

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

САЙ КАТЕРИНА СЕРГІЇВНА



УДК 622.324.5

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ
РОЗРОБКИ ГАЗОГІДРАТНИХ ПОКЛАДІВ
НЕОДНОРІДНОЇ СТРУКТУРИ**

05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

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

**БОНДАРЕНКО
Володимир
Ілліч**

Офіційні опоненти:

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**

кандидат технічних наук, завідувач відділу управління станом гірського масиву Інституту фізики гірничих процесів (м. Дніпро) Національної академії наук України

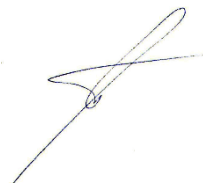
**ГЛАДКА
Олена
Вікторівна**

Захист відбудеться «09» грудня 2016 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 із захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 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. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19).

Автореферат розісланий «07» листопада 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03
кандидат технічних наук



М.В. Петльованій

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Щорічно в Україні спостерігається тенденція зі збільшення споживання паливних енергоносіїв, скорочення запасів вугілля, природного газу й нафти у традиційних родовищах, коливання та постійне зростання цін на імпортовану вуглеводневу сировину, тому все більш актуальним є пошук і розробка альтернативних джерел енергії. Це питання особливо важливе, адже проблема забезпечення держави природним газом у повному обсязі залишається невирішеною, а ціна на даний енергоносіє постійно зростає, що, в свою чергу, негативно позначається на економіці країни.

На ряду з метаном вугільних родовищ, сланцевим газом та газом ущільнених пісковиків перспективним є одержання газу із газогідратних родовищ. На сьогодні розробкою технології видобутку газу з покладів газових гідратів займаються передові країни світу – Індія, Канада, Китай, Німеччина, Норвегія, США, Японія та ін. Для України суттєвий інтерес становлять газогідратні поклади Чорного моря, оскільки запаси газу, що зосереджені в українській частині (20 – 25 трлн м³), у кілька разів перевищують існуючі запаси газу традиційних родовищ, що дозволить забезпечити Україну даним енергоносієм на кілька століть з урахуванням усіх необхідних потреб як промислового комплексу держави, так і населення. Більше того, роль метану, яким володіє наша країна, вже найближчими роками може стати вирішальною у перерозподілі газового ринку.

Тому розробка сучасної технології видобутку метану з газогідратних покладів та встановлення її параметрів є актуальною науково-практичною задачею та має важливе значення для розвитку й забезпечення енергетичної незалежності України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» і пов'язана з роботами Міністерства освіти і науки України у період з 2013 по 2016 рр. за темами: ГП-467 «Розробка методів і технологій видобутку газу з природних газогідратів та створення штучних газогідратів для оптимізації виробничих процесів» (№ держреєстрації 0113U000411); ГП-473 «Розробка наукових засад фазових перетворень техногенних і природних газогідратів та створення новітніх технологій їх видобування» (№ держреєстрації 0115U002294); господарчих договорів Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» з ПрАТ «Донецьксталь – металургійний завод» у період з 2012 по 2015 рр. за темами: 010180дс «Дослідження термобаричних процесів гідратоутворення з шахтної метаноповітряної суміші (концентрація метану – 90%, до 30% і до 1%)»; АД-394/26972дс «Дослідження процесів гідратоутворення з метаноповітряної суміші дегазаційних свердловин»; АД-404/27577дс «Отримання штучних газових гідратів з метаноповітряної суміші дегазаційних свердловин». Дисертаційна робота відповідає Енергетичній стратегії України на період до 2030 року та вимогам Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки».

Мета і завдання дослідження. *Мета дослідження* полягає в обґрунтуванні параметрів технології розробки газогідратних покладів неоднорідної структури з одержанням газу метану на основі встановлених закономірностей зміни зони дисоціації з урахуванням частки породних включень, що містяться у покладі.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення таких *завдань дослідження*:

- систематизувати та обґрунтувати існуючі дані про особливості гідратоутворення й родовища газових гідратів Чорного моря;
- вивчити процеси формування й розкладання газогідратів при зміні термобаричних умов;
- встановити ступінь впливу кількості породних включень на ефективний процес дисоціації газогідратного покладу й зону розкладання;
- обґрунтувати параметри розробки родовищ природних газових гідратів та запропонувати технологічну схему видобутку газу із газогідратних покладів неоднорідної структури;
- визначити економічну доцільність запропонованих технологічних рішень щодо видобутку газу метану із природних газогідратів.

Ідея роботи полягає в урахуванні закономірностей впливу породних включень, що містяться у газогідратному покладі, на процес дисоціації для обґрунтування параметрів його розробки з одержанням метану.

Об'єкт дослідження – процес дисоціації газогідратного покладу неоднорідної структури та вилучення з нього газу метану.

Предмет дослідження – закономірності впливу породних включень на технологічні параметри процесу видобутку газу із газогідратних покладів неоднорідної структури.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у роботі завдань застосовувався комплексний підхід, який включав обробку та узагальнення літературних і патентних джерел, присвячених вивченню особливостей та термобаричних властивостей газових гідратів, методів розробки газогідратних покладів та технологій вилучення з них газу метану; проведення аналітичних розрахунків фазових переходів газогідратів; експериментальних досліджень процесу гідратоутворення та розкладання газових гідратів.

Достовірність отриманих результатів і висновків підтверджується використанням апробованих методів аналітичних та експериментальних досліджень, застосуванням основних положень законів термодинаміки, молекулярної та фізичної хімії, достатнім об'ємом проведених експериментів та високим ступенем відповідності результатів теоретичних і експериментальних досліджень (збіжність отриманих результатів складає 75 – 91%).

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше встановлено, що радіус зони розкладання газогідратного покладу змінюється за лінійною залежністю від частки породних включень, що містяться у ньому;
- вперше розроблено класифікацію газогідратних покладів за вмістом породних включень та кількістю затраченої теплової енергії на дисоціацію газогідрату;
- вперше встановлено, що затрати теплової енергії на протікання процесу дисоціації для одержання газу метану змінюються за параболічною залежністю зі збільшенням частки породних включень у газогідратному покладі;

– вперше визначено, що тривалість процесу дисоціації змінюється за експоненціальною залежністю від радіусу зони розкладання газогідратного покладу та частки породних включень.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Ефективний час протікання процесу дисоціації газогідратного покладу неоднорідної структури змінюється за експоненціальною залежністю від радіусу зони його розкладання, що збільшується зі зменшенням частки породних включень. Врахування цієї залежності дає можливість забезпечити стабільний дебіт експлуатаційних свердловин при відпрацюванні газогідратних родовищ з подальшим прогнозним місцем їх закладання.

2. Затрати теплової енергії, необхідні для отримання 1000 м³ газу метану, збільшуються за параболічною залежністю зі збільшенням частки породних включень у газогідратному покладі. Це дає можливість встановлювати доцільність розробки природних газогідратних покладів неоднорідної структури та розробити їх нову класифікацію за затратами енергії при змінній частці породних включень у них.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей впливу частки породних включень, які містяться у газогідратному покладі, на зону його дисоціації, що дозволило обґрунтувати параметри технології видобутку метану із природних газогідратів.

Практичне значення отриманих результатів:

– створено лабораторну установку для одержання газогідратів метану при різних термобаричних параметрах та вивчення процесів дисоціації;

– запропоновано технологічну схему розробки газогідратних покладів неоднорідної структури та видобування з них газу метану;

– запропоновано рекомендації щодо розробки газогідратних покладів зі змінною часткою породних включень для одержання газу метану;

– розроблено алгоритм розрахунку економічної ефективності для визначення доцільності видобутку метану з морських газогідратних покладів неоднорідної структури.

Реалізація результатів роботи полягає у розробленні рекомендацій з розробки газогідратних покладів, що містять частку породних включень, для науково-дослідного і проектного інституту ПАТ «Укрнафта».

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети і завдань досліджень, ідеї роботи, її основних наукових положень і висновків; виборі методів досліджень; проведенні аналітичних і лабораторних досліджень; обробці, узагальненні й аналізі отриманих результатів; обґрунтуванні параметрів технології видобутку газу із газогідратних покладів неоднорідної структури; розробленні рекомендацій для проектної організації.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи апробовано на всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференціях, форумах і семінарах: II та III Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Наукова весна» (Дніпропетровськ, 2011, 2012); V – IX Міжнародній науково-практичній конференції «Школа підземної розробки» (Ялта, 2011 – 2013; Бердянськ, 2014, 2015); VII Міжнародному форумі студентів та молодих вчених «Розширюючи обрії» (Дніпропетровськ, 2012);

XXI and XXII Szkoła Eksploatacji Podziemnej (Kraków, Poland, 2012 and 2013); 23 World Mining Congress (Montréal, Canada, 2013); Young Petro (Kraków, Poland, 2013); International Fuel Congress (Ivano-Frankivsk, Ukraine, 2015).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 24 наукові праці, у т.ч. 1 колективна монографія, 4 статті у фахових наукових виданнях з переліку МОН України, 1 стаття у збірнику, що внесений до наукометричної бази даних SCOPUS, 4 статті у закордонних виданнях, 9 публікацій у матеріалах конференцій; 2 патенти на винаходи та 3 патенти на корисні моделі.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел зі 167 найменувань на 17 сторінках; містить 153 сторінки машинописного тексту, 45 рисунків, 11 таблиць і 5 додатків на 41 сторінці; загальний обсяг роботи – 203 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність вибраної теми досліджень, розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету, ідею та завдання досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, викладено основні наукові положення, наукову новизну та значення отриманих результатів, наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів та структуру роботи.

Перший розділ дисертації присвячений розгляду питань, пов'язаних із вивченням процесу гідратуутворення, особливостей стабільного існування газогідратних покладів у природному середовищі, їх фізико-хімічних та термобаричних властивостей, а також умов формування родовищ газових гідратів у Чорному морі. Встановлено, що газогідратні поклади є перспективним джерелом накопичення вуглеводневої сировини, розробка яких дозволить вирішити проблему забезпечення України природним газом у повному обсязі.

За останні десятиріччя значно активізувалася зацікавленість до технологій розробки газогідратних покладів та видобутку з них метану, що підтверджується багатьма проектами та збільшенням частки охоронних документів не лише в Україні, а й в усьому світі. На сьогодні вивченням технологій вилучення газу з покладів газогідратів займаються передові країни світу – Індія, Канада, Китай, Німеччина, Норвегія, Південна Корея, США, Японія та ін.

Над вирішенням питань газогідратних технологій та створенням технологічних схем видобутку газу із природних газогідратів не лише на теренах нашої держави, а й закордоном, працюють вчені науково-дослідних і проектних інститутів, передових дослідних лабораторій, організацій та навчальних закладів. Особливої уваги у даному напрямі заслуговують роботи науковців Державного ВНЗ «Національний гірничий університет», Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Кіровоградського національного технічного університету, Полтавського національного технічного університету ім. Юрія Кондратюка, Державної наукової установи Відділення морської геології та осадочного рудоутворення НАН України, Інституту газу НАН України, Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Державного університету Орегону (США), Колорадського Університету (США), Російського державного університету нафти і

газу ім. І.М. Губкіна (Росія), Техаського університету (США), науково-дослідницького центру «Marum» (Німеччина), а також всесвітньо відомих компаній Chevron (США), Conoco Phillips (США), Japan Drilling (Японія), JAPEX (Японія), JOGMEC (Японія), Hydrate Energy International (США), Mitsui (Японія) та ін. Значний внесок у розвиток газогідратних технологій та вивчення фазових переходів газу метану внесли Г.І. Гайко, О.В. Гладка, П.Ф. Гожик, М.Л. Зоценко, В.А. Істомін, В.В. Клименко, В.П. Коболев, Ю.Ф. Макогон, М.М. Педченко, Л.Ф. Смирнов, Є.Ф. Шнюков, В.С. Якушев, P.R. Bishnoi, J.J. Carrol, T.S. Collet, R. Dawe, Y.P. Handa, A.A. Khokhar, T.M. Letcher, O.I. Levik, J.M. Silva, E.D. Sloan та ін.

На основі проведеного аналізу геолого-геофізичних даних визначені параметри знаходження і стабільного існування газових гідратів у акваторії Чорного моря, однак наявні технологічні рішення щодо видобутку газу метану із газогідратних покладів, що містять включення донних порід, вивчено ще недостатньо. До теперішнього часу відсутність наукового обґрунтування процесу одержання газу із газогідратів з часткою породних включень потребує вирішення нової наукової задачі, спрямованої на визначення параметрів технології свердловинного видобутку метану.

Це дало можливість сформулювати мету та ідею роботи, завдання досліджень, а також обґрунтувати методи їх вирішення для розв'язання нової актуальної науково-практичної задачі.

У **другому розділі** дисертації обґрунтовано специфіку формування та стабільного існування газогідратних покладів, виявлено кінетичні особливості процесу розкладання природних газових гідратів та визначено механізм їх дисоціації при зрушенні фазової рівноваги для встановлення закономірностей отримання газу метану із газогідратів в залежності від термобаричних параметрів.

У результаті комплексного аналізу та систематизації існуючих даних щодо закономірностей гідратоутворення та гідратонакопичення у природних умовах, виявлено, що поклади газових гідратів залягають не лише суцільними товщами чистого газогідрату, а містять певну частку породних включень, що необхідно враховувати при дослідженні процесу дисоціації та розробці технологічної схеми видобутку газу метану із чорноморських газогідратних родовищ.

Зрушення фазової стабільності газогідратних покладів відбувається при зниженні тиску P або збільшенні температури T , що призводить до руйнування кристалічної решітки з наступним розкладанням гідрату й вивільненням метану.

Встановлено, що дисоціація починається з утворення достатньої кількості порожнин у покладі й практично перебудовою структури гідрату, що пов'язано з достатнім запасом енергії, необхідної для відриву молекул газу від молекул води. Поява зародків нової фази, і, отже, поверхні розділу між двома твердими фазами (газогідратом і породними включеннями), а також розкладання газогідратного покладу неоднорідної структури відбувається вже на поверхні твердих включень.

У результаті проведених досліджень виявлено, що процес розкладання газогідратів $M \cdot nH_2O + \Delta H \rightarrow M + nH_2O$ є гетерогенним, протікає на межі розділу фаз і містить три послідовних стадії – плавлення, дегідrataцію та безпосередньо дисоціацію. На першій стадії відбувається плавлення газогідратного покладу неоднорідної структури, де спостерігається часткове відділення води від пок-

ладу та мають місце два агрегатних стани речовин – твердий, що включає газогідрат та породні включення, та рідкий – воду. Друга стадія являє собою дегідратацію – часткове відділення молекул метану та води від покладу, що є результатом фазових перетворень і порушення стабільності газогідрату, однак віддача газу не є максимальною. Процес дисоціації є третьою стадією, у якій відбувається повне відщеплення молекул метану, виділення води та виокремлення породних включень.

У процесі досліджень було встановлено, що суттєве підвищення внутрішньої енергії у початковому перед фазовими перетвореннями стані газогідрату може бути досягнуто накопиченням у ньому граничних концентрацій дефектів і пустот. Наблизити інтервал температур рекристалізації та розкладання до температури фазового переходу можна наступним чином:

$$T = T_0 + k\sqrt{T_0}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

де T_0 – температура рекристалізації при звичайному нагріві, $^\circ\text{C}$; k – коефіцієнт, що залежить від природи гірської породи у газогідраті.

Активізація фазових перетворень газових гідратів при їх розкладанні може бути досягнута шляхом використання додаткової кількості тепла Q , що є можливим при підвищенні температури з урахуванням типу гірських порід у газогідратному покладі неоднорідної структури. Крива фазової рівноваги газових гідратів описується рівнянням Клаузіуса-Клапейрона, однак у результаті аналітичних досліджень було встановлено, що для описання фазових перетворень у твердих фазах при гідратоутворенні й дисоціації може застосовуватися видозмінена форма рівняння $\frac{dT}{dP} = T \frac{\Delta V}{Q - \delta Q}$, врахування якого дає змогу підвищити внутрішню енергію твердої фази, яка при прагненні системи до рівноваги чинить ефективний вплив на процеси фазових переходів, а також змінює їх кінетику.

У **третьому розділі** дисертації наведено результати експериментальних та аналітичних досліджень процесу гідратоутворення й дисоціації покладів газових гідратів неоднорідної структури. Це дало можливість встановити закономірності процесу отримання гідратів метану, формування газогідратних покладів та їх розкладання з одержанням газу.

Дослідження процесу гідратоутворення й дисоціації було проведено завдяки існуючим установкам та обладнанню лабораторії інноваційних технологій Державного ВНЗ «Національний гірничий університет». В основі методики досліджень було використання вдосконаленої лабораторної установки НПО-5, кліматермокамери ІЛКА КТК-3000, що має можливість широкої варіації температурних параметрів, та резервуару установки, призначеного для дослідження процесу розкладання.

Отримання газогідрату становило перший етап досліджень, за яким слідував наступний, присвячений визначенню зони розкладання гідрату та вилученню газу метану. Процес гідратоутворення виконувався кілька разів шляхом варіювання термобаричних параметрів задля визначення максимальної швидкості повного гідратонакопичення та формування готового продукту. В результаті були отримані залежності зміни гідратонакопичення від часу гідратоутворення при температурах +9, +5 та +1 $^\circ\text{C}$, та у діапазоні тисків від 4 до 10 МПа з кроком 2 МПа. Виявлено, що при температурі, рівній +1 $^\circ\text{C}$ і тискові 10 МПа час гідратоу-

творення чистого газогідрату є найменшим і становить 5 годин. При цих заданих термобаричних параметрах було проведено другу низку дослідів з варіюванням частки включень, що закладалися до реактору гідратоутворення перед початком експерименту. Так, дослідження процесу отримання газогідрату метану було проведено 4 рази з урахуванням процентного вмісту породних включень у кількості 15, 30, 45 і 60% від об'єму реактора.

На рис. 1 наведено одержані залежності гідратонакопичення від часу формування газогідрату залежно від кількості породних включень, що є алюмосилікатними частками, аналогічними до тих, що містяться у чорноморських газогідратних покладах.

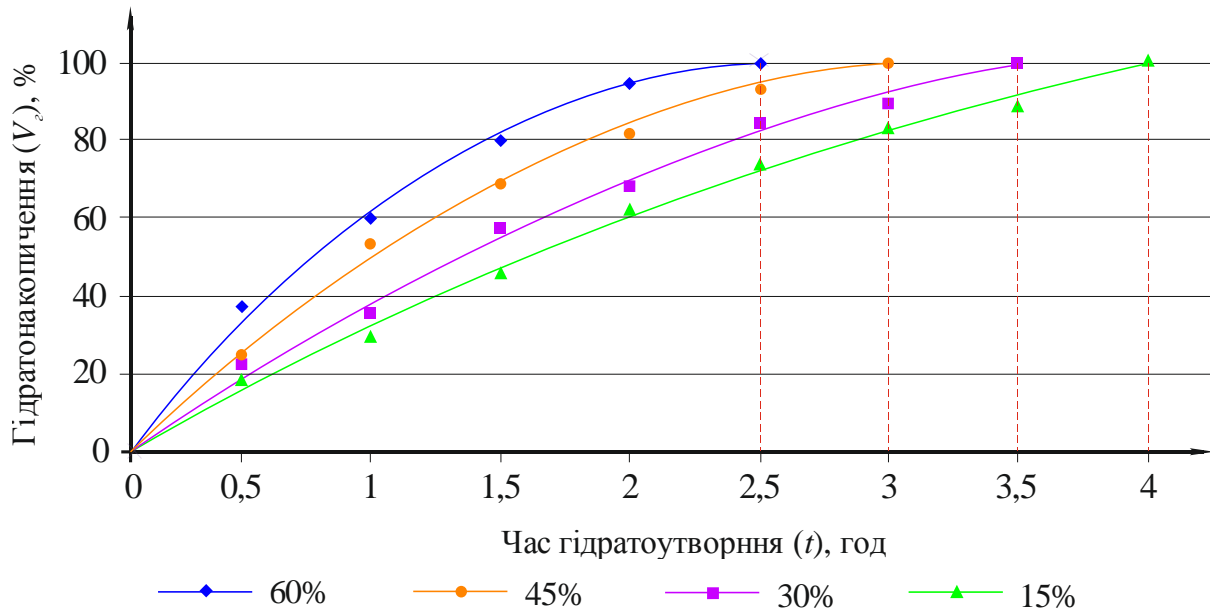


Рисунок 1 – Залежність гідратонакопичення від часу гідратоутворення при $T = const = +1^{\circ}\text{C}$, $P = const = 10\text{МПа}$ і змінній частці породних включень від 15 до 60%

Аналіз отриманих даних показує, що залежність повного гідратонакопичення від часу формування газогідрату змінюється за поліноміальним законом з величиною достовірності апроксимації $R^2 = 0,99$ для кожної кривої й описується наступними рівняннями при постійних параметрах тиску і температури та змінній частці породних включень:

- при 15% включень: $V = -3,51t^2 + 39,09t - 2,84$;
- при 30% включень: $V = -4,33t^2 + 43,48t - 1,44$;
- при 45% включень: $V = -10,19t^2 + 65,03t - 4,91$;
- при 60% включень: $V = -15,53t^2 + 79,05t - 3,65$.

Другий етап досліджень полягав у визначенні зони дисоціації газогідратних покладів. Після проведення серії експериментів із розкладання газових гідратів з одержанням метану проводилося розкриття резервуару лабораторної установки. Для визначення параметрів зони дисоціації використовувалась сітка координат точок, розосереджених на площині резервуару на початок спостережень. З кроком в 1 см від поверхні резервуару визначалося просторове змінення точок кон-

такту зони дисоціації зі штучно створеним газогідратним покладом. Отримані дані фіксувалися в журналі спостережень у вигляді координатних точок x , y , z , де x та y – довжина та ширина резервуару відповідно, а z – його висота.

Використовуючи отримані результати спостереження над кінцевою формою зони дисоціації та програмний продукт Surfer-8.0, на основі методу інтерполяції даних, побудовано 3-D грид-візуалізації розроблених нижньої та верхньої частин газогідратних покладів при змінній частці породних включень від 0 до 60% з кроком у 15%. Маючи значення геометричних параметрів зони дисоціації та їх координатне місце розташування, були розраховані загальні об'єми зон розкладання газогідратних покладів з різною часткою породних включень, що стало можливим завдяки меню Grid програми Surfer-8.0.

Аналізуючи дані, очевидно, що максимальним є діаметр зони дисоціації чистого газогідрату, що не містить у своєму складі породних включень ($d = 23,6$ м). Газовіддача газогідратного покладу, що не містить включень, була інтенсивною, вихід газу склав 1,030 млн м^3 . Діаметр зони розкладання покладу з 15% включень дорівнює 21,8 м. Об'єм газу, що був одержаний при розкладанні даного газогідратного покладу, – 0,563 млн м^3 . При 30% включень діаметр зони дисоціації склав 17,9 м. Дана кількість породних включень найбільш характерна для покладів газових гідратів та найчастіше зустрічається у природі. Газовіддача покладу при розкладанні була інтенсивною, об'єм одержаного метану рівний 0,287 млн м^3 . При збільшенні частки включень у газогідраті до 45% відбулося скорочення діаметру зони дисоціації і його значення склало 15,1 м. Газовіддача була меншою, оскільки майже половина покладу містила породні включення – 0,132 млн м^3 . Найменшим є діаметр зони дисоціації при 60% породних включень. Він склав 12,8 м. Газовіддача при розкладанні була найменшою, вона становила 0,050 млн м^3 .

У результаті проведених досліджень встановлено, що радіус зони розкладання газогідратного покладу змінюється за лінійною залежністю від частки породних включень, що містяться у ньому (рис. 2), а також визначено, що тривалість процесу дисоціації змінюється за експоненціальною залежністю від радіусу зони розкладання газогідратного покладу та частки породних включень (рис. 3).

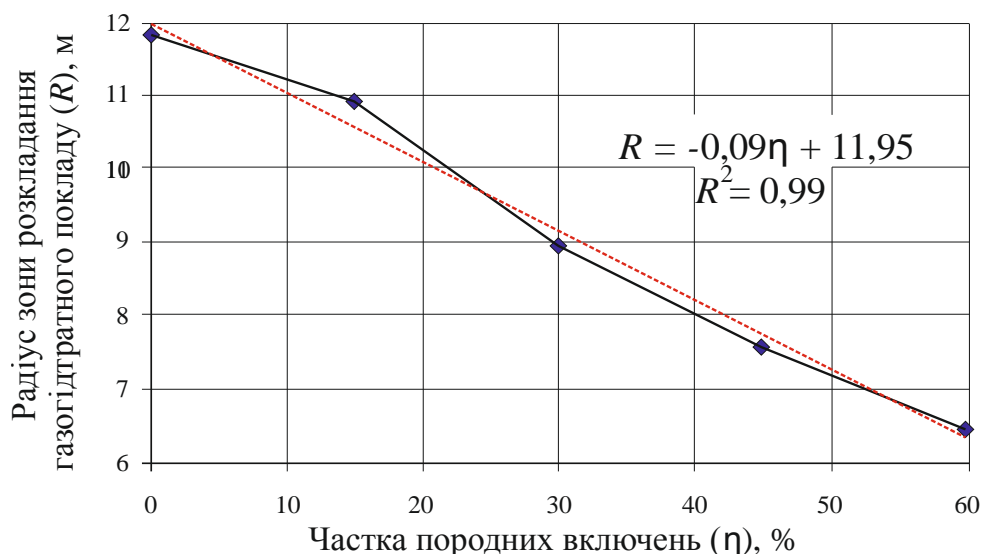


Рисунок 2 – Залежність зміни радіусу зони розкладання від частки породних включень

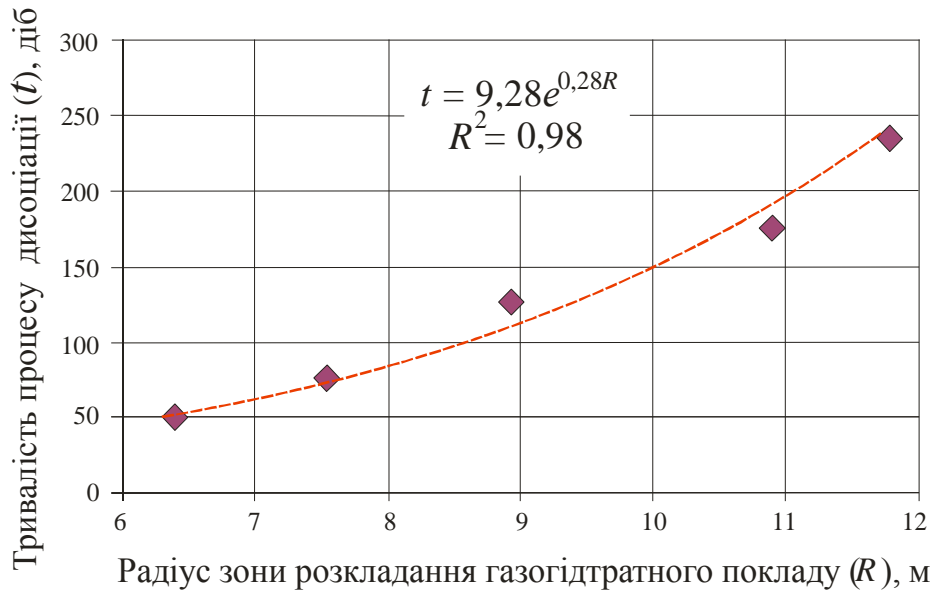


Рисунок 3 – Залежність зміни тривалості процесу дисоціації від радіусу зони розкладання газогідратного покладу

Встановлено, що ефективний час (t) протікання процесу дисоціації газогідратного покладу неоднорідної структури змінюється за експоненціальною залежністю від радіусу зони його розкладання (R), що збільшується зі зменшенням частки породних включень (η). Це, у свою чергу, дає можливість забезпечити стабільний дебіт експлуатаційних свердловин при відпрацюванні газогідратних родовищ з подальшим прогностним місцем їх закладання.

Визначення об'ємів отриманого газу метану при дисоціації газогідратних покладів проводилося двома шляхами: аналітичним та експериментальним. Вихід газу метану від частки породних включень наведено на рис. 4.

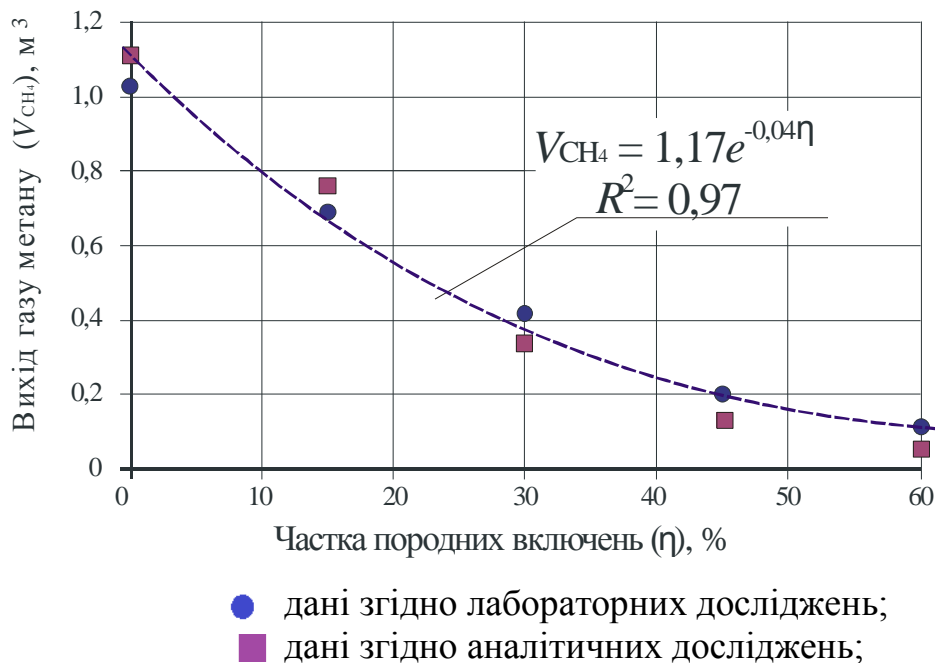


Рисунок 4 – Залежність виходу газу метану від частки породних включень

Для забезпечення ефективного процесу дисоціації газогідратного покладу зі змінною часткою породних включень необхідно визначити кількість теплової енергії, що затрачається для його розкладання. Аналізуючи дані, отримані за затратами теплової енергії для розкладання газогідратних покладів зі змінною часткою породних включень та вихід газу зі сформованих зон розкладання даних покладів, було визначено кількість теплової енергії, яку необхідно затратити для одержання 1000 м³ газу метану (рис. 5).

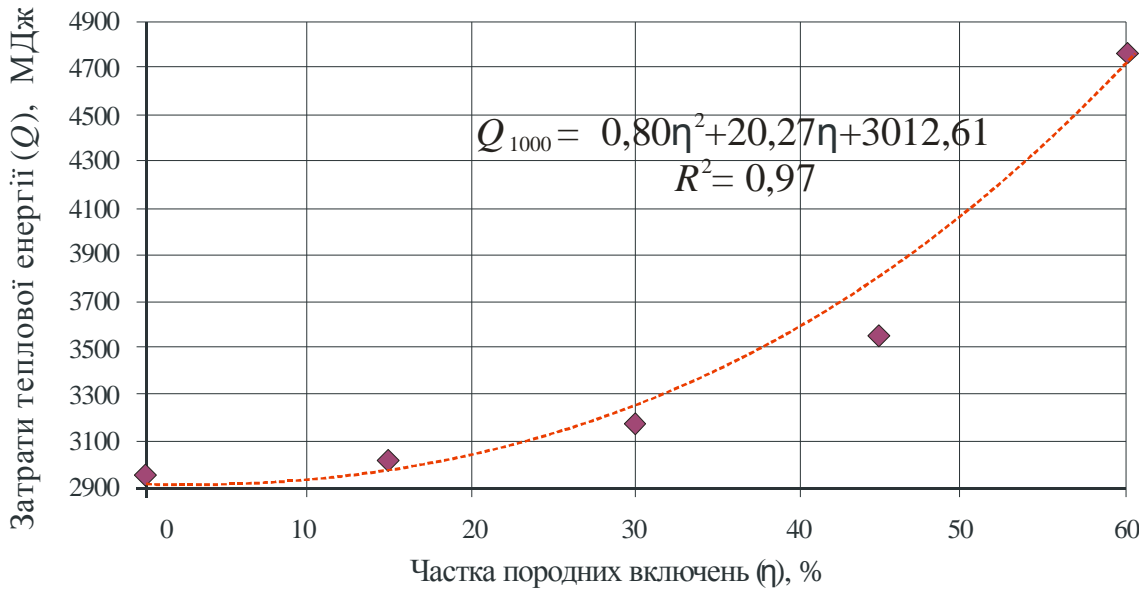


Рисунок 5 – Залежність затрат теплової енергії на отримання 1000 м³ газу метану залежно від частки породних включень

Встановлено, що затрати теплової енергії (Q), необхідні для отримання 1000 м³ газу метану, збільшуються за параболічною залежністю зі збільшенням частки породних включень (η) у газогідратному покладі. Це дає можливість встановлювати доцільність розробки природних газогідратних покладів неоднорідної структури та розробити їх нову класифікацію за затратами енергії при змінній частці породних включень у них.

Враховуючи особливості гідратонакопичення у донних відкладеннях Чорного моря, автором була запропонована нова класифікація газогідратних покладів, що базується на вмісті породних включень у даних покладах. В основу класифікації покладено затрати енергії при розробці родовищ газових гідратів для отримання 1000 м³ газу метану. Так, поклади газових гідратів пропонується розділити на 4 класи залежно від кількості породних включень у газогідратному масиві (рис. 6).

У **четвертому розділі** дисертації виконано обґрунтування технологічних параметрів розробки газогідратних покладів зі змінною часткою породних включень з одержанням газу метану для умов Чорного моря.

За результатами проведених досліджень розроблено технологічну схему видобутку газу, особливість якої полягає у зрушенні рівноважних умов стабільного існування газогідратного покладу неоднорідної структури шляхом подачі у нього теплоносія з урахуванням визначених параметрів (табл. 1).

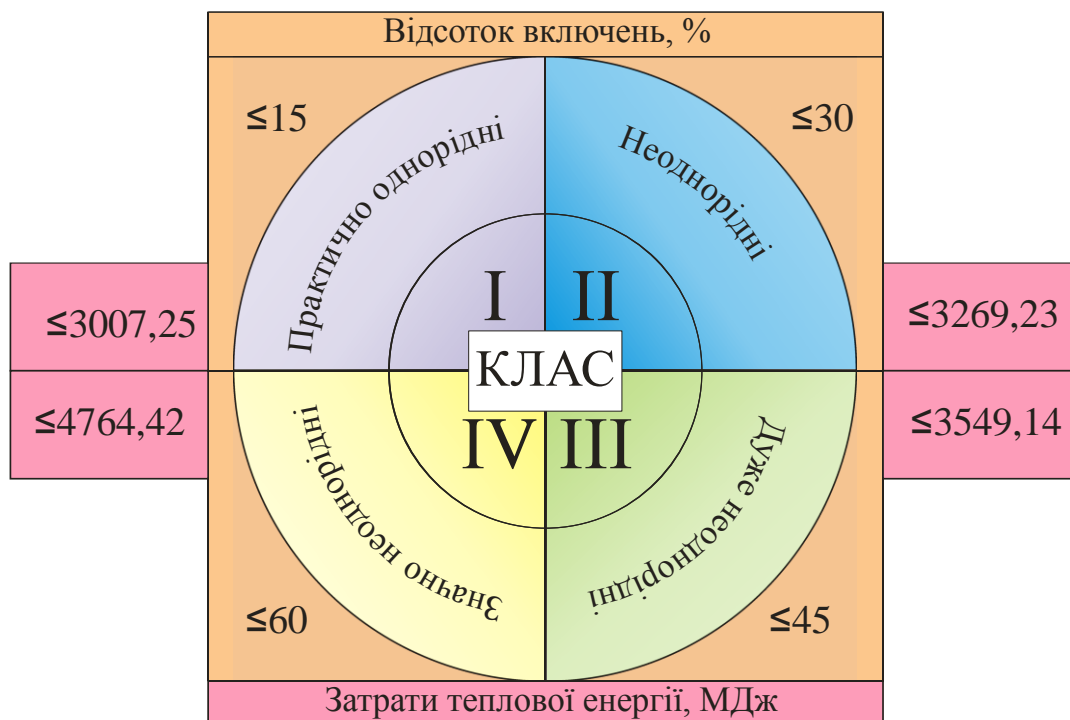


Рисунок 6 – Класифікація газогідратних покладів за затратами енергії

Таблиця 1 – Основні параметри технології розробки газогідратних покладів зі змінною часткою породних включень

Технологічний параметр	Частка породних включень, %				
	0	15	30	45	60
Потужність покладу, м	400				
Глибина розробки, м	700				
Температура покладу, °С	+8				
Тиск у покладі, МПа	8				
Радіус зони дисоціації, м	11,8	10,9	8,95	7,55	6,4
Висота зони дисоціації, м	21	19	17	15	13
Об'єм зони дисоціації, м ³	6879	5422	3001	1802	1098
Об'єм газу з однієї зони дисоціації, млн м ³	1,030	0,563	0,287	0,132	0,050
Термін відпрацювання однієї зони дисоціації, діб	236	177	126	76	50
Кількість зон дисоціації, що відпрацьовуються однією свердловиною, шт	19	21	24	27	31
Дебіт свердловини, млн м ³	19,57	11,82	6,89	3,56	1,55
Термін експлуатації однієї свердловини, роки	12,3	10,2	8,3	5,6	4,3
Сумарний вихід газу з покладу, млрд м ³	8,30	5,43	3,85	2,36	1,21
Кількість теплоти для отримання 1000 м ³ газу метану, МДж	2946,15	3007,25	3269,23	3549,14	4764,42

Основним принципом, що полягає в основі даної технології, є підведення тепла до продуктивної зони газогідратного покладу неоднорідної структури, що викликає його дисоціацію за рахунок порушення фазової рівноваги в сторону повільного розкладання газогідрату на газ і воду. При цьому частина води, що вивільнилася, залишиться на місці у покладі, а газ, що вивільнився, буде уловлюватися на поверхні.

Очікуваний економічний ефект від впровадження технології розробки газогідратних покладів неоднорідної структури полягав у розрахунку прибутку, отриманого від комерційної реалізації газу та розрахунку собівартості 1000 м³ метану, яка є у 1,2 – 8 разів нижчою (залежно від частки породних включень) від собівартості природного газу традиційних родовищ України. Прибуток від реалізації газу метану, видобутого за допомогою запропонованої інноваційної технології розробки газогідратних покладів неоднорідної структури, складає від 12,11 млн дол. (при 60% породних включень у покладі) до 1327,63 млн дол. (чистий газогідратний поклад, що не містить породних включень).

Проведені дослідження дали можливість розробити рекомендації щодо розробки газогідратних покладів, що містять частку породних включень, для науково-дослідного і проектного інституту ПАТ «Укрнафта».

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених закономірностей зміни зони дисоціації з урахуванням частки породних включень, що містяться у газогідратних покладах, вирішена актуальна науково-технічна задача з обґрунтування параметрів технології їх розробки.

У ході виконання роботи отримано наступні наукові та практичні результати:

1. Обґрунтовано умови формування газогідратних покладів Чорного моря, визначені параметри їх стабільного існування та фізико-хімічні властивості у природних умовах, які необхідно враховувати при розробці технологічної схеми видобутку метану з газогідратів. Проведено аналіз геолого-геофізичних даних і літературних матеріалів з освоєння газогідратних покладів та встановлено, що наявні технологічні рішення щодо видобутку газу метану із газогідратних покладів для умов Чорного моря, які містять включення донних порід, вивчено недостатньо.

2. Встановлено механізм протікання процесу дисоціації газогідратних покладів, що містять у своєму складі породні включення, та виявлено, що даний процес є гетерогенним, відбувається на межі розділу фаз і складається з трьох послідовних стадій: плавлення, дегідратації та дисоціації, що надає можливість одержання газу при розробці покладів неоднорідної структури. Встановлено, що рівняння Клаузіуса-Клапейрона у видозміненому вигляді

$$\frac{dT}{dP} = T \frac{\Delta V}{Q - \delta Q}$$

описання фазових переходів як при утворенні, так і при розкладанні газогідратів.

3. Виявлено, що тривалість (t) процесу дисоціації газогідратного покладу неоднорідної структури, що містить частку породних включень (η), змінюється за

експоненціальною залежністю від радіусу зони його розкладання (R) і апроксимується рівнянням $t = 9,28e^{3,35-0,03\eta}$, ($R^2 = 0,98$). Урахування цієї залежності дає можливість забезпечити стабільний дебіт експлуатаційних свердловин при відпрацюванні газогідратних родовищ з подальшим прогнозним місцем їх закладання.

4. Одержано закономірність зміни кількості затраченої теплової енергії (Q) для розкладання газогідратного покладу від частки породних включень (η), яка міститься у ньому, для одержання 1000 м^3 газу метану, що описується параболічною залежністю та апроксимується рівнянням другого ступеню $Q_{1000} = 0,80\eta^2 + 20,27\eta + 3012,61$, ($R^2 = 0,97$). Це дає можливість встановлювати радіуси зони дисоціації природних газогідратних покладів неоднорідної структури.

5. Розроблено нову класифікацію газогідратних покладів неоднорідної структури з різною часткою породних включень у газогідраті, класифікаційною ознакою якої є кількість тепла, що витрачається для протікання процесу дисоціації.

6. Створено технологію розробки газогідратних покладів зі змінною часткою породних включень, яка буде реалізована в умовах Чорного моря. Особливість даної технології полягає у зрушенні рівноважних умов стабільного існування газогідратного покладу неоднорідної структури шляхом подачі у нього теплоносія з урахуванням визначених технологічних параметрів. При реалізації даної технології досягається можливість отримання газу метану із газогідратних покладів, контроль процесу розкладання даних покладів з урахуванням визначених розмірів зони дисоціації та об'ємів гідратного газу.

7. Запропоновано рекомендації щодо розробки газогідратних покладів зі змінною часткою породних включень для одержання газу метану для науково-дослідного і проектного інституту ПАТ «Укрнафта».

8. Обґрунтовано економічну доцільність технологічних рішень щодо розробки газогідратних покладів неоднорідної структури з отриманням газу метану. Встановлено, що собівартість видобутку 1000 м^3 газу за запропонованою технологією є у 1,2 – 8 разів (залежно від частки породних включень у газогідратному покладі) нижчою від собівартості видобутку газу на суші з існуючих у країні газових родовищ. Прибуток від реалізації газу метану, видобутого за допомогою запропонованої інноваційної технології розробки газогідратних покладів неоднорідної структури, складає від 12,11 млн дол. (при 60% породних включень у покладі) до 1327,63 млн дол. (чистий газогідратний поклад, що не містить породних включень).

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Сай К.С. Газогідрати. Гідратоутворення та основи розробки газових гідратів / В.І. Бондаренко, О.Ю. Витязь, М.Л. Зоценко [та ін.]. – Д.: Літограф, 2015. – 219 с.

2. Сай Е.С. К вопросу скважинной подземной разработки газовых гидратов / В.И. Бондаренко, К.А. Ганушевич, Е.С. Сай // Науковий вісник НГУ. – №1 (121). – 2011. – С. 60 – 66.

3. Сай Е.С. Освоение газогидратных технологий – путь к получению дополнительного энергоресурса в Украине / Э.А. Максимова, К.А. Ганушевич, Е.С. Сай // Геотехнічна механіка. – 2013. – №110. – С. 106 – 114.

4. Сай Е.С. Утилизация шахтного метана и его транспортирование в газогидратном состоянии / К.А. Ганушевич, Е.С. Сай // Розробка родовищ. – 2014. – С. 299 – 307.

5. Сай К.С. Розробка математичної моделі інтенсифікації процесу гідратування за результатами експериментальних досліджень / [В.І. Бондаренко, К.С. Сай, К.А. Ганушевич, М.П. Овчинніков] // Розробка родовищ. – 2015. – С. 259 – 266.

6. Sai K. Methodology of gas hydrates formation from gaseous mixtures of various compositions / K. Sai, M. Ovchynnikov, K. Ganushevych // Mining of Mineral Deposits. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2013. – P. 203 – 205 (наукометрична база даних SCOPUS).

7. Sai K. Development of gas hydrates in the Black Sea / [V. Bondarenko, K. Sai, K. Ganushevych, A. Tyshchenko] // Technical and Geoinformational Systems in Mining. – Netherlands: CRC Press/Balkema, 2011. – P. 55 – 59.

8. Sai K. Development of gas hydrate reservoir in the Black Sea / K. Ganushevych, K. Sai // Young Petro. – No 8 (Summer 2013). – 2013. – P. 45 – 50.

9. Sai K. Creation of gas hydrates from mine methane / K. Ganushevych, K. Sai, A. Korotkova // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. – Netherland: CRC Press/Balkema, 2014. – P. 505 – 509.

10. Sai K. The results of gas hydrates process research in porous media / V. Bondarenko, K. Sai, K. Ganushevych, M. Ovchynnikov // New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining. – Netherland: CRC Press/Balkema, 2015. – P. 123 – 127.

11. Патент № 105382 на винахід, Україна. Спосіб добування газу метану з морських газогідратних родовищ / Сай К.С., Бондаренко В.І., Овчинніков М.П., Светкіна О.Ю., Ганушевич К.А.; заявник і власник патенту ДВНЗ «НГУ». – № а201112389; заяв. 21.10.2011; опубл. 12.05.2014; Бюл. № 9. – 4 с.

12. Патент № 108455 на винахід, Україна. Спосіб розробки морських газогідратних покладів / Сай К.С., Бондаренко В.І., Максимова Е.О., Овчинніков М.П., Ганушевич К.А.; заявник і власник патенту ДВНЗ «НГУ». – № а201405339; заяв. 19.05.2014; опубл. 27.04.2015; Бюл. № 8. – 4 с.

13. Патент № 65280 на корисну модель, Україна. Спосіб добування газу метану з морських газогідратних родовищ / Сай К.С., Бондаренко В.І., Овчинніков М.П., Светкіна О.Ю., Ганушевич К.А.; заявник і власник патенту ДВНЗ «НГУ». – № u201108449; заяв. 05.07.2011; опубл. 25.11.2011; Бюл. № 22. – 4 с.

14. Патент № 94671 на корисну модель, Україна. Спосіб розробки морських газогідратних покладів / Сай К.С., Бондаренко В.І., Максимова Е.О., Овчинніков М.П., Ганушевич К.А.; заявник і власник патенту ДВНЗ «НГУ». – № u201406104; заяв. 03.06.2014; опубл. 25.11.2014; Бюл. № 22. – 4 с.

15. Патент № 97253 на корисну модель, Україна. Спосіб інтенсифікації видобування метану з твердих газових гідратів піддонного залягання з закріпленням колектора за допомогою гідратів сірководню / Сай К.С., Витязь О.Ю., Овечь-

кий С.О., Фем'як Я.М., Тодорчук А.Ф.; заявник і власник патенту ІФНТУНГ. – № u201408571; заяв. 28.07.2014; опубл. 10.03.2015; Бюл. № 5. – 4 с.

16. Сай Е.С. К вопросу добычи газовых гидратов со дна Черного моря / В.И. Бондаренко, Е.С. Сай // Наукова весна: матеріали II Всеукраїнської наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених. – Д.: НГУ, 2011. – С. 14 – 15.

17. Сай Е.С. Термодинамические особенности газовых гидратов / К.А. Ганушевич, Е.С. Сай // Школа підземної розробки: матеріали V міжнар. наук.-практичн. конф. – Д.: НГУ. – 2011. – С. 190 – 195.

18. Сай Е.С. Изучение особенностей процесса гидратообразования в пористых средах / Е.С. Сай // Наукова весна: матеріали III Всеукраїнської наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених. – Д.: НГУ, 2012. – С. 48 – 49.

19. Sai K.S. Substantiation of technological parameters of methane extraction from the Black Sea gas hydrates / V.I. Bondarenko, K.A. Ganushevych, K.S. Sai // XXI Szkoła eksploatacji podziemnej: materiały konferencyjne. – Krakow: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Akademia Górniczo-Hutnicza, 2012. – Str. 191 – 196.

20. Sai K. Les perspectives de production de gaz naturel des gisements d'hydrate de gaz / K. Sai // Розширюючи обрії: матеріали VII Міжнародного форуму студентів та молодих вчених. – Д.: НГУ, 2012. – С. 188.

21. Сай Е.С. Изучение процессов диффузии при разработке газогидратных залежей / Е.С. Сай, Е.Ю. Светкина // Школа підземної розробки: матеріали VI міжнар. наук.-практичн. конф. – Д.: НГУ, 2012. – С. 201 – 206.

22. Sai K. Gas hydrate deposits of the Black Sea's trough: currency and features of development / [V. Bondarenko, E. Maksymova, K. Ganushevych, K. Sai] // XXII Szkoła eksploatacji podziemnej: materiały konferencyjne. – Krakow: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Akademia Górniczo-Hutnicza, 2013. – Str. 66 – 69.

23. Sai K. Scientific bases of methods and technologies of gas hydrates deposits underground mining / [V. Bondarenko, E. Maksymova, K. Ganushevych, K. Sai, M. Illiashov] // Proceedings of the World Mining Congress. – Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2013. – P. 117.

24. Sai K. Gas hydrate technologies for utilization of mine methane gas / K. Sai // Materials of the International Fuel Congress. – Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2015. – P. 17.

Особистий внесок автора в роботи, опубліковані у співавторстві, полягає в наступному: [1] – участь у написанні першого та четвертого розділів монографії; [2, 6, 20, 23] – аналіз літературних джерел, опрацювання та систематизація існуючих даних з визначення особливостей формування газогідратів і пріоритетних напрямів досліджень; [3, 7, 19, 22] – аналіз технологічних параметрів видобутку газу метану із газогідратних покладів; [4, 5, 24] – визначення способів інтенсифікації процесу гідратоутворення та формування штучних газових гідратів; [8, 9] – участь у проведенні експериментальних досліджень з гідратоутворення та визначення особливостей протікання процесу; [10, 18] – встано-

влення ступеню впливу геологічного середовища на процес існування газогідратних покладів; [11 – 14, 16] – аналіз можливих способів розробки родовищ газових гідратів; [15] – аналіз існуючих способів інтенсифікації видобутку метану з покладів газових гідратів; [17, 21] – постановка задач досліджень, аналіз термодинамічних та кінетичних властивостей газогідратів. Зміст дисертації та автореферату автором викладено самостійно.

АНОТАЦІЯ

Сай К.С. Обґрунтування параметрів технології розробки газогідратних покладів неоднорідної структури. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин. – Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпро) МОН України, 2016.

У дисертаційній роботі на основі встановлених закономірностей зміни зони дисоціації з урахуванням частки породних включень, що містяться у покладі, вирішена нова актуальна задача з обґрунтування параметрів технології розробки газогідратних покладів неоднорідної структури. Це є важливим науково-практичним результатом для ефективного видобутку газу метану із чорноморських газогідратних родовищ.

На основі аналітичних і лабораторних експериментальних досліджень виявлено закономірності розкладання природних газогідратних покладів неоднорідної структури з одержанням метану від вмісту частки породних включень.

Встановлено, що ефективний час протікання процесу дисоціації газогідратного покладу неоднорідної структури змінюється за експоненціальною залежністю від радіусу зони його розкладання, що збільшується зі зменшенням частки породних включень. Врахування цієї залежності дає можливість забезпечити стабільний дебіт експлуатаційних свердловин при відпрацюванні газогідратних родовищ з подальшим прогнозним місцем їх закладання.

Визначено затрати теплової енергії, необхідні для отримання 1000 м^3 газу метану, які збільшуються за параболічною залежністю зі збільшенням частки породних включень у газогідратному покладі. Це надало можливість розробити нову класифікацію покладів газових гідратів неоднорідної структури за затратами енергії в залежності від частки включень.

Запропоновано рекомендації щодо розробки газогідратних покладів, що містять породні включення, для науково-дослідного і проектного інституту ПАТ «Укрнафта».

Економічна оцінка, що проведена на основі розрахунку прибутку, який можливо отримати від комерційної реалізації гідратного газу, та визначення собівартості 1000 м^3 метану, підтверджує доцільність застосування технології розробки газогідратних покладів. Встановлено, що собівартість видобутку 1000 м^3 газу за запропонованою технологією є у 1,2 – 8 разів (залежно від частки породних включень у газогідратному покладі) нижчою від собівартості видобутку газу на

суші з існуючих у країні газових родовищ. Прибуток від реалізації газу метану, видобутого за допомогою запропонованої інноваційної технології розробки газогідратних покладів неоднорідної структури, складає від 12,11 млн дол. (при 60% породних включень у покладі) до 1327,63 млн дол. (чистий газогідратний поклад, що не містить породних включень).

Ключові слова: газогідратний поклад, породні включення, газ метан, дисоціація, фазові перетворення, технологія розробки.

АННОТАЦІЯ

Сай Е.С. Обоснование параметров технологии разработки газогидратных залежей неоднородной структуры. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Государственное ВУЗ «Национальный горный университет» (г. Днепр) МОН Украины, 2016.

В диссертационной работе на основе установленных закономерностей изменения зоны диссоциации с учетом доли породных включений, содержащихся в залежи, решена новая актуальная задача по обоснованию параметров технологии разработки газогидратных залежей неоднородной структуры.

Учитывая ежегодные тенденции сокращения запасов природных углеводородов, все большую актуальность приобретает поиск и разработка альтернативных источников энергии. Для Украины таковыми являются газогидратные месторождения Черного моря, запасы газа в которых оцениваются на уровне 20 – 25 трлн м³. Поэтому создание современной технологии разработки газогидратных залежей и обоснование ее параметров имеет важное практическое значение для развития и обеспечения энергетической независимости Украины.

Учитывая особенности гидратонакопления, установлено, что залежи газовых гидратов залегают не только сплошными толщами чистого газогидрата, а содержат определенную долю породных включений. В работе на основе аналитических и лабораторных экспериментальных исследований выявлены закономерности разложения природных газогидратных залежей неоднородной структуры с получением метана в зависимости от содержания доли породных включений.

Установлено, что процесс разложения газогидратов протекает на границе раздела фаз и содержит три последовательных стадии: плавление, дегидратацию и непосредственно диссоциацию, что дало возможность определить зависимость изменения продолжительности процесса диссоциации от радиуса зоны разложения газогидратной залежи с переменной долей породных включений.

Выявлено, что эффективное время протекания процесса диссоциации газогидратной залежи неоднородной структуры изменяется по экспоненциальной зависимости от радиуса зоны ее разложения, который увеличивается с уменьшением доли породных включений. Учет этой зависимости дает возможность обеспечить стабильный дебит эксплуатационных скважин при отработке газогидратных месторождений с последующим прогнозным местом их заложения.

Для обеспечения эффективного процесса диссоциации газогидратной залежи с переменной долей породных включений необходимо определить количество тепловой энергии, которое затрачивается для ее разложения. Так, установлено, что затраты тепловой энергии, необходимые для получения 1000 м³ газа метана, увеличиваются по параболической зависимости с увеличением доли породных включений в газогидратной залежи. Это позволило разработать классификацию залежей газовых гидратов неоднородной структуры по затратам энергии в зависимости от доли включений.

На основе проведенных исследований предложена технология разработки газогидратных залежей неоднородной структуры (с долей породных включений) для условий Черного моря.

Предложены рекомендации по разработке газогидратных залежей, содержащих породные включения, для научно-исследовательского и проектного института ПАО «Укрнефть».

Экономическая оценка, проведенная на основе расчета прибыли, которую можно получить от коммерческой реализации гидратного газа, и определения себестоимости 1000 м³ метана, подтверждает целесообразность применения технологии разработки газогидратных залежей. Установлено, что себестоимость добычи 1000 м³ газа по предложенной технологии в 1,2 – 8 раз меньше себестоимости добычи газа на суше из существующих в стране газовых месторождений (в зависимости от доли породных включений в газогидратной залежи). Прибыль от реализации газа метана, добытого посредством предложенной инновационной технологии разработки газогидратных залежей неоднородной структуры, составляет от 12,11 млн долл. (при 60% породных включений в залежи) до 1327,63 млн долл. (чистая газогидратная залежь, не содержащая породных включений).

Ключевые слова: газогидратная залежь, породные включения, газ метан, диссоциация, фазовые изменения, технология разработки.

ABSTRACT

Sai K.S. Substantiation into parameters of the technology of gas hydrates deposits development with heterogeneous structure. – Manuscript.

The thesis on obtaining degree of the candidate of technical sciences, specialty 05.15.02 – underground mining of mineral deposits. – State Higher Educational Institution “National Mining University” of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2016.

In the thesis, based on the established patterns of the dissociation zone changes considering the proportion of the rock inclusions contained in the deposit, the new pressing problem of the substantiation of the technology parameters of the gas hydrates deposits development with heterogeneous structure is solved. The above represents an important scientific and practical outcome for the efficient extraction of methane from the Black Sea gas hydrates deposits.

Regularities of the natural gas hydrates deposits decomposition with methane extraction depending on the content of the rock particles on the basis of analytical and laboratory experimental studies are revealed.

It is found, that the effective time of the gas hydrates deposit with heterogeneous structure dissociation process changes by the exponential dependence on the radius of its decomposition zone which increases with the decrease of the rock particles inclusions. Considering the mentioned dependency enables to ensure the stable discharge of the operating wells when mining the gas hydrates deposits with the subsequent forecast of their laying.

The costs of the thermal energy required to obtain 1000 m³ of the methane gas, which enlarge by the parabolic dependence with the increase of rock particles inclusions in the gas hydrates deposit, are estimated. This gave the opportunity to develop a classification of the gas hydrates deposits with heterogeneous structure based on the energy costs depending on the inclusion fractions.

Recommendations for the development of the gas hydrates deposits containing rock inclusions are elaborated for the Scientific and Research and Design Institute – Public Company “Ukrnafta”.

Economic evaluation performed on the basis of the profit calculation, which may be obtained from the hydrate gas selling, and determination of the 1000 m³ prime cost of the methane, corroborates the reasonability of the gas hydrate deposits development technology. It has been established that the prime cost for extraction of 1000 m³ of methane based on the technology proposed is from 1.2 up to 8 times less (depending on the proportion of rock inclusions in a gas hydrate input) than the cost of methane extraction from existing gas fields on land. Profit from selling the gas extracted, using the proposed innovative technology of development of gas hydrate deposits of heterogeneous structure, amounts from \$12.11 mln (at 60 percent of rock inclusions in the deposits) up to \$1327.63 mln (pure gas hydrate deposit which does not contain rock inclusions).

Key words: gas hydrates deposit, inclusions, methane, dissociation, phase transformation, technology development.

Сай Катерина Сергіївна

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ
РОЗРОБКИ ГАЗОГІДРАТНИХ ПОКЛАДІВ
НЕОДНОРІДНОЇ СТРУКТУРИ**

(Автореферат)

Підписано до друку 28.10.16. Формат 60×90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 прим. Зам. №242

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19