

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Олександра Васильовича Бурчака “**Розвиток теорії та розробка фізико-хімічної моделі аномальних метанопроявів у вугільних шахтах**”, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – геотехнічна і гірнична механіка.

Актуальність теми дисертації. На сучасному етапі не існує альтернативи освоєнню комплексних газовугільних родовищ України, як передумові забезпечення видобутку таких видів стратегічної сировини як кам’яне вугілля і газ-метан, росту рівня безпеки праці гірників і покращення захисту довкілля. Проте темпи розвитку метановидобувної галузі стримують складні умови видобутку, які погіршуються зі збільшенням глибини розробки, та висока газоносність вугільних пластів і порід. Труднощі в оцінці властивостей вугілля і, відповідно, у створенні сучасних методів комплексної розробки газовугільних родовищ пов’язані з недосконалістю наявних моделей будови вугільної речовини та відсутністю обґрунтованих уявлень щодо процесів, які перебігають у викопній органічній речовині під дією геомеханічних і техногенних чинників і супроводжуються виділенням газів. Тому істотного уточнення потребують подальший розвиток і вдосконалення теорії та розробка фізико-хімічної моделі аномальних метанопроявів у шахтах на принципово нових засадах визначення механізмів та умов активації структурних трансформацій у кам’яному вугіллі в процесі вуглефікації. Це сприятиме розробці нових методів попередження непрогнозованого виділення метану і створенню нових ефективніших та безпечніших технологій видобутку вуглеводневих енергоносіїв.

Такі передумови й визначають актуальність, теоретичне і практичне значення дисертації О. В. Бурчака “Розвиток теорії та розробка фізико-хімічної моделі аномальних метанопроявів у вугільних шахтах”, яку виконували у рамках науково-дослідних робіт відділу геології вугільних родовищ великих глибин в Інституті геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України відповідно до галузевих планів НДР Міністерства вугільної промисловості України і Державного комітету геології та використання надр України та згідно з Постановами бюро Відділення механіки НАН України.

Дисертація складається із вступу, шести розділів, додатків, висновків і списку використаних джерел із 329 найменувань. Основний текст праці викладено на 272 сторінках машинописного тексту. Виклад супроводжується 60 рисунками і 20 таблицями. Рукопис структуровано відповідно до встановлених вимог.

У **розділі 1** “Структурні перетворення у кам’яному вугіллі та енергетична складова вуглефікаційних перетворень. Аналіз стану проблеми” автор акцентував увагу на двох нез’ясованих питаннях, пов’язаних з системою вугілля–газ: поява додаткових, не прогнозованих, обсягів метану при раптових викидах і суфлярах та неможливість штучного відтворення катагенних перетворень у викапній органічній речовині у повному обсязі. Детально проаналізовано літературні джерела про закономірності формування газоносності газовугільних родовищ і віддано належне особистостям, які займалися означеною проблемою. Обговорено сучасний стан досліджень структури та властивостей кам’яного вугілля. Розглянуто можливі механізми структурних перетворень у вугільній речовині та їх енергетичне забезпечення в умовах вуглепородного масиву. Показано визначальність, енергетичного забезпечення структурних трансформацій викапної органічної речовини в процесі вуглефікації для підтвердження достовірності визначення їхніх механізмів. Ґрунтуючись на наявній інформації про термобаричні умови перебігу вуглефікаційних процесів, автор доходить висновку про перевагу вільно-радикальних реакцій серед механізмів структурних перетворень вугільної речовини.

Розділ 2 “Розробка методологічного підходу до вивчення структурних перетворень у кам’яному вугіллі. Методика і техніка експерименту” присвячено обґрунтуванню необхідності і розробці нового методологічного підходу до вивчення структурних перетворень у кам’яному вугіллі та методичним питанням. Показано, що молекулярна структура вугільної речовини перебуває у метастабільному стані. Розглянуто особливості формування цього стану, який пов’язано з напруженнями, що виникають в речовині на різних рівнях. Наголошено, що вивчення структурних перетворень з низьким енергетичним бар’єром реакцій треба виконувати з використанням комплексу спектральних методів за найменшого відходу від первинного стану викапної органічної речовини. У підсумку запропоновано новий

методологічний підхід, який ґрунтується на вивченні процесів структурної перебудови вугільної речовини в динаміці, а не в сталому стані, та комплекс методів дослідження структурних особливостей і стану вугілля, який включає аналіз та узагальнення наявної інформації з проблеми і теоретичні дослідження питання, що ґрунтуються на принципах термодинаміки; натурні експериментальні дослідження; лабораторну перевірку отриманих даних шляхом фізичного моделювання процесів у вугільній речовині на атомно-молекулярному рівні під зовнішнім впливом з використанням сучасних фізичних методів (ЕПР, ЯМР, ІЧС, СКВІД-магнітометрія); математичні методи опрацювання результатів досліджень. Новий методологічний підхід і методики експериментальних досліджень викладені докладно і аргументовано, що дає змогу вважати, як достовірні, отримані автором результати.

У розділі 3 “Геомеханіка як основний чинник структурних перетворень вугільної речовини на молекулярному рівні” показано, що стохастичне надходження енергії до вугільного пласта призводить до закономірного використання вугільною речовиною енергії, нагромадженої, на переконання автора, у вигляді структурних напружень на атомно-молекулярному рівні, тобто метан вугільних пластів виділився з вуглефікованої органічної речовини під час закономірних структурних трансформацій, викликаних зміною геомеханічних умов у вуглепородному масиві. Це дало змогу дійти висновку, що основним джерелом вугільного метану є викопна органічна речовина в концентрованому (вугільні пласти) і розсіяному (вмісні породи) вигляді. Виконаний для вивчення умов активації структурних перетворень у кам’яному вугіллі, наслідком яких є виділення вугільного метану та його гомологів, розрахунок енергетичного балансу раптового викиду вугілля та газу показав, що витрати енергії під час газодинамічного явища в 15–20 разів перевищують енергетичний потенціал, що теоретично може бути нагромаджено у газонасиченому вугільному пласті перед викидом. При цьому слід зауважити, що основні витрати енергії при раптовому викиді пов’язані саме з генерацією газів при деструкції макромолекул вугілля. У підсумку здобувач доходить висновку, що раптовий викид вугілля та газу є екстремальним проявом процесу закономірного перетворення викопної органіки під стохастичним впливом зовнішніх і внутрішніх чинників.

У розділі 4 “Структурні перетворення у вугіллі під дією геомеханічних та техногенних чинників в умовах газонасиченого вуглепородного масиву” розглянуті зміни в структурі і стані вугілля під дією геомеханічних та техногенних чинників за умов газонасиченого вуглепородного масиву. Встановлено основні тенденції структурних перетворень у вугіллі в процесі вуглефікації. Зазначено, що тенденції вуглефікаційних перетворень викопної органіки мають глобальний характер і підкоряються загальним законам класичної термодинаміки. В процесі катагенних перетворень вугільна речовина структурується (підвищується ароматичність) з одночасним розпадом аліфатичної складової з утворенням метану.

Результати експериментів трьома незалежними спектральними методами довели визначальну роль систем спряження у формуванні сорбційних властивостей вугілля. Автором показано, що сорбційна здатність вугільної речовини пов’язана з особливостями молекулярної будови вугілля, наявністю у структурі спряжених зв’язків (атомів вуглецю з sp^2 -гібридизацією електронних орбіталей), кількість яких зростає у вуглефікаційному ряді. При цьому міжмолекулярна взаємодія в системі вугілля-газ залежить від енергії об’єднаних систем спряження (суперспряження), через що сорбційна здатність вугільної речовини зростає швидше, ніж кількість спряжених зв’язків у структурі макромолекул. Отже, вперше доведено природу сорбційних властивостей вугілля, що дає змогу, за першим науковим положенням, визначитися з принципами вуглефікаційних перетворень викопної органіки та дослідити параметри міжфазної взаємодії в системі вугілля–газ.

Дослідження впливу геомеханічних та техногенних чинників на структуру і властивості вугілля було продовжено на різних натурних об’єктах у вуглепородному масиві: геологічних порушеннях, що утворилися під впливом тектонічних сил в зонах розвитку деформацій зсуву, на вугільному матеріалі, отриманому з шахти «Краснолиманська» після потужного газодинамічного явища, за зміною стану та властивостей вугільної речовини після гідродинамічної дії. Аналіз отриманих даних показав, що геомеханічні чинники в природних умовах викликають у вугіллі структурні перетворення, подібні до тих, що відбуваються у викопній органічній речовині під час вуглефікації. Ґрунтуючись на цих результатах, за другим науковим

положенням, вплив геомеханічних чинників призводить до виникнення у вугіллі на молекулярному рівні структурних напружень та до перерозподілу атомів водню до кінцевих груп з потенційним відщепленням стійких молекул метану від метастабільної твердої фази. Відтак структурні перетворення у вугільній речовині, які призводять до поточного виділення газу та аномальних метанопроявів у вугільних шахтах, є закономірними та енергетично забезпеченими і відбуваються за рахунок додаткової енергії, нагромадженої під стохастичною дією геомеханічних чинників у вигляді структурних напружень на атомно-молекулярному рівні. Зазначимо, що для опису процесів утворення вугільних газів у вугільних пластах цей висновок і наукове положення виглядає цілком логічним і не викликає сумнівів.

У розділі 5 “Лабораторні дослідження структурних перетворень вугільної речовини під зовнішнім впливом” для перевірки висновків, зроблених після вивчення впливу геомеханічних чинників на стан і властивості вугілля в гірському масиві, здобувачем, насамперед, було проаналізовано результати впливу на вугільну речовину механічних навантажень, теплового потоку та електромагнітних полів. В результаті фізичними методами доведено спроможність молекулярної структури вугільної речовини нагромаджувати енергію у вигляді структурних трансформацій за будь-якого зовнішнього впливу, причому зміни в молекулярній структурі вугільної речовини в лабораторних умовах подібні до вуглефікаційних перетворень викопної органічної речовини у вуглепородному масиві.

На підставі аналізу результатів досліджень у четвертому і п'ятому розділах зроблено принципово важливий висновок, що основні закономірності перетворення речовини кам'яного вугілля на атомно-молекулярному рівні простежуються на всіх видах і марках вугілля незалежно від пласта або геолого-промислового району, де відібрано пробу, чи умов дослідження (натурних чи лабораторних).

Отримані експериментальні дані магнітометричних досліджень довели наявність релаксаційних процесів у атомно-молекулярній структурі вугілля і дали змогу автору стверджувати, що їхнім наслідком буде зменшення нагромадженої енергії за рахунок проходження структурних перетворень у макромолекулах вугілля з відщепленням низькомолекулярних сполук (флюїдів).

На підставі проведених досліджень сформульовано третє наукове положення, в якому зазначено релаксаційний характер структурних перетворень, кінетика яких залежить від кількості додаткової енергії, нагромадженої у молекулярній структурі кам'яного вугілля під зовнішнім впливом. Відповідно зроблені висновки і сформульоване наукове положення є цілком логічними і не викликають заперечень.

У розділі 6 “Розробка фізико-хімічної моделі аномальних метанопоявів та формування газоносності вуглепородного масиву” в результаті проведених натурних досліджень метаносності і газодинамічної активності пластів, що знаходяться у різних умовах деформації, автором експериментально підтверджено вплив геомеханічних чинників на структуру і властивості вугільних пластів, що наочно доводить залежність сучасних процесів метановиділення від енергії акумульованої молекулярною структурою вугілля у вигляді напружень.

На підставі аналізу результатів теоретичних і експериментальних досліджень розроблено нову фізико-хімічну модель утворення вугільних газів, суть якої полягає у тому, що під дією геомеханічних чинників у вугіллі водночас з структурними перетвореннями на молекулярному рівні, відбувається нагромадження енергії у вигляді структурних напружень. В процесі релаксації ця додаткова енергія вивільняється системою з виділенням газоподібних продуктів деструкції твердої фази. За допомогою фізико-хімічної моделі переконливо доведено єдину природу як аномальних метанопроявів, до прикладу раптових викидів вугілля і газу, так і поточного метановиділення за рахунок вивільнення нагромадженої під зовнішнім впливом енергії у вигляді структурних напружень на атомно-молекулярному рівні.

Запропонована фізико-хімічна модель логічно відповідає новітнім уявленням щодо генетичного зв'язку вугільного метану з викопною органічною речовиною, узгоджується з наявними моделями і механізмами виділення газоподібних вуглеводнів та визначає умови активації структурних перетворень і джерела енергії, за рахунок якої відбуваються аномальні метанопрояви і газогенерація в шахтах.

Критерієм достовірності фізико-хімічної моделі і четвертого наукового положення є її відповідність принципу мінімуму енергії та збіг зроблених висновків з практичним досвідом і результатами експериментальних досліджень.

Наукові новачії одержаних результатів наступні:

- вперше показано, що структурні перетворення у вугільній речовині, які приводять до поточного виділення газу та аномальних метанопроявів у вугільних шахтах, закономірні і енергетично забезпечені за умов, близьких до нормальних, проходять за рахунок додаткової енергії, нагромадженої під стохастичною дією геомеханічних чинників у вигляді структурних напружень на молекулярному рівні, мають головно вільно-радикальний характер та активуються механохімічними реакціями;
- вперше спектральними методами зафіксовано нагромадження в молекулярній структурі вугільної речовини теплової та механічної енергії в кількості, достатній для активації перетворень вільно-радикальної природи, доведено перерозподіл під силовим навантаженням атомів водню до кінцевих груп в аліфатичних ланцюжках, що є одним з механізмів виділення метану вугіллям;
- вперше встановлено, що зовнішні силові та електромагнітні поля викликають збудження фрагментів електронної структури вугілля з подальшим перерозподілом нагромадженої енергії по молекулярній структурі речовини, а спад нагромадженої додаткової енергії в часі підтверджує релаксаційний характер структурних перетворень в процесі вуглефікації, наслідком яких є виділення метану та структуризація твердої фази;
- експериментально у розвиток уявлень про природу сорбційних властивостей вугільної речовини встановлено, що у молекулярній структурі вугілля сорбційними центрами є системи спряження. Це дало змогу встановити закономірність розвитку структурних перетворень у викопній органічній речовині на молекулярному рівні, пов'язану з утворенням в процесі вуглефікації ароматичних кластерів з об'єднаною системою спряження з підвищеною енергією міжфазної взаємодії;
- в підсумку запропоновано нову фізико-хімічну модель формування газоносності вуглепородного масиву за рахунок газів, генетично пов'язаних з викопною органічною речовиною, що утворилися в процесі релаксаційного вивільнення енергії напруженого стану молекулярної структури кам'яного вугілля, сформованого під дією геомеханічних чинників, та вдосконалено теорію поточних та аномальних метанопроявів в шахтах, що відрізняється, від наявних теорій.

Достовірність отриманих результатів та наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується коректністю поставлених завдань; використанням новітніх методик і сучасного устаткування; репрезентативним і достатнім обсягом фактичних і експериментальних даних; статистично значущим обсягом результатів експериментів; тісним зв'язком отриманих даних з результатами інших досліджень; відповідністю результатів теоретичним положенням; високою точністю і збігом даних структурних досліджень, отриманих незалежними спектральними методами. Виявлену закономірність вуглефікаційних перетворень підтверджено відповідністю умов їхнього перебігу фундаментальним положенням термодинаміки. Результати доповідалися на міжнародних конференціях. Опублікування 67 наукових праць, з них: 1 – монографія; 1 – нормативний документ, 47 – у спеціалізованих фахових виданнях (6 з них – у наукометричних базах даних або в іноземних журналах), 18 – у збірниках наукових праць та доповідей на міжнародних конференціях підтверджує наукову новизну і належну обґрунтованість отриманих автором даних, а також повне ознайомлення наукової громадськості з основними положеннями дисертації.

Практичне значення одержаних результатів визначається їхньою значущістю для дослідження системи вугілля–газ з метою попередження непрогнозованого виділення метану і створення нових ефективніших і безпечніших технологій видобутку вуглеводневих енергоносіїв, насамперед, входженням розроблених методик до нормативного документу ДКЗ України – “Методичних рекомендацій з геологічного вивчення газоносності вугільних пластів та пластів уміщуючих порід для підрахунку запасів і оцінки ресурсів газу (метану) вугільних родовищ у надрах” та використанням у виробничих установах для оцінки гірничо-геологічних умов розробки вугільних родовищ. Очікуваний економічний ефект від впровадження “Комплексної методики прогнозування газодинамічних зон” на шахті “Північна” ДП “Торецьквугілля” складає 529500,00 грн (за рахунок здешевлення досліджень граничної сорбційної здатності вугільної речовини).

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати отримані здобувачем особисто. Автором самостійно сформульовано ідею роботи, мету і завдання, головні висновки і наукові положення. Розроблено методики для дослідження методом ЕПР

впливу зміни термобаричних умов на електронну структуру вугілля. Запропоновано ідею і проведено дослідження методом ІЧ-Фур'є спектроскопії з оцінки впливу на міжатомні зв'язки механічного тиску та теплового потоку. Запропоновано ідею та методику вивчення зв'язку коефіцієнту ароматичності вугілля з його сорбційними властивостями (спектральні методи). Розроблено методику експерименту з вивчення стану вугільної речовини через оцінку магнітної сприйнятливості вугілля під впливом зовнішніх силових полів. На підставі отриманих результатів обґрунтовано і запропоновано нову фізико-хімічну модель аномальних метанопроявів у вугільних шахтах. Текст дисертації викладений особисто.

Зауваження. У процесі рецензування дисертації О. В. Бурчака виявлено певні недоліки та недопрацювання як підставу для висловлення низки зауважень :

1. У назву дисертації напрошується слово “вдосконалення” замість “розвиток”, на чому автор і сам неодноразово наголошує.

2. Намагання розглянути вуглепородний масив окремо від всієї гірської товщі не є правомірним. Мантійні припливи флюїдів існують. Відтак, якщо з надр Землі піднімається водень, то необхідно його врахування в балансі газів, що утворюються у вугільній речовині. Отже, в першому наближенні запропоновану фізико-хімічну модель можна розглядати як окремий випадок “абіогенно–біогенної” гіпотези, за якою глибинні флюїди беруть участь у синтезі вуглеводнів. В даному випадку автор розглядає деструкцію молекулярної структури, але до розпаду на низькомолекулярні сполуки макромолекула вугілля гідрується мантійним воднем. Глибинний водень бере участь у структурних перетвореннях, впливає на кінетику вільно-радикальних реакцій і, що найпринциповіше, на обсяги генерованих вуглеводнів.

3. Автор переконливо доказав, що у непорушеному вуглепородному масиві енергії вистачить лише на вільно-радикальні реакції, що домінують в процесі метаморфізму. Але не можна повністю відкидати і хімічні процеси, які не так активні, але мають більший тепловий ефект і здатні істотно впливати на розвиток подій. Типовим прикладом хімічних перетворень є самозаймання вугільних пластів.

4. В матеріалах дисертації відсутні дані дослідження проб вугілля Львівсько-Волинського басейну, який хоча і подібний до Донбасу, але має істотні відмінності,

насамперед, в геотектонічній ситуації. Цікаво порівняти процеси нагромадження і вивільнення енергії в атомно-молекулярній структурі вугільної речовини двох басейнів. Такі експериментальні дані були б ґрунтовним підтвердженням висновків про принципи перетворення викопної органічної речовини у процесі метаморфізму.

5. У роботі, до речі, повністю відсутні матеріали з геологічної будови вуглепородних масивів, а це сприяло б інтерпретації геохімічних даних.

6. Дисертант часто вживає термін “флюїд”. Який зміст він вкладає у цю дефініцію в контексті даної роботи?

7. Твердження автора про те, що “природа вугільного метану досі достеменно не встановлена” і “основним джерелом вугільного метану є викопна органічна речовина в концентрованому вигляді (вугільні пласти) та розсіяна органіка вміщуючих порід” відображають лише його точку зору і не узгоджуються з даними про абіогенний високотермобарний глибинний флюїд як джерело потужної енергії і достатніх обсягів вихідних речовин для метаногенераційних процесів.

8. Із встановленого факту переваги sp^2 -гібридизації має впливати, що вугілля є “аморфною” атомною сполукою, однак дисертант на цьому не наголошує.

9. Помилковим видається формулювання автора про тиск і температуру як геомеханічні чинники (с. 347), адже ці термодинамічні параметри фіксуються і в геомеханічних, і в геологічних, і в техногенних процесах.

10. Робота лише виграла б від дослідження складу газів, вивільнених з вугілля, зокрема, фіксації водню чи його сполук у різних формах знаходження, як вихідної сполуки для синтезу метану.

Відсутність посилань в авторефераті на праці автора утруднює розмежування отриманих ним і літературних даних. Дещо ускладнює ознайомлення з матеріалом відсутність єдиного переліку посилань. Формулювання “Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою...” (с. 358) не є прерогативою дисертанта.


Висновок. Висловлені зауваження не впливають на загалом високу оцінку науково-практичної значимості одержаних результатів і не ставлять під сумнів основні наукові положення та висновки дисертації О. В. Бурчака. Вони ґрунтуються

на оригінальних методичних і аналітичних підходах та експериментальних даних,

отриманих особисто, насамперед, фізичними (спектральними) методами. Роботу викладено логічно, написано як фундаментальну наукову монографію, добре і наочно проілюстровано графічним матеріалом.

Автореферат відповідає змістові і послідовності розділів дисертації, містить висновки, список праць, опублікованих за темою дисертації, анотації українською, російською та англійською мовами. В опублікованих працях повністю відображено основні наукові результати, положення і висновки. Отримані результати апробовано на численних, головню, міжнародних нарадах. У докторській дисертації О. В. Бурчака не використано матеріалів і висновків його кандидатської дисертації.

Отже, дисертація О. В. Бурчака на тему "Розвиток теорії та розробка фізико-хімічної моделі аномальних метанопроявів у вугільних шахтах" є самостійною завершеною науковою працею, у якій вирішено актуальну наукову проблему з встановлення релаксаційного характеру та вільно-радикальної природи структурних перетворень у метастабільній вугільній речовині, що активовані механохімічними реакціями, з метою розробки фізико-хімічної моделі перетворень у молекулярній структурі кам'яного вугілля під впливом геомеханічних, геологічних і техногенних чинників для вдосконалення теорії аномальних метанопроявів у вугільних шахтах. Вона відповідає вимогам п. 10 "Порядку присудження наукових ступенів" Міністерства освіти і науки України, а її автор – Олександр Васильович Бурчак заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – геотехнічна і гірнича механіка.

Доктор геологічних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач відділу геохімії глибинних флюїдів Інституту геології і
геохімії горючих копалин НАН України  I. M. Наумко
31.05.2018р.

Власноручність підпису I. M. Наумка засвідчую:

Заступник директора ІГТТК НАН України з наукової роботи,
кандидат геолого-мінералогічних наук  А. В. Побережський

Відгук надіслав
04.06.2018р.



до списку № 08.188.01

Учений секретар  секретар
Г. М. К., і.р.о.р. Шевченко В.Ф.