

УДК 502.174:622.324.5

**ШТУЧНІ МЕТАНОГІДРАТИ – ЯК ДОДАТКОВИЙ ЕНЕРГОРЕСУРС ДЛЯ УКРАЇНИ****<sup>1</sup>Максимова Е.О., <sup>1</sup>Овчинніков М.П., <sup>1</sup>Лисенко Р.С., <sup>1</sup>Прокопенко К.М.**<sup>1</sup>*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»***ИСКУССТВЕННЫЕ МЕТАНОГИДРАТЫ – КАК ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ЕНЕРГОРЕСУРС  
ДЛЯ УКРАИНЫ****<sup>1</sup>Максимова Э.А., <sup>1</sup>Овчинников Н.П., <sup>1</sup>Лысенко Р.С., <sup>1</sup>Прокопенко К.Н.**<sup>1</sup>*Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»***ARTIFICIAL METHANE HYDRATE AS ADDITIONAL ENERGY SOURCE FOR UKRAINE****<sup>1</sup>Maksymova E.O., <sup>1</sup>Ovchynnikov M.P., <sup>1</sup>Lysenko R.S., <sup>1</sup>Prokopenko K.M.**<sup>1</sup>*National Technical University «Dnipro Polytechnic»*

**Анотація.** Метан є одним з основних газів, які надають значний вплив на парниковий ефект в атмосферному середовищі планети Земля. Його негативний потенціал оцінюється вченими у 20 разів вище, ніж відповідний вплив від діоксиду вуглецю. При розробці вугільних родовищ відбувається викид попутних вуглеводневих газів у навколишнє середовище. З шахт України надходить на поверхню приблизно 2060 млн м<sup>3</sup>, з яких приблизно лише 15% збирається системами дегазації та 7% утилізується. Метою дослідження було створення способу отримання гідратів метану або інших вуглеводневих газів для подальшого використання, зберігання і транспортування.

В роботі досліджено кінетику гідратуутворення та вирішено проблему прискорення формування штучних газових гідратів, шляхом фізичного та хімічного впливу на процес їх структурування з одночасним утворенням однорідної маси за рахунок поверхневої активізації молекул води, яка призводить до виключення зворотності процесу та значно підвищує вихід і якість готового продукту. Сконструйована відповідна лабораторна установка для створення газових гідратів з газу різного хімічного складу і процентного вмісту метану. Вирішена задача утилізації шахтного метану в безперервному циклі безпосередньо з дегазаційних свердловин при проведенні відповідних операцій.

Результати досліджень будуть використані для розроблення та створення промислової мобільної установки зі створення газових гідратів, яка забезпечить утилізацію та використання метану з газо-вугільних родовищ і газових запасів малого та середнього об'єму, що раніше були визначені як неліквідні. Вони дають можливість не тільки використовувати газ з дегазаційних свердловин як додаткове джерело енергії, але й зменшити шкідливі викиди метану в атмосферу шляхом його переведення в газогідратний стан. Крім того, рекомендована газогідратна технологія дозволяє підвищити безпеку при транспортуванні газу та зменшити його витрати. Для удосконалення процесу утворення штучних газогідратів, планується створення промислово-експериментальної установки з обладнанням, яке б дозволило проводити дослідження на молекулярному рівні.

**Ключові слова:** додатковий енергоресурс, газогідрат, шахтний метан, утилізація метану, дегазаційна свердловина.

**Вступ.** Метан є одним з основних газів, які надають значний вплив на парниковий ефект в атмосферному середовищі планети Земля. Його негативний потенціал оцінюється вченими у 20 разів вище, ніж відповідний вплив від діоксиду вуглецю [1, 2]. При розробці вугільних родовищ відбувається викид попутних вуглеводневих газів у навколишнє середовище. З шахт України надходить на поверхню приблизно 2060 млн м<sup>3</sup>, з яких приблизно лише 15% збирається системами дегазації та 7% утилізується. На сьогоднішній день до атмосфери надходить 95% метану, що виділяється при експлуатації шахт. Видобуток вугільними підприємствами і використання шахтного метану може істотно скоротити об'єми його надходження до атмосфери. Метан, який є голо-

вним компонентом вихідної газової суміші, розглядається авторами з одного боку, як цінніший енергоресурс, а з другого, в свою чергу, який призводить до негативних екологічних наслідків. Для вирішення цих найважливіших завдань, авторами ведуться дослідження зі створення штучних газових гідратів, що надасть можливість впровадити нову технологію збору, утилізації та транспортування метану вугільних шахт.

Таким чином, шахтний метан розглядається як додатковий енергоресурс, а цінність і актуальність таких досліджень є очевидною.

**Аналіз попередніх досліджень та публікацій.** Зберігання природного газу у вигляді газогідратів вперше було запропоновано ще у 1938 р., як спосіб для покращення газопостачання [3]. На сьогодні доведено, що перевагою гідратів є можливість зберігання газу при температурах, вищих ніж температура зрідженого газу. Відкриття ефекту самоконсервації, а пізніше й примусової консервації, дало значний поштовх розвитку технологій зберігання й транспортування природного газу у вигляді штучних гідратів [4]. В 1990-х роках компанії Японії, Норвегії, Англії та інші почали розробку промислових технологій виробництва, консервації, зберігання, транспортування та використання гідратів природного газу [5]. Саме тому, на даний момент існує надзвичайно актуальна проблема утилізації шахтного метану дегазаційних свердловин та вентиляційних струменів, вирішення якої, при правильному підході, може заощадити величезні кошти на купівлю природного газу та вирішити значну частину екологічних проблем. Питання переробки метану вугільних родовищ для вугільно видобувних компаній країни є одним з ключових. Безліч досліджень ведеться для забезпечення безпеки експлуатації шахт, комплексного освоєння мінеральних ресурсів і охорони навколишнього середовища. Найбільш перспективним напрямом зниження негативного впливу, що спричиняється викидами газу вугільних пластів у атмосферу, є отримання газових гідратів з шахтного метану дегазаційних свердловин. Розробка необхідної технології значно покращить не лише екологічну, а й економічну ситуацію в Україні.

У 60 – 70 -ті роки минулого століття багатьма науковими колективами велика увага приділялася умовам утворення газових гідратів з бінарних і багатокомпонентних сумішей, в тому числі і в присутності інгібіторів гідратоутворення. Роботи були спрямовані на боротьбу з утворенням газогідратних пробок в газопроводах. Експериментальні дослідження проводилися фахівцями Б.В. Дегтярьовим, Е.Б. Бухгалтером, В.А. Хорошиловим, В.І. Сьоміним і ін. На базі цих досліджень були запропоновані перші емпіричні методи розрахунку фазової рівноваги газових гідратів і розроблені інструкції з попередження гідратоутворення в системах видобутку газу.

**Постановка задачі.** Для вдосконалення методів попередження гідратоутворення стосовно систем збору і промислової обробки газів знадобилися експериментальні дані за умовами гідратоутворення у

висококонтрованих розчинах метанолу в широкому діапазоні температур і тисків. В ході експериментальних досліджень, з'ясувалися серйозні методичні труднощі одержання представницьких даних при температурах нижче мінус 20°C. У зв'язку з цим, була розроблена нова методика досліджень фазової рівноваги газових гідратів з багатокомпонентних газових сумішей з реєстрацією теплових потоків в гідратній камері і при цьому виявлено можливість існування метастабільних форм газових гідратів (на стадії їх утворення), що підтверджується попередніми дослідженнями зарубіжних авторів [3].

Аналіз і узагальнення нових експериментальних і промислових даних (як вітчизняних, так і зарубіжних) дали можливість авторам роботи створити відповідну лабораторію газогідратних технологій в Національному гірничому університеті.

**Виклад основного матеріалу та результатів.** На сьогодні у лабораторії кафедри підземної розробки родовищ ДВНЗ «НГУ» розроблена інноваційна технологія гідратоутворення [6]. Технологія полягає в тому, що на відповідному модулі реактора, виробляються щільні брикети замороженого газогідрату [7], потім ці брикети завантажуються у автомобільні контейнери з охолодженням (рефрижератори) і перевозяться до місця газифікації – електростанції або до житлових кварталів на різні відстані від місця виробництва гідратів. Там, шляхом відповідного процесу дисоціації, газогідрати поступово розкладаються всередині контейнерів, виділяючи необхідні обсяги газу. Потім контейнери з водою, що залишилася, транспортуються назад до місця виробництва гідратів. Використовуючи дану технологію, можна переводити в гідрат різні гази, в тому числі і їх суміші. У складі газу, що виділяється зі свердловини, вміст метану коливається в діапазоні від 50 до 95%. Дебіти газу також змінюються в широкому діапазоні. Газ необхідно переводити в газогідрат, з урахуванням його дебіту, безпосередньо на свердловині з подальшим його оптимальним транспортуванням промисловим і енергетичним компаніям для використання в якості енергоносія [8]. У зв'язку з цим, постає задача знайти такий спосіб гідратоутворення на свердловині, який би дозволив довести цей процес до значень природного дебіту газу, а саме – найактуальнішою задачею стає досягнення практично миттєвого процесу створення гідратних сполучень. В роботі поставлена мета дослідити особливості інтенсифікації протікання процесу гідратоутворення шляхом використання розробленого блок-модулю, що створює відповідні фізико-хімічні умови у реакторі лабораторної установки.

Авторами сконструйовані та зібрані реактор та відповідні технологічні блоки та обладнання для них, завдяки яким проводяться експерименти та отримуються гідрати газів різноманітного складу. Камера реактора першого покоління наведена на рис. 1, а проба штучного метаногідрату – на рис. 2.

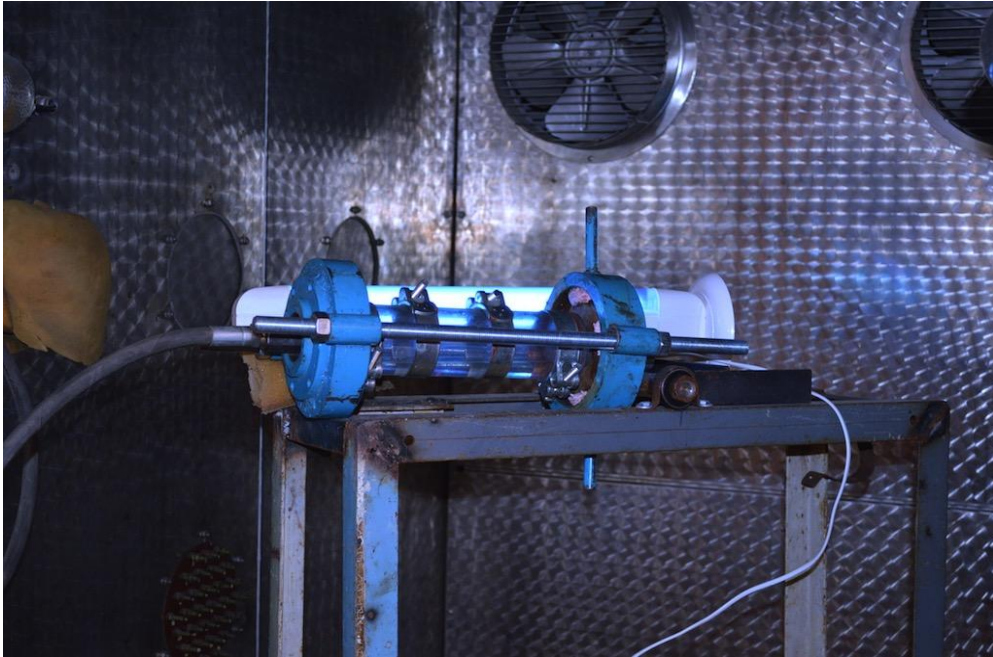


Рисунок 1 – Камера реактора гідратування в лабораторії інноваційних технологій ДВНЗ «НГУ»

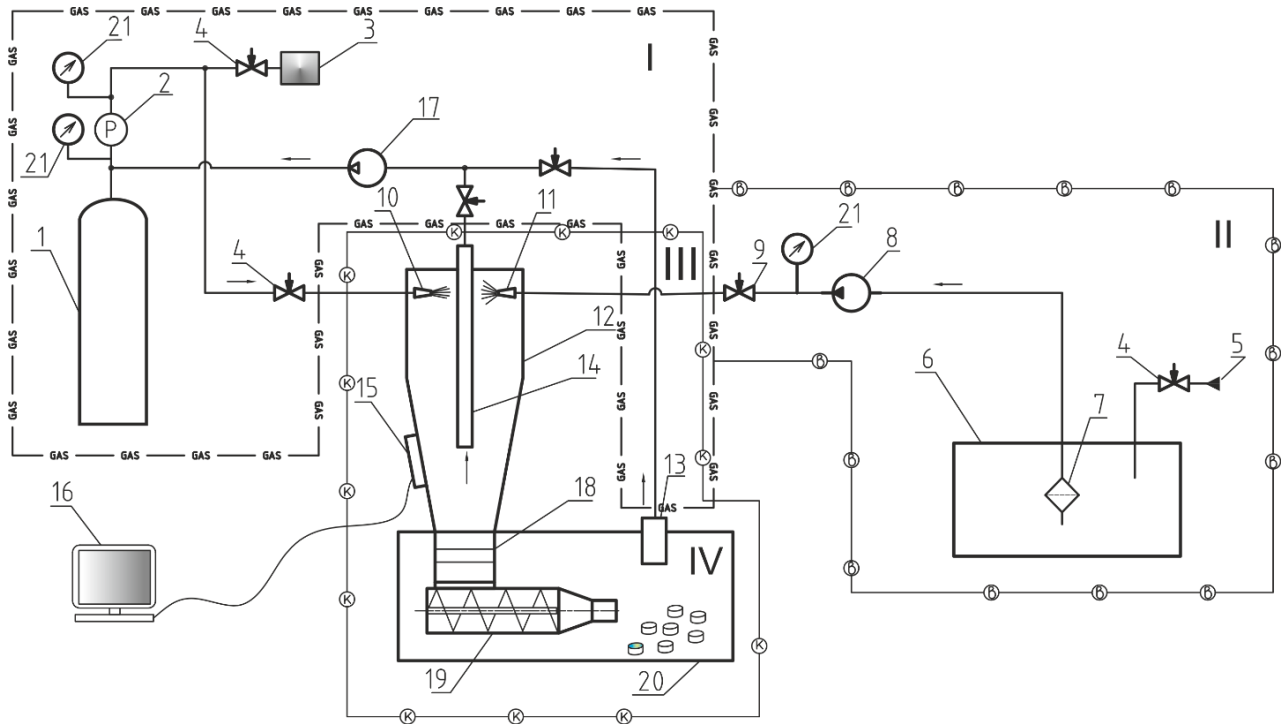


Рисунок 2 – Штучний метаногідрат, отриманий в лабораторії інноваційних технологій ДВНЗ «НГУ»

В процесі досліджень було виявлено декілька способів прискорення процесу гідратування [9, 10]. Для максимально швидкого гідратування та безпосереднього спостереження процесу і своєчасного зняття показників кристалізації, було сконструйовано додаткові модулі. Такий підхід надав можливість глибокого розуміння кінетики гідратування та можливість обробки показників, з метою встановлення закономірностей.

Отримання газових гідратів з газу та води різного хімічного складу і дослідження фазової рівноваги при різних процесах гідратоутворення виконувались за схемою, що наведена на рис. 3.

Установка для виробництва штучних газових гідратів складається з чотирьох блоків (*I, II, III, IV*). Блоки *I* та *II* розміщуються за умов атмосферного тиску та температури навколишнього середовища. Блок *III* монтується у відповідну кліматологічну камеру, де підтримується температура  $0...+3^{\circ}\text{C}$ .



*I* – газовий блок; *II* – блок підготовки та подачі води; *III* – блок процесу гідратоутворення; *IV* – блок пресування та готової продукції; 1 – газовий акумулятор; 2 – редуктор тиску газу із ротаметром; 3 – газоаналізатор; 4 – вентилі; 5 – ввід води; 6 – бак для води; 7 – водяний фільтр; 8 – водяний насос; 9 – редуктор тиску води; 10 – штуцер вводу газу; 11 – форсунка високого тиску води; 12 – реактор гідратоутворення у вигляді циклону з нержавіючої сталі; 13 – виведення газу, що виділяється зі зразків; 14 – трубка виводу газу, що не прореагував; 15 – вікно для спостережень; 16 – камера та комп’ютер; 17 – компресор; 18 – герметично дозуючий пристрій; 19 – шнек; 20 – камера зберігання зразків газових гідратів; 21 – манометри

Рисунок 3 – Схема гідратоутворення

Блок *IV* – морозильна термокамера для зберігання газових гідратів з механізмом формування брикетів, яка також розміщена у кліматичній камері та підтримує температуру в інтервалі від  $-15$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Даний діапазон температур є оптимальним для процесу самоконсервації газових гідратів при атмосферному тиску, що дає змогу їх зберігання у стабільному стані та подальшого транспортування.

На початку процесу гідратоутворення з газового блока *I* до реактора *12*, що знаходиться у блоку *III*, газ подається під тиском не менше ніж 5 МПа. Газовий акумулятор *1*, ємність якого 200 л, витримує тиск близько 10 МПа.

Одночасно до реактора 12 з блока II за допомогою насоса 8 надходить вода з бака 6, фільтрована через фільтр 7. Редуктором тиску води 9, вода подається під тиском не менше ніж 6 МПа при регульованій продуктивності – до 2 л/хв.

Форсунка для розпилення води 11, що витримує тиск до 10 МПа, розпилює воду до дрібнодисперсного стану. Для цієї мети використовуються тонкоструйні форсунки високого тиску Лехлер. Штуцер газу 10 розташовується таким чином, щоб газовий потік надходив до реактора 12 дотично, з метою закручування суміші у циклоні.

Реактор гідратуутворення 12 являє собою роз'ємну конструкцію, що витримує тиск до 10 МПа, основною частиною якого є циклон з нержавіючої сталі. До реактора гідратуутворення 12, обов'язково дотично до його стінок, надходять метан з газового акумулятора 1 під тиском 5 МПа через штуцер вводу газу 10 та вода під тиском не менш ніж 6 МПа через форсунку високого тиску 11. Редуктор із ротаметром 2 забезпечує тиск газу 5 МПа та замір витрат, а хімічний склад газу постійно контролюється завдяки газоаналізатору 3. Конструкція реактора 12 виконана у вигляді циклону з нержавіючої сталі, в якому газовий потік закручується енергією потоку газу і змішується з тонко розпиленою водою, утворюючи водно-газову дрібнодисперсну суміш. Активна взаємодія газової фази з площею поверхні води сприяє насиченню гідрату газом та прискорює процес зародкоутворення. Подача води регулюється таким чином, щоб не утворювалось надлишку води. Тиск всієї системи постійно контролюється манометрами 21. Збоку реактор має вікно для фіксації процесу гідратуутворення 15, через яке підключена відеокамера та комп'ютер 16. Вода і газ утворюють водогазову суміш, що заповнює простір реактора 12, яка при заданому тиску та температурі утворює газовий гідрат. Надлишковий газ, що не прореагував з водою, через трубка виводу газу 14 за допомогою компресора 17 відкачують з реактора 12 до газового блока I та повторно використовують для синтезу гідратів. Циклічність процесу дозволяє перевести весь газ в газогідратний стан без втрат.

Гідратна маса, що утворюється, збирається у нижній частині реактора та надходить в герметично дозуючий пристрій 18, далі шнеком 19 пресується у форму брикетів та збирається у морозильній термокамері для зберігання зразків 20, де отриманні готові газові гідрати перебувають у стабільному стані при атмосферному тиску та температурі в інтервалі від  $-15$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ . При цьому через низький температурний режим у термокамері 20 відбувається ефект самоконсервації – гідрати починають розкладатися і формувати на своїй поверхні тонку захисну плівку льоду, яка зупиняє подальше розкладання. Морозильна термокамера для зберігання брикетів газових гідратів 20 може від'єднуватися та безпечно пересуватися. З метою можливого корегування процесу гідратуутворення необхідно досліджувати властивості отриманих зразків та спостерігати термобаричні параметри всього циклу.

Реалізація промислової установки на базі лабораторної дозволить не лише отримувати газові гідрати при безпосередньому підключенні до свердловини, а й транспортувати їх до споживача.

Дослідження кінетики гідратування проводились:

- із застосуванням непрямих методів, заснованих на вимірах витрати газу-гідратуотворювача і води;
- при різних параметрах тиску, температури, оборотів циклону;
- із зміною рН середовища і з додаванням поверхнево-активних речовин;
- під дією фізичних полів: при інтенсивному перемішуванні, коливанні, вібрації;
- в магнітному та електричному полях.

### **Висновки.**

1. Отримано штучні газові гідрати в лабораторних умовах.

2. Проведено два напрямки досліджень:

– тривале підведення гідратуотворюючих компонентів шляхом дифузії, а відведення при фазовому переході тепла за законами теплопровідності;

– динамічне гідратування, коли вплив дифузії і теплопровідності корегувався шляхом перемішування речовини та механохімічною активацією. Перевагою першого напрямку є можливість дослідження процесу гідратування на етапі народження центрів кристалізації, а також можливість проведення візуальних спостережень і кінетики морфологічних змін. Такий підхід надав розуміння кінетики гідратування та можливість встановлення закономірностей.

3. Дослідження довели, що один і той же газ, а по ходу експерименту й газогідрат, в залежності від умов, встановлених в реакторі, може перебувати в різних станах, тобто мати різні макроскопічні властивості (наприклад: щільність, в'язкість, теплопровідність і т.п.), і навпаки, при заданих зовнішніх умовах в тепловій рівновазі речовина може існувати не як однорідне тіло, а розпадатися на дві або більше дотичні однорідні частини, що знаходяться в різних макроскопічних станах. Таким чином й були досліджені фазові стани отриманих газових гідратів.

4. Отримані зразки газових гідратів з газу та води різного хімічного складу при різних показниках тиску та температури. Внаслідок проведених експериментальних досліджень, було отримано різні агрегатні стани вихідних речовин як ізольовано, так і в присутності хімічних реагентів та механохімічної активації.

5. Отримані та досліджені різні як аморфні, так і кристалічні модифікації твердого газогідрату. Доведено, що поняття фазового стану набагато ширше, ніж поняття агрегатного стану речовини. Можна сказати, що фазовий стан – це поняття, засноване на відмінності в характері структурної організації газового гідрату на молекулярному рівні. Наприклад, газогідрат з поліморфною кристалічною модифікацією газу і води, може бути з різними фазовими станами, які відрізняються характером взаємного розташування атомів і молекул.

6. Штучні газові гідрати, які отримані з газу в лабораторних умовах, при зберіганні у холодильних камерах, довгий час залишаються у стабільному стані і можуть використовуватись для транспортування газу на значні відстані.

7. Результати досліджень будуть використані для розроблення та створення промислової мобільної установки зі створення газових гідратів, яка забезпечить утилізацію та використання метану з газо-вугільних родовищ і газових запасів малого та середнього об'єму, що раніше були визначені як неліквідні. Метан мало дебітних родовищ є потенційним джерелом енергії і викликає інтерес промисловості, оскільки він може бути успішно перетворений в твердий газогідратний стан з подальшим перевезенням. Переведення природного газу у форму гідратів для подальшого транспортування та зберігання на даний час розглядається як альтернатива технологіям зрідження, або стискування газу, і є економічно вигіднішою та містить низку технологічних переваг у першу чергу щодо енерговитрат.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sloan, E.D. Clathrate hydrates of natural gases / E.D. Sloan, C. Koh. – New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008. – 758 p.
2. Taylor, C.E. Advances in the study of gas hydrates / C.E. Taylor, J.T. Kwan. – New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2004. – 254 p.
3. Тохиди, Б. Газогідратные исследования в университете Хериот Ватт (Эдинбург) / Б. Тохиди, Р. Андерсон, А. Масоуди [и др.] // Российский химический журнал. – 2003. – Т. XLVII, №3. – С. 49-58.
4. Pedchenko, M. Technological complex for production, transportation and storage of gas from the offshore gas and gas hydrates fields / M. Pedchenko, L. Pedchenko // Mining of Mineral Deposits. – 2016. – Vol. 10, Issue 3. – P. 20-30.
5. Макогон, Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения / Ю.Ф. Макогон // Геология и полезные ископаемые мирового океана. – 2010. – №2. – С. 5-20.
6. Сай, Е.С. Утилизация шахтного метана и его транспортирование в газогидратном состоянии / Е.С. Сай, К.А. Ганушевич // Розробка родовищ. – 2014. – Т. 8, №3. – С. 299-307.
7. Клименко, В.В. Коагуляционная составляющая процесса образования газовых гидратов / В.В. Клименко, С.В. Лопатенко // Наукові записки Кіровоградського державного технічного університету. – 2002. – №3. – С. 108-115.
8. Максимова, Э.А. Освоение газогидратных технологий – путь к получению дополнительного энергоресурса в Украине / Э.А. Максимова, К.А. Ганушевич, Е.С. Сай // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ШГТМ імю М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 110. – С. 107-115.
9. Бондаренко, В.І. Розробка математичної моделі інтенсифікації процесу гідратоутворення за результатами експериментальних досліджень / В.І. Бондаренко, К.С. Сай, К.А. Ганушевич, М.П. Овчинніков // Розробка родовищ. – 2015. – Т. 9, №1. – С. 259-266.
10. Bondarenko, V. Study of the formation mechanism of gas hydrates of methane in the presence of surface-active substances / V. Bondarenko, O. Sviatkina, K. Sai // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5, Issue 6(89). – P. 48-55.

#### REFERENCES

1. Sloan, E.D. and Koh, C. (2008), *Clathrate hydrates of natural gases*, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, USA.
2. Taylor, C.E. and Kwan, J.T. (2004), *Advances in the study of gas hydrates*, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York USA.
3. Tokhidi, B., Anderson, R. and Masoudi, A. (2003), "Gas hydrate research at Heriot Watt University (Edinburgh)", *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal*, vol. XLVII, no. 3, pp. 49-58.
4. Pedchenko, M. and Pedchenko, L. (2016), "Technological complex for production, transportation and storage of gas from the offshore gas and gas hydrates fields", *Mining of Mineral Deposits*, vol. 10, no. 3, pp. 20-30.
5. Makogon, Yu.F. (2010), "Gas hydrates. History of study and prospects for development", *Geologiya i poleznye iskopaemye mirovogo okeana*, no. 2, pp. 5-20.
6. Sai, K.S. and Ganushevich, K.A. (2014), "Utilization of mine methane and their transportation in gas hydrates state", *Mining of Mineral Deposits*, vol. 8, no. 3, pp. 299-307.
7. Klimenko, V.V. and Lopatenko, S.V. (2002), "Coagulation component of the process of gas hydrates formation", *Naukovi zapysky Kirovohradskoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu*, no. 3, pp. 108-115.
8. Maksimova, E.A., Ganushevich, K.A. and Sai, K.S. (2013), "The development of gas hydrate technologies is the way to obtaining additional energy resources in Ukraine", *Geo-Technical Mechanics*, no. 110, pp. 107-115.
9. Bondarenko, V.I., Sai, K.S., Ganushevych, K.A. and Ovchynnikov, M.P. (2015), "Mathematical model development of hydrate formation process intensification based on the results of experimental studies", *Mining of Mineral Deposits*, vol. 9, no. 1, pp. 259-266.
10. Bondarenko, V., Sviatkina, O. and Sai, K. (2017), "Study of the formation mechanism of gas hydrates of methane in the presence of surface-active substances", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no. 6(89), pp. 48-55.



---

### Про авторів

**Макимова Елла Олександрівна**, кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, [elmaks@i.ua](mailto:elmaks@i.ua)

**Овчинніков Микола Павлович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри підземної розробки родовищ, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, [gazogidrat3@gmail.com](mailto:gazogidrat3@gmail.com)

**Лисенко Роман Сергійович**, аспірант кафедри підземної розробки родовищ, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, [rom.lysenko.23@gmail.com](mailto:rom.lysenko.23@gmail.com)

**Прокопенко Костянтин Миколайович**, молодший науковий співробітник кафедри підземної розробки родовищ, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, [npakon2536@gmail.com](mailto:npakon2536@gmail.com)

### About the authors

**Maksymova Ella Oleksandrivna**, Candidate of Geology and Mineralogy Sciences (Ph.D), Associate Professor in the Department of Construction, Geotechnics and Geomechanics, National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, Ukraine, [elmaks@i.ua](mailto:elmaks@i.ua)

**Ovchynnikov Mykola Pavlovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of the Underground Mining Department, National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, Ukraine, [gazogidrat3@gmail.com](mailto:gazogidrat3@gmail.com)

**Lysenko Roman Serhiiovych**, Junior Researcher, Doctoral Student of the Underground Mining Department, National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, Ukraine, [rom.lysenko.23@gmail.com](mailto:rom.lysenko.23@gmail.com)

**Prokopenko Kostyantyn Mykolaiovych**, Junior Researcher, Master of Science of the Underground Mining Department, National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, Ukraine, [npakon2536@gmail.com](mailto:npakon2536@gmail.com)

---

**Аннотация.** Метан является одним из основных газов, оказывающих значительное влияние на парниковый эффект в атмосферной среде планеты Земля. Его негативный потенциал оценивается учеными в 20 раз выше, чем соответствующее влияние диоксида углерода. При разработке угольных месторождений происходит выброс попутных углеводородных газов в окружающую среду. Из шахт Украины поступает на поверхность приблизительно 2060 млн. м<sup>3</sup>, из которых приблизительно лишь 15% отбирается системами дегазации и 7% утилизируется.

Целью исследования было создание способа получения гидратов метана или других углеводородных газов для дальнейшего использования, хранения и транспортировки.

В работе исследована кинетика гидратообразования и решена проблема ускорения формирования искусственных газовых гидратов, путем физического и химического воздействия на процесс их структурирования с одновременным образованием однородной массы за счет поверхностной активизации молекул воды, которая приводит к исключению обратимости процесса и значительно повышает выход и качество готового продукта. Сконструирована соответствующая лабораторная установка для создания газовых гидратов из газа различного химического состава и процентного содержания метана. Решена задача утилизации шахтного метана в непрерывном цикле непосредственно из дегазационных скважин при проведении соответствующих операций.

Результаты исследований будут использованы для разработки и создания промышленной мобильной установки для создания газовых гидратов, которая обеспечит утилизацию и использование метана газоугольных месторождений и газовых запасов малого и среднего объема, ранее считавшихся неликвидными. Они дают возможность не только использовать газ из дегазационных скважин как дополнительный источник энергии, но и уменьшить вредные выбросы метана в атмосферу путем его перевода в газогидратное состояние. Кроме того, рекомендованная газогидратная технология позволяет повысить безопасность при транспортировке газа и уменьшить его расход. Для усовершенствования процесса образования искусственных газогидратов, планируется создание промышленно-экспериментальной установки с оборудованием, которое бы позволило проводить исследования на молекулярном уровне.

**Ключевые слова:** дополнительный энергоресурс, газогидрат, шахтный метан, утилизация метана, дегазационная скважина.

**Annotation.** Methane is one of basic gases having considerable influence on a hotbed effect in the atmospheric environment of the planet Earth. His negative potential is estimated by scientists in 20 times higher, than the proper influencing of dioxide of carbon. There is the troop landing of passing hydrocarbon gases in an environment at development of coal deposits. From the mines of Ukraine approximately 2060 million cubic meters acts on a surface from which approximately only 15% is extracted by the systems of degassing and 7% is utilized.

The aim of this study was to create a method for producing hydrates from methane or other hydrocarbon gases for further use, storage and transportation.

In this scientific paper, kinetics of hydrate formation was studied and a problem of accelerating the formation of artificial gas hydrates was solved by way of physical and chemical impact on the process of their structuring with simultaneous formation of homogeneous mass due to the surface activation of water molecules, which eliminated reversibility of the process and significantly increased amount and quality of the finished product. The needed laboratory equipment was designed in order to create gas hydrates from gas of different chemical composition and percentage of methane content. Problem of mine methane utilization in continuous cycle directly from the degassing wells while carrying out the corresponding operations was solved.

Will be drawn on result of researches for development and creation of the industrial mobile setting for creation of gas hydrates, which will provide utilization and use of methane of gas-coal deposits and gas supplies of small and middle volume, before regards non-liquid. They make it possible not only to use gas from the degassing wells as an additional source of energy, but also to reduce harmful emissions of methane into the atmosphere by transferring it to the gas hydrate state. In addition, the recommended gas hydrate technology makes it possible to increase safety during transportation of gas and to reduce its consumption. To improve the process of artificial gas hydrates formation, it is proposed to create an industrial and experimental installation with equipment that would allow to conduct studies at the molecular level.

**Key words:** additional energy source, gas hydrate, mine methane, methane utilization, degasification well.

*Стаття надійшла до редакції 30.02. 2018.*

*Рекомендовано до друку д-ром геол. наук Л.І. Пимоненко.*