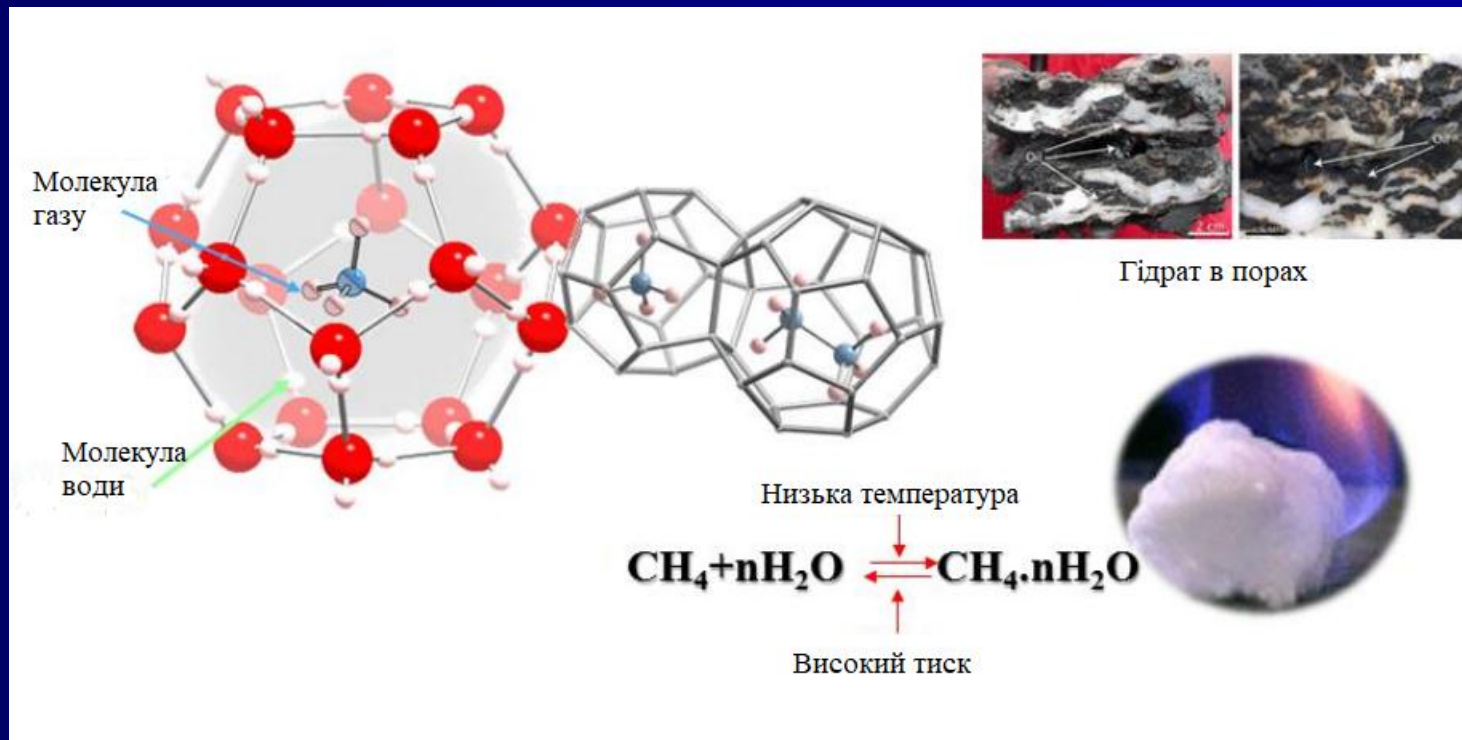


ЕФЕКТ САМОКОНСЕРВАЦІЇ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ В ПРОЦЕСІ ЇХ ПРОМИСЛОВОЇ РОЗРОБКИ

**А.М. Сафронов,
аспірант Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України**

Київ - 31 жовтня 2022 року

Метан (CH_4) утворює гідрати– кристалічні структури, у яких він знаходиться в оточенні молекул води, утримуваних разом при низькій температурі і високому тиску. ГГ утворюються завдяки включенням молекул метану (молекули-гості, чи гостьова підсистема) в порожнині подібного льоду каркасу, побудованого воднево-зв'язаними молекулами води (каркас господаря) без формування хімічного зв'язку між молекулами гостей и господаря. Стабілізація водних клатратних каркасів, термодинамічно менш стабільних за гексагональний лід (при $T < 273 \text{ K}$) чи воду (при $T > 273 \text{ K}$) забезпечується за рахунок ван-дер-ваальсових взаємодій гість-господарь. Загальний вигляд складу метаногідратів описується формулою $\text{CH}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, де n – число, що показує кількість молекул води, які припадають на одну молекулу метану [Кузнецов, Истомирин, Родионова, 2003].



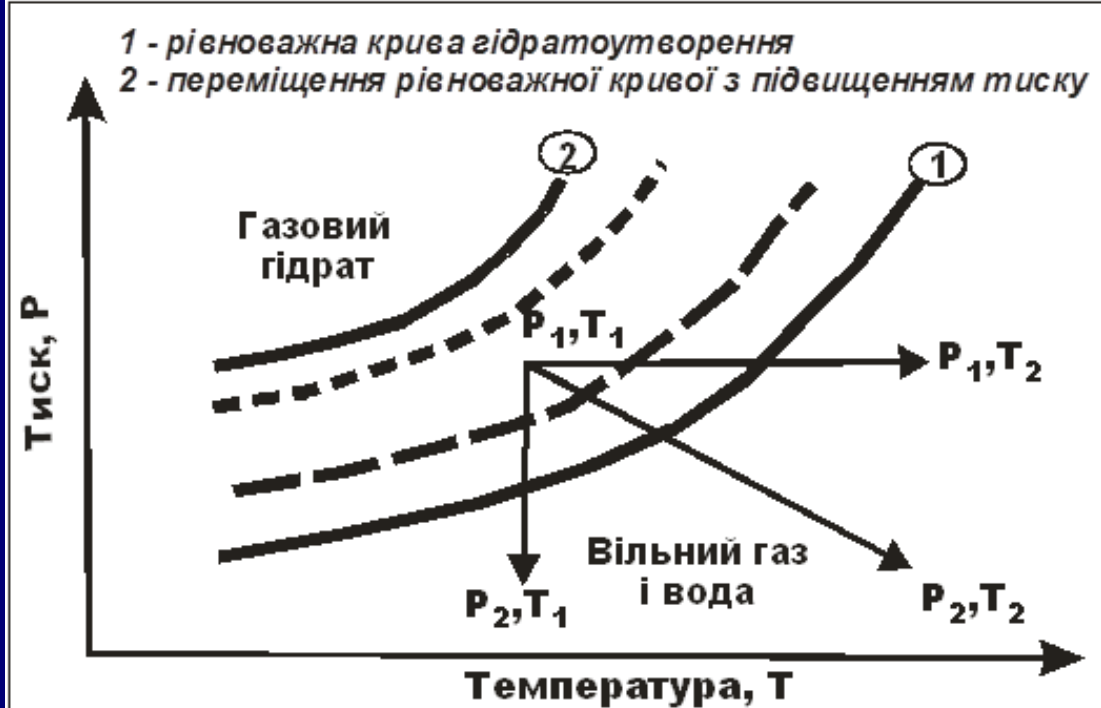
Сучасні технології видобутку метану з газогідратів

Наразі відомі чотири способи видобування газу із газогідратних покладів, які можна реалізувати у промислових масштабах (термічний, розгерметизації, введення хімічних реагентів і заміщення метану вуглекислим газом).

З них два визнані перспективними стосовно промислового впровадження. Це зниження пластового тиску (розгерметизація) і термічний, який передбачає підвищення температури пласта.

Зезекало І.Г., Коболев В.П., Лукін О.Ю., Сафронов А.М. Аналітичний огляд технологій промислової розробки аквальных метаногідратів. Геологія і корисні копалини Світового океану. 2022. 18, № 2: 3—18.
<https://doi.org/10.15407/gpimo2022.02.003>

Методи	Принципи
Зниження пластового тиску (розгерметизація)	Зміна умов тиску фазової рівноваги гідратного газу (P_1, T_1) – (P_2, T_1)
Термічної стимуляції	Зміна температурного стану фазової рівноваги гідратного газу (P_1, T_1) – (P_1, T_2)
Введення інгібіторів	Зміна тиску/температури для фазової рівноваги гідратного газу (P_1, T_1) – (P_2, T_2)
Метод заміни $\text{CO}_2\text{-CH}_4$	CO_2 вимагає зниження енергії для утворення гідрату порівняно з CH_4
Суцільний метод видобутку	Гідравлічний підйом газогідратів в їх природному стані



Декомпресійний метод

Найперспективнішою технологією розробки родовищ ГГ є декомпресійний метод (розгерметизації). Його суть полягає в штучному зниженні тиску в пласті навколо свердловини або за рахунок скорочення тиску на ГГ води або вільного газу після їх часткового відкачування. Коли тиск у шарі ГГ нижчий, ніж фазова рівновага, він починає розпадатися на газ і воду, поглинаючи при цьому теплову енергію навколишнього середовища. Таким чином, застосування декомпресійного методу супроводжується охолодженням гідратвміщуючих порід і проявом явища самоконсервації самого ГГ. У результаті поверхня ГГ вкриваються льодяною кіркою, яка, з однієї сторони підвищує його стабільність, а з другої уповільнює чи зупиняє його дисоціацію, тобто обсяг видобутку.

З такою проблемою зіткнулись у 2013 році при дослідно-промисловій розробці газогідратних покладів декомпресійним методом в районі жолоба Нанкай біля берегів Японії [Zhang et al., 2017]. З метою утримання належного рівня видобутку за рахунок зниження тиску в процесі відкачування рідини відбулось інтенсивне винесення породи. Видобуток довелось зупинити для вирішення даної проблеми, яка може бути пов'язаною з проявом явища самоконсервації ГГ. Аналогічні проблеми відмічались і в ході інших проектів дослідно-промислової розробки ГГ [Collett et al., 2009; Anderson et al., 2014; JWN Energy, 2017]. Аналізуючи наявні практичні результати щодо розробки газогідратних покладів методом розгерметизації, можна зробити висновок, що саме процес самоконсервації призвів до завчасного припинення експерименту (значний виніс породи зі свердловини і закупорювання нею сепараційного обладнання).

Ефект самоконсервації

Дисоціація гідратних включень відбувається починаючи від їх поверхневого шару і далі поступово просувається вглиб. Шар води, що утворюється на поверхні гідратної частинки у результаті дисоціації її поверхневого шару контактує із наступним шаром гідрату. При цьому, за певних умов, кількість витраченої на дисоціацію цього шару енергії може перевищити необхідну для кристалізації (заморожування) даного шару води. У результаті утворена льодяна кірка буде перешкоджати подальшій дисоціації газогідрату (від її сповільнення аж до повної зупинки).

В загальному вигляді ефект самоконсервації полягає в наступному. Якщо ГГ, отриманий при звичайних рівноважних умовах, охолодити до температури нижче 0°C та скинути тиск до атмосферного, то після первинного поверхневого розкладання він самоізолюється від навколишнього середовища тонкою плівкою льоду, що перешкоджає подальшому розкладанню. Після цього ГГ може зберігатись тривалий час при атмосферному тиску (залежить від температури, вологості та інших параметрів зовнішнього середовища). Виявлення цього ефекту відкрило нові можливості для зберігання та транспортування газу в сконцентрованому вигляді без підвищеного тиску [Gudmundsson, Parlaktuna, Kohar, 1994; Макогон, 2003].

Прогнозування термобаричних і морфологічних параметрів проявлення ефекту самоконсервації

Кількість енергії, що надходить до зразка газогідрату визначається за формулою:

$$dQ = \alpha(t_{гр} - t_{пов})Sdt$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/ м². К; $t_{гр}$, $t_{пов}$ – температура зразка та повітря, відповідно, К; S – площа, через яку надходить тепловий потік, м²; t – час нагрівання зразка, с.

Порівняння кількості енергії необхідної для дисоціації шару газогідрату за певний проміжок часу та енергії, необхідної для кристалізації виділеного при цьому об'єму води дозволяє встановити залежність пористості зразка газового гідрату від його температури для прояву ефекту самочинної консервації.

Кількість енергії необхідної для кристалізації кількості води визначається за формулою [Лыков, 1967]:

$$dQ_{кр} = r_{кр} \rho_l \delta S dt,$$

де $r_{кр}$ – питома теплота кристалізації льоду, Дж; t – час замерзання, с; δ – товщина кірки льоду, м; ρ_l – густина льоду, кг/м³; S – площа, через яку надходить потік холоду, м².

Процес надходження тепла до зразка під час кристалізації визначеної кількості води приймається таким, що відповідає граничним умовам першого роду і визначається за формулою [Khokhar, 1998]:

$$Q_{гг} = (t_{кр} - t_{гг}) \sqrt{\frac{\lambda_{гг} c_{гг} \rho_{гг} \tau}{\pi}} S$$

де $t_{кр}$ і $t_{гг}$ – відповідно температура кристалізації та початкова температура газогідрату, К; $\lambda_{гг}$ – теплопровідність гідрату, Вт/м*К; $c_{гг}$ – питома теплоємність гідрату, Дж/кг; $\rho_{гг}$ – густина зразка газогідрату, кг/м³.



Zeekalo I., Kobolev V., Lukin O., Vynnykov Y., Safronov A. (2021) The effect of gas hydrates self-preservation in the process of their industrial development. Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2 (57), 130-136 <https://doi.org/10.26906/znp.2021.57.2596>

Висновки

Для розробки газогідратних родовищ необхідні знання стосовно фізичних властивостей метаногідратів, кінетики процесів їх утворення та дисоціації. На сьогоднішній день існує велика кількість кінетичних моделей гідратних процесів [Yin et al., 2018]. При цьому, важливим фактором, що визначає вилучення природного газу з ГГ, є проникність та пористість вміщуючих порід. Встановлено, що обсяг добутку газу лінійно залежить від площі скупчень ГГ та швидкості його дисоціації [Chen, Espinoza, 2018; Jarrar et al., 2018; Li et al., 2010, 2019]. Докладного вивчення вимагають процеси переходу газових гідратів з одного фазового стану в інший [Choudhary et al., 2019], а також дослідження впливу міграції води при видобутку газу [Chen et al., 2019].

Аналіз робіт присвячених ефекту самоконсервації ГГ виявив суттєві технологічні ускладнення у процесі видобутку метану методом розгерметизації. Вирішенню цих проблем повинен сприяти підбір оптимального режиму експлуатації видобувної свердловини [Merey, 2019], який би забезпечував максимально можливий видобуток та контроль за процесами дисоціації метаногідратів.

Вдосконалення промислових технологій видобутку потребує детального вивчення явища самоконсервації, яке відбувається у результаті зниження пластового тиску при об'ємному охолодженні продуктивного пласта.

Опубліковано статі в матеріалах:

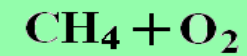
- 1. Zezekalo I., Kobolev V., Lukin O., Vynnykov Y., Safronov A. (2021) The effect of gas hydrates self-preservation in the process of their industrial development. Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2 (57), 130-136
<https://doi.org/10.26906/znp.2021.57.2596>**
- 2. Коболев В.П., Михайлюк С.Ф., Сафронов А.М. Експериментальний лабораторний комплекс для утворення та вимірювання фізичних властивостей штучно сформованих газогідратовмісних донних осадів. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2022. № 5. С. 51—60.
<https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.05.051>**
- 3. Зезекало І.Г., Коболев В.П., Лукін О.Ю., Сафронов А.М. Аналітичний огляд технологій промислової розробки аквальних метаногідратів. Геологія і корисні копалини Світового океану. 2022. 18, № 2: 3—18. <https://doi.org/10.15407/gpimo2022.02.003>**

На 4 курсі навчання в аспірантурі було виконано:

- 1. Узагальнення наявної геолого-геофізичної інформації стосовно глибинної будови та газогідратних ресурсів мегазападини Чорного моря.**
- 2. Здані до друку статі.**
- 3. Проводиться пошук, замовлення та придбання вимірювальних елементів та приладів для експериментального лабораторного комплексу.**

Дякую за увагу!

Бермудський трикутник



гольфстрім

