

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** За наявних виробничих потужностей українська вугільна промисловість може ефективно працювати близько 200 років. Нажаль, 80% усіх запасів вугілля знаходяться у пластах, потужність яких не перевищує 1,0 м. Так, на десяти шахтах Західного Донбасу середня динамічна потужність пластів, що знаходяться у розробці, у 2012 році склала 0,92 м. Існує стабільна тенденція до зниження цього показника. Слід зазначити, що незважаючи на це, збільшується інтенсифікація і концентрація очисних і підготовчих робіт, поліпшуються техніко-економічні показники роботи шахт. Суттєво підвищилося навантаження на очисний вибій при роботі лав саме на тонких та надтонких пластах і склало 2000 – 2500 т/добу з однієї лави, а в окремих випадках досягнуто навантаження 4400 – 4500 т/добу. У 2012 р. загальний видобуток вугілля шахтами Західного Донбасу був рекордним і склав понад 17 млн т.

До технічного та технологічного переоснащення процесу видобування вугілля спонукає обставина, що на шахтах Західного Донбасу станом на 01.01.2013 р. 372 млн т (58%) розкритих та підготовлених промислових запасів знаходяться у пластах потужністю 0,6 – 0,8 м. Ці запаси є малоперспективними для власника.

Поєднання традиційних високопродуктивних технологій комплексно-механізованого виймання вугілля із застосуванням передових стругових установок та комбайнів, як видобувних машин та свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ), надасть можливість комплексного видобування цих запасів на економічно доцільному рівні. Розробка тонких та надтонких пластів також забезпечує продовження терміну експлуатації шахт у середньому на 20 – 40 років. Це також суттєво впливає на вирішення соціально-економічної проблеми депресивних вугледобувних регіонів.

Таким чином, обґрунтування і впровадження новітніх технологій видобутку вугілля з тонких та надтонких пластів у слабометаморфізованих вміщуючих породах високопродуктивними механізованими комплексами та технологіями підземної газифікації вугілля на базі вивчення геомеханічних особливостей їх синтезу є актуальною науково-технічною проблемою, яка має важливе значення для вугільної промисловості України. Її вирішення дозволить залучити до виробництва балансові запаси із потужністю пластів 0,6 – 0,8 м, які донині не відпрацьовувалися.

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 до 2013 року (ГП – 269, № держреєстрації 0100U001804; ГП – 324, № д.р. 0103U001295; ГП – 346, № д.р. 0105U000500; ГП – 359, № д.р. 0105U000512; ГП – 391, № д.р. 0107U000375; ГП – 406, № д.р. 0109U002815; ГП – 422, № д.р. 0109U002815 та ін.); міжнародної тематики за рахунок Європейських фондів (Hydrogen Oriented Coal Gasificatin for Europe (HUGE): Водневоорієнтована підземна газифікація вугілля для Європи, 2007 –

2010 рр., контракт № RFCR-CT-2007-00006); прямих договорів між Головним інститутом гірництва (Катовіце, Польща) та Національним гірничим університетом (ВФ-12, контракт № PL 000023461/2630/MW/10; ВФ-13, контракт № PL 000023461/2704/MW/10 та ін.); при реалізації проекту Науково-освітнього центру «Стійкість геотехнічних систем: процеси, явища, ризики» за підтримки Міністерства освіти і науки України, Фонду цивільних досліджень і розвитку США (CRDF) та Національного гірничого університету: «Обґрунтування геотехнологічного імітаційного моделювання систем видобування тонких вугільних пластів технікою нового рівня», контракт № USB1-021-DP07; програми співробітництва Міністерства освіти і науки України із закордонними вищими навчальними та науково-дослідними закладами (ОБ-46, № д.р. 0109U004381; ОБ-47, № д.р. 0109U004382); при реалізації програми: «Наука в університетах» МОН України (теми: ОБ-48 та ОБ-54); господарчих договорів Національного гірничого університету із ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» та ВАТ «Донецьксталь – металургійний завод» (договори №№ 10-0/820-У/010176, 11-11/132-ПД/010178; 010179/22480дс та ін.) Робота виконувалась також у рамках міжнародного стажування в Інституті мінеральної сировини та енергетики за грантом Вишеградського фонду, контракт № US-085-2006 (01.11. 2006 – 31.08. 2007 рр.) Вона відповідає Стратегії розвитку вугільної промисловості України до 2030 р. та координаційному плану МОН України № 39 за фундаментальним напрямом «Гірничі науки» у 2005-2010 рр. та енергетичній програмі розвитку України до 2030 року.

**Наукова проблема** полягає в обґрунтуванні й установленні закономірностей формування напружено-деформованого стану гірського масиву навколо штучноствореної порожнини в слабометаморфізованих гірських породах з урахуванням коефіцієнта літологічної будови при застосуванні комплексної механізації в очисних вибоях та термопластичних властивостей порід при підземній газифікації для забезпечення високопродуктивного виймання тонких і надтонких вугільних пластів, що дає можливість додатково видобути біля 1 млрд т вугілля підготовлених до розробки запасів.

**Мета досліджень** полягає у підвищенні ефективності видобутку вугілля з тонких та надтонких пластів сучасними механізованими комплексами машин та технологіями підземної газифікації вугілля на базі вивчення особливостей напружено-деформованого стану слабометаморфізованих вміщуючих порід.

Для досягнення поставленої мети сформульовані й вирішені наступні задачі.

1. Обґрунтувати доцільність комплексної розробки тонких та надтонких пластів традиційними та радикальними технологіями для продовження терміну експлуатації шахт, як стратегічного завдання вугільної промисловості України.

2. Встановити залежності зміни напружено-деформованого стану при вийманні малопотужних запасів вугілля в різних гірничо-геологічних умовах засобами імітаційного моделювання та проведенням лабораторних випробувань зразків порід.

3. Отримати коефіцієнт літологічної будови, що враховує фізико-механічні, геометричні параметри порід та ґрунтується на базі розробленого пакету прикладних програм.

4. Обґрунтувати силові характеристики комплексно-механізованих очисних вибоїв та додаткових елементів кріплення у робочому просторі лав для умов підвищеного гірського тиску й обвалення порід покрівлі.

5. Розробити загальний критерій придатності вугільних пластів до підземної газифікації вугілля у масиві слабометаморфізованих гірських порід за геомеханічними умовами.

6. Виконати розрахунок міцності штучноствореної порожнини свердловинної підземної газифікації вугілля, встановити температурний режим для регулювання товщини її оболонки та визначити крок обвалення порід покрівлі за таких умов.

7. Визначити склад та температурний режим дуттьової суміші та способи її подачі у геореактор з метою отримання заміни природного газу й установа режиму роботи газогенератора для регулювання різної концентрації складових синтез-газу.

8. Розробити методики та рекомендації ефективного видобування вугілля з тонких і надтонких пластів традиційними технологіями, які синтезуються зі свердловинною підземною газифікацією та надати економічну оцінку цих розробок.

**Ідея роботи** – урахування напружено-деформованого стану гірських порід через встановлений коефіцієнт літологічної будови та визначення характеру їх поведінки при відпрацюванні вугільного пласта синтезом традиційних механічних способів видобування вугілля та технологіями СПГВ.

**Об'єкт дослідження** – процес суміщення технології механізованого виймання та свердловинної підземної газифікації при відпрацюванні вугілля в умовах слабометаморфізованих порід.

**Предметом дослідження** є параметри синтезу технологій механізованого виймання та свердловинної підземної газифікації вугілля.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач використано комплексний метод дослідження, який містив обробку й узагальнення літературних та патентних джерел, проведення аналітичних, експериментальних досліджень і шахтну апробацію отриманих результатів. Визначення технологічних параметрів виїмкової ділянки й оцінка напружено-деформованого стану гірського масиву здійснена за допомогою припущень будівельної механіки, теорії руйнування пружних та пружно-пластичних систем, механіки шаруватого та суцільного середовища, підходів теорії ймовірності та принципів математичної статистики. Експериментальні дослідження містили лабораторне моделювання фізичних процесів на еквівалентних матеріалах і метод шахтних експериментальних вимірів. Оцінка результатів дослідження проведена на основі апробації в умовах шахт Західного Донбасу, Львівсько-Волинського вугільного басейну, дослідницької шахти «Барбара» (Катовіце, Польща).

### **Наукові положення, що виносяться на захист:**

1. Коефіцієнт літологічної будови ( $n$ ) залежить від кожної літологічної різниці вуглевміщуючої породної товщі, її механічних та фізичних властивостей ( $\sigma_b$ ,  $\gamma_b$ ,  $\tau_i$ ), визначається за поліноміальною залежністю шостого порядку від просторового розповсюдження поля напруженості ( $Q$ ), що залежить від зміни геометричних розмірів окремих породних шарів ( $P$ ) вздовж очисного вибою та виїмкового стовпа й статистичних коефіцієнтів ( $K_1$ ,  $K_2$ ) ймовірності проявів окремих визначальних чинників напруженості, що характеризують якісну зміну породовміщуючої товщі і формують параметричну зону для визначення переходу до підземної газифікації вугілля.

2. У геореакторі при підземній газифікації вугілля температурний режим змінюється від  $T = 900$  до  $1200$  °С за параболічною залежністю під керованим впливом пульсуючого пароповітряного дуття у межах тиску від 0,1 до 0,5 МПа. Це дозволяє змінювати товщину штучноствореної оболонки оплавленої породи від 0,05 до 0,25 м з метою керування станом гірського масиву над вигазованим простором газогенератора, забезпечуючи оптимальний крок обвалення порід від джерела газифікації.

3. Крок обвалення порід від джерела газифікації ( $l_o$ ) збільшується від 1,2 до 3,1 м зі збільшенням товщини оплавленої штучноствореної оболонки у межах 0,05 до 0,25 м за параболічною залежністю у слабометаморфізованих породах Західного Донбасу.

4. Концентрація газу метану ( $\eta CH_4$ ) у вихідній суміші геореактора при застосуванні технології підземної газифікації вугілля для відпрацювання тонких та надтонких пластів із робочим температурним режимом роботи  $T = 900 - 1200$  °С, застосуванням заліза як каталізатора та пульсуючого пароповітряного дуття визначається логарифмічною залежністю від робочого тиску суміші ( $P$ ) у відновній зоні реактора.

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

– уперше отримано чисельні значення зміни довжини лави та фізичних показників гірського масиву залежно від чинника літологічної та структурної будови при застосуванні високопродуктивних технологій виймання вугілля на тонких і надтонких пластах шахт Львівсько-Волинського вугільного басейну та Західного Донбасу;

– уперше встановлено залежності зміни товщини штучноствореної оболонки для забезпечення відповідного кроку посадки покрівлі для ефективного проходження дуттьової суміші у геореакторі;

– отримано залежності зміни геометричних параметрів очисної ділянки, що пов'язані в просторі, виходячи із розташування зон підвищеного та пониженого гірського тиску та технічних можливостей складових елементів механізованих комплексів;

– виконано оцінку напружено-деформованого стану гірського масиву при комплексно-механізованому вийманні малопотужних запасів і застосуванні технології газифікації вугілля виходячи зі встановленого коефіцієнта літологічної будови порід;

- обґрунтовано залежності зміни силових параметрів комплексно-механізованих очисних вибоїв та додаткових елементів кріплення у робочому просторі лав для умов підвищеного гірського тиску й обвалення порід покрівлі;
- встановлено зміни поля напружень гірського масиву та характер переміщень бічних порід у просторі й часі за різних технологічних і технічних особливостей газогенератора;
- обґрунтовані режими роботи газогенератора для забезпечення співвідношення складових синтез-газу із промисловими концентраціями;
- встановлено залежності зміни газу метану, як замітника природного газу, у вихідній суміші газогенератора згідно із режимами роботи та способами подачі дуттьової суміші.

**Обґрунтованість та достовірність** наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується застосуванням основних положень теорії деформації пластичних, пружно-пластичних систем, принципів будівельної механіки; теплообміну порід, достатнім обсягом виконаних експериментів і високою відповідністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень (розходження отриманих результатів складає 18 – 25 %). Шахтна апробація запропонованих рішень підтверджує відповідність наукових результатів, висновків та рекомендацій, а також можливості їх промислового використання.

**Наукове значення** роботи полягає в установленні раніше невідомих закономірностей напружено-деформованого стану гірського масиву навколо штучноствореної порожнини при підземній газифікації вугілля від товщини оплавленої оболонки і механізованих лав з урахуванням коефіцієнта літологічної будови порід.

**Практичне значення роботи:**

- встановлено критерії застосування традиційних і радикальних технологій видобування тонких та надтонких вугільних пластів;
- розроблено методика аналітичного визначення характеру зміни геометричних параметрів дільниць при застосуванні високопродуктивних технологій виймання малопотужних запасів вугілля;
- обґрунтовано алгоритм оцінки напружено-деформованого стану гірського масиву при застосуванні високопродуктивних технологій виймання малопотужних запасів вугілля;
- обґрунтовано критерії придатності родовищ до синтезу традиційної комплексно-механізованої технології видобування та підземної газифікації вугілля;
- розроблено технологічні схеми підземних газогенераторів, здатних до варіації складовими синтез-газу та максимального отримання газу метану у вихідній суміші газогенератора;
- розроблено пакет прикладних комп'ютерних програм для визначення напружено-деформованого стану гірського масиву при високопродуктивному вийманні малопотужних запасів вугілля;

– запропоновано рекомендації щодо силових параметрів механізованого кріплення, які дозволяють більш повно й ефективно провадити видобування тонких та надтонких вугільних пластів в умовах підвищених і понижених напружень;

– запропоновано раціональні параметри керування гірським тиском у газогенераторі підземної газифікації шляхом створення штучної оболонки у масиві слабометаморфізованих порід.

**Реалізація результатів роботи.** Розробки автора впроваджені у технологічні проекти високопродуктивного виймання вугілля механізованими комплексами та свердловинною підземною газифікацією на шахтах Західного Донбасу і Львівсько-Волинського вугільного басейну, на шахті «Барбара» (Польща), а також в навчальний процес Держаного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» при викладанні лекцій, проведенні практичних занять за курсами «Моделювання виробничих процесів», «Механізовані комплекси», курсовому та дипломному проектуванні для студентів гірничих спеціальностей.

**Особистий внесок автора:** формулювання мети, задач дослідження та наукових положень; розробка методик та комп'ютерних програм оцінки напружено-деформованого стану гірського масиву; обробка, узагальнення й аналіз отриманих результатів; обґрунтування параметрів технологій високонавантаженого виймання вугілля механізованими комплексами та свердловинної підземної газифікації вугілля; впровадження технічних рішень на тестових полігонах та безпосередньо у шахтних умовах.

**Апробація роботи.** Матеріали дисертаційної роботи апробовано на всеукраїнських, міжнародних та відомчих науково-технічних конференціях і семінарах: «Школа підземної експлуатації. Міжнародний гірничий форум» (2003 – 2009, 2012, Щирк-Краків, Польща); «Форум гірників» (2003, 2005, 2006, 2010, Дніпропетровськ); «Старопромислові регіони західної і східної Європи в умовах інтеграції» (2003, Донецьк); «Школа підземної розробки» (2007, 2008, 2010 – 2010, Ялта, Україна); «Сучасні системи управління гірничошахтним обладнанням» (2004, ВАТ «ДАЗ», Дніпропетровськ); «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості» (2004, 2006, КТУ, Кривий Ріг, Україна); «Проблеми аерології гірничодобувних підприємств», присвячена 100-річчю від дня народження лауреата Державної премії України, заслуженого діяча науки та техніки України, доктора технічних наук, професора, чл.-кор. Академії наук України Абрамова Ф.А. (2004, НГУ, Дніпропетровськ); Підземна розробка від первісного ладу до розробки родовищ на місяці. МІОСЕН-2005 (2005, Педебради, Чехія); «V міжнародний конгрес із видобування бурого вугілля» (2007, Белхатув, Польща); «Проблеми підтримки та охорони гірничих виробок» (2007, Устронь, Польща); 21 Всесвітній гірничий конгрес і Експо - 2008 (2008, Краків-Катовіце-Сосновец, Польща); «Енергоефективність – 2010» (2010, Київ, Україна), «Енергоефективність та енергозберігаючі технології» (2010, НГУ, Дніпропетровськ), а також на науково-методичних семінарах кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету.

На основі отриманих результатів здобувачем опубліковано 112 друкованих праць: у т.ч. статей у фахових виданнях – 38; 6 – монографій, 21 – матеріалів конференцій, 27 – закордонні видання з високим рівнем цитування, 20 патентів на винаходи та корисні моделі авторського права.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 6-ти розділів, висновків, переліку використаних джерел із 279 найменувань на 30 сторінках; містить 332 сторінки машинописного тексту, 81 рисунок, 41 таблицю і додатки на 38 сторінках; загальний обсяг роботи 400 сторінок.

Автор висловлює слова щирої вдячності науковому консультанту професору, доктору технічних наук Бондаренку В.І., професору, кандидату технічних наук Савостьянову О.В., доцентам Фальштинському В.С., Руських В.В. та іншим співробітникам кафедри підземної розробки родовищ за наукові консультації та допомогу при проведенні досліджень.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані наукова проблема, мета та задачі досліджень, наведені наукові положення, що виносяться на захист, наукове та практичне значення роботи, а також дані щодо апробації та публікацій за напрямками досліджень.

**Зміст першого розділу.** Над проблемою обґрунтування технологічних параметрів та управління станом масиву гірських порід при вийманні тонких і надтонких вугільних пластів у масиві слабометаморфізованих порід з метою концентрації очисних робіт, збільшення навантаження на очисні вибої та обсягів видобування вугілля процювало не одне покоління українських та закордонних науковців та виробників. Особливостям ведення очисних та підготовчих робіт, орієнтації виробок відповідно розміщенню зон підвищеної та пониженої напруженості масиву техногенного та природного характеру при комплексно-механізованому вийманні запасів і застосуванні свердловинної підземної газифікації вугілля приділено достатньо уваги у роботах великої кількості науковців. Серед сучасних науковців особливу увагу заслуговують праці: Алексєєва А.Д., Бондаренка В.І., Булата А.Ф., Веріна В.С., Власова С.Ф., Гайка Г.І., Глазова Д.Д., Голубєва Г.Н., Гребьонкіна С.С., Зборщика М.П., Зоріна А.М., Зубова В.П., Кияшка І.А., Козела К.К., Колоколова О.В., Кузнецова С.Т., Кузьменка О.М., Лукінова С.О., Назімка В.В., Орлова О.А., Питаленка Є.І., Перепелиці В.Г., Петруши М.В., Садовенка І.О., Слесарєва В.Д., Халимендика Ю.М., Худіна Ю.Л., Четверика М.С., Широкова О.П. та ін.

Питання встановлення якісних і кількісних показників напруженості поля, характеру релаксації напружень у масиві та зниження негативної дії підвищених деформацій гірських порід у процесі видобування вугілля в масиві слабометаморфізованих гірських порід знайшли відображення у роботах: Авершина О.В., Батугіної І.М., Безухова О.В., Бенявського З., Бондаренка В.І., Будька М.Н., Виноградова В.В., Власенка Б.В., Гайка Г.І., Гринфельда М.А., Грицька В.І., Дніпровського Ю.С., Зоріна А.М., Зубкова П.Р., Ликова І.Н., Лужина О.В., Касьяна М.М., Ковалевської І.А., Колоколова О.В., Крауча С.,

Кузьменка О.М., Куксенка В.С., Ликова І.Ф., Литвинського Г.Г., Лужина О.В., Назаренка Ю.Б., Ніколіна В.І., Петрова В.А., Петухова І.П., Репки В.В., Робота О.П., Рудакова Д.В., Савостьянова О.В., Садовенка І.О., Слесарева В.Д., Симановича Г.А., Старфілда А., Ступніка М.І., Усаченка Б.М., Халимендика Ю.М., Шаламберидже В.Ф., Шермана С.І., Ширіна Л.Н., Якобі О., Яновського Б.М. та ін.

На основі проведеного аналізу встановлено, що поступове вичерпання кондиційних запасів вугілля призводить до необхідності збільшення частки видобутих запасів із тонких та надтонких пластів. Дане завдання спрямоване також на вирішення важливої соціальної проблеми зниження напруженості депресивних гірничодобувних регіонів шляхом продовження терміну експлуатації шахт. Важливо вести наукові дослідження у напрямі вдосконалення як традиційних, так і якісно нових радикальних технологій.

Це вимагає розробляти нові та вносити доповнення в існуючі методи оцінки напружено-деформованого стану гірського масиву, встановлювати необхідні силові характеристики комплексно-механізованих очисних вибоїв та додаткових елементів кріплення у робочому просторі лав для умов підвищеного гірського тиску й обвалювання порід покрівлі, а також склад і температурний режим дуттьової суміші та способи її подачі у геореактор при підземній газифікації з орієнтацією на отримання замітника природного газу та встановити режими роботи газогенератора для підвищення ефективності їх роботи.

Напрямом техніко-технологічного удосконалення відпрацювання тонких та надтонких вугільних пластів у слабометаморфізованих породах є застосування синтезу технологій комплексно-механізованого виймання та радикальної технології підземної газифікації вугілля. Узгодження технологічних параметрів очисного вибою від гірничо-геологічної ситуації дільниці, визначення меж застосування техніки нового технічного рівня, розробка способів управління гірським тиском, а також наукові дослідження в напрямі створення штучних оболонок при застосуванні технології СПГВ є сукупністю актуальних задач, що формують важливу наукову проблему і вимагають нагального вирішення.

**У другому розділі** розглянуто модель формування напружень через встановлений коефіцієнт літологічної будови, вибрано метод розрахунку та методику проведення досліджень.

Тестові дослідження напружено-деформаційних характеристик гірського масиву провадилися за допомогою спеціальної жорсткої установки БУ-39. Дана установка є механічним навантажувальним пристроєм із ручним приводом і призначена для комплексного визначення міцнісних і деформаційних характеристик гірських порід у лабораторних та польових умовах. Відповідність отриманих результатів перевірялася на жорсткій машині СНТ в лабораторії геомеханіки Краківської гірничо-металургійної академії ім. С. Сташця.

Проби порід отримано способом відбору керну із розвідувальних свердловин. Відповідність результатів забезпечувалась просторовим



відтворенням літологічної будови досліджуваних областей та підготовкою отриманих зразків згідно із технічною документацією згаданих пресів. Дані зразки також поділялись за формою, розмірами, глибиною відбору проб та іншими характеристиками. Okремо приділялась увага вологості, цілісності, мікро- та макротріщинуватості кожної проби. Результати проведених досліджень у вигляді усереднених зведених графіків міцності гірських порід на одновісний стиск наведено на рис. 1.

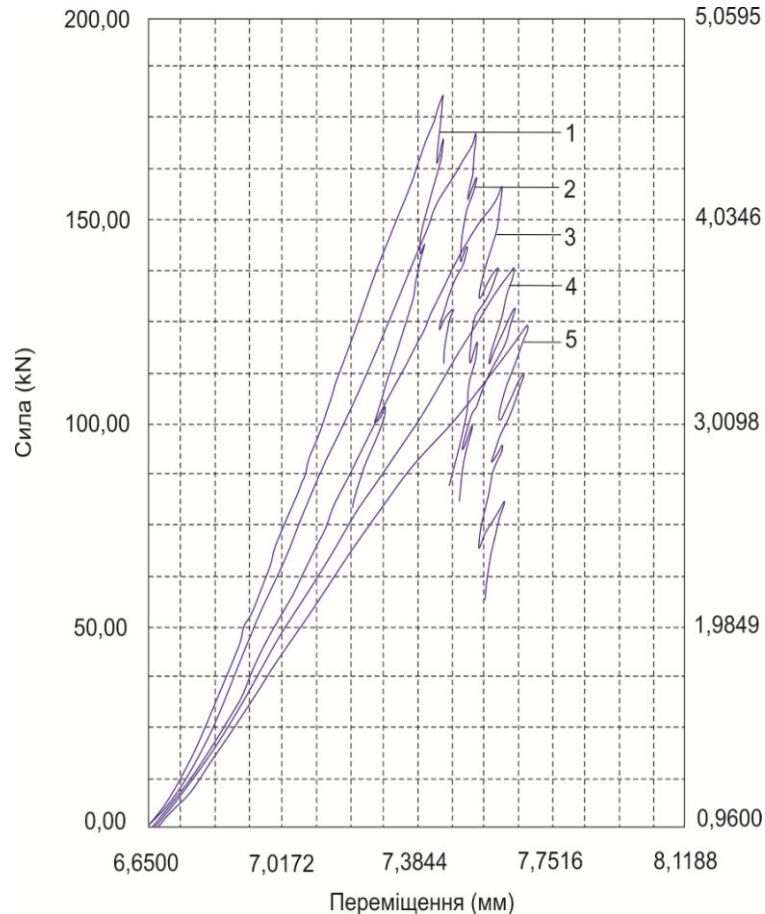


Рис. 1. Усереднені зведені графіки міцності гірських порід на одновісний стиск:  
1 – 5 – деформаційні характеристики порід згідно зі ступенем метаморфізму порід

Отримані результати показують, що для порід одного рівня метаморфізму не обов'язково підвищення міцності порід із збільшенням глибини відбору проб. Деформаційні характеристики порід із нижчими показниками будуть проявлятися згідно обвалень порід нижніх жорстких шарів.

У результаті було встановлено, що гірничо-геологічним умовам шахт ДП «Львіввугілля» характерна варіативна зміна ступеня метаморфізму з його поступовим збільшенням у південно-західному напрямку (від проектної Сокальської групи шахт до Тяглівського та Любельського родовищ). Причому на шахтах регіону чітко спостерігається хвилюва зміна якісних характеристик вугілля із варіацією за площею родовища.

Для Павлоградської групи шахт компанії ДТЕК спостерігається чітке підвищення метаморфічних властивостей гірського масиву у південно-східному напрямку (від Терновського до Петропавлівського вугленосних районів). Якісні ознаки вугілля поступово покращуються зі зміною від енергетичного до коксівного вугілля. У цьому ж напрямку знижується зольність та вміст сірки у пласті.

Виходячи з тестових досліджень, а також запропонованої моделі формування напружень, була проведена оцінка напружено-деформованого стану гірських порід за допомогою пакету ліцензійної прикладної програми Flac 5,01. Інформаційний продукт передбачає встановлення необхідних деформаційних характеристик масиву при використанні відомого методу скінченних різниць. У результаті проведених досліджень були відтворені отримані літологічні різниці гірських порід при різному техніко-технологічному веденні очисних робіт. Оцінка велася при встановленні основних напружень гірського масиву та максимальних опускань у робочий простір лави.

Результати аналітичних досліджень напруженості масиву, а також опускань бічних порід підтверджують можливість застосування технологічних удосконалень як для вибоїв із довжиною 30 – 60 м (технологія підземної газифікації вугілля), так і для комплексно-механізованих очисних вибоїв, обладнаних гірничодобувною технікою нового технічного рівня, із довжиною очисних вибоїв 250 – 300 м і більше.

Технологічні удосконалень передбачають інтенсифікацію гірничих робіт при застосуванні високопродуктивного виймання тонких, надтонких вугільних запасів та технології підземної газифікації вугілля. Такі зміни, окрім перегляду уявлень про геомеханічну ситуацію виїмкової ділянки, вимагають суттєвих інвестиційних вливань на закупівлю нового обладнання. Тому необхідно максимально мінімізувати ризики від можливих економічних втрат щодо закупівлі дорогого гірничодобувного обладнання. З цією метою пропонується застосувати імітаційне відтворення усього комплексу шахти або окремих структурних одиниць для візуалізації усіх технологічних процесів та можливості адекватного реагування на зміну гірничо-геологічної чи гірничотехнічної ситуації.

**У третьому розділі** наведено результати систематизації наявних підходів та роблених авторських систем комп'ютерних інформаційних пакетів для відтворення гірничих процесів при змінних технологічних параметрах комплексно-механізованого виймання та свердловинної підземної газифікації вугілля.

Високопродуктивне виймання запасів, впровадження сучасної гірничодобувної техніки, геометризація літологічної будови та інші процеси вимагають обробки великої кількості даних. З цією метою найбільш ефективним є використання наявних та розробка власних інформаційних прикладних програм. Дані пакети дають можливість якісно нового вирішення складних задач гірничого виробництва й оформлення документації всіх технічних служб гірничих підприємств.

Автор пропонує розробити цілком нову систему впровадження комп'ютерних технологій у гірниче виробництво. За платформу програмного забезпечення приймаються принципи імітаційного моделювання, які є досить гнучкими і можуть легко пристосовуватися до мінливої ситуації на окремих ділянках гірничодобувного підприємства і поєднувати їх в єдину загальну систему. Передбачається відтворення шахти як імітаційної моделі усіх процесів, що відображають гірничо-геологічну, гірничотехнічну та технологічну ситуацію підприємства. Роль інженера висувається на перший план при прийнятті рішень на конкретному етапі виконання окремого технологічного процесу. Системи мають зворотний зв'язок і дають можливість змінювати системи керування й контролю та приймати нестандартні рішення.

Автор пропонує зосередити увагу на системі «очисні роботи», тобто, зійти на рівень симуляції очисної ділянки: очисний вибій, підготовчі виробки, сполучення лави зі штреками і літологічна будова бічних порід масиву.

Для цієї системи вихідними даними для моделювання є два основні чинники: гірничо-геологічна будова вуглевмісної товщі виїмкового стовпа та техніко-технологічна ситуація у лаві та прилеглих підготовчих виробках.

Літологічна різниця відтворюється за допомогою відображення площин поділу за нашаруванням порід. Для цього вводяться точки за лініями перерізу площин розшарування із ділянними штреками. Перепад точок у вертикальній площині ( $U$ ) за довжиною виїмкового стовпа ( $L$ ) описується за допомогою «м'яких» математичних моделей у вигляді кривих різних порядків:

$$U = f(L).$$

За отриманими з двох виїмкових штреків (бортовому та конвеєрному) даними формується геологічна будова гірського масиву. Вона корегується за допомогою підключення до моделювання даних із розвідувальних свердловин, що містяться у межах розглянутого виїмкового стовпа. Для відтворення шахти як єдиної імітаційної моделі основні технологічні процеси гірничого виробництва систематизовано у діаграму класів за допомогою принципів функціонального проектування.

Застосування систем імітаційного відтворення технологічних параметрів набуває особливого значення при впровадженні нових радикальних технологій видобування вугілля. Дані технології вимагають провадити чітке поточне корегування процесом відповідно змінам геометричних параметрів газогенератора до фізичних швидкостей протікання хімічних реакцій.

Визначення основних технологічних параметрів ґрунтується на встановленні геометричних параметрів свердловин та реакційного каналу, способів управління гірським тиском при формуванні вигазованого простору, а також матеріально-теплого балансу (якісного складу та кількості вхідної та вихідної сумішей) самої газифікації. Причому, слід ураховувати, що усі ці параметри змінюються з провадженням процесу вигазування вугільного пласта.

Розрахунок матеріально-теплого балансу СПГВ є надзвичайно складною задачею. Це обумовлено тим, що результати процесу СПГВ залежать від великої кількості змінних величин. Отриманий генераторний газ із одного пласта може мати зовсім інші показники при розробці пласта з іншими характеристиками. Така сама ситуація спостерігається при вигазовуванні того ж пласта, але при зміні гірничо-геологічних умов: приток води, тріщинуватість, варіація потужності і т. ін. У такому випадку необхідно корегувати розрахунок матеріально-теплого балансу СПГВ для забезпечення необхідних результатів.

З метою полегшення виконання зазначених робіт представлено алгоритм та основні положення спеціального програмного забезпечення, розробленого здобувачем у складі авторського колективу. Скріншот даного програмного продукту із елементами обчислення складу дуттєвої і вихідної газових сумішей наведені на рис. 2.

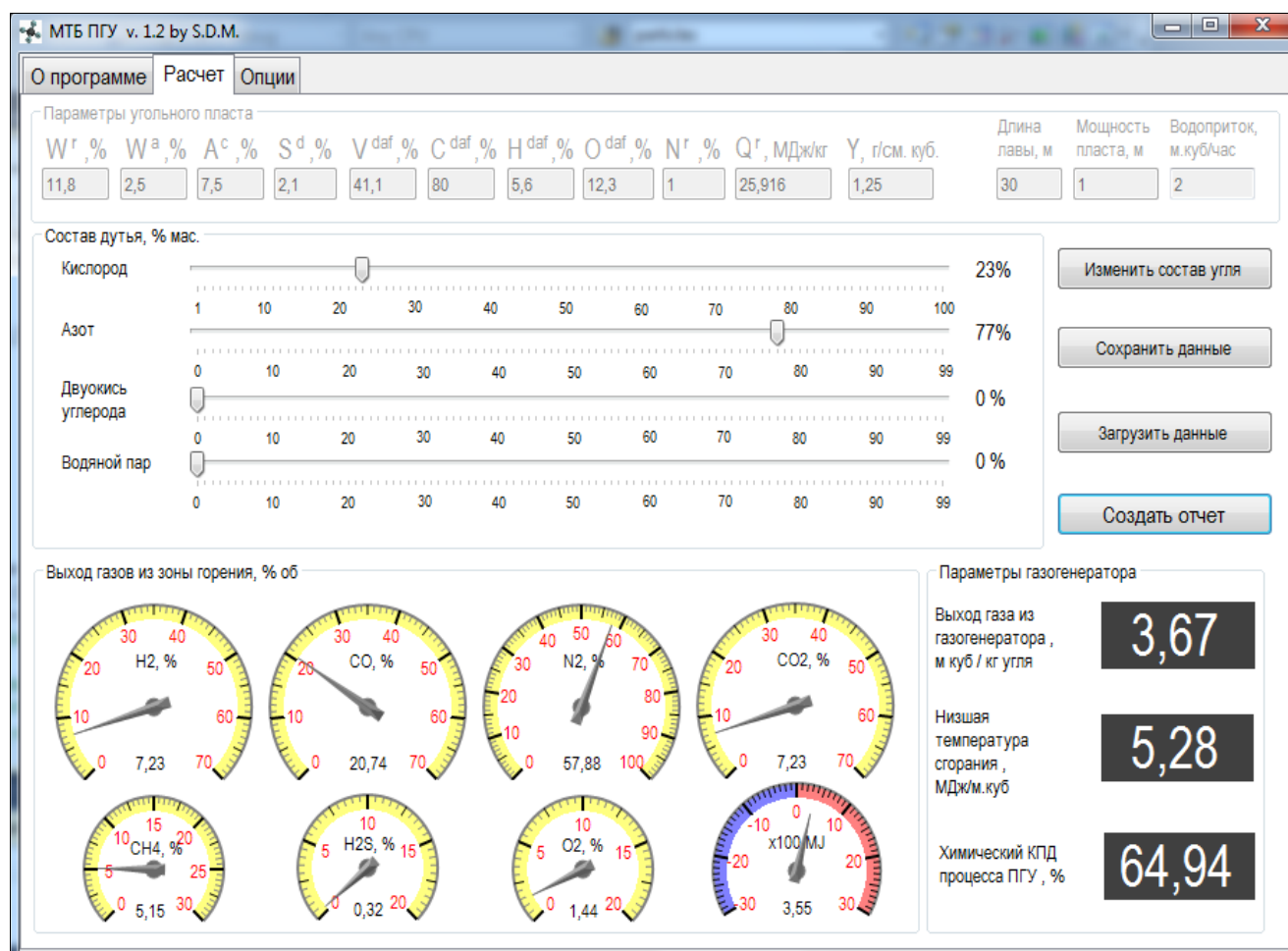


Рис. 2. Скріншот програмного забезпечення у режимі “Розрахунок параметрів дуттєвої суміші”

Даний програмний продукт дає можливість швидко перераховувати матеріально-тепловий баланс СПГВ при варіації кількісних і якісних параметрів вугільного пласта. В основу його математичного апарату закладено визнані наявні підходи щодо встановлення показників складу вхідної суміші

газифікації та власні практичні дослідження в умовах вугільних пластів згаданих українських та польських вугільних шахт.

**У четвертому розділі** наведено результати шахтних експериментальних досліджень напружено-деформованого стану гірського масиву.

На основі розроблених авторських програмних продуктів, представлених у розділі 3, а також із застосуванням визнаних пакетів прикладних інформаційних програм були розроблені імітаційні моделі лав з відтворенням технологічних параметрів виїмкових дільниць та літологічної будови вуглевмісної товщі. Проведено оцінку напружено-деформованого стану гірського масиву.

Формування імітаційної системи «очисний вибій – літологічна різниця масиву» здійснюється за перерізами двох виїмкових штреків (бортового та конвеєрного). Вона коректується за допомогою підключення до моделювання даних із розвідувальних свердловин, що містяться у межах розглянутого виїмкового стовпа.

Способом геометризації родовищ проведено відтворення площин контактів, у першу чергу корисної копалини, за допомогою ізоліній просторового розташування. Розвиток сучасних способів візуалізації надав можливості суттєво розширити способи представлення та форми усіх складових літологічної будови досліджуваних областей. Система імітації максимально об'єктивно відображала рівень гірничо-геометричної вивченості пласта. Також здійснювалось коригування загальної картини гірничодобувних робіт при отриманні додаткових даних із свердловин дорозвідки чи при зустрічі видобувними роботами нових аномальних формувань.

Для перевірки теоретичних передумов, результатів математичних розрахунків та комп'ютерного моделювання були виділені виїмкові стовпи з потенційно можливим застосуванням гірничодобувної техніки нового рівня з метою перевірки впливу зміни літологічної будови масиву, у першу чергу, основної покрівлі та шарів жорсткості, на прояви деформацій порід у робочому просторі лави (шахта: «Самарська» виїмкові поля ділянок лав №№ 545, 549 і 552 пласта  $c_5$ , 170, 172 пласта  $c_7$ ; шахта «Західно-Донбаська» – №№ 880 пласта  $c_8^H$ , 1023, 1029 пласта  $c_{10}$ , компанія ДТЕК; шахта «Червоноградська» – №№ 510, 560 пласта  $n_8^6$ , шахта «Зарічна» – № 355 пласта  $n_7^6$ , шахта «Межирічанська» – 487, 488 пласта  $n_8$ , ДП «Львіввугілля»). Основні випробування результатів дисертаційної роботи щодо створення імітаційної моделі та прогнозування техніко-технологічної ситуації через встановлений коефіцієнт літологічної будови проведений на підставі аналізу геоструктурної будови лав №№ 412, 413 пласта  $n_8$  шахти «Межирічанська» ДП «Львіввугілля».

У результаті було встановлено, що зміна потужності та зниження міцнісних характеристик породних шарів жорсткості, у першу чергу основної покрівлі, негативно впливає на процес видобування вугілля.

Літологічна різниця вуглевмісної товщі з відповідними фізико-механічними властивостями за дільничними штреками відтворювалася за допомогою математичних залежностей у вигляді кривих поліноміального ряду відповідного порядку:



відношенням добутку геометричних та фізико-механічних параметрів, що визначають навантаження на секції кріплення  $(l_i, l_n, \psi_i, \beta_i, h_i, \gamma_i)$  до відповідних приведених величин  $(l_{крп}, l_n, \psi_{крп}, \beta_{крп}, h_{крп}, \gamma_{крп})$ , за якими вибираються силові параметри механізованих комплексів для виймання запасів в окремих гірничо-геологічних умовах:

$$n = \frac{h_i \cdot \gamma_i \cdot l_i \cdot \text{tg} \psi_i \cdot \beta_i}{h_{крп} \cdot \gamma_{крп} \cdot l_{крп} \cdot \text{tg} \psi_{крп} \cdot \beta_{крп}}$$

Даний коефіцієнт є дієвим механізмом при встановленні напружено-деформованого стану гірського масиву, що дає можливість прогнозувати зони підвищеного і пониженого тиску для відповідного корегування технології видобутку запасів шляхом корегування силових параметрів кріплення механізованих комплексів під час руху у виїмковому стовпі.

Для прикладу наведено формування імітаційної моделі та прогнозування техніко-технологічної ситуації через встановлений коефіцієнт літологічної будови на підставі аналізу геоструктурної будови лави № 413 пласта  $n_8$  шахти «Великомостівська» ДП «Львіввугілля».

Суміщені графіки зміни межі міцності на одновісний стиск, силових показників механізованого кріплення та значення коефіцієнта літологічної різниці наведено на рис. 3.

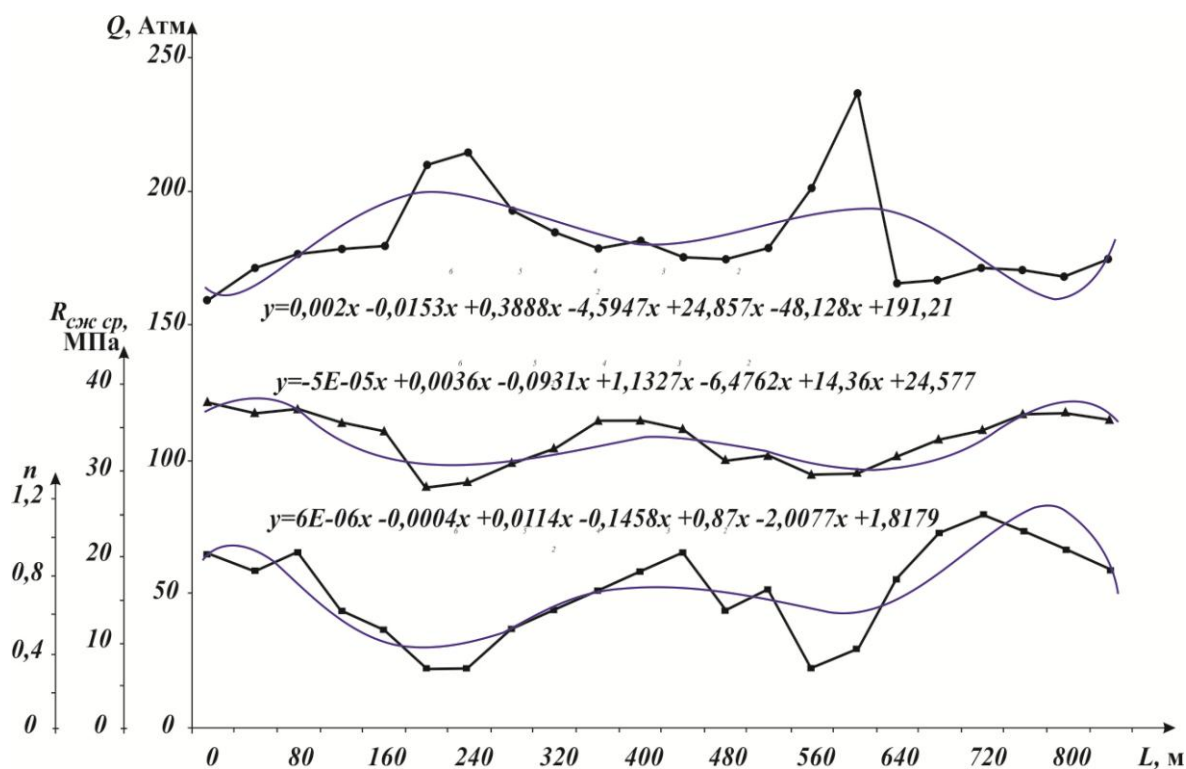


Рис. 3. Суміщені графіки силових показників механізованого кріплення (1), зміни межі міцності на одновісний стиск (2) та значення коефіцієнта літологічної різниці (3)

Екстремуми отриманих функцій співпадають між собою, що доводить взаємну залежність між цими досліджуваними параметрами. Це показує, що коефіцієнт літологічної будови, який характеризує зміну геометричних та міцнісних параметрів шарів надвугільної товщі за довжиною виїмкового стовпа, є дієвим інструментом для прогнозування зон підвищеного і пониженого тиску для відповідного коректування силових параметрів механізованого кріплення та технології видобування запасів.

Його зміна у межах  $0,6 \leq n \leq 1,1$  показує на доречність застосування відповідних механізованих комплексів для відпрацювання запасів вугілля у даних гірничо-геологічних умовах. Вихід значень коефіцієнта із зазначеного діапазона показників вказує на доцільність застосування свердловинної підземної газифікації.

Аналогічні результати отримані для інших згаданих досліджуваних ділянок виїмкових стовпів ДП «Львіввугілля» та компанії ДТЕК. З практичної точки зору, даний коефіцієнт дає можливість встановити достовірний інтервал застосування гірничодобувної техніки під час його руху у виїмкових стовпах, межі регулювання силовими параметрами маслосистеми (тиском емульсії в усій системі чи в окремих секціях кріплення) механізованих комплексів, зон необхідного розвантаження масиву, встановлення додаткових елементів підсилення та ін.

**У п'ятому розділі** наведено результати досліджень з підвищення ефективності свердловинної підземної газифікації вугілля при видобутку тонких та надтонких вугільних пластів.

Крім зазначеного діапазону коефіцієнту літологічної будови, придатність ділянок шахтного поля до відпрацювання за допомогою технології свердловинної газифікації здійснюється за загальним коефіцієнтом  $K_0$ , значення якого показує, що в межах:

0,9 – 1,0 – ідеальні умови для підземної газифікації вугілля; ці умови досяються вкрай рідко, і цей висновок можна зробити лише за умов детальної розвідки всієї ділянки, призначеної для підземної газифікації;

0,8 – 0,9 – умови хорошої придатності для підземної газифікації вугілля;

0,75 – 0,8 – умови достатньої придатності для підземної газифікації вугілля;

0,6 – 0,75 – умови задовільної придатності до підземної газифікації вугілля;

0,5 – 0,6 – умови можливої газифікації при суттєвих змінах в технологічному процесі СПГВ;

< 0,5 – на даному етапі розвитку техніки і технології СПГВ запаси є непридатними до підземної газифікації вугілля.

Згідно з критеріями придатності основними показниками, що визначають можливість застосування і дієвість роботи підземних геореакторів, є ступінь метаморфізму вугілля, потужність і кут падіння пласта, його якісні показники, метаноємність масиву і характеристики бічних порід. Для значень коефіцієнта



$K_0$  у межах від 0,5 до 0,9 в технологію необхідно вносити зміни у вигляді певних доповнень.

Ефективне управління процесом газифікації значною мірою залежить від стану прилеглих порід і можливості підтримувати їх стійкість на час вигазовування виїмкової ділянки. Фактично дана задача зводиться до створення штучних оболонок під термічною дією та формуванням масиву із підвищеними метаморфічними властивостями.

У процесі теплообміну із середовищем під час газифікації вугілля відбувається зміна природного температурного поля в приконтурних пластах порід навколо геореактора. Температурне поле в зоні теплового впливу геореактора призводить до формування області неоднорідного розподілу фізико-механічних властивостей. В зоні теплової дії під впливом теплового розширення порід виникнуть температурні деформації. У сукупності дані чинники є основними при формуванні термонапруженого стану в приконтурних шарах породного масиву навколо геореактора.

Особливістю геомеханічних процесів при підземній газифікації вугілля є їх складний просторовий характер і утворення зон непружних деформацій. Крім того, необхідно враховувати утворення оболонки оплавленої породи, фізико-механічні властивості якої суттєво відрізняються від властивостей вміщуючого породного масиву.

Виконані дослідження показують, що вказані особливості геомеханічних процесів при підземній газифікації вугілля можуть бути адекватно враховані лише в рамках просторової континуальної моделі термопластичності неоднорідного породного масиву. Тому, за розрахункову схему в роботі використовується саме дана нелінійна модель, відповідно до якої породний масив моделюється суцільним пружно-пластичним середовищем з порожниною, що має оболонку з оплавленої породи.

Напружено-деформований стан гірських порід і оболонки порожнини описуються співвідношеннями деформаційної теорії термопластичності, згідно загальновідомих положень якої інтенсивності напружень  $\sigma_i$  і деформацій  $\varepsilon_i$  обчислюються за формулами

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)} ,$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_{11} - \varepsilon_0)^2 + (\varepsilon_{22} - \varepsilon_0)^2 + (\varepsilon_{33} - \varepsilon_0)^2 + 6(\varepsilon_{12}^2 + \varepsilon_{23}^2 + \varepsilon_{31}^2)} ,$$

де  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  – відповідно компоненти тензорів напружень і деформацій;  $\varepsilon_0$  – середня нормальна деформація.

При застосуванні коефіцієнта пропорційності  $\psi$ , і врахувавши, що він є функцією інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$  і температури  $T$ , функція  $\psi(\varepsilon_i, T)$  може бути виражена через функцію  $\Phi(\varepsilon_i, T)$ , що у скалярній формі можна записати

$$\begin{aligned}\sigma_{11} - \sigma_0 &= \psi(\varepsilon_{11} - \varepsilon_0), \\ \sigma_{22} - \sigma_0 &= \psi(\varepsilon_{22} - \varepsilon_0), \\ \sigma_{33} - \sigma_0 &= \psi(\varepsilon_{33} - \varepsilon_0), \\ \sigma_{12} &= 2\psi\varepsilon_{12}, \\ \sigma_{23} &= 2\psi\varepsilon_{23}, \\ \sigma_{31} &= 2\psi\varepsilon_{31}.\end{aligned}$$

Відповідно, параметр  $\psi$  виражається через інтенсивність напружень і деформацій

$$\begin{aligned}\psi &= \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i}, \\ \psi &= \frac{2}{3} \frac{\Phi(\varepsilon_i, T)}{\varepsilon_i}.\end{aligned}$$

Функція  $\Phi(\varepsilon_i, T)$  відповідає так званій «єдиній» кривій деформації в координатах « $\varepsilon_i - \sigma_i$ », яка для гірських порід і оболонки з оплавленої породи визначається експериментальним шляхом, зокрема, з діаграми «деформація – напруження» при одновісному стисненні з урахуванням температурної залежності фізико-механічних властивостей гірських порід.

Для чисельного рішення задач термопружності, одержаних в результаті лінеаризації нелінійної граничної задачі теорії термопластичності, у даній роботі використовується метод скінченних елементів. Основна ідея цього методу полягає в тому, що досліджувана область суцільного середовища з нескінченним числом ступенів свободи апроксимується сукупністю підобластей (або скінченних елементів), що мають скінченне число ступенів свободи.

Перевірка результатів аналітичного моделювання проводилася на двох стендових установках, що були виконані для умов шахт Західного Донбасу та Нижньо-Сілезького промислового регіону (Польща), та на експериментальній шахті Барбара (Міколув, Польща). Загальна технологічна схема тестових стендових установок підземної газифікації вугілля наведена на рис. 4.



Рис. 4. Технологічна схема стендової установки підземної газифікації вугілля

Формування штучних оболонок навколо підземних газогенераторів здійснювалося у два етапи: створення штучної оболонки оплавлених порід, яка знаходиться безпосередньо над осередком газифікації, та створення порід із зміненими метаморфічними властивостями у глибині масиву. Кожна з цих оболонок відіграє важливу роль при управлінні гірським тиском та встановленні необхідного кроку опускання порід покрівлі.

Перша оболонка формується на незначну глибину від декількох міліметрів до десятків сантиметрів. Вона є захисним екраном від впливу відкритого високотемпературного розпеченого поля і забезпечує зміну метаморфічних властивостей. Це стосується не лише глиновмісних порід, які під дією високих температур збільшують свої міцнісні характеристик у декілька раз, але й самого вугілля. Крім цього, даний процес необхідний для створення ізолюючого шару, який запобігає міграції газів у масиві порід та забезпечує максимальну герметичність системи геореактора.

Витіснення води із масиву, окрім формування підвищення ступеня метаморфізму, при подальшому нагріванні може викликати деструкцію масиву. Тому процес формування штучної двошарової оболонки є надзвичайно складним. Одразу після запуску геореактора система піддається дії підігрітої пари, яка проходить через усю зону газифікації і при контакті з вугіллям чи боковими породами під дією температур поступово призводить до їх оплавлення. При цьому необхідно забезпечити рівномірність омивання каналу газифікації дуттьовою сумішшю і відповідні температури в каналі. За допомогою випалу формується перший шар оболонки, у результаті чого вугільна поверхня чи поверхня глиновмісних порід оплавлюються і перетворюються на достатньо тверду субстанцію. Проведеними дослідженнями встановлено, що під керованим впливом пульсуючого пароповітряного дуття у межах тиску від 0,1 до 0,5 МПа та температурному режимі від 900 до 1200 °С змінюється товщина штучноствореної оболонки оплавлених порід від 0,05 до 0,25 м, при цьому над вигазованим простором газогенератора забезпечується необхідний крок обвалення порід покрівлі.

У робочому режимі газифікації ( $T = 900 - 1100$  °С) температурне поле розширюється в глибину масиву, формуючи другий шар штучноствореної оболонки. Деформаційні характеристики цієї оболонки визначатимуть крок

обвалення порід покрівлі під час руху геореактора вздовж виїмкового стовпа. Розрахункова схема теплообміну наведена на рис. 5.



Рис. 5. Розрахункова схема теплообміну в межах зони впливу підвищених температур від геореактора

На основі рівняння руху газоповітряних сумішей, виходячи зі стану ідеального газу (рівняння Клапейрона-Менделєєва), автором запропоноване рівняння для визначення кроку посадки порід

$$l_k = \frac{v_1 \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot \Delta T_1}{4 \cdot m \cdot v_2 \cdot \Delta T_2} = \frac{v_3 \cdot \pi \cdot d_3^2 \cdot \Delta T_3}{4 \cdot m \cdot v_2 \cdot \Delta T_2}, \text{ м};$$

де  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  – швидкості руху дуттьової суміші відповідно для подавальної свердловини, реакційного каналу та вивідної свердловини;  $d_1$ ,  $d_3$  – діаметри відповідно подавальної та вивідної свердловин;  $m$  – потужність пласта, що газифікується;  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_3$ ,  $\Delta T_2$  – перепад температур відповідно у подавальній і газовідвідній свердловинах та у геореакторі.

Експериментальними дослідженнями кроку обвалення порід встановлено, що у слабометаморфізованих породах Західного Донбасу формування необхідного кроку обвалення порід від джерела газифікації (1,2 до 3,1 м) забезпечується збільшенням товщини оплавленої штучноствореної оболонки від 0,05 до 0,25 м за параболічною залежністю. Урахування цієї залежності дає можливість забезпечити стійкий процес газифікації тонких та надтонких вугільних пластів. Вона дає також можливість завчасного встановлення кроку обвалення порід для визначення ефективних способів управління гірським тиском та необхідних обсягів дуттьової суміші.

Для створення раціональних умов газифікації необхідно забезпечити крок обвалення порід від 1,5 до 2,5 м. Це забезпечує необхідну стійкість штучноствореної порожнини для ефективного проходження дуттьової суміші.

Окремим важливим елементом дослідження було встановлення складу, температурного режиму дуттьової суміші і способів її подачі у геореактор із орієнтацією на отримання заміни природного газу, а також визначення умов зміни співвідношення складових синтез-газу для подальшого отримання різної хімічної сировини. У першу чергу, це стосується створення рідких палив, таких як метанол.

Виконані роботи показали, що орієнтація підземної газифікації вугілля на отримання газу метану як енергетичної сировини є досить складним процесом, і його ефективність не завжди підтверджується економічною доцільністю. Тому, окремо були проведені дослідження активації процесу за допомогою каталізатора *Fe*. У такому випадку концентрація газу метану ( $\eta_{CH_4}$ ) у вихідній суміші геореактора при застосуванні радикальної технології підземної газифікації вугілля для відпрацювання тонких та надтонких вугільних із робочим температурним режимом роботи  $T = 900 - 1200$  °С та пульсуючому пароповітряному дутті визначається логарифмічною залежністю від робочого тиску суміші ( $P$ ) у відновлювальній зоні реактора. Це дає можливість орієнтувати роботу газогенератора на отримання заміни газу метану.

Зона конверсії дає можливість провести орієнтацію генераторного газу на отримання газу метану з мінімальною варіацією складом, режимами і способами подачі дуттьової суміші у вогневий вибір. Застосування додаткової свердловини для окремих хімічних каталізаторів і реагентів дає можливість збільшити довжину реакційного каналу до 40 м, проте наявність додаткової свердловини призводить до збільшення на третину вартості розкривних та підготовчих робіт.

**У шостому розділі** запропоновано технологічні рішення виконання очисних робіт, а також встановлено критерії застосування окремих технологічних рішень щодо відпрацювання тонких та надтонких вугільних пластів. Проведена економічна оцінка запропонованих заходів.

Як інструмент для економічної оцінки запропонованих технічних рішень використана методика UNIDO (United Nations Industrial Development Organization), що входить до загальноєвропейської системи промислових стандартів.

Інвестиційна привабливість проекту визначається за виразом

$$\omega = \frac{1}{(1 - R)^n},$$

де  $R$  – величина дисконтної ставки;  $n$  – поточний аналіз за роками.

Для щомісячного аналізу вираз матиме наступний вигляд. Для першого місяця:

$$\omega = \frac{1}{(1 - R)^0}.$$

Для наступних місяців

$$\omega = \frac{1}{(1 - R)^{\frac{n_i}{12}}},$$

де  $n_i$  – порядковий номер місяця.

За допомогою показника економічної ефективності (*NPV – Net Present Value*) може бути проведена загальна оцінка інвестиційного проекту. Цей показник може бути визначений виходячи з параметрів роботи механізованого комплексу від моменту закупівлі чи початку експлуатації газогенератора при підземній газифікації вугілля та виведення їх із експлуатації

$$NPV = \sum \omega \cdot ДДП, \text{ грн.}$$

Установлено, що синтез технологій високопродуктивного видобування вугілля та свердловинної підземної газифікації вугілля забезпечується критерієм меж застосування цих технологій. Їх поєднання у межах одного промислового об'єкта дає можливість інтенсифікувати процес видобування та вилучення вугільних запасів із тонких та надтонких пластів в слабометаморфізованих породах. Корегуванням силових параметрів механізованого кріплення згідно з формуванням відповідного складу газоповітряної суміші, режимів та способів її подавання у геореактор при підземній газифікації вугілля веде до беззупинного поточного видобування запасів, підвищення безпеки виконання операцій та зниження собівартості отримання кінцевої продукції. Розрахунковий економічний ефект від впровадження складає 1,2 – 1,3 млн. грн на одну виїмкову дільницю. Розрахункові дані та результати практичної реалізації результатів дисертаційної роботи забезпечують зниження загальних виробничих витрат на 20 – 30 %.

## **ВИСНОВКИ**

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова проблема з синтезу технологій виймання тонких та надтонких вугільних пластів у масиві слабометаморфізованих порід на основі установлених закономірностей напружено-деформованого стану навколо штучноствореної порожнини при підземній газифікації вугілля від товщини оплавленої оболонки і механізованих лав з урахуванням коефіцієнта літологічної будови масиву, що є вкрай важливим для сучасного розвитку вугледобувної галузі України.

У ході виконання роботи отримані такі результати:

1. Обґрунтована доцільність комплексної розробки тонких та надтонких пластів традиційними та радикальними технологіями для продовження терміну експлуатації шахт, як стратегічного завдання вугільної промисловості України:

- поступове вичерпання кондиційних запасів вугілля призводить до необхідності збільшення частки видобутих запасів із тонких та вельми тонких пластів, що дає можливість вести наукові дослідження у напрямі удосконалення як традиційних, так і якісно нових технологій;

- на шахтах підготовлено до виймання понад 1 млрд т запасів, які нині є економічно недоцільними за наявних технологій видобування вугілля.

2. Установлено залежності зміни напружено-деформованого стану при вийманні малопотужних запасів вугілля у різних гірничо-геологічних умовах засобами імітаційного моделювання та проведення всебічних лабораторних випробувань зразків порід:

- статистична обробка якісних та кількісних показників роботи шахт ДП «Львіввугілля» та компанії ДТЕК, аналітичні та лабораторні дослідження

деформаційних характеристик вугілля та бічних порід за допомогою спеціальної установки БУ-39 та жорсткоподатливого стенда СНТ переконливо доводять наявність чіткої зміни ступеня метаморфізму гірських порід в умовах даних вугледобувних регіонів: для шахт ДП «Львіввугілля» характерна варіативна зміна ступеня метаморфізму з його поступовим збільшенням у південно-західному напрямку (від проектної Сокальської групи шахт до Тягівського та Любельського родовищ); для шахт Західного Донбасу спостерігається чітке підвищення метаморфічних властивостей гірського масиву у південно-східному напрямку (від Терновського до Петропавлівського вугленосних районів);

- деформація пісковиків та пісковикових сланців спрямована на руйнування зразків за природним кліважем порід. Руйнування більш слабких порід (аргіліти та алевроліти) проходить за різнонаправленим характером. Це пояснюється ступенем їх метаморфізму та нижчою спайністю на молекулярному рівні;

- розроблено пакет прикладних програм для визначення напружено-деформованого стану гірського масиву при високопродуктивному вийманні малопотужних запасів вугілля та визначення матеріально-теплого балансу СПГВ.

3. Отримано коефіцієнт літологічної будови, що враховує фізико-механічні, геометричні параметри порід та ґрунтується на базі розробленого пакету прикладних програм: чинник геологічної та структурної будови ( $n$ ), який залежить від літологічної різниці вуглевмісної породної товщі, її механічних та фізичних властивостей ( $\sigma_i, \gamma_i, \tau_i$ ), визначається за експоненціальною залежністю розповсюдження поля напруженості ( $Q$ ) вздовж очисного вибою та виїмкового стовпа й статистичних коефіцієнтів ( $K_1, K_2$ ) ймовірності проявів окремих визначальних чинників напруженості, що характеризують якісну зміну породовмісної товщі.

4. Обґрунтовано необхідні силові характеристики комплексно-механізованих очисних вибоїв та додаткових елементів кріплення у робочому просторі лав для умов підвищеного гірського тиску й обвалення порід покрівлі, що визначають:

- раціональне місце розташування гірничих виробок при видобуванні корисних копалин;
- напрямок ведення очисних і підготовчих робіт;
- технологічні та конструктивні особливості в гірничодобувному устаткуванні.

5. Розроблено загальний критерій оцінки придатності вугільних пластів за умовами залягання у масиві слабометаморфізованих гірських порід до підземної газифікації вугілля.

Придатність вугільних запасів до відпрацювання за допомогою технології підземної газифікації визначається багатокомпонентним коефіцієнтом ( $K_0$ ), що залежить від гідрогеологічної характеристики гірського масиву, якісних показників вугільного пласта та техніко-технологічного процесу газифікації.

При значенні коефіцієнта  $K_0$  в межах:

0,9 – 1,0 – ідеальні умови для підземної газифікації вугілля. Ці умови досягти вкрай рідко і висновок можна зробити лише при детальній розвідці всієї ділянки, призначеної для підземної газифікації;

0,8 – 0,9 – умови хорошої придатності для підземної газифікації вугілля;

0,75 – 0,8 – умови достатньої придатності для підземної газифікації вугілля;

0,6 – 0,75 – умови задовільної придатності до підземної газифікації вугілля;

0,5 – 0,6 – умови можливої газифікації при суттєвих змінах в технологічному процесі СПГВ;

> 0,5 – на даному етапі розвитку техніки і технології ПГУ запаси є непридатними до підземної газифікації вугілля.

6. Виконано розрахунок міцності штучноствореної порожнини СПГВ та встановлено температурний режим для регулювання її товщини, визначено крок обвалення порід покрівлі від величини оплавленої породи та кута зустрічі з природною тріщинуватістю порід покрівлі:

- встановлено температурний режим для регулювання товщини оплавленої покрівлі штучноствореної порожнини газогенератора, який показує, що в геореакторі при підземній газифікації вугілля температурний режим змінюється від  $T = 900$  до  $1200$  °С за параболічною залежністю під керованим впливом пульсуючого пароповітряного дуття у межах тиску від 0,1 до 0,5 МПа. Це дозволяє змінювати товщину штучноствореної 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 джерела газифікації;

- крок обвалення порід від джерела газифікації ( $l_o$ ) збільшується від 1,2 до 3,1 м зі збільшенням товщини оплавленої штучноствореної оболонки від 0,05 до 0,25 м за параболічною залежністю у слабометаморфізованих породах Західного Донбасу.

7. Визначено склад і температурний режим дуттьової суміші та способи її подачі в геореактор із орієнтацією на отримання заміни природного газу й встановлення режиму роботи газогенератора для отримання різної концентрації складових синтез-газу (монооксиду вуглецю та водню):

- експериментально встановлено режими роботи газогенератора для отримання різної концентрації складових синтез-газу способом варіації складу повітряно-вуглекислової суміші та встановлено залежності зміни концентрації газу метану при зміні тиску в геореакторі;

- концентрація газу метану ( $\eta_{CH_4}$ ) у вихідній суміші геореактора при застосуванні радикальної технології підземної газифікації вугілля для відпрацювання тонких та надтонких вугільних пластів із робочим температурним режимом  $T = 900 - 1200$  °С, використання заліза (Fe) як каталізатора та пульсуючого пароповітряного дуття визначається логарифмічною залежністю від робочого тиску суміші ( $P$ ) у відновній зоні реактора.



8. Розроблено методики та рекомендації ефективного видобування вугілля з тонких і надтонких пластів традиційними технологіями та свердловинною підземною газифікацією. Результати дисертаційної роботи впроваджено у технологічні проекти високо механізованого виїмання вугілля механізованими комплексами та способом свердловинної підземної газифікації на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», ДП «Львіввугілля», ВАТ «Донецьксталь – металургійний завод», а також у Польщі на шахті «Барбара», що дозволило збільшити повноту видобутку вугілля на 20 – 30%, знизити собівартість вугілля на 15 %, підвищити ефективність використання гірничодобувного устаткування і техніку безпеки в очисному вибої.

9. Розрахунковий економічний ефект складає 1,2 – 1,3 млн. грн на одну виїмкову ділянку, що підтверджує доцільність запропонованих техніко-технологічних заходів.

**Основні наукові результати і положення дисертації опубліковані в 112 роботах, основні з яких наведено нижче.**

*Монографії.*

1. Економічні й екологічні аспекти комплексної генерації та утилізації енергії в умовах урбанізованих та промислових територій : монографія / [Півняк Г.Г., Бешта О.С., Дичковський Р.О. та ін.]; під ред. Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 176 с.

2. Новітні принципи теплонасосних та когенераційних технологій використання викидного тепла: монографія / [Табаченко М.М., Самуся В.І., Дичковський Р.О., Фальштинський В.С.]. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 247 с.

3. Екологічна та економічна складові використання геотехнічних систем України: монографія / [Півняк Г.Г., Бешта О.С., Дичковський Р.О. та ін.]. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 223 с.

4. Тенденції розвитку технологій та систем енергозбереження при видобуванні енергетичної сировини: монографія / [Півняк Г.Г., Бешта О.С., Дичковський Р.О. та ін.]. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 223 с.

5. Дичковський Р.О. Високо механізоване виїмання тонких вугільних пластів в зонах структурних змін гірського масиву Львівсько-Волинського басейну: монографія / Р.О. Дичковський. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 110 с.

*Основні статті, опубліковані у фахових виданнях ВАК України*

6. Комбінований спосіб видобування бідних газових сумішей при дегазації вугільних пластів та їх адаптація для промислової переробки / [В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, В.Г. Лозинський, П.Б. Саїк] // Зб. наук праць Національного гірничого ун-ту. – Д.: РВК НГУ, 2012. – № 37. – С. 65 – 70.

7. Добыча метана и подземная газификация угольных и сланцевых запасов / М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський [ и др.]// Уголь Украины. – 2012. – № 5. – С. 31 – 35.

8. Дычковский Р.Е. Об извлечении метана и искусственного генераторного газа из угольных и сланцевых месторождений / [Н.М. Табаченко, Р.Е. Дычковский, В.С. Фальштынський ] // Науковий вісник НГУ. – 2012. – № 2. – С. 66 – 74.

9. Дичковський Р.О. Дослідження адаптаційних процесів системи «породовугільний масив – підземний газогенератор» на стендовій установці / В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, В.Г. Лозинський [та ін.] // Науковий вісник НГУ. – 2011. – № 6. – С. 72 – 76.

10. Дычковский Р.Е. Когенерационная реализация газа скважинной газификации угольных пластов на традиционных энергоустановках / Дычковский Р.Е., Табаченко Н.М., Фальштынський В.С., [и др.]// Науковий вісник НГУ. – 2011. – № 3. – С. 34 – 41.

11. Дичковський Р.О. Обґрунтування технологічних схем експериментального шахтного газогенератора / В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, Кшиштоф Станьчик [та ін.] // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 3. – С. 34 – 38.

12. Дычковский Р.Е. Повышение эффективности многокомбайновой выемки тонких пластов / В.И. Бондаренко, М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, [и др.] // Уголь Украины. – 2010. – № 3. – С. 3 – 8.

13. Новітня технологія розробки вугільних пластів на базі свердловинної газифікації /В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, М.М. Табаченко // Уголь Украины. – 2010. – № 1. – С. 10 – 14.

14. Дичковський Р.О. До питання визначення навантажень на кріплення механізованого комплексу при високих швидкостях посування очисного вибою/ Р.О. Дичковський, Є.В. Тимошенко // Геотехническая механика. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2009. – № 81. – С. 67 – 74.

15. Дычковский Р.Е. Теплонасосная утилизация низкопотенциальной теплоты на шахтах / Бондаренко В.И., Табаченко Н.М., Дычковский Р.Е. [та ін.] // Уголь Украины. – 2009. – № 6. – С. 15 – 18.

16. Дычковский Р.О. Геотехнологічне імітаційне моделювання системи видобування тонких вугільних пластів технікою нового рівня / Р.О. Дичковський, В.Ю. Медяник, В.В. Руських // Геомеханіка: зб.наук.праць. – Д.: ИГТМ НАН України, 2008. – № 77. – С.62 – 73.

17. Дичковський Р.О. Геодинамічні зміни у шаруватому породовугільному масиві при підземній газифікації пластів твердого палива / В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, В.М. Почепов [та ін.] // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 7. – С. 22 – 28.

18. Математична модель напружено-деформованого стану породного масиву при газифікації пластів твердого палива / О.В. Савостьянов, В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський [та ін.] // Зб. наук.пр. / НГУ. – Д.: РВК НГУ, 2008. – № 30. – С. 44 – 56.

19. Roman O. Dychkovskiy. Geomechanical Situation and Mining Workings Support in Zones of Stress Fields' Borders. // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 6. – С. 51 – 61.

20. Дичковський Р.О. Радикальні технології розробки вугільних родовищ на базі свердловинної газифікації / В.І. Бондаренко, В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський [та ін.] // Науковий вісник НГА України. – 2008. – № 4. – С. 14 – 20.

21. Дичковський Р.О. Механізм поведінки порідної товщі при свердловинній підземній газифікації тонких вугільних пластів / О.В. Савостьянов, В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський [та ін.] // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 10. – С. 52 – 59.

22. Дычковский Р.Е. Исследование влияния интенсификации добычи угля на технологические параметры / Р.Е. Дычковский, В.П. Расстрига, А.Р. Мамайкин [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 9. – С. 19 – 23.

23. Дичковський Р.О. Обґрунтування технології закладки порід покрівлі і вигазованого простору при свердловинній підземній газифікації вугілля / М.М. Табаченко, В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський [та ін.] // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 6. – С. 53 – 57.

24. Дычковский Р.Е. Исследование состояния горного массива на эквивалентных материалах в зоне мелкоамплитудной тектонической трещиноватости / В.И. Бондаренко, Р.Е. Дычковский, П.П. Корж // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 2. – С. 3 – 7.

25. Дычковский Р.Е. Компьютерные технологии для повышения эффективности работы угольных шахт / Р.Е. Дычковский, В.В. Русских, Н.П. Овчинников [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 7. – С. 7 – 10.

26. Дычковский Р.Е. Снижение напряженности охранного целика преобразованием выработанного пространства / О.Е. Хоменко, Р.Е. Дычковский, В.В. Русских, [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 2. – С. 3 – 6.

27. Дычковский Р.Е. Экономическая эффективность очистных работ в разгруженных областях охранных целиков / О.Е. Хоменко, Р.Е. Дычковский, А.Б. Владыко [и др.] // Сб. науч. тр. / НГУ. – Д.: РИК НГУ, 2004. – № 20, Т. 1. – С. 67 – 71.

28. Дичковський Р.О. Німецький досвід удосконалення виконавчих органів прохідницьких та очисних комбайнів. / О.Є. Хоменко, Р.О. Дичковський, С.П. Григор'єв, [та ін.] // Сб. науч. тр. НГУ, Д.: РИК НГУ, 2004. – № 19. Т. 3. – С. 250 – 254.

*Основні статті, опубліковані у закордонних виданнях.*

29. Dychkovskyy R. New Method for Justification the Technological Parameters of Coal Gasification in the Test Setting. / [V. Falshtynskyy, R. Dychkovskyy, V. Lozynskyy & P. Saik] // Geomechanical Processes During Underground Mining. – Boca Raton – London – New York – Leiden: CRC Press Taylor & Francis Group, Balkhema Boock, 2012. – P. 201 – 208.

30. Dychkovskiy R.O. Secondary Energy Products Utilization at Underground Coal Gasification. / [V.S. Falshtynskiy, R.O. Dychkovskiy, M.M. Tabachenko & P.B. Saik] // Scientific Reports on Resource Issues /Rock Strength, Rock Fragmentation and Effective Use of Energy Potential of Geotechnical Systems/ International University of Resources: Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg – 2012 – Volume 2 – P. 100 – 105.

31. Dychkovskiy R.O. Application of plow mining in Ukraine / [R.O. Dychkovskiy, Ie.V. Tymoshenko & V.S. Tenia ] // New Techniques and Technologies in Thin Coal Seam Exploitation. International Mining Forum: Krakow, – 2011. – P. 75 – 84.

32. Dychkovskiy R. Development of Coal Seams Suitability Criteria of Solyanovsk Deposit for Coal Gasification / [V. Bondarenko, V. Falshtynskiy, R. Dychkovskiy & M. Illyashov] // 22-st World Mining Congress & Expo 2011 // Published by Aygdu Ofset Ankara-Turkey, Volume 1, Istanbul, Turkey, 2011. – P. 649 – 657.

33. Dychkovskiy R. Economic indicators of BUCG on an experimental station in the SC “Pavlogradvugillia” conditions / [V. Falshtynskiy, R. Dychkovskiy & O. Zasedatelev] // Technical and Geoinformational Systems in Mining. – Boca Rator – London – New York – Leiden: CRC Press Taylor & Francis Group, Balkhema Boock, 2011. – P. 201-206.

34. Diczkowski R.E. . Ekonomiczne uzasadnienie celowości doszczelniania skał stropowych nad obszarem podziemnego zgazowania węgla metodą otworów wiertniczych / [R.E. Diczkowski, W.G. Lozinskiy] // Prace naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko. –Kwartalnik. – 2010. – №3. – S. 51 – 59.

35. Dychkovskiy R. Geomechanical model of rockmass containing gas-generator and its industrial estimation. Scientific Reports on Resource issues / [V. Falshtynskiy, R. Dychkovskiy] //Mechanical Characteristics of Rock: International University of Resources: Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg. – 2010. – Vol. 2. – P. 192 – 204.

36. Dychkovskiy R. Analytical determination of parameters of material and thermal balance and physical parameters of a coal seam work-out on mine “Barbara”, Poland / [V. Falshtynskiy, R. Dychkovskiy, K. Stanczyk, J. Swiadrowski] // New Techniques and Technologies in Mining. – Boca Rator – London – New York – Leiden: CRC Press Taylor & Francis Group, Balkhema Boock, 2010. – P 161-167.

37. Dychkovskiy Roman O. Synthetic Stowing of Rockmass at Borehole Underground Coal Gasification (BUCG) / [Volodymyr I Bondarenko, Volodymyr S. Falshtynskiy, Roman O. Dychkovskiy] // Deep Mining Challenges. – London – Leiden – New York – Philadelphia – Singapore: A.A. Balkema Publishers, 2009. – P. 169 – 179.

38. Dychkovskiy Roman O. Software Simulation in Thin Coal Seams. / [Yuriy B. Gryadushchiy, Roman O. Dychkovskiy, Vladyslav V. Ruskych] // Mining 21-st World Mining Congress & Expo // New challenges & visions for mining // Information technology in mining . – Krakow – Katowice – Sosnowiec: Drukarnia “Partia”, 2008. – P. 9 – 17.

39. Dychkovskiy Roman O. Methods of Extraction of Thin and Rather Thin Coal Seams in the Works of the Scientists of the Underground Mining Faculty (National Mining University) / [Volodymyr I Bondarenko, Roman O. Dychkovskiy] // New Technological Solutions in Underground Mining. – London – Leiden – New York – Philadelphia – Singapore: A.A. Balkema Publishers, 2006. – P. 21 – 26.

*Основні публікації матеріалів конференцій.*

40. До питання створення замітника природного газу при свердловинній підземній газифікації вугілля / М.О. Ільшов, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський [та ін.] // Форум гірників – 2012: матеріали міжнар.конф. – Д.: НГУ, 2012. – С. 41–50.

41. Особливості застосування технології свердловинної підземної газифікації при сумісній розробці світи вугільних пластів / [Дичковський Р.О., Фальштинський В.С., Саїк П.Б., Лозинський В.Г.] // Форум гірників – 2011: матеріали міжнар. конф. – Д.: НГУ, 2011. – С. 73 – 79.

42. 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 – 412.

43. Дичковський Р.О. Про можливість газифікації технічних та побутових відходів в підземних газогенераторах / В.С.Фальштинський, Р.О. Дичковський, О.Ю. Светкіна [ та ін.] // Форум гірників – 2010: матеріали міжнар.конф. – Д.: НГУ, 2010. – С. 176 – 182.

44. Дичковський Р.О. Система імітаційного відтворення процесів висококомеханізованого виймання тонких вугільних пластів / [Р.О. Дичковський, Є.В. Тимошенко, В.С. Фальштинський, В.В. Руських] // Школа підземної розробки: матеріали IV міжнар.наук.-практич. конф. – Д.: НГУ, 2010. – С. 79 – 87.

45. Дичковський Р.О. Сучасний досвід підземної газифікації вугілля / В.С.Фальштинський, Р.О.Дичковський, Кшиштоф Станьчик // Энергоэффективность - 2010: материалы междунар. научн.-практич. конф. – К.: Национальная академия наук Украины, Институт газа НАН Украины, 2010. – С. 27 – 30.

46. Дичковський Р.О. Газифікація вугільних пластів у шахтних умовах / В.С.Фальштинський, Р.О. Дичковський, Кшиштоф Станьчик [та ін.] // Школа підземної розробки: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: НГУ, 2009. – С. 477 – 486.

47. Дичковський Р.О. Обґрунтування параметрів матеріального і теплового балансу шахтного експериментального підземного газогенератора / В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, Кшиштоф Станьчик, [та ін.] // Форум гірників – 2009: матеріали міжнар.конф. – Д.: НГУ, 2009. – С 168-174.

48. Дичковський Р.О. Імітаційне моделювання процесів гірничого виробництва при відпрацюванні тонких вугільних пластів / Р.О. Дичковський, В.В. Руських, В.С. Фальштинський // Форум гірників – 2008: матеріали міжнар.конф. – Д.: НГУ, 2008. – С 77-83.

49. Вихід продуктів СПГВ при застосуванні газогенераторів із штучною герметизацією порід покрівлі та ви газованого простору / В.І. Бондаренко, В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, [та ін.] // Школа підземної розробки: матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: НГУ, 2008. – С. 220 – 225.

50. Параметры распространения температурного поля в породах, вмещающих подземный газогенератор / В.С. Фальштынский, Р.Е. Дычковский, Н.М. Табаченко, [и др.] // Школа підземної розробки: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: НГУ, 2007. – С. 216 – 224.

*Основні патенти та корисні моделі на винаходи.*

51. 99285 Україна, МПК E21C 41/00, E21F 7/00, E21B 43/295. Спосіб дегазації вуглепородного масиву при розробці вугільних пластів / Фальштинський В.С.; Сорбат Ю.В.; Дичковський Р.О.; Табаченко М.М.; Ширін Л.Н.; заявник та патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» – а200911827; заявл. 19.11.2009; опубл. 10.08.2012; Бюл. № 15/2012.

52. 98285 Україна, МПК E21B 43/295. Спосіб управління станом гірського масиву при газифікації твердого палива в шахтних умовах/ Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Ільяшов М.О., Гуков Ю.О.; заявник та патентовласник Приватне акціонерне товариство "Донецьксталь"-металургійний завод" – а201110236; заявл. 22.08.2011; опубл. 25.04.2012; Бюл. № 8/2012.

53. 97274 Україна, МПК E21B 43/295. Спосіб рекуперації тепла при підземній газифікації твердого палива / Фальштинський В.С.; Дичковський Р.О.; Табаченко М.М.; Медяник В.Ю.; Светкіна О.Ю.; Почепов В.М.; заявник та патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» – а200912906; заявл. 14.12.2009; опубл. 25.01.2012; Бюл. № 2/2012.

54. 96718 Україна, МПК E21B 43/295. Спосіб підземної газифікації пласта твердого палива/ Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Кожушок О.Д., Гуков Ю.О.; заявник та патентовласник Приватне акціонерне товариство "Донецьксталь"-металургійний завод" – а201101734; заявл. 14.02.2011; опубл. 25.11.2011; Бюл. № 22/2011.

55. 95351 Україна, МПК E21B 43/295. Спосіб підземної газифікації потужних пластів твердого палива / Фальштинський В.С.; Дичковський Р.О.; Табаченко М.М.; Медяник В.Ю.; Кошка Д.О.; Лозинський В.Г.; заявник та патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» – а200911385; заявл. 09.11.2009; опубл. 25.07.2011; Бюл. № 14/2011.

56. 88399 Україна, МПК E21B 43/295. Спосіб запалювання вугільного пласта при підземній газифікації/Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Почепов В.М., Светкіна О.Ю., Лапко В.М., Руських В.В.; заявник та патентовласник Національний гірничий університет - а200802519; заявл. 26.02.2008; опубл. 12.10.2009; Бюл. № 19/2009.

57. 89850 Україна, МПК E21B 43/295. Спосіб підземної газифікації твердого палива / Бондаренко В.І., Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Табаченко М.М., Медяник В.Ю., Руських В.В.; заявник та патентовласник Національний гірничий університет – а200803912; заявл. 28.03.2008; опубл. 10.03.2010; Бюл. № 5/2010

58. 50712 Україна, МПК E21C 41/00. Спосіб утилізації тепла земних надр / Табаченко М.М.; Дичковський Р.О., Фальштинський В.С.; Сорбат Ю.В.; Лапко В.В.; Медяник В.Ю.; заявник та патентовласник Національний гірничий університет - u200912300; заявл. 30.11.2009; опубл. 25. 06.2010; Бюл.№ 12/2010.

59. Пат. 35882 Україна, МПК E21C 37/00. Спосіб роздільного виймання тонких та вельми тонких пластів вугілля і породи/ Бондаренко В.І.; Дичковський Р.О., Ковалевська І. А.; Медяник В.Ю.; Руських В.В.; Фальштинський В.С.; Денисов С. Л.; Мамайкін О.Р.; заявник та патентовласник Національний гірничий університет – u 2008 05232; заявл. 22.04.08; опубл. 10.10.2008; Бюл.№19/2008.

60. Пат. 18604 Україна, МПК E21C 41/00, E21F 15/00. Спосіб відпрацювання тонких покладів вугілля/ Півняк Г.Г.; Земба А.; Дудля М.А.; Дичковський Р.О., заявник та патентовласник Національний гірничий університет – u200605311; заявл. 15.05.2006; опубл.15.11.2006; Бюл.№11/2006.

**Особистий внесок у надруковані у співавторстві наукові праці:** [1] – написання вступу та 1, 2 розділів монографії, [2] – формування основного змісту монографії, систематизація отриманих результатів; [3] – написання вступу та 3 розділу монографії; [4] – написання 1, 2, 5, 7 розділів монографії, [6 – 11, 13 – 15, 40 – 43, 50, 51, 53 – 58] – обґрунтування екологічної компоненти процесу газифікації, врахування особливостей хімічних реакцій залежно від фізичних швидкостей протікання процесу; [12, 16, 28] – розробка схеми руху запасів вугілля по шахті, розрахунок навантаження на очисний вибій при зміні технологічних параметрів виїмкового стовпа; [17, 18, 22, 24, 27, 23, 37, 52] – аналіз літературних джерел, опрацювання та систематизація даних з визначення пріоритетних факторів у формуванні напружено-деформованого стану гірського масиву; [20, 21, 29, 30] – розробка раціональних режимів роботи системи, [25, 38, 44, 48] – участь у розробці програмного забезпечення, обробка та систематизація отриманих результатів, [26, 37, 59, 60] – формування ідеї роботи, методики досліджень та розробка розрахункових схем, узагальнення отриманих результатів, [31, 35, 36, 45 – 47] – структурування роботи, обробка результатів досліджень, написання висновків, [32 – 34] – вибір методів і розробка методики проведення досліджень, [39, 45 – 47, 49 ] – аналіз геологічних умов дослідної ділянки, формування технологічних схем підземних газогенераторів, проведення тестових досліджень, узагальнення висновків.

## АНОТАЦІЯ

Дичковський Р.О. Наукові засади синтезу технологій видобування вугільних пластів у слабометаморфізованих породах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин. – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», МОН України, Дніпропетровськ, 2013.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми з синтезу технологій виймання тонких та надтонких вугільних пластів у масиві слабометаморфізованих порід. На основі теоретичних, лабораторних і промислово-експериментальних досліджень встановлено закономірності напружено-деформованого стану навколо штучноствореної порожнини при підземній газифікації вугілля, що залежить від товщини оплавленої оболонки та комплексно-механізованих лав з урахуванням коефіцієнта літологічної будови гірського масиву.

У результаті проведених досліджень уперше отримано чисельні значення зміни довжини лави та фізичних показників гірського масиву залежно від коефіцієнта літологічної будови при застосуванні високопродуктивних технологій виймання вугілля із тонких і надтонких пластів, а також встановлено залежності зміни товщини штучноствореної оболонки для забезпечення відповідного кроку посадки покрівлі для ефективного проходження дуттьової суміші у геореакторі. Виконано оцінку напружено-деформованого стану гірського масиву при комплексно-механізованому вийманні малопотужних запасів і застосуванні технології газифікації вугілля виходячи із розташування зон підвищеного та пониженого гірського тиску.

Запропоновано рекомендації щодо силових параметрів механізованого кріплення, які дозволяють більш повно й ефективно провадити видобування тонких та надтонких вугільних пластів, розроблено технологічні схеми підземних газогенераторів, здатних до варіації складовими синтез-газу та максимального отримання газу метану у вихідній суміші газогенератора. Дані заходи дають можливість ефективно видобувати вугілля у слабометаморфізованих породах. Розрахунковий економічний ефект складає 1,2 – 1,3 млн грн на одну виїмкову ділянку, що підтверджує доцільність запропонованих техніко-технологічних заходів.

**Ключові слова:** синтез технологій, напружено-деформований стан, механізовані комплекси нового технічного рівня, штучностворена оболонка, підземна газифікація вугілля, матеріально-тепловий баланс.

## АННОТАЦИЯ

Дычковский Р.Е. Научные основы синтеза технологий добычи угольных пластов в слабометаморфизированных породах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностью 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных



ископаемых. – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» МОН Украины, Днепропетровск, 2013.

Повышение эффективности отработки тонких и весьма тонких угольных пластов в слабометаморфизированных породах сопряжено с внедрением техники качественно нового уровня и эффективным управлением горным давлением при изменяющихся горно-геологических условиях. При этом достаточное количество запасов не может быть извлечено с использованием механизированных комплексов. Существующий промышленный опыт подземной газификации углей показывает ее целесообразность при извлечении забалансовых запасов. Наибольшим недостатком этой технологии является относительно низкая производительность одного газогенератора. Поэтому синтез этих технологий в пределах одного горнодобывающего предприятия дает возможность более полного извлечения угля на экономически целесообразном уровне.

В научном плане диссертация посвящена установлению зависимостей напряженно-деформированного состояния вокруг искусственносозданной полости очистного забоя и газогенератора. Это является актуальной научной проблемой управления горным давлением при синтезе комплексно-механизированной добычи и радикальной технологии подземной газификации при извлечении угля из тонких и весьма тонких пластов в слабометаморфизированных породах.

На основании теоретических, лабораторных и промышленно-экспериментальных исследований впервые получены численные значения изменения длины лавы и физических показателей горного массива в зависимости от коэффициента литологического строения при применении высокопродуктивных технологий добычи угля из тонких и весьма тонких пластов, а также установлены зависимости изменения толщины искусственносозданной оболочки для обеспечения соответствующего шага посадки кровли с целью эффективного прохождения дутьевой смеси в геореакторе. Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния горного массива при комплексно-механизированной добыче и подземной газификации в процессе отработки запасов угля маломощных пластов, предложены технологические схемы ведения горных работ с учетом расположения зон повышенного и пониженного горного давления.

Предложены рекомендации необходимых силовых параметров механизированной крепи, которые позволяют более полно и эффективно осуществлять добычу тонких и весьма тонких угольных пластов. Разработаны технологические схемы подземных газогенераторов, дающих возможность осуществлять вариацию составляющими синтез-газа и максимально получать газ метан в исходящей смеси газогенератора. Данные мероприятия дают возможность эффективно добывать уголь в слабометаморфизированных породах. Расчетный экономический эффект составляет 1,2 – 1,3 млн. грн на один выемочный участок, что подтверждает целесообразность предложенных технико-технологических мероприятий.

Разработанные рекомендации по выбору рациональных схем добычи угля механизированными комплексами, исходя из расположения зон повышенного и пониженного горного давления, нашли применение на шахтах ГП «Львовуголь» и компании «ДТЭК». Результаты расчета материально-теплового баланса подземной газификации угля, технологические схемы выполнения газогенератора были опробованы на шахте «Барбара» (Польша) при реализации Европейского проекта: «HUGE – Водородно-ориентированная подземная газификация угля для Европы». Тестовые испытания углей выбранных участков Львовско-Волынского бассейна и Западного Донбасса подтверждают целесообразность применения технологии СПГУ для отработки запасов. Также для этих условий предложены технологические схемы и техническое выполнение промышленных станций подземной газификации исходя из особенностей горно-геологической и гидрологической ситуации, с привязкой рельефа местности и ориентацией на конечного потребителя продукции.

Результаты работы внедрены в учебный процесс Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет». Они используются при проведении лекций, практических, лабораторных и семинарских занятий, используются при курсовом и дипломном проектировании студентов горных специальностей. На их основании опубликовано два учебных пособия (одно с грифом Министерства науки и образования Украины).

**Ключевые слова:** синтез технологий, напряженно-деформированное состояние, механизированные комплексы нового технического уровня, искусственносозданная оболочка, подземная газификация угля, материально-тепловой баланс.

## ABSTRACT

Dychkovskiy Roman. Scientific Principles of Technologies Combination for Coal Mining in Weakly Metamorphosed Rockmass. – Manuscript.

Thesis of the scientific degree of the Doctor of the Technique Science on a specialty 05.15.02 – Underground mining of mineral deposits. State Higher Educational Institution “National Mining University” Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipropetrovsk, 2013.

Dissertation is devoted to the solution of the actual scientific problem of the technologies combination of coal mining from thin and rather thin seams in weakly metamorphosed rockmass. On the basis of theoretical, laboratory and industrially experimental researches, the dependences of the stresses and deformations were established around artificial cavities during the underground gasification, which depends on the thickness of the melting shell and complex mechanized wallfaces taking into account the coefficient of lithologic structure of rock massif.

As a result of the conducted researches, the numeral values of length wallface change and physical indexes of rockmass, which depend on the factor of lithologic structure at application of highly productive technologies of coal mining from thin and rather thin seams, were determined. Also dependences of change of thickness of

the artificial shell were defined, providing the proper step of roof landing for the effective passing of blowing mixture in gazogene. The rockmass stresses were executed for the complex mechanized mining and the application of the coal gasification technology according the location less and high pressure zones.

Recommendations are offered in relation to the parameters of the mechanized fastening. They allow mining the coal from thin and rather thin seams more effectively. The flowsheets of underground gazogenes for the synthesis gas variation with the purpose of maximal receipt of the methane in outlet of the gazogene were developed. These measures enable effectively mine coal in weakly metamorphosed rockmass. The economic effect of 1,2 – 1,3 million UAN from one mining set confirms the expedience of the offered technical and technological measures.

**Keywords:** the combination of technologies, stresses, mechanized complexes of the new technical level, the artificial shell, the underground coal gasification, the material and thermal balance.

**ДИЧКОВСЬКИЙ Роман Омелянович**

**НАУКОВІ ЗАСАДИ СИНТЕЗУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИДОБУВАННЯ  
ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ У СЛАБОМЕТАМОРФІЗОВАНИХ  
ПОРОДАХ**

**(Автореферат)**

Підп. до друку 28. 10. 13. Формат 60×90/16  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,9  
Обл.-вид. арк. 1,9. Тираж 120 пр. Зам. №

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

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

**ДИЧКОВСЬКИЙ РОМАН ОМЕЛЯНОВИЧ**

**УДК 622.272.6:622.833.3/.5**

**НАУКОВІ ЗАСАДИ СИНТЕЗУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИДОБУВАННЯ  
ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ У СЛАБОМЕТАМОРФІЗОВАНИХ  
ПОРОДАХ**

Спеціальність 05. 15. 02 – Підземна розробка родовищ корисних копалин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 2013

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 консультант:**

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

**БОНДАРЕНКО  
Володимир  
Ілліч**

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор, в.о. ректора Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України

**СТУПНІК  
Микола  
Іванович**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри розробки родовищ корисних копалин Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України

**КАСЬЯН  
Микола  
Миколайович**

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**

Захист відбудеться “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2013 р. о \_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, пр. 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, пр. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2013 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

В.І. Тимощук