

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИДОБУТКУ МЕТАНУ ПРИ РОЗРОБЦІ ГАЗОГІДРАТНИХ РОДОВИЩ

*Н. А. Шевчук, канд. техн. наук, М. А. Малащенко, студ. (НТУУ «КПІ»)*

*Рассмотрены различные методы добычи метана из газовых гидратов, указаны их преимущества и недостатки при разработке газогидратных месторождений.*

*Ключевые слова: газогидраты, газогидратные месторождения, фронт раскрытия.*

*Розглянуто різні методи видобутку метану з газових гідратів, зазначено їхні переваги та недоліки при розробці газогідратних родовищ.*

*Ключові слова: газогідрати, газогідратні родовища, фронт розкриття.*

*Various methods for methane extraction from gas hydrates are considered, their advantages and disadvantages at development of hydrate deposits are shown.*

*Key words: hydrates, hydrate deposits, front of opening.*

**Вступ.** Природний газ – один з найбільш поширених викопних видів палива, що використовується в усіх країнах світу, однак запаси його обмежені. При існуючих темпах світового споживання (щорічно спалюється 2,4 трлн м<sup>3</sup> природного газу) на них можна розраховувати лише на 60 років.

В міру виснаження традиційних родовищ усе більша увага в усьому світі приділяється нетрадиційним джерелам отримання енергоресурсів. Одним з таких джерел є газогідрати.

На цей час відомо понад 200 родовищ газових гідратів, більша частина яких розташована в морських акваторіях. За останніми оцінками у покладах природних газових гідратів зосереджено близько 1000 трлн м<sup>3</sup> метану, що перевищує запаси природного газу. Тому дослідження можливостей видобутку газогідратів, розроблення способів і технологій видобутку їх з морських глибин та оцінка впливу таких робіт на навколишнє середовище набуває на сьогоднішній день особливої актуальності [1].

**Метою статті** є аналіз існуючих уявлень про фізичні властивості газогідратів, способах перетворення їх у газоподібний стан, оцінка можливих впливів на навколишнє середовище при видобутку цієї енергетичної сировини.

**Виклад основного матеріалу.** Гідрати природного газу – газові гідрати або клатрати – кристалічні сполуки, що утворюються при певних термобаричних умовах з води і газу. Гідрати газу належать до нестехіометричних сполук, що мають змінний склад.

Зовні газові гідрати нагадують спресований сніг, але вони можуть горіти, і при підвищенні температури легко розкладаються на воду і газ. Завдяки своїй клатратній структурі газовий гідрат обсягом 1 см<sup>3</sup> може містити до 160–180 см<sup>3</sup> чистого газу.

Для утворення гідратів потрібні низькі температури і відносно високий тиск (і чим більший тиск, тим вища температура, при якій гідрат метану стійкий). Так, при 0 °С він стабільний при тиску порядку 25 бар і вище, що досягається, наприклад, в океані на глибині близько 250 м. При атмосферному тиску для забезпечення стійкості гідрату метану потрібна температура біля

80 °С. Однак метаногідрати можуть досить довго існувати в умовах низьких тисків і при більш високій температурі, але обов'язково негативній (у цьому випадку вони знаходяться в метастабільному стані, їхнє існування забезпечує ефект самоконсервації, адже при розкладанні метаногідрати покриваються крижаною кіркою, що заважає подальшому їх розкладанню).

Гідрати складаються з маленьких кристалічних структур льоду, між якими розміщуються молекули метану (природного газу). Зазвичай ця структура являє собою пустотілий кристал, що складається з молекул води з однією молекулою природного газу усередині, що з'єднуються за допомогою електростатичних сил краще, ніж поляризовані молекули. Виникнення і стабільність гідратів обумовлені великим дипольним моментом молекули води, що й робить даний зв'язок можливим.

Кожен осередок кристалічної решітки гідрату газу складається з 46 молекул води, що утворюють два невеликих пустотілих дванадцятигранника (додекаедрів) і шість великих пустотілих чотирнадцятигранників. Гідрати можуть утримувати лише невеликі молекули газу, наприклад метан і етан. При нормальних умовах (при атмосферному тиску і звичайній температурі) на один обсяг гідрату, насиченого метаном, буде припадати 189 обсягів метану в газоподібному стані. Така унікальна здатність утримувати значні маси газу робить гідрати важливим джерелом природного газу.

Вибір способу розробки газогідратних покладів залежить від конкретних геолого-фізичних умов залягання. На сьогодні розглядаються три основних методи вилучення газу з гідратного шару: зниження тиску ( $P$ ) до значення, нижчого від рівноважного, нагрівання гідратовмісних порід до температури, вищої від рівноважної ( $T$ ) та їх комбінація (рис. 1). Відомий також метод розкладання гідратів з використанням інгібіторів. Як інгібітори використовуються різні хімічні речовини, найчастіше метанол, транспортування, придбання і збереження якого вимагає чималих витрат. Ще одним недоліком цього методу є небезпека забруднення навколишнього середовища при витіках метанолу. Пропонуються інші методи для видобутку газогідратів, зокрема електромагнітний, акустичний та закачування вуглекислого газу в продуктивний шар, однак ці методи поки що мало вивчені експериментально.

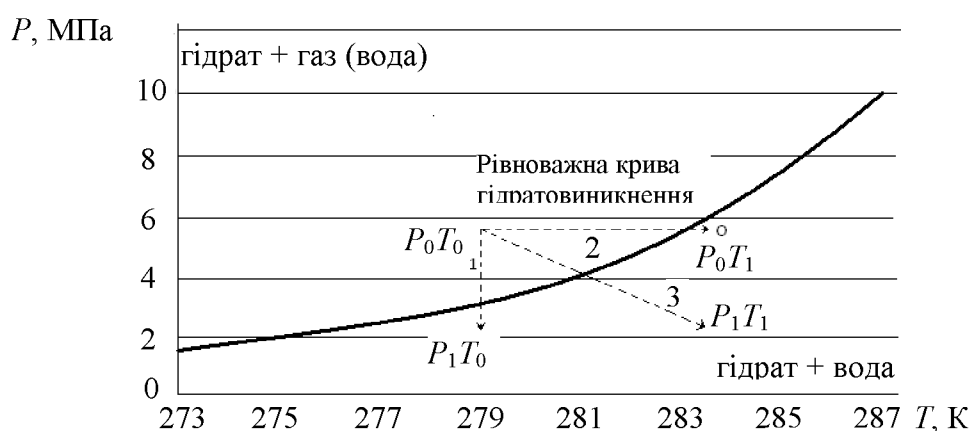


Рис. 1. Схематичне представлення методу видобутку газу з газогідратів: 1 – метод зниження тиску; 2 – тепловий метод; 3 – комбінований метод; 4 – рівноважна крива гідратовиникнення

На рисунку зображено дві зони: зона рівноважного стану газогідратів (знаходиться над рівноважною кривою), та зона виділення метану з газогідратів (знаходиться нижче рівноважної кривої гідратовиникнення). Рівноважна крива гідратовиникнення описується рівнянням

$$P = 2E - 15e^{0.125T}.$$

Метод зниження тиску є придатним для гідратних шарів, де насиченість гідратами невелика, а газ або вода не втратили свою рухливість. Природно, що при збільшенні насиченості пор гідратами ефективність цього методу різко падає. Так, при гідратонасиченості більш ніж 80 % одержати газ з гідрату за рахунок зниження забійного тиску практично неможливо. Інший недолік методу зниження тиску пов'язаний з техногенним утворенням гідратів у призабійній зоні внаслідок ефекту Томаса. Таким чином, розробка гідратних покладів за рахунок зниження тиску можлива тільки при накачуванні інгібіторів у призабійну зону, що значно збільшить собівартість видобутку.

Тепловий метод розробки газогідратних родовищ придатний для шарів, що мають високий вміст гідратів у порах. Однак, як показують результати розрахунків, тепловий вплив через забій свердловини є малоєфективним. Це пов'язано з тим, що процес розкладання гідратів супроводжується поглинанням тепла з високою питомою ентропією – 0,5 МДЖ/кг. В міру віддалення фронту розкладання від забою свердловини все більше енергії витрачається на прогрів порід, що вміщують газогідрати, і покрівлі шару, тому зона теплового впливу через забій свердловини обчислюється першими метрами. На рис. 2 показано динаміку розігрівання повністю насиченого гідратами шару. З цього рисунка видно, що за 100 діб безперервного прогріву розкладання гідратів виникне у радіусі всього 3,5 метри від стінки свердловини

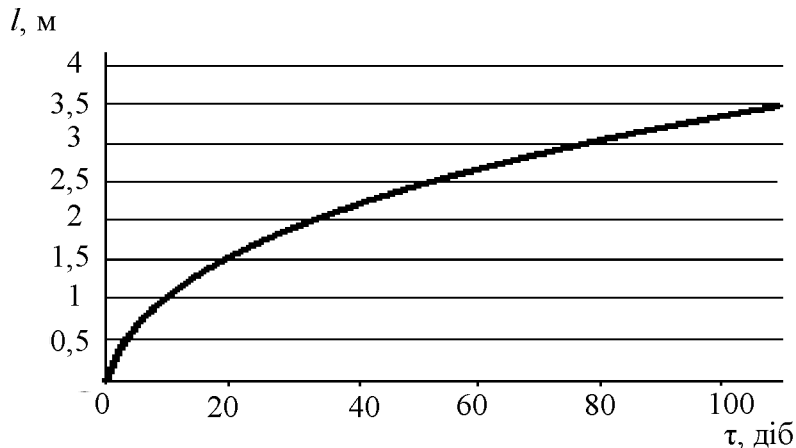


Рис. 2. Динаміка руху фронту розкладання гідратів при прогріванні призабійної зони свердловини забійним нагрівачем:  $l$  – довжина фронту розкладання;  $\tau$  – час

Крива розкладання газогідратів може бути описана рівнянням

$$f(\tau) = 8,89 \cdot l^2.$$

Найбільші перспективи має комбінований метод, що полягає в одночасному зниженні тиску та підведенні теплоти до забою свердловини. Причому основне розкладання гідратів відбувається за рахунок зниження

тиску, а підведене до забію тепло дозволяє скоротити зону вторинного гідратовиникнення, що позитивно позначається на дебіті. Недоліком комбінованого методу (як і теплового) є велика кількість води, що попутно видобувається [2].

Одна з головних переваг газогідратів зниження негативного впливу на навколишнє середовище порівняно з традиційним видобутком природного газу. При видобутку нафти і газу забруднюються значні площі земної поверхні, очистити які проблематично. Важливою перевагою при видобутку газогідратів є можливість отримання прісної води, що видобувається попутно. Газогідратні поклади на дні Чорного моря мають температуру близько 70 °С. Контакт цих газогідратів з концентрованим розсолем (15–17 %) знижує їхню рівноважну температуру існування до 15–30 °С і приводить до їхнього розкладання з виділенням газоподібного метану високого тиску. Метан, вилучений з газогідратів, скраплюється (вже в процесі його видобутку), і в зрідженому вигляді транспортується в низькотемпературних цистернах (спочатку на судні - газовозі, потім – залізницею або автомобілями) та реалізується. Промисловий комплекс з видобутку метану продуктивністю 0,9 млрд м<sup>3</sup> газу/рік буде споживати 400 т солі/добу, отриманої з морської води, та спрямовувати для Криму 22000 т/добу талої питної води, що видобувається попутно [3].

Однак видобуток природного газу таким методом може мати й негативні наслідки для шару гідратів і для навколишнього середовища. У процесі розробки родовищ газ, що накопичується під шаром гідратів, знаходиться під високим тиском, що може призвести до раптових викидів газу за межі шару. В шарі гідратів можуть зустрічатися також неоднорідності осадових порід, що може приводити до порушень стабільності профілю морського дна. Крім того, газогідрати можуть представляти і чималу техногенну небезпеку. Глибокі свердловини бурять повсюди, часом не підозрюючи, що випадково можна розкрити газогідратне родовище, не нанесене на карту. Якщо справа відбувається на суші, то це може призвести до катастрофічних вибухів і пожеж, а при аваріях на морських бурових платформах внаслідок утворення газогідратів нафта може не насичуватись легкими вуглеводнями і не спливати на поверхню, де її можна зібрати, а залишатися на дні і розноситися течіями на величезні відстані. Однак головна екологічна небезпека газогідратів полягає в тому, що метан, який міститься в них, здатний поглинати теплове випромінювання Землі приблизно в 20 разів інтенсивніше продукту його згоряння – вуглекислого газу, відповідального за парниковий ефект і потепління клімату нашої планети. Якщо це потепління буде продовжуватися і надалі, то рано чи пізно настане момент, коли родовища газогідратів можуть почати розкриватися самостійно. Це може призвести до ланцюгової реакції: через масові викиди метану парниковий ефект підсилуватиметься, температура Землі почне стрімко підвищуватися, а це у свою чергу призведе до мимовільного «розкупорювання» інших газогідратних родовищ, і атмосфера, насичена метаном, перетвориться в гігантську вакуумну бомбу, що може вибухнути при першій же грозі.

## Висновки

При сучасному рівні нафтогазових технологій важко очікувати, що собівартість газу з гідратів буде порівнянною з аналогічним показником традиційних газових родовищ. Це обумовлено великими проблемами і складнощами, що виникають перед розробниками і дослідниками.

Зараз Україна споживає близько 75 млрд м<sup>3</sup> газу в рік, з них лише біля 20 млрд м<sup>3</sup> видобуває сама. Проблема видобутку газу в Україні є досить гострою.

У 2005 році українські морські геологи завершили роботи з програми НАН України «Ресурси», в рамках якої вивчалися нафтогазові ділянки Азово-Чорноморського басейну. Геологи підтвердили наявність на чорноморському дні близько 20 так званих «шапок газогідратів метану». На сьогодні потенціал української частини Чорного моря оцінюється усього в 7–8 трлн м<sup>3</sup> газу, чого при сучасному рівні споживання природного газу може вистачити нам принаймні на 100 років [4]. Тому проблема освоєння газогідратних родовищ є, безперечно, актуальною, але потребує всебічних досліджень, особливо в частині екологічного забруднення при освоєнні таких родовищ

1. *Фомина Л.* Неисчерпаемый источник газа / Фомина Л. / ТЭК. – 2007. – № 10. – С. 112–116.
2. *Щебетов А. В.* Месторождения газовых гидратов: ресурсы и возможные методы разработки / Щебетов А. В. // Технологии ТЭК. – 2006. – № 2. – С. 12–16.
3. *Дичко А. О.* Екологічний моніторинг та аналіз безпеки роботи платформи при добуванні метану з піддонних газогідратів Чорного моря / А. О. Дичко, М. А. Радченко // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”. – 2008. – № 17. – С. 136–142.
4. *Чабанович Л. Б.* Использование нетрадиционных источников природного газа на Украине / Чабанович Л. Б. // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2008. – № 3. – С. 15–18.