

УДК 622.272.6

Р.О. Дичковський, д-р техн. наук, проф.

Держаний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна,
e-mail: dichre@yahoo.com

ФОРМУВАННЯ ДВОШАРОВОЇ ШТУЧНО СТВОРЕНОЇ ОБОЛОНКИ ГЕОРЕАКТОРА ПРИ СВЕРДЛОВИННІЙ ПІДЗЕМНІЙ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЛЯ

R.O. Dychkovskiy, Dr. Sci. (Tech.), Prof.

State Higher Educational Institution “National Mining
University”, Dnepropetrovsk, Ukraine,
e-mail: dichre@yahoo.com

FORMING THE BILAYER ARTIFICIALLY CREATED SHELL OF GEOREACTOR IN UNDERGROUND COAL WELL GASIFICATION

Мета. Встановлення закономірностей формування двошарових штучно створених оболонок способом варіації температури та складу дуттьової суміші для встановлення контрольованих переміщень контуру геореактора для ефективного керування гірським тиском і забезпечення простору для проходження газових сумішей.

Методика. Проведення аналітичних досліджень ґрунтувалося на основі схеми теплообмінника, що найбільш точно характеризує розподіл температурного поля в зоні впливу геореактора. Формування штучних оболонок у полі підземних газогенераторів здійснювалось у два етапи: через оболонку оплавлених порід, що знаходиться безпосередньо над осередком газифікації, створенням порід зі зміненими властивостями у глибині масиву. Ці оболонки відіграють важливу роль при керуванні гірським тиском та встановленні необхідного кроку опускання порід покрівлі для проходження вхідної та вихідної сумішей. Переміщення порід досліджувалися на тестових установках за допомогою спеціальних датчиків. Чисельний аналіз використано для визначення напружено-деформованого стану порід на основі термо-пружно-пластичної моделі деформаційного середовища. Для побудови узагальнюючих залежностей використано метод множинної регресії та застосовано загально визнані системи обробки даних таблиць Excel-2013.

Результати. Виконані багатоваріантні розрахунки товщини та напружено-деформованого стану навколо геореактора для різних значень потужності вугільного пласта, глибини розробки та складу дуттьової суміші. Отримані результати були узагальнені для різноманітних гірничо-геологічних умов у вигляді залежностей переміщень і величин зон руйнування та переміщень контуру геореактора.

Наукова новизна. Встановлені залежності товщини двошарової штучноствореної оболонки від тиску й температури дуттьової суміші та розвитку деформацій у породному масиві навколо геореактора. Одержані розрахункові формули для визначення цих основних геомеханічних характеристик необхідні для вибору способу керування гірським тиском та забезпечення простору з метою проходження газових сумішей газифікації.

Практична значимість. Запропоновано математичний механізм для встановлення теплопередачі в масиві гірських порід. Отримані залежності для визначення основних геомеханічних характеристик, що є основою інженерної методики встановлення товщини двошарової штучно створеної оболонки для ефективного керування гірським тиском.

Ключові слова: геореактор, дуттьова суміш, двошарова штучно створена оболонка, керування гірським тиском

Вступ. При розробці технології підземної газифікації вугілля вчені України займають одне з провідних місць у світі. Тут накопичений великий обсяг теоретичних розробок та досвід практичної реалізації перетворення твердого палива у газоподібне (станції „Підземгаз“ Лисичанська, Горлівська й експериментальна ділянка Синельниківського буровугільного родовища) [1, 2 та ін.].

За період незалежності України групою дослідників розроблені інноваційні рішення, що дають можливість виконувати процес газифікації вугілля у природних умовах з відповідним рівнем безпеки, ефективності, економічності та промислової санітарії. Ці рішення, у першу чергу, забезпечують керованість самим процесом вигазовування, підвищують надійність підземної конструкції газогенератора й поверхневого комплексу, очищення та переробки продуктів газифікації [1–3 та ін.].

Нині розробляється концептуальна програма енергохімічного комплексу за типом „Когенерація“, пов'язана з впровадженням нових конструкцій підземних газогенераторів і поверхневого комплексу очищення та переробки із закритим бінарним циклом. Керованість комплексу „Підземгаз“ забезпечується блочно-сегментними підсистемами із загальним алгоритмом рішень [2, 3 та ін.].

Ідея комбінованого (когенераційного) вироблення електричної, механічної та теплової енергії від одного виду джерела (палива) відома здавна. Однією з перших реалізованих когенераційних технологій є теплофікація або вироблення таких джерел енергії на базі парових енергетичних турбін, що було реалізовано 1907 року у США [1].

Початковий енергоносій (газ підземної свердловинної газифікації вугілля) у когенераційній технології отримують геотехнологічним способом при розробці вугільних родовищ із застосуванням спеціальної технології свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ). Сутність цієї технології полягає в бурінні све-

рдловин (вертикально-горизонтальних або похилих), підпаленні вугільного пласта, нагнітання окислювача й отримання штучного генераторного газу. Далі газ СПГВ використовується у групі газових турбін (СПАГ) для генерації первинної електроенергії (механічної або теплоенергії). Продукти згоряння з турбін надходять не до повітря, а до казан-утилізатора з виробленням пари, що призначена для пароводяної системи виробництва вторинної електроенергії (теплоенергії). Залишкове тепло газів повторно утилізується у двох теплових акумуляторах: автономному піковому контурі з вироблення третинної електроенергії та підземному акумуляторі з утилізації тепла для потреб теплопостачання [1, 2, 4 та ін.].

Когенераційна система виробництва енергоносіїв на базі СПГВ, систем акумуляції й енерго-біологічної переробки має низку переваг. Застосування єдиного джерела палива (газу СПГВ) підвищує ефективність генерації енергоресурсів, забезпечує безперервність, малоопераційність, матеріало-, енерго- та ресурсозберігання, покращує екологічну ситуацію в регіоні. Така система когенерації енергії знижує вартість електро- й теплоенергії за декількома факторами. До них відносяться: зниження капітальних витрат унаслідок відмови від будівництва спеціальних традиційних пікових енергоблоків, підвищення завантаження обладнання; вироблення електричної та теплової енергії з більш дешевого палива та з більшою ефективністю; відмова від традиційних видів палива (вугілля, природний газ, мазут та ін.) [1, 5 та ін.].

Досить важливим елементом при забезпеченні технологічності процесу переведення вугілля із твердого стану в газоподібний, із окремим отриманням теплової енергії та хімічної сировини, є дотримання тотожності протікання хімічних реакцій фізичним швидкостям процесу газифікації. Така відповідність забезпечується низкою заходів: варіація складу дуттьової суміші та способів її подачі до геореактора, зміна тиску процесу газифікації, застосування окремих реагентів чи каталізаторів із „рухомої точки“ та ін. [1, 2, 5 та ін.]. Окремо необхідно забезпечити керування газовим та гідравлічним полем масиву. У роботах [2, 3 та ін.] пропонується виконувати примусову ізоляцію порід покрівлі та підшви виробки із застосуванням ін'єкційних способів закладання технологічних пустот та тріщин.

Доцільність виконання досліджень за даною проблематикою. При газифікації вугілля діють високі температура та тиск, що формують специфічну гірничо-геологічну ситуацію. Важливим елементом застосування цієї радикальної технології є розробка заходів із комплексного забезпечення технологічності процесу газифікації як енергетичного джерела та хімічної сировини. Це завдання включає в себе виконання наступних етапів:

- формування штучно створеної двошарової оболонки для ефективного керування гірським тиском;
- аналітичне визначення матеріально-теплового балансу процесу газифікації;
- стендові дослідження й адаптація керованості системи до реальних гірничо-геологічних умов;

- промислово-експериментальна перевірка отриманих результатів.

Формування, під дією високої температури та тиску із застосуванням спеціальних дуттьових сумішей, двошарової штучно створеної оболонки дає можливість створити контрольоване обвалення порід. Це є основою для керування гірським тиском та забезпечення необхідного простору для проходження газових потоків через газогенератор. Саме на встановлення залежностей зміни товщини цієї оболонки від температури та тиску поданої суміші направлені дослідження даної роботи. Це дає можливість сформувати стійкий контур газогенератора для проходження дуття та забезпечення управління гірським тиском під час виконання процесу СПГВ.

Формування тестових полігонів для проведення досліджень. Перевірка результатів аналітичного моделювання проводилася на двох стендових установках, що були виконані для умов шахт Західного Донбасу, Солівського родовища (Україна), Нижньо-Сілезького промислового регіону (Польща) та на експериментальній шахті „Барбара“ (Міколув, Польща) [2].

Стенові установки були розроблені співробітниками Національного гірничого університету та Головного інституту гірництва (м. Катовіце, Польща). Ці роботи виконувалися в рамках реалізації спільних міжнародних науково-дослідних проектів та госпдоговірної тематики на замовлення компанії ДТЕК та ПрАТ „Донецьксталь – металургійний завод“. Узагальнена схема моделі підземного газогенератора складалася з чотирьох систем (рис. 1):

- роздільної й змішаної подачі дуттьової суміші;
- самого геореактора;
- видачі продуктів газифікації та їх утилізації;
- контролю температури й складу вхідної та вихідної газових сумішей.



Рис. 1. Технологічна схема стендової установки підземної газифікації вугілля

У вугільний пласт роздільно нагніталися кисень (активація процесу газифікації), водяна пара (забезпечення робочого режиму) та повітря.

Герметичність газогенераторів забезпечувалася спеціальним виконанням складових елементів, із яких вони були споруджені. Ізоляція забезпечувалася покриттям як зсередини, так і ззовні глиняним чи глиняно-цементним розчином.

Аналітичне встановлення абсолютних величин ентальпії гірського масиву та розрахунку двошарової штучно створеної оболонки. Формування штучних оболонок навколо підземних газогенераторів здійснюється у два етапи: створення штучно створеної оболонки оплавлених порід, що знаходиться безпосередньо

над осередком газифікації; створення порід зі зміненими властивостями у глибині масиву. Кожна з цих оболонок відіграє важливу роль при керуванні гірським тиском та встановленні необхідного кроку опускання порід покрівлі для проходження вхідної й вихідної дуттьових сумішей.

Перша оболонка формується на незначну глибину від декількох міліметрів до десятків сантиметрів. Вона слугує захисним екраном від впливу відкритого високо-температурного розжареного поля та забезпечує зміну метаморфічних властивостей. Це стосується не лише глиновмісних порід, що під дією високих температур мають можливість збільшувати свої міцнісні характеристики у декілька разів, але й самого вугілля. Крім цього, даний процес необхідний для створення ізолюючого шару, що запобігає міграції газів по масиву порід та забезпечує максимальну герметичність системи тестового геореактора.

Вигіснення води із масиву, окрім підвищення міцнісних властивостей оточуючих порід, за подальшого нагрівання викликає деструкцію гірського масиву. Тому процес формування штучної двошарової оболонки є надзвичайно складним. Одразу після запуску геореактора система піддається дії підігрітої пари, що проходить через усю зону газифікації, і при контакті з вугіллям чи боковими породами, під дією температур, поступово викликає їх оплавлення. При цьому необхідно забезпечити рівномірність омивання каналу газифікації дуттьовою сумішшю та відповідні температури в каналі газифікації для створення стійкого контуру геореактора.

За допомогою випалювання формується перший шар оболонки, у результаті чого вугільна поверхня чи поверхня глиновмісних порід оплавляється та перетворюється на достатньо тверду субстанцію. Температура на цьому етапі знаходиться в межах робочих значень 900–1200 °C.

Виконання подальшої активізації процесу газифікації проводиться шляхом збільшення вмісту кисню в дуттьовій суміші та доведення температурного режиму до 1600 °C. При цьому відбувається формування термічного поля шляхом імпульсної подачі суміші газів до зони реакції. Залежно від типу газифікації та її орієнтації на кінцеву продукцію, для виведення газогенератора на роботу потужність й отримання температурного поля у межах 900–1200 °C, до системи додають повітряноводяну, пароповітряноводяну суміш чи суміші з додаванням вуглекислого газу, активаторів та катализаторів. Як було зазначено вище, при подачі води на розпечену поверхню вугільного пласта чи на оточуючі геореактор породи, відбувається оплавлення контактних поверхонь, а також розкладання її на складові елементи.

За необхідності активізації процесу (температура знижується до нижньої допустимої межі у 900 °C), у дуттьовій суміші збільшують вміст кисню. Для аварійної зупинки газогенератора використовують газоподібний азот. При проходженні азоту температура в каналі газифікації різко знижується, що призводить до затухання самого процесу. Для поновлення роботи реактора слід провести запалення вугілля у пласті за одним з відомих способів та вивести його на рівень промислової експлуатації (температура $T = 900\text{--}1100$ °C). [2, 4, 6 та ін.]

На робочому етапі газифікації температурне поле розширюється у глибину масиву, формуючи другий шар штучно створеної оболонки. Деформаційні характеристики цієї оболонки визначатимуть крок обвалення порід покрівлі під час руху геореактора вздовж виїмкового стовпа.

Термопередача між елементами гірського масиву відбувається на основі принципів кавітаційного та кондукційного теплообміну. Її розрахунок буде аналогічним будь-якому теплообміннику, що має контакт із зовнішнім середовищем [2, 5, 6].

Виходячи з проведених аналітичних, лабораторних та тестових досліджень, була прийнята схема до розрахунку теплообмінника, що найбільш точно характеризує розподіл температурного поля в зоні впливу геореактора. За початок системи відліку прийнята зона максимальних окислювальних реакцій, що знаходиться на відстані близько 10 м від устя реакційного каналу. Величина температурного поля t змінюється від максимальних значень T_0 до мінімальних T_n , що знаходяться на витоці з геореактора, зі зміною нагрівуючих температур за довжиною каналу T_i . Значення дуттьового еквіваленту (добуток витрати температури за довжиною реакційного каналу на питому теплосмність) змінюється від початкових значень z_0 до кінцевих $-z_n$, зі зміною цих показників за довжиною каналу z_i . Ефективність нагріву гірського масиву характеризується ступенем регенерації e_i . Для визначення цієї величини необхідно розглянути низку вихідних даних, що характеризують зміну розповсюдження термічного поля вглиб гірського масиву.

Зміну розповсюдження температур у глибину масиву отримаємо шляхом диференціювання температур за довжиною розповсюдження термічного поля

$$T'_i = \frac{dT_i}{di}$$

Кожна ділянка гірського масиву характеризується певною площею F_i та коефіцієнтом теплопередачі чи ентальпії δ . У бік від реакційного каналу температурне поле прагне досягнути природних значень температур. Якщо прийняти їх за нульові, то співвідношення $z_i di/z_0$ теж буде дорівнювати 0. Відповідно, ступінь регенерації e_i можна визначити за виразом

$$e_i = 1 - e^{\left(\frac{k \cdot F_i}{z_i}\right)}$$

Тоді для розподілу температур по системі нагрівання буде справедливим вираз

$$-dT_i = \frac{(T_i - T_0)e_i z_i}{z_0} di$$

Позначивши $\frac{e_i z_i}{z_0} = P$, отримаємо рівняння

$$T'_i + P \cdot T_i = P \cdot T_0$$

Розв'язком цього рівняння буде функція, що характеризує температуру на відстані i від зони газифікації, °C

$$T_i = e^{(-P \cdot i)} \{ [P \cdot T_0 \cdot e^{(P \cdot i)}] \cdot c \}$$

де c – емпіричний коефіцієнт, що характеризує зміну температурного поля, виходячи з конкретних гірничо-геологічних умов проведення газифікації.

Середнє значення температури за довжиною реакційного каналу складе, $^{\circ}\text{C}$

$$T_{icp} = \frac{\sum T_i}{j}$$

де j – кількість точок, прийнятих до аналізу температурного поля.

Відповідно, температура на виході з геореактора складатиме, $^{\circ}\text{C}$

$$T_k = T_{icp} + (T_0 - T_{icp})e^{-P}$$

Ступінь регенерації на кінцевому відрізку нагрівальної зони геореактора складе

$$e_k = \frac{(T_0 - T_k)}{(T_0 - T_{icp})} = 1 - e^{(-P)}$$

Результати досліджень. Результати досліджень поля температур i , відповідно, сформованої оболонки оплавлених порід наведено в табл. та на рис. 2.

У загальному вигляді дана залежність з високим ступенем збіжності матиме вигляд

$$T = a_1 \cdot \delta^2 + a_2 \cdot \delta + a_3,$$

де $a_1 - a_3$ – емпіричні коефіцієнти, що залежать від тиску дуттвової суміші в геореакторі.

Отримані залежності вказують на можливість варіювати товщиною штучно створеної оболонки оплавлених порід від 0,05 до 0,25 м з метою встановлення величин деформацій гірського масиву над вигазованим простором газогенератора. Таким чином забезпечується раціональний крок обвалення порід від джерела газифікації.

Це дає можливість формувати штучно створену оболонку оплавлених порід з підвищеними механічними властивостями для ефективного керування станом гірського масиву при вигазовуванні вугільного пласта.

Таблиця

Результати досліджень поля температур i відповідно сформованої оболонки оплавлених порід

| Параметр | Значення параметра | | | | |
|--|--------------------|------|------|------|------|
| Тиск дуттвової суміші, P , МПа | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| | 860 | 897 | 920 | 925 | 930 |
| | 876 | 924 | 955 | 969 | 970 |
| | 900 | 960 | 992 | 1012 | 1021 |
| | 917 | 990 | 1005 | 1057 | 1063 |
| Товщина штучно створеної оболонки оплавлених порід, δ , м | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 |
| | 860 | 897 | 920 | 925 | 930 |
| | 876 | 924 | 955 | 969 | 970 |
| | 900 | 960 | 992 | 1012 | 1021 |
| | 917 | 990 | 1005 | 1057 | 1063 |

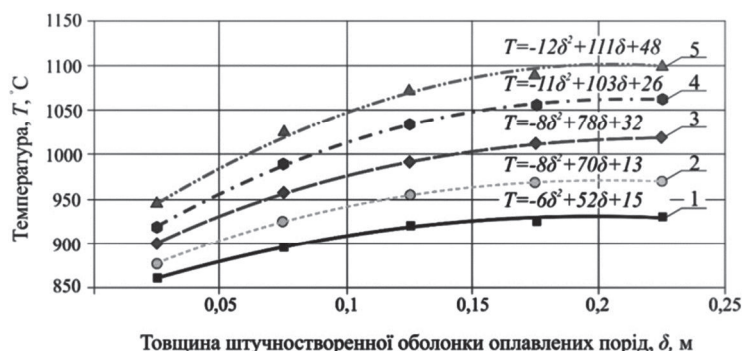


Рис. 2. Характер розповсюдження температури гірського масиву за різної товщини штучно створеної оболонки оплавлених порід: 1–5 – варіація тиску (1–0,1 МПа; 2–0,2 МПа; 3–0,3 МПа; 4–0,4 МПа; 5–0,5 МПа)

Висновки. Свердловинна підземна газифікація є однією з перспективних якісно нових радикальних технологій видобування вугілля. У даній роботі доцільність її застосування підтверджена для відпрацювання забалансових та залишених локальних запасів у тонких та вельми тонких пластах виходячи із забезпечення параметрів керування гірським тиском та обвалення гірських порід.

Межі застосування технології визначаються виходячи з керування фізико-хімічними реакціями, усестороннього обґрунтування технологічних параметрів, режимів подачі дуттвової суміші та матеріально-теплого балансу. При тиску в геореакторі на рівні 0,11–0,15 МПа (процес на межі газифікації та підземного спалювання вугілля) технологічність процесу забезпечується подачею дуттвової суміші під тиском та відсмоктуванням газів із зони реакції.

У геореакторі при підземній газифікації вугілля температурний режим змінюється від 900 до 1200 $^{\circ}\text{C}$ за параболічною залежністю під керованим впливом пульсуючого пароповітряного дуття в межах тиску 0,1–0,5 МПа. Це дозволяє змінювати товщину штучно створеної оболонки оплавленої породи від 0,05 до 0,25 м з метою керування станом гірського масиву над вигазованим простором газогенератора, забезпечуючи оптимальний крок обвалення від вогнища (осередку) газифікації.

Список літератури / References

1. Теория и практика термохимической технологии добычи и переработки угля: монография / под общ. ред. О.В. Колоколова. – Днепропетровск: НГА Украины, 2000. – 281 с.
Kolokolov, O.V. (2000), *Teoriya i praktika termokhimicheskikh tekhnologii dobychi i pererabotki uglia* [Theory

and Practice of Thermochemical Technologies of Coal Extraction and Processing], Monograph, NGA of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.

2. Дичковский Р.О. Наукові засади синтезу технологій видобування вугілля у слабометаморфізованих породах // Дичковский Р.О. – Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – 225 с.

Dychkovskiy, R.O. (2013), *Naukovi zasady syntezy tekhnolohiy vydobuvannia vuhillia u slabometamorfizovanykh porodakh* [The Scientific Principles of Synthesis Technology of Coal Mining in the Weakly Metamorphosed Rocks], NMU, Dnepropetrovsk, Ukraine.

3. Bondarenko, V.I., Falshtynskiy, V.S. and Dychkovskiy, R.O. (2009), “Synthetic Stowing of Rockmass at Borehole Underground Coal Gasification (BUGG). Deep Mining Challenges”, *Mining International Mining Forum – 2009*, London / Leiden / New York/ Philadelphia/ Singapore: A.A. Balkema Publishers, pp. 169–179.

4. Колоколов О.В. Геотехнологические способы разработки месторождения полезных ископаемых / Колоколов О.В., Табаченко Н.М. – Днепропетровск: НГА Украины, 1999. – 199 с.

Kolokolov, O.V. and Tabachenko, N.M. (1999), *Geotekhnologicheskiye sposoby razrabotki mestorozhdeniya poleznykh iskopayemykh* [Geotechnological Methods of Mineral Deposits Mining], NGA of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.

5. Табаченко Н.М. Проблемы когенерации энергоносителей в угольной промышленности / Н.М. Табаченко // Уголь Украины. – 2006. – № 4. – С. 18–24.

Tabachenko, N.M. (2006), “Problems of energy co-generation in the coal industry”, *Ugol Ukrainy*, no. 4, pp. 18–24.

6. Фальштинський В.С. Удосконалення технології свердловинної підземної газифікації вугілля: монографія / Фальштинський В.С. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2009. – 131 с.

Falshtynskiy, V.S. (2009), *Udoskonalennia tekhnolohii sverdlovyynnoi pidzemnoi hazyfycatsii vuhillia* [Improving the Technology of Well Underground Coal Gasification], Monograph, NMU, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Цель. Установление закономерностей формирования двухслойных искусственно созданных оболочек способом вариации температуры и состава дутьевой смеси для установления контролируемых перемещений контура геореактора, эффективного управления горным давлением и обеспечения необходимого пространства для прохождения газовых смесей.

Методика. Проведение аналитических исследований на основе схемы теплообменника, что наиболее точно характеризует распределение температурного поля в зоне влияния геореактора. Формирование искусственных оболочек в поле подземных газогенераторов осуществлялось в два этапа: через оболочку оплавленных пород, которая находится непосредственно над очагом газификации, созданием пород с измененными свойствами в глубине массива. Эти оболочки играют важную роль при управлении горным давлением и установлении необходимого шага опускания пород кровли для

прохождения входящей и исходящей смесей. Перемещения пород исследовались на тестовых установках с помощью специальных датчиков. Численный анализ использовался для определения напряженно-деформированного состояния пород на основе термо-упруго-пластической модели деформационной среды. Для построения обобщающих зависимостей использован метод множественной регрессии и применены общепризнанные системы обработки данных таблиц Excel-2013.

Результаты. Выполнены многовариантные расчеты толщины и напряженно-деформированного состояния вокруг геореактора для различных значений мощности угольного пласта, глубины разработки и состава дутьевой смеси. Полученные результаты были обобщены для различных горно-геологических условий в виде зависимостей перемещений и величин зон разрушения и перемещений контура геореактора.

Научная новизна. Установлены зависимости толщины двухслойной искусственно созданной оболочки от давления и температуры дутьевой смеси, развития деформаций в породном массиве вокруг геореактора. Полученные расчетные формулы для определения этих основных геомеханических характеристик необходимы для выбора способа управления горным давлением и обеспечения пространства для прохождения смесей газификации.

Практическая значимость. Предложен математический механизм для установления теплопередачи в массиве горных пород. Получены зависимости для определения основных геомеханических характеристик, которые являются основой инженерной методики установления толщины двухслойной искусственно созданной оболочки для эффективного управления горным давлением.

Ключевые слова: геореактор, дутьевая смесь, двухслойная искусственно созданная оболочка, управление горным давлением

Purpose. To establish the dependencies of artificial bilayer shell formation by the variation in temperature and composition of blowing mixture to set the controlled movement of gas-gen for effective controlling of rock pressure and providing the space for the passage of gas mixtures.

Methodology. The analytical studies based on a scheme of the heat exchanger that most accurately describe the distribution of temperature field in the zone of the gas-gen were conducted. Forming the artificial shells in the field of underground gas generators was carried out in two stages through the melted rocks, located directly above the center of gasification and the creation of nearest wall rocks with altered properties in the length of the rock-mass. These shells were of importance for controlling the stresses and establishing the necessary step of roof rocks lowering for passage of incoming and outgoing mixtures. Moving rocks were studied on the test unit with special sensors. By numerical analysis we determined the stress-strain state of rocks based on thermo-elastic-plastic deformation model. To get synthesis dependencies, we used multiple regression method and applied universally data processing system of Excel-2013 tables.

Findings. Multivariate calculations of stress-strain state around the gas-gen for different values of the coal seam thickness, depth of mining and composition of blowing mixture were realized. The results were summarized for different geological conditions as dependencies of movements, destruction zones and displacement of the gas-gen contour.

Originality. The bilayer artificially created shell thickness dependency on pressure and temperature of blowing mixture and rock-mass deformations near gas generator was determined. The formulas obtained for determining these basic geomechanical characteristics are necessary in the se-

lection of the method of rock stresses control and provision of a necessary space for the gas mixture passage.

Practical value. The mathematical mechanism for setting heats in the rock mass was proposed. The dependencies to determine the main geomechanical characteristics that can be used for engineering method of artificially created bilayer shell thickness determination for effective rock-mass control.

Keywords: *georeactor, blowing mixture, two-layer artificially created shell, stress-strain state control*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
В.І. Бузилом. Дата надходження рукопису 04.09.14.*

UDC 622.281 (574.32)

**V. Demin, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
N. Nemova, Cand. Sci. (Tech.),
T. Demina, Cand. Sci. (Tech.),
Yu. Stefluk**

Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: vladfdemin@mail.ru; nemova-nataly@mail.ru;
tdemina@mail.ru; stefluk@gmail.ru

TECHNOLOGY OF ROCK MASSIF STATE CONTROL

**В.Ф. Дьомін, д-р техн. наук, проф.,
Н.А. Немова, канд. техн. наук,
Т.В. Дьоміна, канд. техн. наук,
Ю.Ю. Стефлюк**

Карагандинський державний технічний університет, м. Караганда, Казахстан, e-mail: vladfdemin@mail.ru;
nemova-nataly@mail.ru; tdemina@mail.ru; stefluk@gmail.ru

ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ СТАНОМ МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Purpose. The development of progressive technological schemes of roof bolting for mine tunnels for ensuring safe and effective support in the zones with increased stresses in the border rocks, unstable and broken enclosing rocks.

Methodology. The study of stressed-and-strained state, rock-pressure manifestations, conditions of the workings maintenance depending on mining-and-geological, mining and technological parameters that is aimed to establish the extent of their impact on the efficiency of the mine tunnels roof bolting and justification of support patterns ensuring stability and decreasing imperfection and costs spent on its mounting and maintenance.

Findings. We have developed technical and technological solutions aimed to improve the technology and means of roof bolting: carrying out in-seam workings on an outburst-prone seam; supporting development openings in unstable rocks; supporting preparatory workings in the zones with various mining pressure; constructing workings in the joint development of coal layers.

Originality. We have established consistent patterns of change in the zones of inelastic deformations with their development in time and dependence of contours stability on mining-and-geological and mining factors; determined the support parameters ensuring reliable operation of the working. Based on the analytical modeling we have developed technology, systems and means aimed to decrease the imperfection of contours of workings.

Practical value. The rational parameters and the field of application of roof bolting in the conditions of the Karaganda coal basin have been determined and justified. The rational technology of drifting workings has been developed based on controlling the geomechanical condition of the enclosing rock massif. Its optimum parameters depending on mining conditions have been determined. Progressive technological solutions on the ways and means of roof bolting of mining workings for complicated operation conditions have been found. The progressive technology of the development opening in coal-and-rock massif with complicated mining technological operation conditions has been developed. The parameters of roof bolting in the conditions of development of in-seam mineral deposits in the presence of the complicating factors have been justified. Technological developments passed the industrial testing at the Saranskaya, Kuzembayev, Kostenko, Kazakhstanskaya mines of the UD JSC ArcelorMittal Temirtau. The operating capacity of the means and techniques of the roof bolting has been proved. The main conclusions and recommendations provided by the research were used in practice in the design process of the coal-mines development and in the educational process.

Keywords: *technology underground mining, coal-and-rock massif, contour of a mine tunnel, parameters of support setting, imperfection of workings, geomechanical processes control, system, means and ways of support, stressed-and-strained state*

Formulation of the problem. In the issue of the mining efficiency increase, solution of the problem of im-

provement of the technology of reliable support of workings is of great importance. The costs spent on carrying out mining workings are rather considerable and make 15–20% of the total cost of mining operations.