

Л.О. Педченко, М.М. Педченко

## КЕРУВАННЯ ФАЗОВОЮ РІВНОВАГОЮ СИСТЕМ ІЗ ГАЗОВИМИ ГІДРАТАМИ В ЕЛЕМЕНТАХ ГАЗОГІДРАТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Запропоновано технологію вилучення метану із морських газогідратів. Розглянуто питання збагачення морських газогідратовмісних порід безпосередньо на місці їх залягання. Технологією передбачено вилучення основної маси газогідрату без витрати енергії на фазовий перехід. При цьому дисоціацію частини газогідрату в породі запропоновано здійснювати за рахунок низькопотенційної енергії морської води.*

---

### УПРАВЛЕНИЕ ФАЗОВЫМ РАВНОВЕСИЕМ СИСТЕМ С ГАЗОВЫМИ ГИДРАТАМИ В ЭЛЕМЕНТАХ ГАЗОГИДРАТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Предлагается технология извлечения метана из морских газогидратов. Рассмотрены вопросы обогащения морских газогидратосодержащих пород непосредственно на месте их залегания. Технологией предусмотрено извлечение основной массы газогидрата без расходования энергии на фазовый переход. При этом диссоциацию части газогидрата предложено осуществлять за счет низкопотенциальной энергии морской воды.*

---

### CONTROL OF SYSTEM PHASE EQUILIBRIUM WITH GAS HYDRATES IN THE ELEMENTS OF GAS HYDRATE TECHNOLOGIES

*The technology of methane recovery from marine gas hydrates is proposed. The issues of enrichment of marine hydrate-containing rocks directly on their buried place are considered. Technology provides gas hydrate basic mass extraction without energy consumption on phase change.*

---

#### ВСТУП

Аналіз даних, що належать до відомих на сьогодні гідратопроявів і їх ознак у Світовому океані й озерах, дозволяє зробити висновок, що підводні газові гідрати можуть утворювати скупчення двох типів. До першого належать скупчення, які знаходяться на значній піддонній глибині (сотні метрів) і контролюються зонами проникності в умовах розосередженої фільтрації флюїдів. Скупчення другого типу розташовано в безпосередній близькості від дна

моря, на дні або на дуже незначній піддонній глибині (перші метри). Гідрати у своїй більшості присутні в грубозернистих осадових відкладеннях, проте під час виконання досліджень гідрати також виявлено і в дрібнозернистих відкладеннях у вигляді невеликих прошарків, лінз і тонких, майже вертикальних жил. Так, наприклад, при дослідженні свердловини NGHP-01-10 виявлено потужний інтервал тріщинуватих глин, вміст гідратів у яких є одним з найвищих у світі [1].

На сьогодні відомо три основні методи вилучення газу з гідратонесних пластів: пониження тиску нижче за рівноважний гідратутворення при заданій температурі, нагрів гідратовмісних порід до температури вищої за рівноважну, а також їх механічне руйнування. Крім того, відомі рішення, в яких пропонується використовувати реагенти, здатні впливати на хімічну активність води і газу, що призводить до зміщення рівноважного стану реакцій утворення і дисоціації газових гідратів у зону нижчих температур (так звані інгібітори – метанол, етиленгліколь, розчини електролітів тощо). Більшість запропонованих способів розробки газогідратних покладів передбачають комбінацію вищеперелічених методів.

*Метою роботи є обґрунтування і розроблення принципів схем, прийнятних для існуючого рівня техніки, способів видобування і транспортування природного газу газових або газогідратних морських родовищ та підвищення їх ефективності шляхом максимального зниження енерговитрат у результаті комплексного врахування теплофізичних властивостей і параметрів взаємодії складових системи в межах покладу, що розробляється.*

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На сьогодні відомо низку теплових способів розробки газогідратних покладів. Так, у патенті US 6192691 пропонується під купол для збору газу, встановлений над придонним скупченням газогідрату, закачувати гарячу воду. У заявці US 20050161217 запропоновано здійснювати електричний підігрів продуктивного пласта та вилучати газ, що виділився по видобувній свердловині. У міжнародній заявці WO 2007/136485 передбачено газогідратний пласт нагрівати за рахунок енергії випромінювання лазера. У патентах US 4424866 та US 6733573 запропоновано комбінувати дію на гідратний пласт теплової енергії та інгібіторів.

Проте недоліком теплових методів розробки газогідратних покладів є значні енергетичні витрати. Так, крім порівняно незначних енерговитрат на дисоціацію газогідрату (близько 7% від енергії згоряння видобутого газу), основна їх частина піде на розігрів породи гідратонасиченого пласта та породи в його підшві та покрівлі. Крім того, виходячи з теплофізичних властивостей порід і газогідрату, зона теплової дії в пласті буде обмежена кількома метрами.

Найбільш економічною технологією розробки газогідратних покладів, з точки зору енергетичних витрат, є зниження пластового тиску нижче за рівноважний з подальшим відбором вільного газу. Прикладом такого способу є заявка WO 2007/072172, в якій зниження тиску забезпечується за рахунок відкачування газу з нижніх горизонтів.

Проте такий спосіб є прийнятним для пластів, де насиченість гідратами незначна, а газ або вода не втратили свою рухливість. Звичайно, при збільшенні гідратонасичення (а отже, зменшенні проникності) ефективність такого способу різко падає. Інший недолік способу, оснований на зниженні тиску в гідратонесному пласті, пов'язаний із вторинним техногенним утворенням гідратів у привибійній зоні внаслідок ефекту Джоуля-Томсона та проявом ефекту самоконсервації гідрату в пласті. Наприклад, при початковій температурі пласта 283 К і тискові 5,74 МПа коефіцієнт Джоуля-Томсона становить 3 – 4 К на 1 МПа депресії. Таким чином, при депресії 3 – 4 МПа вибійна температура може досягти температури замерзання води. Процес ускладнюється ще й тим, що породи з вмістом гідрату більше ніж 60% є фактично непроникними для газу [2].

У результаті газогідрат (газогідратний пласт) на тривалий час, який залежатиме від швидкості надходження тепла та визначатиметься теплофізичними властивостями його самого і оточуючих у підшві та покрівлі порід, буде «надійно» законсервовано шаром льоду.

Крім того, результати експериментальних досліджень фільтрації газу через гідратонасичені породи, які наведено в роботі [3], указують на те, що їх проникність по газу на два, три і більше порядків менша, ніж проникність зразків, не насичених гідратами. Низька проникність пов'язана, зокрема, і з початковою водонасиченістю, оскільки при деякому її значенні гідрат утворюється в усьому об'ємі пористого середовища, заповнюючи всі пори й мікродріщини.

Крім утворення непроникної для газу і води структури, газові гідрати виконують також функцію «цементу» для частинок породи пласта. Дисоціація клатратів в осіданнях призводить до аномально високої пористості та виділення великих мас води [4]. Таким чином, дестабілізація газогідратів призведе до істотного зниження міцності осадових структур у зоні дисоціації. Тому руйнування газогідратної структури внаслідок зниження тиску, підвищення температури або введення інгібіторів може призвести до розуцільнення зцементованих гідратом порід та перетворення їх на перезволожену ґрунтову масу із включенням бульбашок газу. При створенні депресії з метою вилучення газу неодмінно відбудеться руйнування перезволоженого пласта і винесення у свердловину разом із водою і газом необмеженої кількості породи, унеможливаючи її подальшу експлуатацію.

Відомі також способи одночасного зниження тиску і підводу тепла до свердловини. Причому основне розкладання гідрату відбувається за рахунок зниження тиску, а теплота, що підводиться до вибою, дозволяє скоротити зону вторинного гідратування, що позитивно позначається на дебіті газу. Однак комбінування цих способів не розв'язує описаних вище недоліків.

Способи, наведені в заявках US 2008/0088171, WO 00/47832 і RU 2004106857/03, передбачають кар'єрну розробку морських газогідратних покладів шляхом їх механічного руйнування. Так, у

заявці US 2008/0088171 описано спосіб відбору придонних гідратовмісних відкладень підводними екскаваторами, їх підйом до поверхні в контейнерах і акумуляція отриманого газу під куполом, розміщеним у днищі судна. Спосіб видобування газових гідратів з дна моря, описаний у заявці RU 2004106857/03, передбачає використання видобувного пристрою у вигляді самохідного комбайна і пристрою доставки їх на поверхню у вигляді баржі, яка самостійно спливає.

Спосіб видобутку донних і придонних гідратів, описаний у заявці WO 00/47832, передбачає руйнування шару газогідрату стисненим повітрям і спеціальним розчином високої щільності (або води під тиском), які подаються по трубі, відділення від дна кусків гідрату, їх збір і дисоціацію. Також передбачено можливість підігріву стисненого повітря і рідини.

Однак враховуючи той факт, що поверхня зон розвантаження газу, до яких приурочені придонні поклади газогідрату, переважно вкрита шаром відкладень (часто субмаринні гідрати зустрічаються, починаючи з глибини 0,4 – 2,2 м нижче від поверхні дна [5]), а виходячи зі швидкості згасання енергії струменя у водному середовищі незначну глибину їх різання, ефективність такого способу буде сумнівною. Це також стосується випадку, коли відношення об'єму газогідрату до мінеральної частини є незначним, що характерно для більшості покладів газогідрату (газогидрат заповнює пори або є цементом мінеральної частини пласта).

Таким чином, використання способу, який передбачає руйнування газогідрату за допомогою струменів повітря чи рідини, а також кар'єрними породоруйнівними механізмами, розташованими безпосередньо на морському дні, буде малоефективним.

У той же час існує фізико-хімічна технологія свердловинного гідровидобутку (СГВ) корисних копалин, в якій гідравлічна енергія, що підводиться через свердловину, використовується для руйнування породи, приготування гідросуміші (пуль-

пи) і вилучення її на поверхню [6].

Аналіз технологічних операцій СГВ (розкриття продуктивного пласта, гідророзмив, пульпоутворення, транспортування від вибою до всмоктуючого пристрою, підйом гідросуміші на поверхню, збагачення) і послідовності їх здійснення показав перспективність упровадження такого способу для розробки покладів газових гідратних.

Гідравлічний спосіб відділення породи від масиву здійснюється за допомогою струменів води, що витікають із гідромоніторів – апаратів, основним завданням яких є формування і спрямування цих струменів. У свердловині монтується гідродобувний агрегат, який являє собою поєднання свердловинного гідромонітора і підйомно-транспортного механізму вилучення пульпи на поверхню. У гідромоніторі відбувається перетворення статичного тиску води в кінетичну енергію струменя, причому у результаті зменшення перерізу насадки при постійній витраті води швидкість її збільшується (потенційна енергія води в насадці перетворюється в кінетичну, запас якої в міру віддалення від насадки втрачається). При цьому в технології СГВ струмінь є робочим органом для руйнування і транспортування породи.

Механізм процесу первинного гідравлічного руйнування характеризується багатогранністю дії води на масив, який містить руйнування за рахунок дотичних напружень, удару, фільтрації, напору [7, 8], і в кожній точці може бути описаний наступною формулою

$$\tau_p \geq (C_{mm} - C_{mp}) + (\gamma H \cdot 10^{-2} tg \varphi_{mm} - K_{\delta} \gamma H \cdot 10^{-2} lg \varphi_{mp}),$$

де  $\tau_p$  – руйнівне дотичне напруження, МПа;

$C_{mm}$  – тимчасове зчеплення (максимальне), МПа;

$C_{mp}$  – тривале зчеплення, МПа;

$\varphi_{mm}$  – тимчасовий кут внутрішнього тертя, град;

$\varphi_{mp}$  – тривалий кут внутрішнього тертя, град;

$\gamma$  – щільність породи, кг/м<sup>3</sup>;

$H$  – глибина розробки, м;

$K_{\delta}$  – коефіцієнт бокового тиску.

Таким чином, проникаючи в масив за рахунок фільтрації по порах і тріщинах, вода знижує міцність порід [8], викликає місцеві гідророзриви і руйнування, що необхідно враховувати при вивченні механізму подрібнення конкретного масиву введенням відповідних коефіцієнтів, корегуючи наведену залежність. Однак у процесі руху струменів у багатофазних системах (вода, тверді включення, газ) виникають явища настільки складні, що на сьогодні не існує достатньо надійних способів їх аналітичного визначення.

На ефективність технології видобування газу, незалежно від форми його знаходження в покладі (вільний газ чи газові гідрати), також значною мірою впливає рівень досконалості технічних і технологічних рішень операцій його підготовки та транспортування. На сьогодні природний газ морем транспортується трубопроводами у газоподібному стані та танкерами у зрідженому (LNG-технологія). Поряд з тим останніми роками активно розробляється спосіб морського транспортування природного газу в газогідратній формі [9, 10]. У зв'язку з цим запропоновано низку рішень, які передбачають виробництво штучного газогідрату з такими властивостями, що відповідають вимогам його транспортування і зберігання. Прикладом є патенти US 5536893 і UA 101882.

На нашу думку, найбільш прийнятним з точки зору форми транспортування видобутого газу є рішення, описане в [11], яке передбачає зв'язування видобутого газу в газогідрат. При цьому переробку газу здійснюють на морській видобувній платформі за допомогою спеціальної установки, яка містить: ємність для підготовки води до

гідратуутворення, холодильник для напращування дрібного льоду із цієї води, реактор, сепаратор для відділення води від газогідрату, пристрої для заморожування і завантаження виробленого газогідрату на транспортний засіб. На березі розміщено установки для плавлення газогідрату і підготовки (осушення) виділеного газу перед подачею споживачеві. Однак здійснення такого способу потребує розміщення на видобувній платформі важкого і громіздкого обладнання. До того ж у разі розробки газогідратних родовищ передбачається, що на платформу буде надходити газ. Тобто розглядається варіант розробки газогідратних родовищ, який передбачає дисоціацію газогідрату на газ і воду. Але, як було показано вище, такий варіант впливу на продуктивний пласт ускладнює отримання стабільного і промислово прийнятного дебіту видобувних свердловин. Крім того, у разі застосування термічних методів на розігрів пласта витрачається значна частина отриманого газу.

Ураховуючи особливості видобування природного газу газових або газогідратних морських родовищ та його транспортування у складі газогідрату найбільш прийнятною його формою є запропоновані в роботі [12] газогідратні блоки великого розміру, законсервовані шаром льоду. Такі блоки придатні до транспортування і тривалого зберігання за атмосферного тиску та незначної від'ємної температури.

**Спосіб розробки газогідратних покладів.** Ураховуючи недоліки представлених вище технологій, пропонується спосіб розробки морських газогідратних покладів (рис. 1), який передбачає:

- розкриття газогідратного пласта горизонтальними, а потужних – вертикальними або похило спрямованими до їх підшви свердловинами 7;

- вплив на продуктивний пласт (починаючи від вибою свердловини) з метою його дезінтеграції для вилучення газогідрату шляхом механічного подрібнення при мінімальному рівні дисоціації та перекристалізації газогідрату (внаслідок утворення

на короткий час локальних зон із нерівноважними умовами). Причому дія на пласт здійснюється затопленими струменями високого тиску суміші води й абразивного матеріалу (потік VII, насос 8) за допомогою гідромоніторного пристрою 6. Для збільшення об'єму виробки штанги з насадками гідромоніторного пристрою в робочому положенні подовжуються, займають перпендикулярне положення до осі свердловини 7 та, обертаючись навколо неї, рухаються вздовж до контакту з фронтом дезінтеграції;

- утворення водогідратомінеральної пульпи 2 у результаті змішування подрібненої гідратовмісної породи з сумішшю морської води й абразивного матеріалу (потік VII, насос 11);

- гравітаційне відділення у виробці 1 на деякій відстані за зоною руйнування від водогідратомінеральної пульпи частини «пустої» породи і, як наслідок, її збагачення на газогідрат;

- подачу водогідратомінеральної пульпи (потік I) із виробки 1 через пульпозабірник 5, з буровим долотом 4 вмонтованим у колону на деякій відстані від зони руйнування породи, під тиском, вищим за рівноважний гідратуутворення, до гравітаційного сепаратора 10, розташованого на дні моря;

- розділення у сепараторі 10 водогідратомінеральної пульпи на «пусту» породу (потік III), газогідрат (потік V) і збіднену на газогідрат пульпу (потік II, насос 9);

- відведення на дно моря або у відпрацьовану виробку (через іншу свердловину) відділеної породи 3 (потік III, нижній потік сепаратора);

- подачу відділеного газогідрату у суміші з водою (потік V) у вигляді верхнього потоку сепаратора 10 насосом 12 на видобувну платформу 14;

- відділення частини потоку збідненої на газогідрат водогідратомінеральної пульпи (потік II), додавання до неї морської води (потік VI) і подачу під тиском до гідромоніторного пристрою 6 як робочої суміші для руйнування породи (потік VII);

– скидання основної частини потоку збідненої на газогідрат пульпи (потік II) в море під газозбірний купол 13 по трубці, відкритий кінець якої розташований на деякому рівні, вище верхньої межі стабільності газогідрату (ВМСГ). При цьому у результаті потрапляння залишку газогідрату в нерівноважні умови та теплообміну з морською водою відбувається його дисоціація на газ (потік IV) і воду;

– осідання породи 3 (потік III) на дно моря, накопичення газу під газозбірним куполом 13 та його подачу трубопроводом на платформу 14 для технологічних потреб.

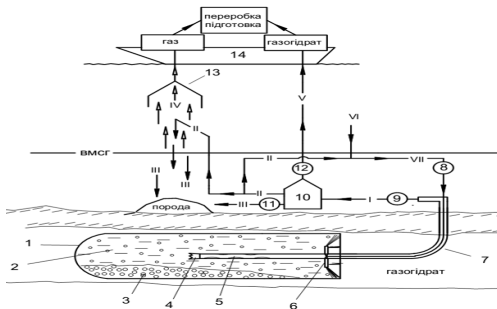


Рис. 1. Принципова схема способу розробки газогідратних покладів

При такому способі впливу газогідратний пласт піддається дії: солей морської води; теплової енергії, яка виділилась при перетворенні частини механічної енергії струменя; пульсацій тиску робочої суміші в процесі роботи гідромонітора. При цьому газогідрат може опинитися в нерівноважних умовах і частково дисоціювати. Однак, виходячи з теплового балансу процесу й особливостей кінетики, цей вплив буде незначним, нетривалим і носитиме локальний характер. У результаті відбуватиметься дисоціація якоїсь частини газогідрату, зв'язаного з породою, й утворення в іншому місці газогідрату «вільного».

**Спосіб видобування і транспортування природного газу газових або газогідратних морських родовищ.** Виходячи із наведених вище міркувань пропонується

спосіб видобування і транспортування природного газу газових або газогідратних морських родовищ, який передбачає:

– розкриття продуктивного пласта свердловиною;

– вплив на пласт з метою вилучення газу або газогідрату;

– виробництво із видобутого газу газогідрату;

– подачу на видобувну платформу суміші газогідрату, води і газу;

– виконання операцій з максимального збагачення суміші газогідрату, води і газу на газогідрат та підвищенню його стабільності;

– формування підготовленого газогідрату у блоки великого розміру та консервація шаром льоду;

– транспортування і зберігання (у наземних гідратосховищах) газогідратних блоків за атмосферного тиску і температури, не вище ніж 278 К, без додаткового охолодження;

– дисоціацію газогідратних блоків з метою отримання газу і прісної води за рахунок сонячної енергії.

При цьому суміш газогідрату, води і газу при розробці морських газогідратних родовищ утворюється у результаті механічного руйнування гідратовмісної породи і змішування відібраного газогідрату з водою при запобіганні його дисоціації в пласті та дисоціації частини газогідрату у трубопроводі, по якому суміш надходить на видобувну платформу на ділянці вище межі стабільності гідрату, з метою створення ефекту газліфта.

При розробці газового покладу суміш газогідрату, води і газу утворюється на ділянці трубопроводу, що з'єднує свердловину і видобувну платформу, з термобаричними умовами гідратуутворення у результаті контактування основної частини видобутого із продуктивного пласта газу і морської води та відведення тепла процесу через стінки труб. При цьому вміст газу і води в суміші регулюється інтенсивністю тепловідведення й об'ємом поданої води.

Процес збагачення суміші газогідрату, води і газу на газогідрат та підвищення стабільності отриманої газогідратної маси полягає в проведенні наступних операцій:

- розділення суміші газогідрату, води і газу на газ, воду (гравітаційну, яка скидається в море) та суміш, котра складається із газогідрату, плівкової води та води, захопленої між кристалами;

- плавлення в обмеженому об'ємі частини газогідрату для отримання газу високого тиску (відомо спосіб безмашинного компримування гідратоутворюючих газів, який полягає у їх переведенні через газогідратний стан і плавленні в обмеженому об'ємі [13]);

- компримування в струминному компресорі потоку газу низького тиску, відділеного від суміші, за рахунок енергії потоку газу високого тиску;

- осушення суміші газогідрату і води (плівкової та захопленої між кристалами) шляхом її зв'язування у газогідрат при її контактуванні з потоком газу середнього тиску та відведенні тепла процесу;

- одноразове охолодження отриманої газогідратної маси із урахуванням теплового балансу наступних технологічних операцій і процесів аж до моменту її дисоціації перед споживанням газу.

При видобуванні газу (рис. 2) із газового покладу 1 основна його частина на ділянці трубопроводу 3 при створенні термобаричних умов гідратоутворення у результаті контактування із потоком морської води (II) та відведенні тепла процесу через стінки трубопроводу зв'язується у газогідрат. При цьому шляхом регулювання інтенсивності тепловідведення та об'єму поданої морської води (II) потік I за даною ділянкою трубопроводу складається із суміші газогідрату, води і газу. Наявність газової фази в суміші дозволяє здійснювати її подачу на видобувну платформу способом газліфта.

При видобуванні газогідрату 2 здійснюється механічне руйнування гідратомісної породи і змішування відібраного газогідрату з водою при запобіганні його дисо-

ціації в пласті. У процесі подачі суміші води і газогідрату на видобувну платформу на ділянці трубопроводу вище термобаричної межі стабільності гідрату здійснюється контрольована дисоціація частини газогідрату з метою створення ефекту газліфта. У результаті на видобувну платформу надходить суміш газогідрату, води і газу (I).

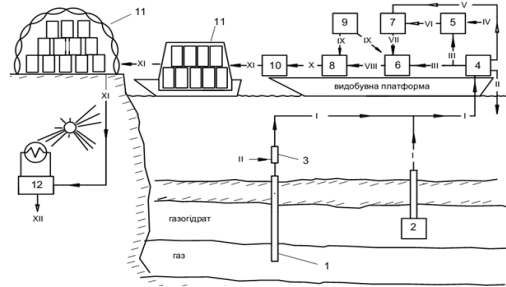


Рис. 2. Спосіб видобування і транспортування природного газу газових або газогідратних морських родовищ

На видобувній платформі здійснюється розділення (процес 4) потоку I на газ (V), воду (гравітаційну) (II) та суміш, яка складається із газогідрату, плівкової води та води, захопленої між кристалами (III). Частина газогідрату в його суміші з плівковою та захопленою між кристалами водою (III) в обмеженому об'ємі (процес 5) у результаті підведення тепла (IV) плавиться для отримання потоку газу високого тиску (VI). У струминному компресорі 7, здійснюється компримування потоку газу низького тиску, відділеного від суміші газогідрату, газу і води (V), за рахунок енергії потоку газу високого тиску (VI).

У процесі 6 відбувається осушення суміші газогідрату, плівкової та захопленої між кристалами води (III) шляхом зв'язування залишку води у газогідрат при її контактуванні з потоком газу середнього тиску (потік VII) та відведенні тепла холодоагентом (IX), що виробляється (позиція 9).

Отриманий у результаті процесу осушення газогідрат (VIII) одноразово охолоджується (позиція 8) із урахуванням теп-

лового балансу наступних технологічних операцій і процесів аж до моменту його дисоціації перед споживанням газу. Охолоджений газогідрат (X) формується у блоки великого розміру 10 та консервується шаром льоду (XI).

Транспортуються газогідратні блоки морем на переобладнаних транспортних засобах та зберігаються у наземних гідратосховищах 11. Дисоціація 12 газогідратних блоків XI з метою отримання газу (потік XII) і прісної води здійснюється за рахунок сонячної енергії.

## ВИСНОВКИ

1. Запропонований спосіб видобування і транспортування природного газу газових або газогідратних морських родовищ дає можливість отримати технічний результат, який полягає у максимальному зниженні енерговитрат у результаті комплексного врахування теплофізичних властивостей і параметрів взаємодії складових системи в межах покладу, що розробляється.

2. Основна ідея запропонованого способу розробки газогідратних покладів полягає у вилученні максимальної кількості газогідрату із продуктивного пласта без витрати енергії на фазовий перехід, а дисоціація його залишку, враховуючи фізичні властивості, здійснюється за рахунок низькопотенційної енергії морської води та зміни її тиску з глибиною.

3. Запропонований спосіб розробки газогідратних покладів поєднує елементи відомих технологій гідровидобутку корисних копалин і гідропіскострумінної перфорації

та передбачає чотири основні етапи:

1) руйнування гідратовмісної породи та її входження до складу пульпи;

2) попереднє збагачення водогідратомінеральної пульпи у виробці у результаті осідання частини породи на деякій відстані за зоною руйнування пласта;

3) відділення зі пульпи вільного газогідрату в гравітаційному сепараторі, розташованому на морському дні;

4) виділення із збідненої пульпи газу у результаті дисоціації залишку газогідрату при її проходженні через товщу морської води в інтервалі вище верхньої межі стабільності газогідрату.

4. Ефективність гідравлічного руйнування залежить від комплексу природних, гідравлічних, технічних і технологічних факторів. Однак загальної теорії руйнування гірських порід (у т.ч. гідратовмісної) струменем води й універсальної методики її розрахунку на сьогодні не розроблено, що пояснюється наявністю низки факторів, які впливають на характер взаємодії струменя з масивом.

5. Роботи зі свердловинного гідровидобутку у світовій практиці не мають прямих аналогів за типом руд, що видобуваються, і з параметрами гідроруйнування. Крім того, параметри гідравлічного обладнання, яке використовується при СГВ, у зв'язку зі специфікою розглянутого способу видобутку також не мають аналогів у відомих гідравлічних системах. Таким чином, відпрацювання запропонованого способу розробки покладів газових гідратів потребує проведення низки експериментальних досліджень.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. US Geological survey «Results of the Indian National Gas Hydrate Program (NGHP) Expedition 01» // <http://energy.usgs.gov> – 2010.

2. Способы разработки газогидратных месторождений / К.С. Басниев, В.В. Кульчицкий, А.В. Щebetов, А.В. Нифантов // Газовая промышленность. – 2006. – № 7. – С. 22 – 24.



3. Безносиков А.Ф. Влияние воды, льда, гидратов в коллекторе на его проницаемость / А.Ф. Безносиков, В.Н. Маслов // Труды ВНИИЭГазпрома. – 1975. – № 8. – С. 84 – 89.

4. Kvenvolden K.A. Gas hydrates – geological perspectives and global change / K.A. Kvenvolden // Rev. Geophysics. – 1993. – Vol. 31. – P. 173 – 187.

5. Накануне мировой субмаринной метаногидратодобычи / Е.Ф. Шнюков, П.Ф. Гожик, В.П. Краюшкин, В.П. Клочко // Доповіді НАН України. – 2007. – № 6. – С. 125 – 134.

6. Скважинная гилродобыча полезных ископаемых: учеб. пособие / [Аренс В.Ж., Бабичев А.Д., Башкатов А.Д. и др.]. – М.: Горная книга, 2007. – 295 с.

7. Бабичев Н.И. Проектирование геотехнологических комплексов (на прим. технологии СГД): учеб. пособ. / Н.И. Бабичев. – М.: МГРИ 1985. – 121 с

8. Rehbinder G.A. Theory about cutting rock with water jet / G.A. Rehbinder // Rock mechanics. – 1980. – № 12. – С. 247 – 257.

9. Gudmundsson J.S. Hydrate non-pipeline technology for transport of natural gas / J.S. Gudmundsson, O.F.Graff. – [Электронный ресурс] [http://www.igu.org/html/wgc2003/WGCPdffiles/10056\\_1046347297\\_14776\\_1.pdf](http://www.igu.org/html/wgc2003/WGCPdffiles/10056_1046347297_14776_1.pdf).

10. Тарко Я.Б. Перспективы газогідратної технології на ринку морських перевезень природного газу / Я.Б. Тар-

ко, Л.О. Педченко, М.М. Педченко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – № 2(43). – С. 49 – 55.

11. Gudmundsson J. Frozen Hydrate Compared to LNG / J. Gudmundsson, F. Hveding, A. Borrehaug. – Trondheim: Norwegian Institute of Technology, 1995. – P. 9 – 11.

12. Педченко Л.О. Обґрунтування способу утворення льодогазогідратних блоків із метою транспортування та зберігання гідратоутворюючого газу / Л.О. Педченко, М.М. Педченко // Науковий вісник НГУ. – 2012. – № 1(127). – С. 28 – 34.

13. Макогон Ю.Ф. Природные гидраты: открытие и перспективы / Ю.Ф. Макогон // Газовая промышленность. – 2001. – № 5. – С. 10 – 16.

## ПРО АВТОРІВ

Педченко Лариса Олексіївна – старший викладач кафедри видобування нафти і газу та геотехніки Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка.

Педченко Михайло Михайлович – к.т.н., доцент кафедри видобування нафти і газу та геотехніки Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка.