різної товщини.

Для вимірювання деформацій трубного ставу було розроблено тензорезисторні індикатори переміщень. Додатково трубний став оснащувався тензорезисторами, які розміщувались вздовж головних осей поперечного перерізу. Зсув шару золи фіксувався прогиноміром Аїстова (6ПАО), а тиск на штамп шкалою

преса ВПС - 500 і проміжним зразковим динамометром ДС - 5. Для реєстрування сигналів від тензорезисторів, використовувалася тензометрична вимірювальна система СІВТ - 3.

Результати стендових випробувань наведено на рис. 4. Аналіз деформації трубного ставу показує, що за збільшення товщини шару золи Δz пропорційно знижуються деформації трубного ставу. Так, за зростання товщини зольного шару у 2,5 рази, деформації зменшилися у 4 – 6,5 рази. Якщо порівнювати випадки деформації трубного ставу з наявністю золи й без неї видно стрибкоподібне зниження несучої здатності ставу в другому випадку (у 10 і більше разів).

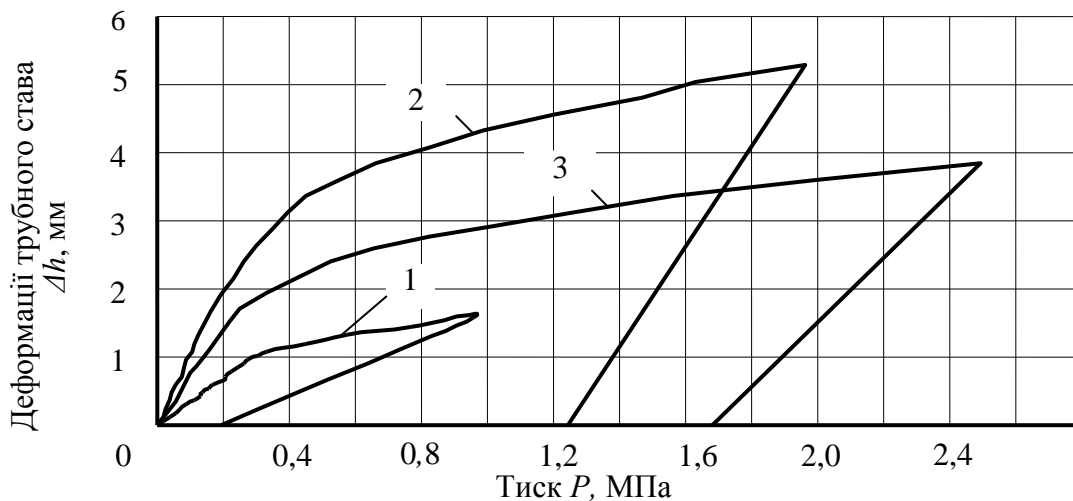


Рисунок 4 – Залежність деформації трубного ставу від тиску та товщини зольного шару: 1 – при $\Delta z = 90$ мм; 2 – при $\Delta z = 150$ мм; 3 – при $\Delta z = 225$ мм.

Таким чином, утворений у процесі термохімічного відпрацювання вугільного пласта шар золи здатний надійно захистити від тиску обвалених порід покрівлі трубні стави, що розміщені в підшві пласта. Несуча здатність трубного ставу багаторазово зростає вже за наявності шару золи, який на 3 - 5 см перевищує його діаметр, причому збільшення товщини шару ще на 10 см знижує майже у 2 рази навантаження на трубний став.

У четвертому розділі наведено розрахунок основних технологічних параметрів тепловідвідних свердловин. В аналітичних дослідженнях використовували отримані методом скінченних елементів розміри високотемпературної зони. Для ділянки продуктивного теплообміну довжиною 6 м встановлено, що раціональний діаметр трубних ставів може становити 150 мм, витрата теплоносія – $10 \text{ м}^3 / \text{годину}$, швидкість руху перегрітої води - $0,28 \text{ м/с}$, тепла потужність свердловини – $630 \cdot 10^6 \text{ МДж}$, допустима відстань між свердловинами $L_C = 14 \text{ м}$. Останній, надто важливий параметр, визначався з отриманої залежності:

$$L_C = 4PQ_{Bm} / (T_1 - T_2)\pi C, \text{ м} \quad (3)$$

де Q_B – теплота згоряння вугілля, МДж / кг; C – середня питома теплоємність порід навколо свердловини, Дж/(кг · К); P – непродуктивні втрати тепла, які ми можемо

утилізувати (10 – 30 %); m – потужність пласта, м; T_1 – середня температура в просторі газогенератора, °С; T_2 – температура води, що подається в тепловідвідну свердловину, °С.

Виходячи з отриманої залежності, раціональна відстань між тепловідвідними свердловинами L_C уздовж вогневого вибою залежить від середньої температури виробленого простору підземного газогенератора й змінюється за гіперболічним законом, та для діапазону температур 200 – 800 °С вона змінюється від 5 до 20 м, що дозволяє визначити кількість тепловідвідних свердловин у вугільному блоці заданого розміру й обґрунтувати економічні показники.

У **п'ятому розділі**, на підставі раніше проведених досліджень, розроблено способи утилізації теплової енергії під час підземної термохімічної переробки вугілля на місці його залягання й обґрунтовано їх економічну ефективність.

Способи розроблено для різних гірничо-геологічних умов: полого й похиле залягання пластів, а також для надто тонких вугільних пластів (рис. 5).

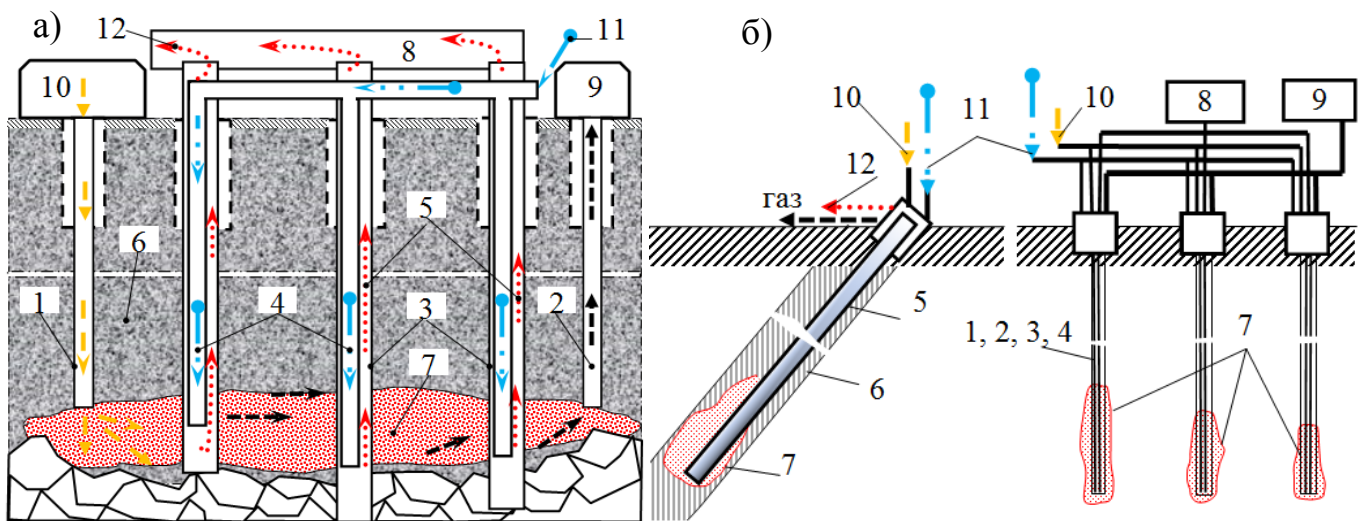


Рисунок 5 – Схема утилізації теплової енергії за підземної газифікації похилих пластів для середніх і тонких пластів (а) та для надтонких пластів (б): 1, 2 – повітроподавальні й продуктивні свердловини; 3 – тепловідвідні свердловини; 4 – подавальний рукав; 5 – трубний став; 6 – вугільний пласт; 7 – зона горіння пласта; 8 – гідропарові турбіни; 9 – газові турбіни; 10 – окиснювач; 11 – холодна вода; 12 – перегріта вода.

Для всіх трьох випадків як теплоносій, що відбирає тепло в зоні горіння пласта, було взято перегріту воду, що циркулює в герметичних трубних ставах, розташованих у підшві пласта. У розроблених способах уперше об'єднано свердловинну технологію утилізації теплової енергії за ПГВ й генерацію електроенергії на гідропарових турбінах.

Дослідження показали, що розроблені способи раціонально використовувати за підземної газифікації вугільних пластів у діапазоні їх потужності від 0,5 до 3 м, розмір вугільного блоку за простяганням та падінням до 400 м, кут залягання

пластів не обмежений, зольність пластів – до 45%.

Для оцінювання економічної ефективності використання тепловідвідних свердловин за ПГВ в гірничо-геологічних умовах вугільних родовищ України було взято наступні параметри ПГГ: потужність вугільного пласта – 1 м; щільність вугілля – $1,4 \text{ т/м}^3$; нижча теплота згоряння – 30 МДж / кг; розміри блока за падінням пласта – 200 м, за простяганням – 300 м.

Сумарна тепла енергія, отримана під час згорання вугілля в блоці, становила $2520 \cdot 10^6$ МДж. Кількість тепла, відібраного тепловідвідними свердловинами взята мінімальною й відповідала 20% від теплових втрат ПГГ. Кількість отриманої електричної енергії – $28 \cdot 10^6$ кВт · год. Отриманий економічний ефект з урахуванням вартості спорудження одного енергетичного блока і трубного обладнання становитиме 8 млн. грн. або 364 тис. грн. на кожній свердловині. Питомий економічний ефект на одну тону вугілля, що газифікується, становитиме близько 100 грн. Термін окупності проекту становитиме 7 місяців.

Економічна ефективність за повторного використання електрогенерувального обладнання на новому блоці становитиме до 15 млн. грн. Наявні вугільні родовища України дозволяють відпрацьовувати технологією ПГВ щонайменш 10 – 12 енергетичних блоків. При цьому очікуваний економічний ефект може становити 120 – 150 млн. грн. додатково до доходів від вартості отриманого генераторного газу. Результати роботи використано під час впровадження в проектну практику розроблених способів підземної газифікації вугілля для ЕТК «КазСланець», а також у «Рекомендаціях щодо використання теплової енергії підземної термохімічної переробки вугільних пластів», які прийняті для використання в проектній практиці ПАТ «Луганськдіпрошахт».

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених залежностей розподілу високотемпературного поля у виробленому просторі підземного газогенератора в залежності від потужності пласта, температури вогневого вибою, стадії роботи підземного газогенератора, відстані від вогневого вибою до породного завалу розв'язано актуальну нову наукову задачу, яка полягає в обґрунтованні раціональних технологічних параметрів тепловідвідних свердловин для утилізації теплової енергії за технологією СПГВ.

Основні наукові та практичні результати роботи:

1. Виявлено значні резерви підвищення рентабельності технології підземної газифікації вугілля шляхом зниження втрат теплової енергії в підземному газогенераторі, які становлять до 30 – 50 % і можуть бути вилучені та утилізовані за допомогою свердловинних технологій.

2. Запропоновано аналогову модель процесу розподілу температур у вигазованому просторі підземного газогенератора. Дослідженнями температурного поля підземного газогенератора методом електрогідродинамічних аналогій встановлено, що чим більше відстань від вогневого вибою до зони обвалення порід по відношенню до потужності вугільного пласта, тим менш різко відбувається падіння температури. Отримані залежності свідчать, що збільшення потужності

пласта веде до зростання втрат теплової енергії, яка більшою мірою розповсюджується в породний масив.

3. Шляхом чисельного моделювання методом скінченних елементів отримано закономірності розподілу високотемпературної зони підземного газогенератора. Установлено, що розподіл температури від вогневого вибою в глибину виробленого простору підземного газогенератора підпорядковується експоненціальній залежності, причому розміри високотемпературної зони ($T \geq 300$ °С) знаходяться в межах від 3,9 до 8,4 м, що дозволяє визначити фактичний розмір ділянки теплообміну й розрахувати раціональні параметри подавання теплоносія.

4. Установлено, що на розмір високотемпературної зони ($T \geq 300$ °С), яка розповсюджується від вогневого вибою вглиб виробленого простору, істотно впливають температура вогневого вибою вугільного пласта, температура вміщувальних порід (стадія роботи підземного газогенератора) і відстань від вогневого вибою до породного завалу. Потужність вугільного пласта має незначний вплив на поширення високотемпературної зони, що дозволяє ефективно використовувати розроблені способи утилізації теплової енергії на тонких і особливо тонких пластах.

5. Розроблено оригінальну конструкцію випробувального стенда й методику випробувань трубного ставу, які дозволили відтворити його напружено деформований стан в умовах обвалення порід покрівлі у вироблений простір підземного газогенератора. Установлено, що шар золи, який утворюється під час вигорання вугілля в підземному газогенераторі, виконує захисну функцію сприйняття й перерозподілу навантажень від обвалених порід покрівлі, причому вже за наявності шару золи на 3 ... 5 см більшого за діаметр трубного ставу забезпечується надійна робота тепловідвідної системи. Порівняння деформацій трубного ставу в умовах наявності зольного шару й без нього свідчать про підвищення несучої здатності гідротехнічної конструкції, що знаходиться в захисному зольному шарі, у 10 і більше разів.

6. Уперше запропоновано концепцію свердловинної утилізації теплової енергії за підземної газифікації вугільних пластів, що використовує циркуляцію рідкого теплоносія в трубних ставах тепловідвідних свердловин з наступною генерацією електроенергії на гідропарових турбінах. Це дозволяє вилучати й продуктивно використовувати до 30 % енергії термохімічної переробки вугільних пластів.

7. Розроблено свердловинні способи утилізації теплової енергії підземного газогенератора для горизонтального (пологого) й похилого залягання пластів, а також для умов надто тонких похилих пластів, що передбачають використання тепловідвідних свердловин з циркуляцією рідинного теплоносія (перегрітої води) від високотемпературної зони вогневого вибою до гідропарових турбін електрогенерувальних установок. Запропоновані способи утилізації теплової енергії можуть ефективно поєднуватися з традиційною технологією газифікації вугілля й підвищують її рентабельність за рахунок продуктивного використання теплової енергії підземного газогенератора.

8. Розрахунок основних технологічних чинників дозволив виявити раціональні параметри тепловідвідних свердловин: діаметр зовнішнього трубного ставу - 150 мм, а внутрішнього - 100 мм; витрати теплоносія - $7,1 \text{ м}^3 / \text{год}$; тепла

потужність однієї тепловідвідної свердловини - близько 831 кВт; відстань між трубними ставами 14 м, кількість тепловідвідних свердловин для енергоблока з розміром по простяганню 300 м - не менше 22 -х.

9. Утилізація теплової енергії підземного газогенератора дозволяє генерувати за 300 днів від 4 до 8 млн. кВт·год. електроенергії з однієї тепловідвідної свердловини, що, з урахуванням загального числа свердловин в енергетичному блоці (порядку 22), забезпечує показники достатньо продуктивної електростанції.

Основні наукові результати й положення дисертації опубліковано в 16 роботах, основні з яких подано нижче.

Монографія

1. Заев В.В. Утилизация тепловой энергии при подземной термохимической переработке угольных пластов: Монография / Г.И. Гайко, В.В. Заев, П.Н. Шульгин. – Алчевск: ДонГТУ, 2012. – 141 с.

Основні статті, опубліковані в наукових фахових виданнях України

2. Заев В.В. Разработка способов утилизации тепловой энергии при подземной газификации угольных пластов / Г.И. Гайко., В.В. Заев. Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Вып. 32 – Алчевск: ДонГТУ, 2010. – С. 49 – 54.

3. Заев В.В. Влияние защитного слоя золы на надежность трубного коллектора подземного газогенератора / Г.И. Гайко, А.П. Иванов, В.В. Заев // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Вып. 34 – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – С. 46 – 52.

4. Заев В.В. Лабораторные исследования зоны горения пласта методом электрогидродинамических аналогий / П.Н. Шульгин, В.В. Заев, В.В. Распопина // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Вып. 35 – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – С. 70 – 76.

5. Заев В.В. Моделирование тепловых процессов в подземном газогенераторе методом конечных элементов / Г.И. Гайко, П.Н. Шульгин, В.В. Заев // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Вып. 36 – Алчевск: ДонГТУ, 2012. – С. 61 – 70.

6. Заев В.В. Физическое моделирование процесса теплообмена в подземном газогенераторе / В.В. Заев // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Вып. 37 – Алчевск: ДонГТУ, 2012. – С. 94 – 101.

Основні статті, опубліковані в зарубіжних виданнях

7. Zayev V. Development of methods for utilization of thermal energy in the underground gasification of coal mining / G. Gayko, V. Zayev // School of underground mining Technical and Geoinformational Systems in Mining CRC Press Taylor & Francis Group Boca Raton, London, New York, Leiden, 2011. – P. 33 – 36.

Основні публікації матеріалів конференцій

8. Заев В.В. Расчет параметров коллекторной топливно-энергетической системы, основанной на подземном сжигании угольных пластов / Г.И. Гайко,

В.А. Касьянов, В.В. Заев // Школа підземної розробки (III Міжнар. конф. 13-19 вересня 2009 р.) – Дніпропетровськ: НГУ, 2009. – С. 149 – 155.

9. Заев В.В. Стендовые испытания трубного коллектора подземного газогенератора / Г.И. Гайко, В.В. Заев, П.Н. Шульгин // Форум гірників – 2011. – Матеріали міжнародної конференції 12 – 15 жовтня. Секція «Технологія підземного видобутку корисних копалин» – Дніпропетровськ: НГУ, – 2011. – С. 62 – 67.

10. Заев В.В. Лабораторные исследования зоны горения угольного пласта при подземной газификации / В.В. Заев, В.В. Распопина // «Проблемы недропользования» Сборник научных трудов (Форум–конкурс молодых ученых. Часть 1, 25–27 апреля 2012 г.) Санкт–Петербург, 2012. – С. 78 – 80.

11. Заев В.В. Моделирование процесса теплообмена трубного става и высокотемпературной зоны подземного газогенератора / Г.И. Гайко, В.В. Заев // Форум гірників – 2012. – Матеріали міжнародної конференції 3 – 6 жовтня. Секція «Технологія підземного видобутку корисних копалин» – Дніпропетровськ: НГУ, – 2012. – С. 66 – 71.

Основні патенти на корисні моделі та винаходи

12. Пат. на корисну модель 51745 Україна, МПК (2009) E21B 43/00. Спосіб отримання електричної енергії при безшахтній газифікації та / або спаленні вугільних пластів / Гайко Г.І., Заев В.В. заявник і патентовласник Гайко Геннадій Іванович, Заев Віктор Вікторович – U201002174, заявл. 26.02.2010; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14, 2010. – 4с.: іл. 3.

13. Пат. на корисну модель 54138 Україна, МПК (2009) E21B 43/00. Спосіб отримання електроенергії при безшахтному спаленні вугільних пластів похилого залягання / Гайко Г.І., Гайко І.Г., Заев В.В. заявник і патентовласник Гайко Геннадій Іванович, Гайко Іван Геннадійович, Заев Віктор Вікторович – U201005561, заявл. 07.05.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20, 2010. – 4с.: іл. 3.

14. Пат. на корисну модель UA 64669 Україна, МПК(2011) E21B 43/295 (2006.01). Спосіб газифікації вугільного пласта / Касьянов В.А., Гайко Г.І., Заев В.В., Шульгін П.М.; заявник і патентовласник Донбас. держ. техн. ун–т. – U201105630, заявл. 04.05.11; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21, 2011. – 4 с.: іл. 4.

Особистий внесок здобувача в роботах, написаних у співавторстві: [1, 2, 7, 12-14] - аналіз стану питання, розрахунок технологічних параметрів нових способів утилізації тепла; [3, 5, 9-11] - постановка мети й завдань досліджень, моделювання роботи підземного газогенератора; [2, 7, 12-14] - розробка елементів нових способів підземної газифікації вугілля; [3, 9-11] - розробка й конструювання випробувального стенда; [3, 4, 8-11] - розробка методик і проведення лабораторних експериментів, аналіз отриманих результатів; [1, 5] - підбір й аналіз програмних комплексів для вирішення теплопровідних завдань.

АНОТАЦІЯ

Заев В.В. Обґрунтування технологічних параметрів тепловідвідних свердловин при підземній газифікації вугільних 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 виявлених закономірностей розподілу температурного поля у виробленому просторі підземного газогенератора розв'язано актуальну науково-технічну задачу обґрунтування технологічних параметрів тепловідвідних свердловин для утилізації втрат теплової енергії за підземної газифікації вугільних пластів.

Температура у виробленому просторі підземного газогенератора експоненціально знижується по мірі віддалення від вогневого вибою, а високотемпературна зона ($T \geq 300$ °С) має розміри до 8,4 м, що дозволяє визначити фактичний розмір ділянки продуктивного теплообміну та розрахувати раціональні параметри подавання теплоносія.

Досліджено вплив товщини зольного шару на перерозподіл навантаження від обрушених порід покрівлі та доведено можливість захисту трубних ставів від гірського тиску. Розроблено нові способи та обґрунтовано технологічні параметри утилізації теплової енергії ПГВ за допомогою тепловідвідних свердловин, що використовують рідинний теплоносій (перегріту воду) і генерацію електроенергії на гідропарових турбінах.

Ключові слова: вугільний пласт, тепловідвідні свердловини, підземний газогенератор, газифікація вугілля, втрати теплової енергії.

АННОТАЦІЯ

Заев В.В. Обоснование технологических параметров теплоотводящих скважин при подземной газификации угольных 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, Днепропетровск, 2015.

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача обоснования технологических параметров теплоотводящих скважин при подземной газификации угольных пластов для утилизации тепловой энергии подземного газогенератора и повышение общей эффективности технологии подземной газификации угля на основе выявленных закономерностей распределения температурного поля в выработанном пространстве подземного газогенератора.

В результате анализа, современного состояния технологий извлечения тепловой энергии при подземной газификации угля установлено, что они имеют ограниченные возможности и не исключают значительных потерь тепла идущих на бесполезный разогрев вмещающих пород.

Для определения закономерностей распределения высокотемпературной зоны проведены экспериментальные исследования высокотемпературного поля ($T \geq 300$ °С) в выработанном (выгазованном) пространстве подземного газогенератора методом ЭГДА и методом конечных элементов с учетом влияния основных горно-технических факторов: мощности угольного пласта; температуры огневого забоя; начальной и

установившейся стадии работы подземного газогенератора; ширины выработанного пространства подземного газогенератора.

Установлено, что температура в выработанном пространстве подземного газогенератора экспоненциально снижается по мере удаления от огневого забоя (фронта горения), а высокотемпературная зона имеет размеры до 8,4 м, что позволяет определить фактический размер участка продуктивного теплообмена и рассчитать рациональные параметры подачи жидкого теплоносителя.

Исследовано влияние толщины зольного слоя на перераспределение нагрузки от обрушенных пород кровли и установлено, что несущая способность трубного става многократно возрастает уже при наличии слоя золы, который на 3 ... 5 см превышает его диаметр, а увеличение толщины слоя еще на 10 см удваивает несущую способность трубной конструкции, находящейся в золе.

Аналитическими исследованиями обоснованы основные технологические параметры теплоотводящих скважин: размер участка продуктивного теплообмена; диаметры трубного става и нагнетательного рукава; расстояния между теплоотводящими скважинами; объем подачи теплоносителя; тепловая мощность скважин. Установлен гиперболический характер зависимости между температурой выгазованного пространства подземного газогенератора и расстоянием между теплоотводящими скважинами.

Рациональное расстояние между теплоотводящими скважинами вдоль огневого забоя зависит от температуры выработанного пространства подземного газогенератора и изменяется для диапазона температур 200 – 800 °С по гиперболическому закону и составляет соответственно от 5 до 20 м, что позволяет определить количество теплоотводящих скважин в угольном блоке заданного размера и обосновать их экономические показатели при ПГУ.

Разработаны новые способы утилизации тепловой энергии ПГУ с помощью теплоотводящих скважин использующих перегретую воду и генерацию электроэнергии на гидропаровых турбинах для пологих и наклонных пластов, которые эффективно сочетаются с традиционной технологией подземной газификации угля и повышают ее рентабельность за счет продуктивного использования тепловой энергии подземного газогенератора.

Основные положения работы использованы при разработке проекта подземной газификации угля для ЭТК «КазСланец» (месторождение «Белокаменское», Восточный Казахстан), а также в «Рекомендациях по использованию тепловой энергии подземной термохимической переработки угольных пластов», принятых для использования ПАО «Луганскгипрошахт». Ожидаемый экономический эффект при условии отработки одного энергетического блока составит 8 млн. грн. или 364 тыс. грн. по каждой скважине. Срок окупаемости составит 7 месяцев.

Ключевые слова: угольный пласт, теплоотводящие скважины, подземный газогенератор, газификация угля, потери тепловой энергии.

ABSTRACT

Zayev V. Justification of the process parameters for heat-removing wells at underground gasification of coal seams. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.15.02 – Underground mining of mineral deposits. – SHEI «National Mining University», Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipropetrovsk, 2015.

The thesis has solved a critical scientific and technical challenge of substantiation of process parameters of heat-removing wells for reusing of heat losses during underground gasification of coal seams based on identified patterns of temperature field distribution in underground space of gas generator.

The temperature in the underground gas generator zone decreases exponentially as far as the distance from the fire face, and a high temperature zone ($T \geq 300$ °C) is 8.4 m, that allows to determine the actual dimensions of the area of productive rational heat transfer and calculate the rational parameters of coolant supply.

The significance of the ash layer thickness for load redistribution in crashed roof rocks has been studied and possibility to protect pipes from mining pipe pressure is proved. The new methods and technological parameters of PGV thermal energy utilization have been substantiated using heat-removing wells which use liquid coolant (overheated water) and power production at hydro-steam turbines.

Keywords: coal seam, heat-removing wells, underground gasifier, coal gasification, heat losses.

Підписано до друку 29.05.15 р. Формат 60x90/16
Папір офсетний. Ризографія. Ум. др. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №286

Віддруковано в «Поліграфцентрі» ФО-П Кучугурний Ю.М.,
свідоцтво про державну реєстрацію №2 224 000 0000 073863,
м. Дніпропетровськ, вул. Леніна, 11, 49000,
Тел.: (056) 735-50-08