

ЕКРАНОВАНА РОЗРОБКА ДОННИХ ГАЗОГІДРАТІВ

Г. Гайко^{1*}, Л. Пиґа¹

¹*Кафедра геобудівництва та гірничих технологій, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна*

*Відповідальний автор: e-mail gayko.kpi@meta.ua, тел. +380509219459

SHIELDED DEVELOPMENT OF BOTTOM GAS HYDRATES

Н. Наїко^{1*}, Л. Руха¹

¹*Department of Geobuilding and Mining Technologies, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

*Corresponding author: e-mail gayko.kpi@meta.ua, tel. +380509219459

ABSTRACT

Purpose. The research aims to show the system features of the existing development methods, which create significant risks of investment in the production of methane gas hydrates, as well as to disclose a new way and conceptual approach to the shielded development of methanohydrates.

Methods. Comparative technical and economic analysis of mining methods, constructive and technological justifications.

Findings. Reduction of risks and a significant reduction in the means of extraction can be achieved by replacing local impacts on the productive seam by forming a vast zone of simultaneous dissociation of the gas hydrate deposit and controlled withdrawal of the produced gas into the water space shielded by gas gathering shells.

Originality. The research provides for realization of the idea suggesting simultaneous dissociation of large areas of the gas hydrate deposit, management of the targeted process of methane gas hydrates penetration into the water space and its accumulation under the extensive gas gathering shield, wherefrom it is removed by the bottom pipe transport.

Practical implications. The proposed concept and a new method for shielded development of bottom gas hydrates substantiate technological stages and constructive elements of its implementation.

Keywords: *development of offshore fields, gas hydrates, dissociation, shielding shells, gas gathering shield, hydraulic fracturing of the reservoir, coolant, bottom gas removal*

1. ВСТУП

Багаті газові родовища, а також шляхи транспортування вуглеводнів стали "яблуком розбрату" світових енергетичних корпорацій, латентними причинами небезпечних політичних демаршів і міжнародних конфліктів. Ці тенденції стають ще більш помітними з огляду на обмеженість легкодоступних нафтогазових ресурсів. За прогнозами Римського клубу, розвідані запаси традиційних родовищ вуглеводнів будуть вичерпані до кінця XXI сторіччя. За поточними даними BP Statistical Review світових запасів природного газу при збереженні видобутку на рівні 2015 року повинно вистачити на 52 роки й 6 місяців (сам порядок прогнозного значення, який почав включати вже й місяці, свідчить сам за себе). Перспективи освоєння енергетичних мінеральних ресурсів значною мірою пов'язують з інноваційними технологіями видобування сланцевого газу та метанових кристалогідратів дна

морів і океанів (Resources to Reserves..., 2013; Naiko & Biletskyi, 2015; Statistical Review of World Energy, 2015; Koltun & Klymenko, 2016).

Сумарні запаси метану газогідратів на порядок перевищують відомі запаси конвенціональних родовищ природного газу й потенційно являють найпотужніше джерело мінеральних енергоресурсів. Навіть якщо сучасне світове споживання газу залишиться без змін, запасів метану донних газогідратів може вистачити людству на декілька сторіч, якщо буде знайдений "технологічний ключ" їх розробки. Наразі тільки частина цих родовищ, зосереджених вздовж берегової смуги материків, може розглядатися як потенційно-промислові. Виходячи з масштабності й перспективності морського видобутку корисних копалин, світовий океан протягом останнього десятиріччя за обсягами наукових досліджень, технологічних розробок і капіталовкладень став для людства

“космосом №1”, суттєво потіснивши за вказаними показниками навколоземні космічні програми.

Питання енергетичної безпеки України значною мірою пов’язане з нарощуванням видобутку газу українських родовищ, до числа яких можуть бути залучені розвідані поклади донних газогідратів Чорного моря. За прогнозними оцінками ресурси метану в родовищах газогідратів тільки поблизу Криму оцінюються в 20 – 25 трильйонів м³ (загальні запаси в покладах Чорного моря – 45 – 60 трильйонів м³) (Shnyukov & Ziborov, 2004). Наприкінці 1993 року уряд України затвердив програму “Газогідрати Чорного моря”, проте падіння економіки 90-х років і латентні впливи основних постачальників газу в Україну призвели до гальмування запланованих дослідних і проектних заходів. У період з 2002 по 2011 роки українськими й німецькими дослідниками були проведені чотири морські експедиції, які підтвердили наявність родовищ, отримали перші зразки газогідратів, оцінили вміст вилучених газових сумішей і умов розробки покладів. Хоча детальні дослідження потенційних районів видобутку в Україні знаходяться лише в початковій стадії, вони підтверджують високий потенціал українських родовищ газогідратів (Bondarenko, Ganushevych, Sai, & Tyshchenko, 2011; Bondarenko, Ganushevych, & Sai, 2012; Ganushevych & Sai, 2013).

Визначальним питанням для успішного освоєння морських родовищ є розробка ефективної й надійної технології видобутку метану. Чимало країн світу прийняли національні програми з дослідження метаногідратів, Конгрес США у 1999 році навіть затвердив “Акт про широкомасштабні пошуки і освоєння газогідратів на суходолі та в морі”, а Японія 2013 року отримала перший промисловий газ з морського газо-

гідратного родовища, проте економічно рентабельної технології розробки метаногідратних покладів поки що не створено. Більш того, значна частина морських родовищ принципово не може бути освоєна за сучасного рівня технічного розвитку. Це потребує висунення й апробації нових наукових ідей, методологічних підходів, конструктивних і технологічних рішень для формування широкого інноваційного середовища, з якого вийдуть рішення проблеми газогідратів.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Ґрунтовні огляди існуючих способів розробки донних газогідратів розглядалися багатьма дослідниками, зокрема українськими (Bondarenko, Maksymova, & Koval, 2013; Ovchynnikov, Ganushevych, & Sai, 2013; Ganushevych, Sai, & Korotkova, 2014; Pedchenko & Pedchenko, 2017). Ми розглянемо лише найбільш характерні з них з метою окреслити ті системні особливості існуючих способів розробки, які створюють значні ризики інвестицій у видобуток метану газогідратів і, за інерцією розвитку технічної думки, можуть гальмувати поступ видобувних технологій. Зазначимо також, що переважна більшість цих способів існує лише у вигляді ідей, винаходів чи проектних розробок, а експериментальне впровадження знайшли лише поодинокі спроби видобутку, зокрема ті, що поєднують свердловинний видобуток конвенціонального природного газу з одночасною дисоціацією газогідратного покладу, що перекриває газову зону. У залежності від місця розташування газогідратного покладу (на донній поверхні, у товщі гірських порід морського дна чи у товщі порід з зоною вільного газу в підшві газогідратного пласта (Рис. 1)) запропоновані різні способи розробки.



Рисунок 1. Типи залягання пластів газових гідратів: (а) перший тип; (б) другий тип; (в) третій тип

Як вже зазначалося, найбільш сприятливими умовами є наявність метанового родовища під газогідратним покладом (Рис. 1а), причому звичайне свердловинне розкриття родовища й видобуток природного газу змінює гідростатичний тиск і фазову рівновагу газогідрату, що призводить до вивільнення з нього метану, який відкачується тими ж свердловинами. Цей спосіб знайшов експериментально-промислове застосування (зокрема, японськими компаніями) завдяки мінімізації ризиків видобутку з огляду на наявність конвенціонального родовища природного газу (вивільнений метан газогідратів тут розглядається як супутній і додатковий). Нажаль розвідані лише одиничні родовища з подібними геологічними умовами, що вже сьогодні мають перспективу промислового освоєння.

У переважній більшості випадків газогідратні поклади не мають у підшві пласта вільного газу (Рис. 1б, в). Для морської розробки пласта газогідрату, розташованого в товщі гірських порід, основним принципом видобутку є підведення теплоносія або хімічного реагенту до продуктивної зони газогідратного покладу, що викликає його дисоціацію за рахунок хімічних реакцій (приміром, заміщення метану вуглекислим газом) або порушення фазової рівноваги в бік розкладання газогідрату на газ і воду при підвищенні температури. Способи здійснюються бурінням з морських платформ чи суден у газогідратний пласт вертикальних свердловин з наступним нагнітанням теплоносія чи реагенту. Метан, вивільнений в локальній зоні потрапляння теплоносія, разом з водою по трубам відкачують на морську платформу (судно), де газ відділяють й накопичують (Bondarenko et al., 2015).

Недоліком способів є значні витрати, пов'язані з морським бурінням свердловин, зокрема необхідністю постійної присутності морської платформи або судна, складного бурильного обладнання, оснащення свердловин нагнітальною та відвідною трубами, збільшеною енергоємністю розробки. При цьому обсяги отриманого газу з однієї свердловини не можуть бути значними, оскільки процес дисоціації йде лише в локальній зоні пласта, до якої подається теплоносій (реагент), а швидкість вивільнення метану сповільнюється вже на відстані 2–3 м від місця виходу теплоносія. Частина вивільненого метану завжди буде прориватися у водний простір і втрачатися.

Для розробки газогідратних покладів, що залягають на донній поверхні (іноді під незначним шаром наносів) запропоновані способи, в яких куполоподібний відкритий знизу уловлювач продуктів розкладання газогідратів (дзвін) опускають на тросі з борту плавзасобу на морське дно з газогідратними відкладеннями (Рис. 2, 3).

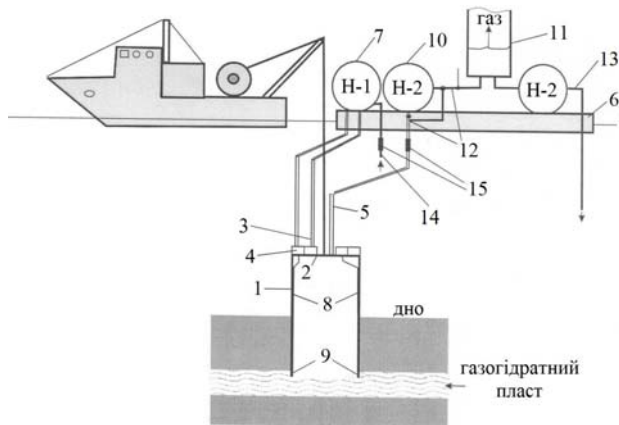


Рисунок 2. Спосіб розробки донних газогідратів із використанням газозбірних конструкцій за принципом теплової дисоціації: 1 – дзвін; 2 – верхня торцева поверхня; 3 – труби для розподілу та подачі води; 4 – баки для води; 5 – труби для відбору суміші газу і води, що утворюється; 6 – платформа; 7 – насос; 8 – тонкі труби; 9 – гідранти-форсунки; 10 – насос; 11 – бак-роздільник для газу; 12 – система труб; 13 – трубопровід для закачування води на глибину; 14 – труби для закачування води з шару води з низьким вмістом газу; 15 – односторонні клапани

Передбачається, що гострий край уловлювача самозаглиблюється в донний ґрунт під дією власної ваги, забезпечуючи герметизацію. Далі можуть використовувати два принципові підходи. Згідно з першим (Kudrin, Orlyankin, & Kudrin, 2010), електронасос, встановлений на корпусі уловлювача, відкачує з під уловлювача морську воду, змінюючи гідростатичний тиск і фазову рівновагу газогідрату, що призводить до вивільнення газу, який відкачується з куполу уловлювача. Згідно з другим підходом (Khlystov, Grachev, & Nishio, 2013), до закритого торця уловлювача підведені труби для подачі теплоносія та відкачування утвореної водо-газової суміші. Розмив донних відкладень здійснюють системою труб, які прокладені по внутрішній стороні дзвона до його кромки.

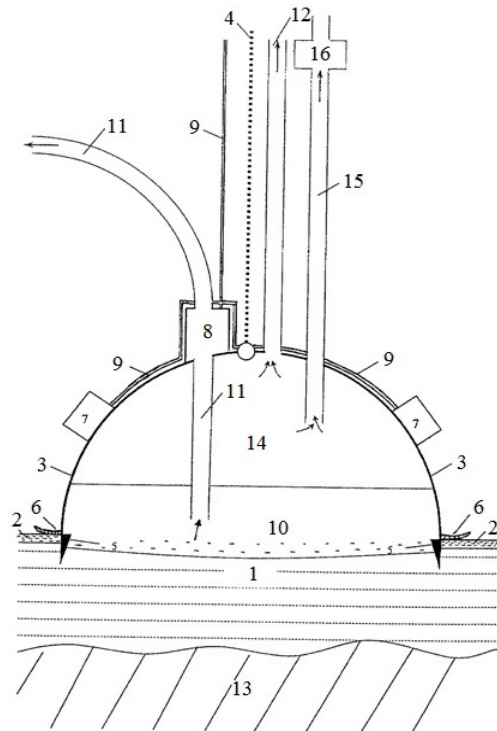


Рисунок 3. Спосіб розробки донних газогідратів із використанням газозбірних конструкцій за принципом дисоціації зниженням гідростатичного тиску (Kudrin, Orlyankin, & Kudrin, 2010): 1 – газогідратний поклад; 2 – донні відклади; 3 – випуклий уловлювач продуктів розкладання газогідратів (УПРГ); 4 – причинний пристрій для опускання УПРГ; 5 – край уловлювача по нижньому периметру; 6 – еластичний фартух; 7 – електровібратор; 8 – електронасос; 9 – електрокабель; 10 – морська вода з донними відкладами і мінеральною частиною газогідратів; 11 – гнучка труба; 12 – гнучка труба, що виходить з верхньої частини корпусу УПРГ; 13 – підшова газогідратного пласта; 14 – середня частина УПРГ; 15 – окрема гнучка труба; 16 – насос, розташований на верхньому кінці окремої труби

Недоліком цих способів є обмежена невеликими розмірами куполоподібного уловлювача зона дисоціативного впливу на газогідратний поклад, що суттєво знижує обсяги можливого видобутку газу. Крім того, постійна необхідність роботи плавзасобу, висока матеріаломісткість конструкції уловлювача та складність обладнання негативно впливають на собівартість видобутого газу.

Таким чином, можна зазначити особливості (характерні недоліки), що притаманні найбільш поширеним підходам до розробки як поверхневих, так і глибинних газогідратних покладів:

- потреба в постійному використанні морських платформ чи суден;
- забезпечення дисоціації газогідрату лише в локальній зоні пласта й вивільнення тим самим невеликих об'ємів газу, що транспортуються разом з водою;
- циклічність ведення морських видобувних і підготовчих робіт, причому обмежені в часі цикли видобутку чергуються з тривалими підготовчими циклами

(пересування по дну уловлювачів-дзвонів, буріння вертикальних свердловин, монтаж обладнання тощо);
 – потрапляння частини вивільненого газу у водний простір і втрати метану.

Більш продуктивним, таким, що долає більшість зазначених недоліків, може стати аналог технології розкриття покладів сланцевого газу, коли в продуктивному пласті бурять горизонтальні чи похилі протяжні свердловини, через які здійснюють гідророзрив пласта та вилучення газу з великих площ і масивів (Рис. 4) (Bondarenko et al., 2015).

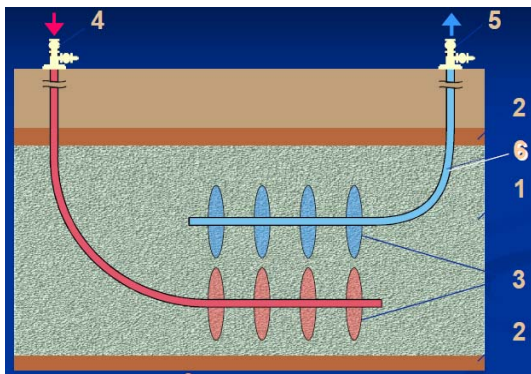


Рисунок 4. Спосіб розробки газогідратного родовища шляхом використання гідророзриву: 1 – непроникині породи; 2 – тріщини; 3 – шар газового гідрату; 4 – нагнітальна свердловина; 5 – обладнання для відбору газу; 6 – експлуатаційна свердловина

Слід зазначити, що фізико-хімічні й механічні властивості газогідратного та сланцевого пластів значно різняться й процеси їх поведінки після гідророзриву не можуть бути подібні (ефект руйнування метаногідратного покладу неможливо підтримувати тривалий час). Навряд чи вдасться утримувати в газогідратному пласті протяжну свердловину для відбору газу (скоріш за все, буде діяти лише обмежена її ділянка на вході в пласт). Є також значний ризик виходу великої кількості газу за короткий проміжок часу після гідророзриву, при цьому значна частина вивільненого метану через тріщини в породах покрівлі по всій зруйнованій площі пласта вийде у воду й буде втрачена, не виключений і різкий викид газу з наслідками вибуху.

Проведений аналіз висуває вимоги до створення більш ефективних, менш ризикованих і затратних підходів до розробки морських газогідратів. У КПІ ім. Ігоря Сікорського розроблений спосіб видобутку метану газогідратів, що передбачає одночасну дисоціацію великих площ газогідратного покладу, цілеспрямованого виводу значних обсягів вивільненого метану у водний простір і уловлення його під розлогим газозбірним екраном з подальшим транспортуванням донними газопроводами (Haiko & Pyha, 2017).

Для поверхневих покладів новий спосіб включає розмив донних газогідратів, накриття поверхневої ділянки газогідратного покладу газозбірною екрануючою оболонкою, подавання під неї теплоносія, формування теплового поля, розкладання газогідратного покладу та відведення утвореного газу від газозбі-

рної конструкції гнучкими трубами до прокладеного по дну газопроводу й далі споживачам.

Спосіб здійснюють наступним чином (Рис. 5).

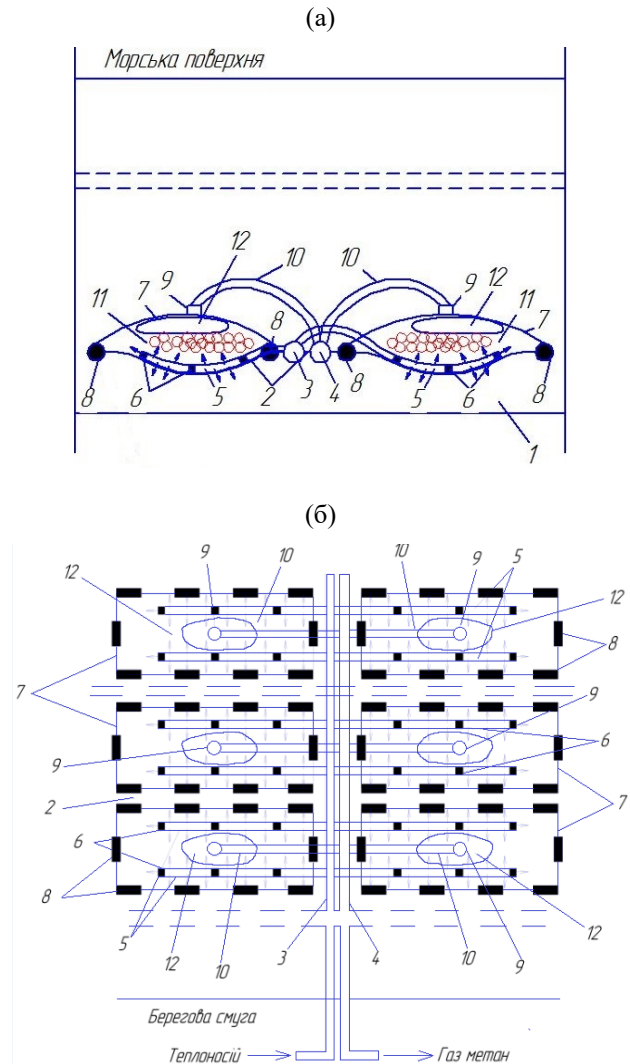


Рисунок 5. Схема екранованої розробки поверхневих покладів газогідратів: (а) розріз; (б) план

Від берегової смуги вздовж продуктивної ділянки донного газогідратного покладу 1, проводять по дну стаціонарні трубопроводи із замкненим кінцем – теплопровід 3 для подачі теплоносія (який покритий теплоізоляційним матеріалом) та газопровід 4 для відведення газу. Гнучкі перфоровані труби 5, під'єднують до теплопроводу 3 і розміщують перпендикулярно теплопроводу на поверхні 2 газогідратного покладу 1, прижимаючи їх до дна вантажами 6. Плавзасобами до місця розробки газогідратного покладу 1 доставляють еластичні оболонки 7, які оснащують по контуру якорями 8 (наприклад, сталевими брусками в карманах оболонки) і послідовно погружають на дно одна біля одної, накриваючи ними гнучкі перфоровані труби 5. У середині газозбірної оболонки знаходиться отвір з муфтою 9 (може оснащуватися фільтром, що пропускає газ і не пропускає воду), до якої приєднують гнучкий газопровід 10, що підключають до стаціонарного газопроводу 4. На час транспортування та монтажу обладнання можуть

бути задіяні плавзасоби, підводний модуль, водолази (не показано). Після монтажу обладнання в теплопровід 3 подають теплоносії (наприклад, гарячу воду з теплоцентралі, або морську прибережну воду, температура якої може на 15 – 20°C перевищувати температуру донного газогідрату). Теплоносії під заданим тиском потрапляє в гнучкі перфоровані труби 5, розмиває поверхню газогідратного покладу, витісняє природну холодну воду з під оболонки, формуючи розподілене теплове поле. В зоні розмиву газогідрату 11 відбувається процес дисоціації, а вивільнений газ накопичується в покрівлі газозбірної оболонки у вигляді потужних лінз 12, з яких відводять гнучким газопроводом 10 до стаціонарного донного газопроводу 4 і транспортують споживачу.

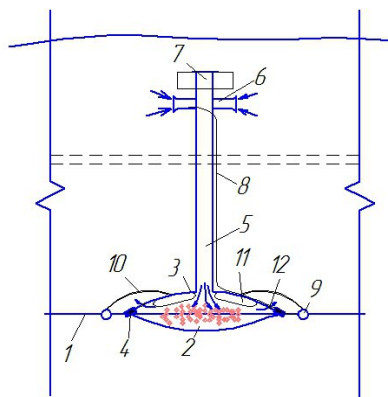
Розмив донних відкладень здійснюють струменями теплоносія, який подають гнучкими перфорованими трубами, що привантажені до дна й приєднані до прокладеного по дну теплопроводу, чим забезпечується одночасна дисоціація великих площ поверхні газогідратного покладу (стаціонарним теплопроводом під значним тиском можуть подаватися великі обсяги теплоносія, які розподіляються гнучкими перфорованими трубами на велику площу донних відкладень).

Газозбірну конструкцію виконують як екрануючу еластичну оболонку, яку закріплюють на поверхні газогідратного покладу якорями, розміщеними по контуру оболонки, чим забезпечується накопичення вивільненого газу під газозбірним екраном у вигляді потужних газових лінз та подальше відведення метану. Одночасно оболонка виконує роль обмежувача для розповсюдження теплоносія, який витісняє природну холодну воду з під оболонки в проміжки між якорями. Формування необхідного теплового поля під оболонкою виключає зворотнє зв'язування отриманого газу в газогідрат.

Послідовне розміщення еластичних газозбірних оболонок забезпечує протяжну систему екранування поверхні газогідратного покладу й одночасне збирання великих об'ємів вивільненого газу. Важливим є також те, що морські плавзасоби застосовуються лише під час підготовчих робіт (монтаж газозбірних екранів, трубопроводів тощо), а під час тривалої експлуатації покладу задіяне лише берегове обладнання.

Для родовища, значно віддаленого від берегової смуги, для якого подача теплоносія трубою з берега призведе до суттєвих втрат енергетичного потенціалу, може застосовуватись подавання теплої води верхніх морських шарів вертикальною пластиковою трубою, оснащеною поплавком (Рис. 6).

Як зазначалося вище, найбільш перспективними є газогідратні поклади, розміщені у непроникній товщі гірських порід морського дна, де може бути застосований спосіб гідророзриву пласта (Рис. 4). На відміну від відомих рішень, пов'язаних із значними ризиками гідророзриву газогідратного пласта, автори пропонують руйнувати гідророзривом гірські породи його покрівлі, чим забезпечувати вихід через утворені тріщини вивільненого метану у водний простір, де він буде уловлюватися еластичними оболонками розлогого газозбірного екрану.



- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 – поверхня дна; | 7 – поплавок; |
| 2 – підготовче газогідратне поле; | 8 – електрокабель; |
| 3 – екран; | 9 – тривалий газопровід; |
| 4 – якоря; | 10 – гнучкий газопровід; |
| 5 – легка труба; | 11 – газова лінза; |
| 6 – лампи; | 12 – вікно для виходу холодної води. |

Рисунок 6. Схема екранованої розробки поверхневих покладів з вертикальною організацією подачі теплоносія

В залежності від гірничо-геологічних умов свердловина гідророзриву може проходити на сполученні газогідратного покладу і порід покрівлі або в товщі останньої, виходячи із завдання більш інтенсивно зруйнувати породи покрівлі й утворити лише окремі тріщини в газогідраті. Для перетворення метаногідратів у газ тут може використовуватися як процес розгерметизації, так і забезпечення сталої дисоціації газогідратного покладу бурінням з берегу свердловин керованого напрямку, в які закачують теплоносії. Як і для поверхневого покладу (Рис. 5) вивільнений метан накопичують під еластичними газозбірними оболонками й донним газопроводом транспортують на берегові газорозподільні станції.

3. ВИСНОВКИ

Запропоновані способи видобутку газу з донних газогідратів розкривають нову концепцію екранованої розробки родовищ, яка змінює усталені підходи локальних впливів на продуктивний пласт. Традиційна для фізико-хімічних способів розробки корисних копалин свердловинна технологія, розглядається авторами як надійний засіб для дисоціації великих площ газогідратних покладів, але навряд чи вона зможе стати засобом ефективного вилучення (транспорту) вивільненого метану. Саме тому треба піти альтернативним шляхом. Те, чого завжди намагалися уникнути (апріорі безуспішно), а саме – потрапляння вивільненого метану у водний простір, треба зробити метою основного етапу технології розробки, зробивши цей процес керованим і стабільним. Підготовчий етап повинен включати створення газозбірного екрану з еластичних оболонок, що покривають великі площі донної поверхні над покладом, збирають і накопичують вивільнений метан газогідратного родовища. Далі передбачається стале відведення отриманого природного газу з під численних оболонок у донний трубопровід і транспортування метану на берегову газорозподільну станцію й споживачам.

Особливостями нового підходу є одночасна дисоціація газогідрату на великій площі газогідратного родовища й стале вивільнення сумарно значних (достатніх для успішної промислової розробки) обсягів метану без загрози вибухового ефекту інтенсивного розкладу газогідрату. Значна економія ресурсів зумовлена безлюдним способом експлуатації покладу (усі витрати й трудові ресурси зосереджені на підготовчому етапі монтажу обладнання), а також відсутністю в період видобутку метану високовартісних у використанні морських суден і платформ.

Розробка й обґрунтування параметрів способу екранованої розробки покладів газогідратів може відкрити нові перспективи для освоєння українських родовищ газових гідратів Чорного моря.

ВДЯЧНІСТЬ

Автори вдячні авторам колективної монографії "Газогідрати. Гідратоутворення та основи розробки газових гідратів" (зокрема В.І. Бондаренку, О.Ю. Витязю, М.Л. Зоценку, К.С. Сай, Е.О. Максимовій), яка надихнула їх на пошуки нових шляхів освоєння газогідратних родовищ.

REFERENCES

- Bondarenko, V., Ganushevych, K., Sai, K., & Tyshchenko, A. (2011). Development of Gas Hydrates in the Black Sea. *Technical and Geoinformational Systems in Mining*, 55-59. <https://doi.org/10.1201/b11586-11>
- Bondarenko, V.I., Ganushevych, K.A., & Sai, K.S. (2012). Substantiation of Technological Parameters of Methane Extraction from the Black Sea Gas Hydrates. In *Szkola Eksploatacji Podziemnej* (pp. 191-196). Krakow: Akademia Górniczo-Hutnicza.
- Bondarenko, V., Maksymova, E., & Koval, O. (2013). Genetic Classification of Gas Hydrates Deposits Types by Geologic-Structural Criteria. *Mining of Mineral Deposits*, 115-119. <https://doi.org/10.1201/b16354-21>

- Bondarenko, V.I., Vytiaz, O.I., Zotsenko, M.L., Maksymova, E.O., Sai, K.S., Ovchinnikov, M.P., Hanushevych, K.A. (2015). *Hazohidraty. Hidratoutvorennia ta osnovy rozrobky hazovykh hidrativ*. Dnipropetrovsk: Lithraf.
- Ganushevych, K. & Sai, K. (2013). Development of Gas Hydrate Reservoir in the Black Sea. *Young Petro*, (8), 45-50.
- Ganushevych, K., Sai, K., & Korotkova, A. (2014). Creation of Gas Hydrates from Mine Methane. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 505-509. <https://doi.org/10.1201/b17547-85>
- Haiko, H.I., & Biletskyi, V.S. (2015). *Hirnyctvo v istorii tsyvilizatsii*. Kyiv: Vydavnychi dim "Kyievo-Mohylianska Akademiia".
- Haiko, H.I., & Pyha, L.M. (2017). *Sposib vydobutku hazu z donnykh hazohidrativ*. Patent #117631. Ukraina.
- Khlystov, O.M., Grachev, M.A., & Nishio, Sh. (2013). *Sposob dobychi metana iz pridonnikh zalezhey tverdyykh gazogidratov*. Patent #2412337. Rossiya.
- Koltun, P., & Klymenko, V. (2016). Methane Hydrates – Australian Perspective. *Mining of Mineral Deposits*, 10(4), 11-18. <https://doi.org/10.15407/mining10.04.011>
- Kudrin, I.V., Orlyankin, V.N., & Kudrin, K.I. (2010). *Sposob dobychi gazov i presnoy vody iz podvodnykh gazogidratov snizheniem gidrostaticheskogo davleniya*. Patent #2402674. Rossiya.
- Ovchinnikov, M., Ganushevych, K., & Sai, K. (2013). Methodology of Gas Hydrates Formation from Gaseous Mixtures of Various Compositions. *Mining of Mineral Deposits*, 203-205. <https://doi.org/10.1201/b16354-37>
- Pedchenko, M., & Pedchenko, L. (2017). Analysis of Gas Hydrate Deposits Development by Applying Elements of Hydraulic Borehole Mining Technology. *Mining of Mineral Deposits*, 11(2), 52-58. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.052>
- Resources to Reserves 2013 – Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future*. (2013). Paris: International Energy Agency.
- Shnyukov, E.F., & Ziborov, A.P. (2004). *Mineral'nye bogatstva Chernogo morya*. Kyiv: OMOG NAN Ukrainy.
- Statistical Review of World Energy*. (2015). London: Centre for Energy Economics Research and Policy, Preprint Group Limited.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Показати системні особливості існуючих способів розробки, які створюють значні ризики інвестицій у видобуток метану газогідратів. Розкрити новий спосіб і концептуальний підхід до екранованої розробки метаногідратів.

Методика. Порівняльний техніко-економічний аналіз способів видобутку, конструктивні й технологічні обґрунтування.

Результати. Зменшення ризиків і значне скорочення коштів видобутку може бути досягнуте заміною локальних впливів на продуктивний пласт формуванням розлогої зони одночасної дисоціації газогідратного покладу й керованим виведенням отриманого газу у водний простір, екранований газозбірними оболонками.

Наукова новизна. Реалізується концепція одночасної дисоціації великих площ газогідратного покладу, управління цілеспрямованим процесом потрапляння вивільненого метану газогідратів у водний простір і накопичення його під розлогим газозбірним екраном, з якого він відводиться донним трубним транспортом.

Практична значимість. Запропонована концепція й новий спосіб екранованої розробки донних газогідратів, обґрунтовані технологічні етапи й конструктивні елементи його здійснення.

Ключові слова: розробка морських родовищ, газогідрати, дисоціація, екрануючі оболонки, газозбірний екран, гідророзрив пласта, теплоносії, донне газовідведення

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Показать системные особенности существующих способов разработки, которые создают значительные риски инвестиций в добычу метана газогидратов. Раскрыть новый способ и концептуальный подход к экранированной разработки метаногидратов.

Методика. Сравнительный технико-экономический анализ способов добычи, конструктивные и технологические обоснования.

Результаты. Уменьшение рисков и значительное сокращение средств добычи может быть достигнуто заменой локальных воздействий на продуктивный пласт формированием обширной зоны одновременной диссоциации газогидратной залежи и управляемым выводом полученного газа в водное пространство, экранированный газосборными оболочками.

Научная новизна. Реализуется концепция одновременной диссоциации больших площадей газогидратной залежи, управления целенаправленным процессом попадания освобожденного метана газогидратов в водное пространство и накопления его под раскидистым газосборным экраном, с которого он отводится донным трубным транспортом.

Практическая значимость. Предложенная концепция и новый способ экранированной разработки донных газогидратов, обоснованные технологические этапы и конструктивные элементы его осуществления.

Ключевые слова: *разработка морских месторождений, газогидраты, диссоциация, экранирующие оболочки, газосборный экран, гидроразрыв пласта, теплоноситель, донное газоотведение*

ARTICLE INFO

Received: 21 August 2017

Accepted: 26 September 2017

Available online: 30 September 2017

ABOUT AUTHORS

Hennadii Haiko, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Geobuilding and Mining Technologies, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Ave., 03056, Kyiv, Ukraine. E-mail: gayko.kpi@meta.ua

Liubov Pyha, PhD Student of the Department of Geobuilding and Mining Technologies, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Ave., 03056, Kyiv, Ukraine. E-mail: pyha_lyubov@ukr.net