

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

**ФІЛІППОВ Андрій Олегович**



**УДК 622.817:552.573**

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ДІЇ СЛАБКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО  
ПОЛЯ НА СТІЙКИЙ СТАН  
ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНОГО ВУГІЛЛЯ**

**Спеціальність 05.15.09 – “Геотехнічна і гірнича механіка”**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Дніпропетровськ – 2014**

**Дисертація є рукописом.**

Робота виконана на кафедрі будівництва, геотехніки і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Соболєв Валерій Вікторович**,  
професор кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки  
Державного вищого навчального закладу «Національний гір-  
ничий університет» Міністерства освіти і науки України  
(м. Дніпропетровськ).

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**Паламарчук Тетяна Андріївна**,  
провідний науковий співробітник відділу механіки гірських  
порід Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН  
України (м. Дніпропетровськ);

кандидат технічних наук  
**Король В'ячеслав Іванович**,  
начальник територіального управління «Держгірпромнагля-  
ду» в Донецькій області (м. Донецьк).

Захист дисертації відбудеться “25” грудня 2014 р. о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному вищому навчальному закладі «НГУ» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, т. 47-24-11).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного ВНЗ «НГУ» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий “25” листопада 2014 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Перспективи видобутку вугілля в Україні багато фахівців пов'язують з технологічними, стратегічними, соціальними та іншими змінами у вугледобувній галузі. Зокрема, технологічні зміни обумовлені інтенсифікацією видобутку вугілля, що безпосередньо пов'язано з впровадженням ряду нових технологій, більш потужної і продуктивної техніки, збільшенням обсягу видобутку вугілля з викидонебезпечних пластів, експлуатацією більш глибоких горизонтів та ін. Технологічні процеси справляють на вугільний масив такий вплив, який здатен викликати зміни фізико-хімічних властивостей вугілля, ініціювати як прогнозовані, так і неочікувані газодинамічні явища. Крім технологічних процесів до уваги приймаються механічні параметри (тиск, зсув, ковзання та ін.), температура.

Незважаючи на те, що в земній корі усі фізико-хімічні процеси, у тому числі, утворення мінералів, руд і вугілля протікали з участю електричних і магнітних полів слабких напруженостей, в дослідженнях традиційно не бралася до уваги і не розглядалася навіть сама можливість якого-небудь «продуктивного» впливу цих параметрів. Причина полягає в тому, що енергія слабких полів на декілька порядків величин менша за енергію теплового руху молекул. Це дійсно так, якщо на речовину впливати, наприклад, тільки слабким електричним полем. Експерименти з обробки деяких порід, карбонатів, мінералів при поєднанні електричного поля з іншими фізичними впливами – тиском, температурою свідчать про виявлення неочікуваних фізичних ефектів, наприклад, значне зниження межових температур фазових переходів і структурних перетворень.

Тиск, температура та газопо-рідкі флюїди є факторами необхідними, проте їх недостатньо для побудови геомеханічної моделі, в якій слід враховувати дію слабких електричних полів, як додаткового параметра в загальній картині фізико-хімічних перетворень вугілля.

Для підвищення надійності прогнозу викидонебезпечності, поряд з іншими основними показниками, необхідно використовувати електричні характеристики та структурні особливості вугілля, що вимагає більш глибокого теоретичного і експериментального обґрунтування їх застосування, і таким чином встановлення закономірностей фазових та структурних перетворень у вугіллі, викликаних не тільки дією тиску і температури, але і участю електричних полів є актуальним науково-технічним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Робота виконана у відповідності з програмами наукових досліджень Державного ВНЗ «НГУ», зокрема при виконання держбюджетних НДР: тема ГП-402 «Дослідження явища утворення вільних радикалів у вугіллі під час впливу електричних і магнітних полів», (№ ДР 0107U000372); ГП-424 «Дослідження природи електромагнітних випромінювань у вугіллі при зміні тиску, температури та режимів фільтрації флюїдів», (№ ДР 0109U002817); ГП-451 «Наукові основи прогнозу зон тектонічних деструкцій вуглепородних масивів і фундаментальні дослідження явища спонтанного утворення вуглецевих фаз», (№ ДР 01124000870).

**Основна ідея** роботи полягає в тому, що найбільш інтенсивне утворення газів у вугіллі обумовлено додатковим фізичним впливом електричного поля на попередньо дестабілізовану структуру вугілля.

**Метою роботи** є обґрунтування впливу слабого електричного поля як додаткового чинника, що сприяє зниженню стану стійкості структури вугілля.

Для досягнення мети в роботі поставлені та вирішені наступні основні задачі:

1. Розробити методiku і техніку експериментальних досліджень фізичних процесів у кам'яному вугіллі при одночасному впливі механічних напружень (односторонній стиск до тиску  $17 \cdot 10^6$  Па), електричного поля (напруженість до 200 В/см) і температури (від 290 до 475 К); при температурі (від 293 до 315 К) і одночасному впливі електричного поля.

2. Експериментально встановити утворення рухомих компонентів у вугіллі (вільних радикалів, газу) при впливі електричного поля при температурах до 315 К.

3. Провести оцінку дестабілізації енергетичних параметрів хімічного зв'язку на прикладі малих молекул як причини, що викликає в компонентах вугілля стан нестійкості.

4. Розробити фізико-математичну модель для оцінки стану стійкості хімічних зв'язків під впливом точкового заряду.

5. Доповнити геохімічну модель формування викидонебезпечного стану в кам'яному вугіллі участю такого чинника як електричне поле.

**Об'єкт дослідження** – геомеханічна система кам'яне вугілля-газ в полі одночасного впливу кількох фізичних параметрів.

**Предмет дослідження** – фізико-хімічні процеси у вугільній речовині, які стимульовані пропусканням слабого електричного струму.

**Методи дослідження.** Основні результати дисертаційної роботи отримані з використанням аналізу та узагальнення сучасних наукових результатів і технічних досягнень в галузі фізичного стимулювання хімічної активності вугілля як причини їх переходу в нестійкий стан; фізико-математичного моделювання, аналітичних і чисельних методів розв'язання математичних задач; методів фізичного та хімічного аналізу.

#### **Наукові положення.**

1. Ступінь хімічної активності вугілля, потенційно здатного до переходу в газ, обумовлений електричним стимулюванням, при цьому максимальна хімічна активність вугілля проявляється тільки при додатковому пропусканні слабого електричного струму після механічного подрібнення, що дозволяє якісно оцінити ефективність процесу переходу вугілля в газ у разі пропускання струму через попередньо дестабілізовану мікроструктуру вугілля.

2. Пропускання слабого електричного струму в діапазоні температур 293...315 К стимулює перехід частини твердих компонентів кам'яного вугілля марок Г, К, Ж у гази CO та CH<sub>4</sub>, що на 150...350 К нижче спостережуваних температур при простому нагріванні вугілля, при цьому, склад газів, що утворюються в результаті електростимульованої активації вугілля, принципово не відрізняється від складу газів, що виділяються з вугілля при термо- або механодеструкції, що дозволяє враховувати додаткове утворення газів в масиві вугілля при аналогічних впливах.

3. Властивість викидонебезпечного вугілля накопичувати більший електричний заряд, ніж невикидонебезпечні, обумовлена великою хімічно активною питомою внутрішньою поверхнею, сформованою як в процесі механічного подрібнення вугілля, так і безпосередньо фазового переходу нерухомих компонентів вугілля в газ, що дозволяє вважати викликану електрохімічну активність вугілля додатковою причиною подальшого розвитку хімічних реакцій утворення газу.

#### **Наукові результати та їх новизна.**

1. Встановлено, що зміна питомого електричного опору вугілля марки Ж від тиску в межах 4...170 МПа при температурах від 293 до 473 К, а також при нагріванні, що не перевищує 473 К, в умовах надлишкового тиску не більше 170 МПа описуються експоненціальними залежностями.

2. Вперше експериментально встановлено новий фізичний ефект, який полягає в тому, що в діапазоні температур 293...315 К вплив слабого електричного поля збуджує в компонентах кам'яного вугілля хімічні реакції, що супроводжуються утворенням вільних радикалів, наприклад,  $\text{C}_6\text{H}_5$ ,  $\text{COH}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{H}$  та ін.

3. Встановлено, що концентрація парамагнітних центрів, що утворилися в результаті проходження слабого електричного струму, досягає значень такого ж порядку, як і при механохімічній активації, при цьому склад газів і радикалів, що виділилися з вугілля при електростимульованій обробці, аналогічний отриманим при механохімічній активації вугілля. У всіх експериментах у вугіллі фіксується збільшення щільності парамагнітних центрів, тобто пропускання струму призводить до «аморфізації» структури і утворення нових молекул з неспареними електронами.

4. Електростимульоване збільшення хімічної активності подрібненого вугілля обумовлене збільшенням питомої внутрішньої поверхні (зменшенням частинок вугілля) і збільшенням концентрації рухомих компонентів (радикалів). Активність цілих зразків вугілля обумовлена головним чином утворенням радикалів, які імовірно утворюються за рахунок розриву ланцюжкових структур вугільної речовини.

5. Вперше експериментально встановлено, що фазові і структурні перетворення у вугіллі відбуваються не тільки при тепловому впливі або механохімічній активації, але і в результаті проходження слабого електричного струму. Утворення вільних радикалів і стійких молекул газу свідчить виключно про деструктивні процеси, що протікають у вугільній речовині.

6. Вперше експериментально виявлено ефект зниження температурного порогу на 150...350 К, при якому в кам'яному вугіллі утворюються відповідно окис вуглецю та метан.

7. Розроблена фізико-математичну модель для оцінки стану стійкості хімічних зв'язків у вуглецевих і вуглеводневих ланцюжках вугільної речовини, засновану на ефекті деструктивного впливу точкового заряду на хімічний зв'язок від величини заряду і його відстані до зв'язку.

8. Геомеханічну гіпотезу доповнено новими уявленнями про механізми, що викликають формування стану нестійкості при електростимульованому впливі на структуру вугілля.

**Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується представницьким обсягом вибірок експериментальних даних (понад 400 зразків), отриманих шляхом проведення спеціальних лабораторних досліджень і при ви-

конанні НДР, використаних в якості вихідного матеріалу для розрахунків із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій при моделюванні і розрахунках.

Забезпечується використанням рентгеноструктурного аналізу, інфрачервоної спектроскопії, електронного парамагнітного резонансу, термогравіметричного аналізу і диференціальної скануючої калориметрії, лазерного дифракційного аналізу розмірів часток, оптичної і електронної мікроскопії, газової хроматографії та мас-спектроскопії.

Підтверджується багаторазовою повторюваністю вимірювань, збіжністю на 75% теоретичних і експериментальних результатів.

**Наукове значення роботи** полягає в оцінці та обґрунтуванні ролі слабкого електричного поля як нового додаткового фізичного фактора, що викликає деструктуризацію наноконпонентів кам'яного вугілля, і встановлення закономірностей зміни фізичних властивостей вугільної речовини для геомеханічного забезпечення розробки вугільних родовищ.

**Практичне значення** одержаних результатів полягає в тому, що вони припускають використання ефекту електростимульованого газовиділення для вирішення проблеми газоносності вугільної речовини і пов'язаного з нею питання стійкості структури вугільного пласта – формування викидонебезпечних станів у вугіллі і розвитку викидів вугільногазової суміші; для підготовки вугілля до максимально можливої інтенсифікації технологічних процесів газифікації, гідрогенізації та ін.

**Особистий внесок автора.** Самостійно планував та проводив експериментальні дослідження, удосконалив методики експериментальних досліджень, проаналізував і вирішив ряд інженерних задач, пов'язаних з розробкою і виготовленням експериментальної установки і стенду для вимірювання електричних властивостей зразків вугілля. Узагальнив результати експериментальних і теоретичних досліджень.

#### **Апробація результатів дисертації**

Результати досліджень доповідалися на: міжнародних науково-технічних конференціях «Форум гірників – 2009» (м. Дніпропетровськ, 2009, 2014), «Неделя горняка» (м. Москва Росія, 2010), Международная конференция «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте» (г. Одесса–г. Москва, 2012), «VIII Международная конференция "Стратегия качества в промышленности и образовании"» (м. Варна, Болгарія, 2012), міжнародних конференціях молодих вчених, аспірантів та студентів «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений» (г. Донецк, 2007, 2008, 2009), «XII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и преподавателей» (м. Чіта, Росія, 2012).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковані в 12 наукових працях у, з яких 1 монографія, 4 – статті в спеціалізованих фахових виданнях, в тому числі 1 у виданні, що входить до наукометричної бази «СКОПУС».

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 300 найменувань на 32 сторінках і додатку на 2-х сторінках. Містить 149 сторінок машинописного тексту, 57 рисунки і 15 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 188 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Великий внесок у становлення і розвиток вивчення будови та властивостей вугілля внесли: Е.Г. Авакумов, А.Д. Алексеев, А.В. Артемов, А.Т. Бондаренко, В.В. Болдирев, М.І. Большинський, П.Ю. Бутягін, Л.М. Биков, В.П. Воларович, А.А. Воробйов, П.П. Зайцев, А.М. Зорін, С.О. Лизун, В.В. Лукінов, Г.В. Малова, С.П. Мінеєв, С.В. Мучник, Р.Л. Мюллер, В.І. Ніколін, Т.А. Паламарчук, Е.І. Пархоменко, І.М. Печук, Л.І. Пімоненко, В.С. Попов, В.О. Радциг, С.І. Скіпочка, О.О. Скочинський, В.В. Соболев, Г.П. Старіков, Є.В. Ульянова, Г.Д. Фролков, В.В. Ходот, Т.М. Хренкова, В.Л. Еттінгер та багато інших.

Аналіз наявних результатів досліджень дозволяє зробити наступні висновки:

- Встановлено явище електростимульованої десорбції газів з вугілля у вакуумі та існування межового значення напруженості електричного поля, з якого спостерігається виділення газу з пористої структури вугільної речовини (Лизун С.О.).

- Розроблена методика і техніка експериментального вивчення вугільних зразків електричними, оптичними і фотоелектричними методами у вакуумі в діапазоні температур 77...523 К (Лизун С. О.)

- На підставі термічної стимуляції процесів переносу заряду у вакуумованих зразках вугілля з попередніми порушенням молекулярної структури впливом фізичних полів вивчена кінетика термічних процесів, що протікають в кам'яному вугіллі в діапазоні температур 77...523 К. Показана можливість формування у вугільній речовині термоелектрета. Розроблено спосіб визначення температури вуглефікації на підставі вимірювання термостимульованої провідності вугілля (Лизун С.О.).

- Накопичені Бутягіним П.Ю. експериментальні дані свідчать про те, що для більшості органічних речовин (у тому числі, вугілля) основний шлях розпаду хімічних зв'язків при механічному руйнуванні буде молекулярним або радикальним.

- Зі збільшенням дисперсності частинок вугілля зростає поверхневий електричний заряд, а отже, зростає хімічна активність частинок.

- У роботах не вивчалися фізико-хімічні перетворення у вугіллі групи Ж та Г при впливі тиску і слабкого електричного струму в температурному діапазоні 293...473 К, тобто в діапазоні, який включає температури, відповідні найбільш вірогідним температурам вугілля в пластах.

- При впливі температур 293...473 К принципові зміни у вугіллі не зафіксовані, або автори не надавали значення слабким струмам.

- В інтервалі температур від 77 до 533 К використовуваних при методиці вимірювань встановити суттєві структурні та фазові перетворення у вугіллі не вдалося.

- Встановлено, що кам'яне вугілля в електричному полі набуває електретних властивостей, тобто виявлена надповільна релаксація поляризації, яка у часі на два порядки більш тривала максвеллівської (Леонов А.М.).

**Другий розділ.** Наведено матеріали і методику досліджень. У дослідженнях структурних і фазових перетворень вугілля при одночасному впливі двох (електричне поле і температура) і трьох параметрів (тиск, температура, електричне поле) використовувалися головним чином вугілля групи Ж. Жирне вугілля відбиралося на ПАТ «Шахта ім. А.Ф. Засядька», пл. 14. Проби кам'яного вугілля Ж мали наступні характеристики: вміст вуглецю 86,1%, водню 5,4%, показник відбиття вітриніту

$R_0 \geq 1,03\%$ , товщина пластичного шару  $Y=18$  мм, вихід летких  $V^{\text{daf}}=33,1\%$ , теплота згоряння  $Q^{\text{daf}}=36,4$  МДж/кг Зразки кам'яного вугілля групи Г відбиралися з верхньої пачки пласта  $l_3$  (горизонт 500 м; конвеєрний штрек 2-ої південної лави) шахти "Піонер". Використовувалися вугілля інших шахт ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Середні значення показників: відповідно вміст вуглецю і водню 82,2 і 5,2%,  $R_0 \geq 0,86\%$ ,  $Y=15$  мм,  $V^{\text{daf}}=38,1\%$   $Q^{\text{daf}}=34,9$  МДж/кг

Крім подрібненого вугілля досліджувалися не подрібнені проби – цілики. Пропускання електричного струму через зразки вугілля, виготовлені у вигляді ціликів, здійснювалося як перпендикулярно, так і паралельно нашаруванню.

Загальна схема установки наведена на рис. 1, а розміщення досліджуваного зразка вугілля в контейнері експериментального пристрою показано на рис. 2.

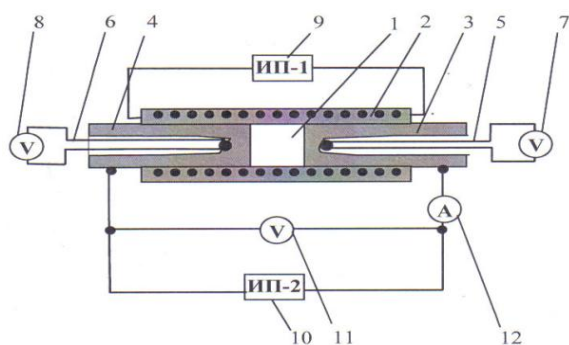


Рис. 1. Спрощена схема електротермічної обробки зразків вугілля: 1 – контейнер із зразком вугілля; 2 – котушка (піч); 3, 4 – електроди; 5, 6 – термопари; 7, 8 – вольтметри; 9 – джерело пульсуючого струму для живлення котушки; 10 – джерело постійного струму; 11 і 12 – універсальні вольтметри

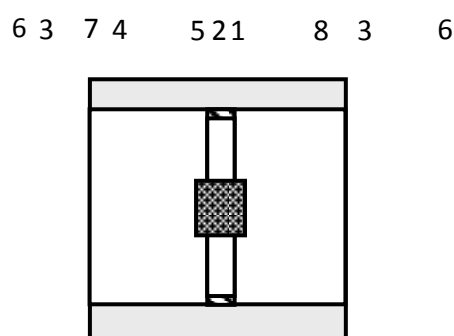


Рис. 2. Схема розміщення пористого зразка вугілля в експериментальній установці: 1 – порошок вугілля; 2 – керамічний контейнер; 3 – електроди; 4 – гумові кільця; 5 – мідне кільце; 6 – термопара; 7 – електрична піч; 8 – мідна фольга

Обробка вугілля здійснюється в діапазоні температур від кімнатної до 380 К. Гумові кільця призначені для блокування надходження кисню з атмосфери в зону хімічних реакцій та запобігання витoku газоподібних продуктів. Стиск зразків вугілля здійснюється металевими електродми. Електричний струм у котушці електричної печі, збуджує в зразках вугілля пульсуюче магнітне поле. Джерело постійного струму Б5–50 дозволяє стабілізувати струм величиною від 0 до 0,3 А і напругу від 0 до 300 В. Максимальна величина значення стабілізованого струму (0,3 А) відповідає значенням характерним для природних електрохімічних процесів. Електричні параметри і температура фіксуються безперервно в процесі обробки.

Для обґрунтування вибору температури і тиску, якими слід впливати на зразки вугілля, взяті за основу значення природних пікових параметрів, яким в умовах середніх стадій метаморфізму міг піддаватися вугільний пласт.

При моделюванні параметри нагрівання і стиснення зразка вугілля орієнтовані на параметри, виділені в табл. 1 (розраховані О.С. Поляшовим). З наведених даних випливає, що вугілля середніх стадій метаморфізму не могли відчувати температуру вище 470 К і тиску понад 100 МПа. Ці значення вибрані за граничні.



Пікові значення температур і тисків,  
яким могли піддаватися вугілля при зануренні на глибину

Глибина, м	Давление, Па $P_H = p_0 + \delta \cdot H; \delta = 2,5 \text{т/м}^3$	Температура, К $T_H = T_0 + \Gamma \cdot (H - h); T_0 = 18^\circ\text{C}$	Угли марок
1000	$251 \cdot 10^5$	320	Б
2000	$502 \cdot 10^5$	350	Б, Д
3000	$753 \cdot 10^5$	380	Г, Ж
<b>4000</b>	<b><math>1004 \cdot 10^5</math></b>	<b>410</b>	<b>Ж, К</b>
5000	$1255 \cdot 10^5$	440	К, ОС
6000	$1505 \cdot 10^5$	470	Т, ПА

Практична реалізація досліджень вимагала створення лабораторного станда з нестандартними технічними вузлами, оскільки в експериментах передбачався одночасний вплив на зразки вугілля трьох полів: механічного (одновісне стиснення), теплового і електричного, рис. 3.

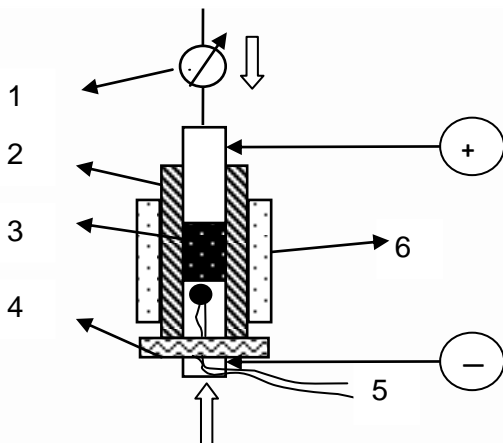


Рис. 3. Схема комірки станду електротермобаричної обробки для вимірювання електричних параметрів вугілля: 1 – манометр; 2 – циліндр з міцного діелектричного матеріалу зі сталевими пуансонами, які є одночасно електродами; 3 – зразок вугілля; 4 – основа; 5 – термопара; 6 – електропіч;

У середовищі, що заповнює простір повністю, Лизун С. О. рекомендує вводити коефіцієнт  $k_2$ . Таке коригування виразу (1) призводить до визначення питомого опору, званого удаваним ( $R_{\text{каж}}$ ):

$$R_{\text{каж}} = k_1 \cdot k_2 \cdot U/I \quad (2)$$

Величину  $R_{\text{каж}}$  великою мірою визначає електричний стан поверхонь контакту «досліджуваній об'єкт–електрод». На рис. 5 наведено зображення електричного стану поверхонь породи і вугілля, сформовані в результаті емісії електронів.

В результаті щільність струму в межах площі поверхні контакту може варіювати в широкому діапазоні значень. Світлі ділянки поверхні контакту відповідають більшій провідності, темні – меншій. У пісковиків різні мінерали володіють всіма

**Реєстрація сигналів, що виникають при активації вугілля.** Принципова схема реєстрації струму для зразків циліндричної форми, коли висота перевищує діаметр циліндра в кілька разів, показана на рис. 4,а. Для обмеження струму послідовно зразком включено активний опір  $R_0$ . Якщо зразок виконаний у формі шайби, то використовують схему на рис. 4,б.

Для зразків неправильної форми у вираз питомого електричного опору введемо коефіцієнт  $k_1 \leq 1$ , що враховує особливості розміщення електродів у півпросторі

$$\rho = k_1 \cdot U/I. \quad (1)$$

властивостями, починаючи від діелектриків (чорні ділянки) і закінчуючи провідниками (світлі ділянки). У вугіллі середніх марок функції провідників виконують пори і тріщини, заповнені рухливими компонентами та мінеральні включення.

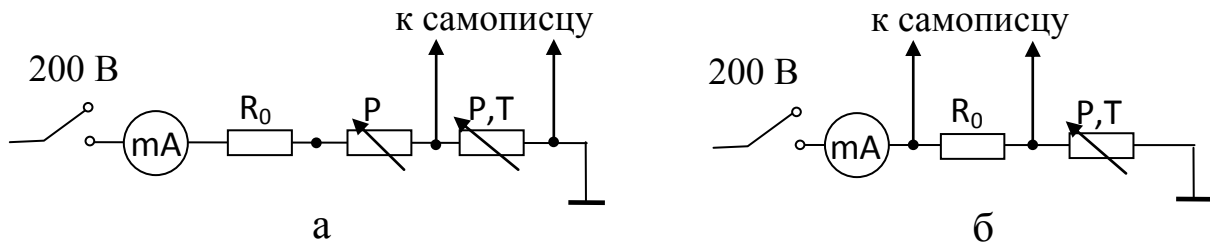
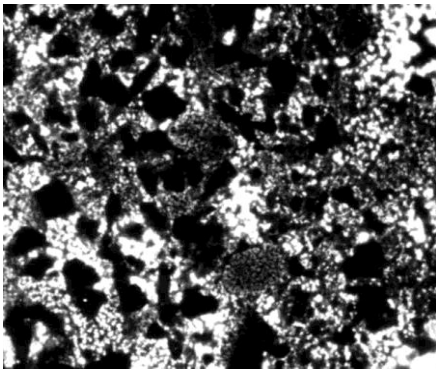
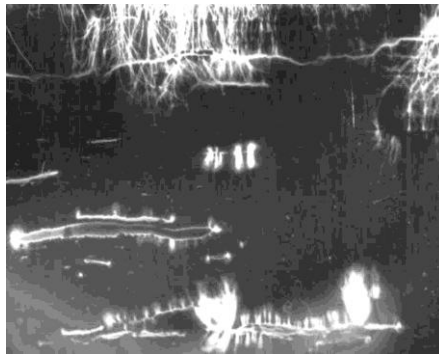


Рис. 4. Принципові електричні схеми вимірювань характеристик: а – при поділі зразка вугілля на два однакових навішування, одне з яких активується тиском (Р), а інше – тиском і нагріванням (Р,Т); б – при використанні одного зразка, який активується тиском і нагріванням



а



б

Рис. 5. Формування зображення поверхні в полі струмів високої частоти: а – середньозернистий пісковик; б – вугілля марки Ж

площі поверхні контакту  $S_0$ . У цьому випадку вираз (2) записується у вигляді:

$$R_{\text{каж}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot U/I \quad (3)$$

Зміна стану поверхні електричного контакту може призвести до зміни вимірюваної величини на порядок. Сукупний вплив коефіцієнтів може призвести до зміни величини опору на два і більше порядків. Неминуче блукання струмів по поверхні контакту вугілля–електрод здатне привести до появи «шумів». Останні, імовірно, будуть обумовлені структурно-текстурними характеристиками вугілля або фазовими перетвореннями.

**Третій розділ.** В експериментах показано, що при дії на вугілля одночасно тиску, електричного поля і температури виникають електромагнітні сигнали або так звані «шуми» в діапазоні температур 300...320 К та 370...415 К (рис. 6). Передбачається, що причини походження «шумів» у інтервалі 300...320 К (температура вугільних пластів) пов'язані з хімічними реакціями утворення вільних радикалів, що протікають у вугільній речовині. У інтервалі 368...413 К відповідну зашумлену ділянку термограми можна віднести на рахунок розвитку процесів на контактних поверхнях, наприклад, з перерозподілом і випаровуванням вологи.

Таким чином, при визначенні питомого опору вугілля у вираз (2) необхідно ввести ще коефіцієнт –  $k_3$  як додаткову поправку на корегування значення площі дійсного контакту. Коефіцієнт  $k_3$  – відношення активної площі  $S_A$  (світлі ділянки) до загальної

«Шуми», які фіксуються при вимірюванні електричних характеристик вугілля, можуть нести в собі аналітичну складову. При встановленні фізичної природи виникнення шумів вони можуть бути самостійним об'єктом досліджень, відрізняючись високою чутливістю не тільки до процесів, які протікають на поверхні зразка вугілля.

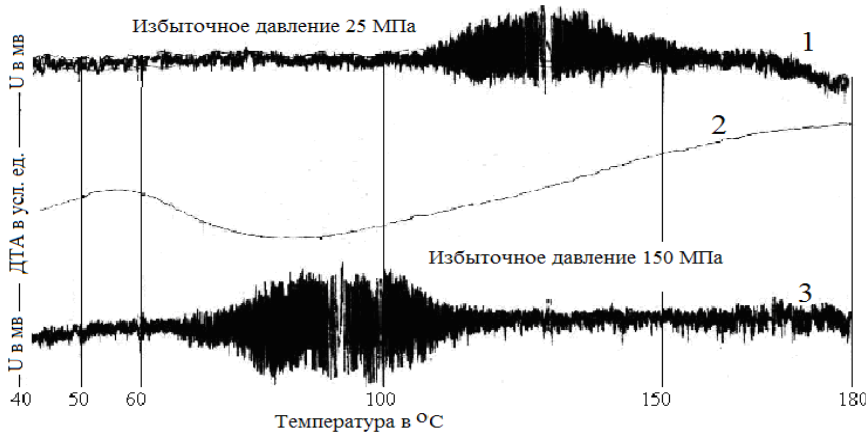


Рис. 6. Електротермобарограми при тиску 25 МПа (1) і 150 МПа (3), суміщені з диференціальною кривою нагрівання вугілля (2)

Залежності, що зв'язують струм, котрий проходить через активоване вугілля, і температуру при різних значеннях надлишкового тиску та зміну питомого опору від тиску при заданій температурі описується експоненціальною залежністю (рис. 7).

Характер зміни струму, що проходить через активоване вугілля, залежить від розмірів і форми досліджуваного циліндричного зразка: якщо довжина циліндра  $l$  менше діаметра  $d$ , то з ростом температури до 393...415 К зростає струм що проходить; при співвідношенні  $l/d=1,6$  струм змінюється на прямому і зворотному ході експоненційної залежності; при співвідношенні  $l/d > 8$  зміна струму супроводжується шумовими ефектами (низькочастотною електромагнітною емісією).

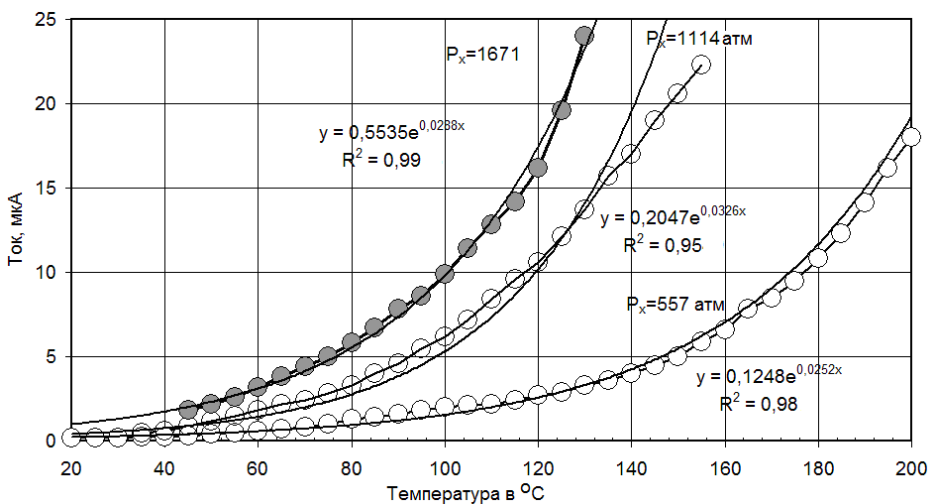


Рис. 7. Зміна струму що проходить при нагріванні вугілля і різноманітному тиску стиснення

В цьому випадку розрив хімічних зв'язків відбувається у найбільш ослаблених місцях, які мають деформовані, напружені та «розпушені» зв'язки.

Експериментально виявлено новий фізичний ефект, що полягає в утворенні рухомих радикалів при дії слабого електричного струму.

Експериментально встановлено, що пропускання струму паралельно нашаруванню значно ефективніше, ніж механохімічна активація стиранням у ступці.

Механізм деструктивних процесів у вугіллі пов'язаний з термічним ефектом, може проявитися в результаті виділення джоулева тепла при проходженні електричного струму, наприклад, по вуглецевим або вуглеводневим (електропровідним фазам) ланцюжках.

Експериментально встановлено властивість вугілля, яка полягає в тому, що в деяких елементах наноструктури, електростимульованої впливом слабого струму, хімічні зв'язки переходять в стан нестійкості, руйнуються й при цьому утворюються рухливі компоненти.

Ступінь хімічної активності вугілля, потенційно здатного до переходу в газ, обумовлена електричним стимулюванням, при цьому максимальна хімічна активність вугілля проявляється тільки при додатковому пропусканні слабого електричного струму після механічного подрібнення, що дозволяє зробити висновок про максимальну ефективність процесу переходу вугілля в газ у разі пропускання струму через попередньо дестабілізовану структуру вугілля.

За даними рентгеноструктурного аналізу (рис. 8), інфрачервоної спектроскопії, термогравіметричного аналізу і диференціальної скануючої калориметрії, електронного парамагнітного резонансу (рис. 9), лазерного дифракційного аналізу розмірів частинок (рис. 10), оптичної та електронної мікроскопії утворення радикалів і газу з елементів органічної маси вугілля при електростимульованих впливах подібно процесу, дослідженому при механохімічних та радіаційно-хімічних впливах, процесу, який генерує аналогічний хімічний склад радикалів і газу.

Збільшення напівширини максимумів на дифрактограмах вугілля після електрохімічної стимуляції свідчить про збільшення кількості наноструктурних фаз, що спонтанно утворилися при перенасиченні системи зруйнованих компонентів.

У всіх оброблених зразках вугілля збільшується щільності сигналу ЕПР, з чого випливає, що пропускання струму призводить до збільшення ступеня «аморфності» структури з утворенням нових радикалів. ІЧ спектри також вказують на деструкцію.

З аналізу експериментальних даних випливає, що проходження слабого електричного струму ініціює у вугіллі хімічні реакції тверда фаза вугілля→газ, збільшує концентрацію парамагнітних центрів (ПМЦ) в аліфатичних і ароматичних структурах. Встановлено, що концентрація ПМЦ, що утворилися в результаті проходження слабого електричного струму, досягає значень такого ж порядку, як і при механохімічній активації. Перехід механоактивованого вугілля в газ, стимульований впливом слабких електричних полів та нагріванням до 300...315 К, призводить до збільшення концентрації парамагнітних центрів (рухомих компонентів), зменшення середнього розміру зерна кристалічної компоненти, а в цілому – до збільшення ступеня «аморфності» вугілля.

Передбачається, що в природі утворення і виділення газу у вугіллі головним чином обумовлено руйнуванням зв'язків деяких елементів твердої фази вугілля. Причинами можуть бути зсувні деформації, дія електричного струму або одночасний вплив цих двох факторів і теплового поля.

При проведенні експериментів не виявлено вплив температури (300...315 К) на помітне зниження потенційного бар'єру переходу твердої фази вугілля в рухливі компоненти. Тільки у поєднанні зі струмом нагрівання призводить до утворення радикалів. Можливо, розрив зв'язків відбувається за участю теплових флуктуацій. Тоді у випадку реакції термічного розпаду енергія активації в рівнянні Арреніуса збігається з енергією хімічного зв'язку.

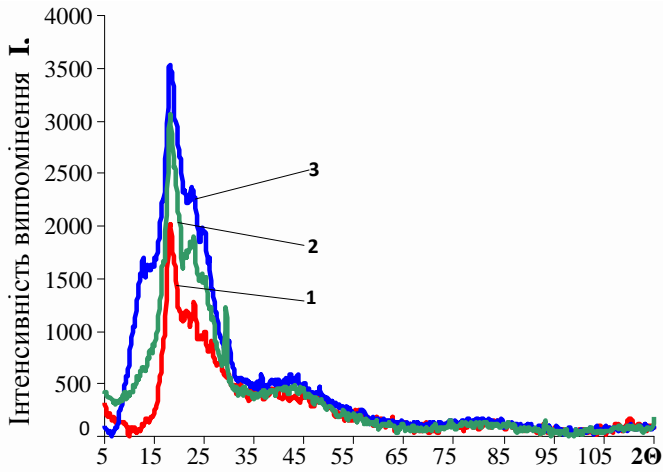


Рис. 8. Дифрактограми зразків вугілля марки Г: 1 – не оброблений (вихідний); 2 і 3 – цілик, через який пропускався струм відповідно перпендикулярно і паралельно нашаруванню

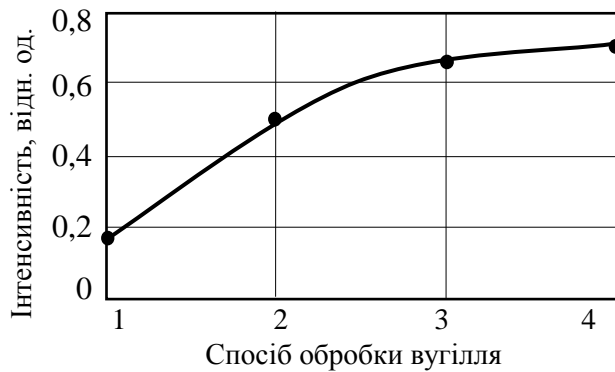


Рис. 9. Інтенсивності ліній ЕПР в залежності від виду фізичних впливів: 1 – вихідний зразок вугілля; 2 – після обробки тиском  $P_2$  ( $T_1 - \text{const}$ ); 3 – після нагрівання  $T_2$  ( $P_2 - \text{const}$ ); 4 – після пропускання слабкого електричного поля  $E_2$  ( $P_2, T_2 - \text{const}$ )

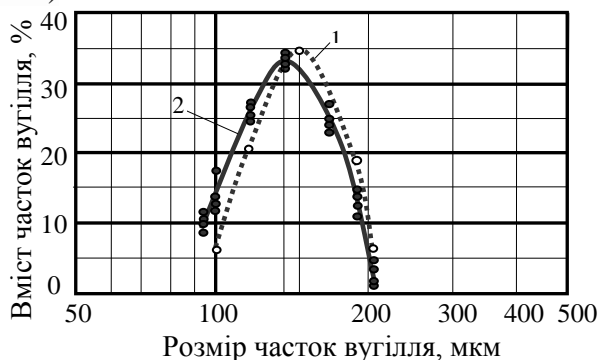


Рис. 10. Характер розподілу часток вугілля за розмірами: 1 – вихідний зразок; 2 – вугілля після обробки в електричному полі

У вугіллі низького ступеня вуглефікації, яке містить велику кількість аліфатичних ланцюжків, при проходженні електричного струму виникають деструктивні процеси так само інтенсивно, як, наприклад, в результаті механохімічних та радіаційно-хімічних перетворень.

Експериментально встановлено, що збільшення часу обробки не призводить до подальших помітних змін у наноструктурі вугілля - в певний момент часу настає насичення наноструктури додатковою внутрішньою енергією. Прояв цього ефекту особливо важливий, якщо система вугілля-газ знаходиться в умовах рівнокомпонентного напруженого стану - в цьому випадку система переходить у стан нестійкої хімічної рівноваги, при якому може зберігатися невизначено довго.

З аналізу експериментальних даних випливає, що при пропусканні електричного струму паралельно нашаруванню сталися найбільш помітні деструктивні перетворення.

В результаті хроматографічного аналізу (аналізи проведені співробітниками Відділення Інституту хімічної фізики Російської АН, м. Черноголовка) і маспектроскопічних досліджень встановлено, що склад газів і радикалів, які виділилися при електростимулюванні зразків вугілля, аналогічні даним, отриманим при механохімічній активації вугілля.

**Розділ четвертий.** У дослідженнях стійкості вуглеводневих ланцюжків використана фізико-математична модель, запропонована В.В. Соболевим зі співр. Встановлено, що хімічний зв'язок поступово втрачає стійкість при наявності одного "зайвого" електрона (зв'язок «розпушується»), при трьох і більше «зайвих» електронах зв'язок практично не має мінімуму на кривій енергії  $E=f(R)$ , тобто відбувається розрив хімічного зв'язку. Стійкість ланцюжка визначається його складом. Стійкість вуглецевого лінійного ланцюжка залежить від кількості атомів: при 8 атомах вуглецю ланцюжок стає квазістійким. Для водневого ланцюжка втрата стійкості настає при 10 і більшій кількості атомів.

Деструкція ланцюжкових компонентів вугілля протікає в більшій мірі активно і глибоко, якщо після механоактивації вугілля здійснюється електричний вплив. У цьому випадку початок деструктивних процесів відповідає кімнатній температурі, яка істотно нижче початку термічної деструкції.

**Розділ п'ятий.** Обґрунтований вплив слабого електричного струму як додаткового чинника, що сприяє зниженню стану стійкості структури вугілля, тобто зниженню енергетичного бар'єру для здійснення фазового перетворення органічної маси вугілля в газ в процесах переробки вугілля в інші види палив та при викидах. Додовнена геомеханічна гіпотеза, раніше запропонована проф. В.В.Соболевим.

Вугілля в стані 0 (рис. 11) – початковий (невикидонебезпечний) стан вугілля. Температура 293...340 К. Наноструктура метастабільна. Система у стані хімічної рівноваги, положення якого залежить від таких параметрів як температура, тиск, концентрація, напруженість електричного і магнітного полів. Система знаходиться в рівнокомпонентному напруженому стані.



Рис. 11. Можливий сценарій зміни вільної енергії частинки ОМУ, яка бере участь у процесі перетворень (за Соболевим В.В.):  $\Delta E = E_3 - E_0$  – результуюча зміни вільної енергії (рушійна сила);  $\Delta E'_A$  – вільна енергія активації переходу (1→2) або частка запасеної енергії, що витрачається на реакції утворення радикалів і газу;  $\Delta E''_A$  – вільна енергія активації переходу (2→3), тобто запасена енергія системи, яка витрачається на розвиток хімічних реакцій  $OMB \rightarrow \text{газ}$  у разі порушення умови рівнокомпонентного напруженого стану. Координатою реакції є будь-яка змінна величина, яка є мірою розвитку реакції.

Перехід у нестабільний стан (0→1). Найбільш вірогідним первинним джерелом енергії в масиві порід є механічне поле, енергія якого може переходити в теплову, електричну, хімічну та ін. За даними геофізичних та геологічних досліджень викидонебезпечні зони у вугіллі приурочені до зон тектонічних порушень, тобто

зон, у яких на вугільну речовину діють не тільки деформації зсуву, але й електричні поля, значення яких перевищують напруження, характерні для рівноважного стану масиву. Положення 1 (рис. 11) – це нестабільна структура, яка утворилася після деформування ОМВ та електричного впливу на її наноконпоненти.

У механоактивованому вугіллі енергія практично не запасується, а переходить у теплову і далі йде на розрив хімічних зв'язків з утворенням радикалів і молекул, тобто з утворенням системи, що складається з генетично пов'язаних рухомих компонентів з нерухомими елементами органічної маси вугілля.

При певних термодинамічних умовах і концентрації вільні радикали вступають в реакцію один з одним, утворюючи стабільні молекули газу. Утворення додаткового газу (як причина) і, як наслідок, – процес подрібнення вугільної речовини протікають одночасно, система таким чином набуває нових характеристик.

Перехід у викидонебезпечний стан. Етап 1→2. При досягненні деякого максимального тиску газу в пористому просторі (газ утворюється у всіх без винятку дефектах і типах пор ОМВ, а утворені гази створюють додаткові пори і тріщини, руйнуючи частки вугілля) процес подальшого утворення газу поступово загасає – в системі настає нестабільна хімічна рівновага між твердими поверхнями фазових переходів ОМВ та освіченими рухомими компонентами. Вугілля як система буде прагнути до мінімуму енергії за рахунок внутрішньої структурної самоорганізації. Стан викидонебезпечності ("законсервований" процес можливого розвитку деструктивних перетворень ОМВ) характеризується повільною кінетикою процесу; таке існування нестабільною мікроструктури ОМВ (рис. 12) без помітних змін зовнішніх параметрів може бути досить тривалим (стан 2, рис. 11).

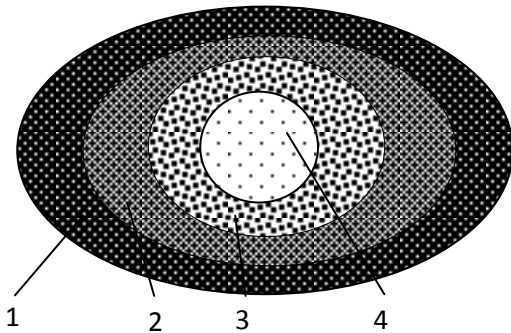


Рис. 12. Схема передбачуваного розміщення фаз у порі системи вугілля-газ: 1 – вугілля; 2 – деструктурована зона, що складається з перехідною мікроструктури з «напруженими» зв'язками, потенційно здатна генерувати вільні радикали; 3 – поверхневий шар, що містить радикали, молекули адсорбованого газу, електричні заряди (іони, обірвані зв'язки); характеризується активними хімічними процесами; 4 – пори, що містять молекули вільного газу

ва рівнокомпонентного об'ємного стиснення – з'являється зсувна компонента, збільшується рухливість деяких структурних елементів вугілля, формується нова фільтраційна мережа, порушується в порах  $P, V$ -рівновага і стан хімічної рівноваги. В цілому

У механоактивованій системі ОМВ-газ зсув вправо або вліво буде здійснюватися при зміні параметрів і виду зовнішніх впливів. Реакція такої системи на зовнішні впливи буде здійснюватися у відповідності з відомим принципом Ле Шательє. Основним параметром, визначальним викидонебезпечний стан вугілля, є величина запасеної енергії, що визначає потенційну здатність мікроструктури переходити у газоподібний стан.

Причини викиду вугілля. Етап 2→3. При наближенні поверхні виробки до викидонебезпечної зони порушується умова

для викидонебезпечної ділянки настає процес катастрофічно швидкого зниження до нуля нормальних напружень. Зниження тиску у всій системі вугілля↔газ спричинює "доривання" напружених зв'язків і додаткове виділення газу за рахунок перетворень в ОМВ. Процес формування нових газових пор і наповнення первинних пор газом в структурі ОМВ створює умови, при яких з'являються розтягуючі напруження, які полегшують руйнування вугілля до мікро- і нанорозмірних частинок.

Перехід системи вугілля↔аз з викидонебезпечного стану 2 в стан стабільної рівноваги 3, що відповідає нормальним умовам, обумовлений енергією додаткового газу, утвореного в процесі остаточної (вторинної) деструкції вугілля за рахунок вивільнення залишкової запасеної енергії («законсервованої» до цього в стані 2). Саме запас залишкової енергії є одним з основних параметрів, що стимулюють утворення великого обсягу додаткових газів і визначають інтенсивність викиду.

Утворення великої кількості газу та дрібнодисперсного вугілля не тільки характерні для будь-якого викиду, але генетично пов'язані, тобто мають причинно-наслідковий зв'язок. Найбільш інтенсивне утворення газів у вугіллі зумовлено додатковими фізичними впливами на попередньо дестабілізовану структуру вугілля.

Значення отриманих результатів досліджень для практики полягає в тому, що електростимульоване газовиділення може бути використано для вирішення проблеми газоносності вугільної речовини і пов'язаного з нею актуального питання стійкості структури вугільного пласта – формування викидонебезпечного стану у вугіллі та стимулювання викидів вугільногазової суміші.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей зміни фізичних властивостей вугільної речовини під дією слабкого електричного поля як додаткового фізичного фактора, що викликає деструкцію наноконпонентів кам'яного вугілля, вирішене актуальне науково-технічне завдання оцінки стану стійкості структури вугілля і підвищення надійності прогнозу викидонебезпечності, що має важливе значення для безпеки гірничовидобувних робіт.

Основні наукові і практичні результати наступні.

1. Вперше експериментально встановлено новий фізичний ефект, який полягає в тому, що в діапазоні досліджуваних температур 293...315 К вплив слабкого електричного поля збуджує в компонентах кам'яного вугілля хімічні реакції, які супроводжуються утворенням вільних радикалів, наприклад, СНОН, СОН, СО, СН<sub>3</sub>, СН<sub>2</sub>, СН, Н та ін.

2. Встановлено, що концентрація парамагнітних центрів, утворених в результаті проходження слабкого електричного струму, досягає значень такого ж порядку, як і при механохімічній активації, при цьому склад газів і радикалів, які виділилися з вугілля при електростимульованій обробці, аналогічний отриманим при механохімічній активації вугілля. У всіх експериментах у вугіллі фіксується збільшення щільності парамагнітних центрів, тобто пропускання струму призводить до «аморфізації» структури і утворення нових молекул з неспареними електронами.



3. Електростимульоване збільшення хімічної активності подрібненого вугілля обумовлено збільшенням питомої внутрішньої поверхні (зменшенням часток вугілля) і збільшенням концентрації рухомих компонентів (радикалів). Активність цілісних зразків вугілля обумовлена головним чином утворенням радикалів, імовірно утворених за рахунок розриву ланцюжкових структур вугільної речовини.

4. Вперше експериментально встановлено, що фазові і структурні перетворення у вугіллі відбуваються не тільки при тепловому впливі або механохімічній активації, але і в результаті проходження слабого електричного струму. Утворення вільних радикалів і стійких молекул газу свідчить виключно про деструктивні процеси, що протікають у вугільній речовині.

5. Вперше експериментально виявлено ефект зниження температурного порогу на 150...350 К, при якому в кам'яному вугіллі утворюються відповідно окис вуглецю і метан, що може бути використано як свідчення своєрідною «спеціалізації» викидів щодо складу та кількісного вмісту газів.

6. Розроблено фізико-математичну модель для оцінки стану стійкості хімічних зв'язків у вуглецевих і вуглеводневих ланцюжках вугільної речовини, заснована на ефекті деструктивного впливу точкового заряду на хімічний зв'язок від величини заряду і його відстані до зв'язку. Показано, зокрема, що стійкість ланцюжків залежить не тільки від величини струму, що проходить, але і від кількості атомів.

7. Механохімічна гіпотеза доповнена новими уявленнями про механізми, що викликають формування стану нестійкості при електростимульованому впливі на структуру вугілля. Для доповнення існуючих критеріїв прогнозу ймовірності викидів, рекомендується розробити експерес-аналіз вугілля на визначення величини викликаної електрохімічної активності.

Аналізуючи відомі методи отримання газу з кам'яного вугілля та беручи до уваги результати наших досліджень встановлено, що найбільш повна дегазація може бути досягнута в разі додаткового впливу електричного поля. Це відбувається з тієї причини, що електричний струм який проходить, викликаючи деструкцію в об'ємі вугілля, стимулює утворення радикалів і газу. Особливо ефективною газовіддачею повинні характеризуватися викидонебезпечні вугілля як найбільш дефектні і хімічно активні.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Филиппов А.О. Физическая механика выбросоопасных углей: монография / В.В. Соболев, А.В. Чернай, В.В. Зборовский, А.С. Поляшов, А.О. Филиппов; под общ. ред. проф. В.В. Соболева.- Запорожье: Привоз принт, 2014. - 304 с: ил.

2. Филиппов А.О. Устойчивость наноструктуры каменного угля при воздействии электрического тока / В.В. Соболев, А.С. Баскевич, Н.В. Билан, А.О. Филиппов // Науковий вісник НГУ. – 2011. – №6. – С. 80-84.

3. Filippov A.O. Electric stimulation of chemical reactions in coal / V.V Sobolev, N.V Bilan, A.O. Filippov, A.S. Baskevich // Mining Technical and Geoinformational systems in mining. – A Baalkema book: Leiden, 2011. – P. 125-129. (наукометрична база SCOPUS)

4. Филиппов А.О. Изменения структуры каменных углей при воздействии слабого магнитного поля / В.В. Соболев, А.О. Филиппов, Д.В. Самовик, В.И. Зазимко // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2012. – Вип. 1. – С. 143–148.

5. Филиппов А.О. Фазовые превращения в каменных углях при воздействии слабых электрических и магнитных полей / Г.Г. Пивняк, В.В. Соболев, А.О. Филиппов // Науковий вісник НГУ. – 2012. – № 5. – С. 43–49. (наукометрична база SCOPUS)

6. Филиппов А.О. Использование шумов при измерении физических свойств углей для оценки природы фазовых переходов // Материалы междунар. конф. «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений» – Донецк: ООО «Норд-Пресс», 2008. – Вип 14. - С. 47–48.

7. Филиппов А.О. Образование газа как результат механодеструкции органической массы угля / В.В. Соболев, А.В. Чернай, Н.В. Билан, А.О. Филиппов // Материалы міжнар. конф. «Форум гірників – 2009»: Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання.– Д.: НГУ, 2009. – С. 186–191.

8. Філіппов А.О. Магнітне стимулювання фазових перетворень у вугіллі марки Ж / В.В. Соболев, А.О. Філіппов // Материалы междунар. конф. «Совершенствование технологи строительства шахт и подземных сооружений», Донецк: ООО «Норд-Пресс», 2009. – Вып 15. - С. 97–99.

9. Филиппов А.О. Электрохимическая активация и устойчивость наноструктурных компонентов каменного угля / В.В. Соболев, А.С. Баскевич, А.О. Филиппов // Матер. Междунар. научн.-практ. конф. "Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2012". <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-212/mining-and-geodesy-212/13419-212-405>

10. Филиппов А.О. Устойчивость углеродсодержащих фаз в углях при прохождении электрического тока слабой напряженности // XII междунар. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и преподавателей среднего профессионального образования. – Чита: ЗабГК, 2012. – 193 с.

11. Филиппов А.О. Активация наноструктурных компонентов каменного угля слабым электрическим током и температурой // Материалы VIII междунар. конф. "Стратегия качества в промышленности и образовании" 8-15 июня 2012 г. Технический ун-т, Варна, Болгария – 2012.– Т. 2. – С. 116–123.

12. Филиппов А.О. Об устойчивости наноструктуры каменного угля при прохождении электрического тока / Г.Г. Пивняк, В.В. Соболев, А.О. Филиппов // Доповіді НАН України.- 2012. №1. – С. 89–94.

**Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві:** [1] – виконання експериментальних досліджень, аналіз одержаних результатів, розробка механізмів виявлених фізичних ефектів; [2, 3, 5, 12] – розробка методики досліджень, проведення експериментів та аналіз експериментальних даних; [4, 8] – дослідження інфрачервоної спектроскопії та електронного парамагнітного резонансу обробленого вугілля; [7] – аналізував причини, що ініціюють розрив хімічних зв'язків у мікрокомпонентах органічної маси вугілля. оцінка ступеня впливу гірничо-геологічних чинників на стійкість ствола; [9] – виконав квантово-механічну оцінку стійкості компонентів органічної маси вугілля.

## АНОТАЦІЯ

**Філіппов А. О. Закономірності впливу слабого електричного поля на стійкий стан викидонебезпечного вугілля. Обґрунтування впливу електричного поля на формування нестійкого стану в вугіллі. – Рукопис**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». – Дніпропетровськ, 2014.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі впливу електричних полів слабкої напруженості на стан стійкості вугілля.

Розроблені методики та лабораторні стенди з вивчення електричних характеристик вугілля при одночасному впливі температури, тиску і слабого електричного струму.

У роботі експериментально встановлено новий фізичний ефект, який полягає в тому, що в діапазоні температур 300...315 К електричний струм збуджує у вугіллі хімічні реакції з утворенням газів та вільних радикалів склад яких аналогічний складу газів, отриманих при термічній активації вугілля.

Викидонебезпечні вугілля поляризуються до більших значень викликаних потенціалів із часом спаду до  $10^4$  с.

Викидонебезпечність обумовлюється властивістю вугільногазової системи зберігати в умовах рівнокомпонентного об'ємного стиснення потенційно високу здатність до активного розвитку деструктивних процесів. Порушення рівноваги ініціює перетворення частини органічної маси вугілля в газ.

Отримані результати досліджень доповнили деякі принципові положення геомеханічної концепції раптових викидів, що дозволило відповісти на головне питання про походження великої кількості газу.

*Ключові слова:* вугілля, електричне поле, електростимулювання, викликаний потенціал, деструкція, фазовий перехід, утворення газу, раптовий викид вугілля

## АННОТАЦИЯ

**Филиппов А.О. Закономерности воздействия слабого электрического поля на устойчивое состояние выбросоопасных углей. – Рукопись**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет». – Днепропетровск, 2014.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи влияния электрических полей слабой напряженности на состояние устойчивости угля марок Г, Ж, К.

Разработаны методики и лабораторные стенды по изучению электрических характеристик углей при одновременном воздействии температуры, давления и слабого электрического тока, пропускаемого через образец угля.

В работе на примере каменных углей средней стадии углефикации впервые экспериментально установлен новый физический эффект, заключающийся в том, что в диапазоне температур 300...315 К под воздействием слабого электрического поля образующийся электрический ток возбуждает в компонентах углей химические реакции, которые сопровождаются образованием газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и др., свободных радикалов:  $\text{CNOH}$ ,  $\text{COH}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{H}$ . Установлено, что состав газов и радикалов, выделившихся из угля при электростимулированной обработке, аналогичен составу газов, полученному при термической активации угля, при этом образование свободных радикалов и устойчивых молекул газа свидетельствует о деструктивных процессах, протекающих в углях. При электростимулированной обработке предварительно измельченного угля экспериментально обнаружен эффект образования окиси углерода и метана при температурах 293...315 К, что почти на 150...350 К ниже температур, соответствующих максимальному выходу этих газов при простом нагревании.

Выбросоопасные угли поляризуются до больших значений вызванных потенциалов и характеризуются большим временем спада вызванной поляризации (возможно, это связано с дополнительным образованием твердых углеродных фаз, графенов и т.п.). Время релаксации электростатического состояния для различных углей до  $10^4$  с, что в сравнении с максвелловским временем релаксации ( $\sim 30$  с) на несколько порядков больше. Установленные значения спада приобретенного потенциала удовлетворительно коррелируют с концентрацией парамагнитных центров, сформированных в углях марки Ж.

Учитывая особенности физико-химических превращений в углях, предполагается, что выбросоопасное состояние обусловлено свойством этой новообразованной угольногазовой системы, характеризующейся неустойчивым равновесием химического состояния между компонентами поверхности фазовых превращений и образованным газом, сохранять в условиях равнокомпонентного объемного сжатия потенциально высокую способность угля с запасенной избыточной энергией к активному развитию деструктивных процессов. В случае нарушения условий равнокомпонентного напряженного состояния в системе спонтанно развиваются процессы превращения части органической массы угля в газ, обусловленного выделением ранее «законсервированной» доли запасенной энергии.

Полученные результаты экспериментальных исследований дополнили некоторые принципиальные положения геомеханической концепции внезапных выбросов, что позволило ответить на главный вопрос о происхождении большого количества газа.

*Ключевые слова:* уголь, электрическое поле, электростимулирование, вызванный потенциал, деструкция, фазовый переход, образование газа, внезапный выброс угля

**ABSTRACT****Filippov A. O. . Regularities of influence of weak electric field on the steady state of outburst coal. – Manuscript**

The dissertation for obtain a scientific degree of candidate of technical sciences on the specialty 05.15.09 - "Geotechnical and rock mechanics. State higher educational institution "National Mining University". - Dnepropetrovsk, 2014.

The dissertation is devoted to deciding the actual scientific problems of effects at the weak electric fields of tension on the stability state of a coal.

Developed methods and labor devices for studying the electrical characteristics of coal under the simultaneous effect of temperature, pressure and weak electric current, penetrated through the sample of a coal.

Has been experimentally set a new physical effect, which concluding that at the temperature range 300-315 the electrical current excites at the coals the chemical reaction which followed by formation of gases and free radicals which are similar to the composition of the gas obtained by thermal activation of coals.

Outburst of coal are polarized to large values of evoked potentials with a time of recession to  $10^4$  C.

The outburst is conditioned by the property of coal-gas system to save in the terms of comprehensive volume compression potentially high ability to active development of destructive processes. Imbalance initiates the conversion of organic matter of coal into gas.

The obtained results have complemented some of the fundamental provisions of geomechanical concepts of sudden outbursts, which allowed to answer the main question of the origin of large amounts of gas.

*Key words:* coal, electric field, electrostimulating, caused potential, decomposition, phase transition, education, gas, sudden coal

**ФІЛІПШОВ Андрій Олегович**

**Закономірності дії слабого електричного поля  
на стійкий стан викиднебезпечного вугілля**

**(Автореферат)**

**Підп. до друку 24.11.2014. Формат 60x90/16.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.  
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. 1013.**

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