

## **ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА НАКОПИЧЕННЯ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ У ЧОРНОМУ МОРІ**

**Сай К.С.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
к.т.н., доцент кафедри гірничої інженерії та освіти, [kateryna.sai@gmail.com](mailto:kateryna.sai@gmail.com)

Щорічно в Україні спостерігається тенденція зі збільшення споживання природного палива, скорочення запасів вугілля, газу й нафти у традиційних родовищах, коливання та постійне зростання цін на імпортовану вуглеводневу сировину, тому все більш актуальним є пошук і розробка альтернативних джерел енергії. В сучасних умовах необхідною є модернізація структури нафтогазового та вугільного комплексів держави, перехід на нові технології видобутку корисних копалин [1]. Шляхом вдосконалення механізмів розвитку енергетичного сегменту країни можливим є отримання додаткових енергетичних продуктів, зокрема газу вугільних родовищ та безпосередньо вугілля, яке на сьогодні досі залишається важливим енергоносієм, незважаючи на труднощі у процесі його видобутку [2].

На ряду з перспективними до розробки метаном вугільних родовищ, сланцевим газом та газом ущільнених пісковиків актуальним і своєчасним є одержання газу із газогідратних родовищ [3]. На сьогодні розробкою технології видобутку газу з покладів газових гідратів займаються передові країни світу – Індія, Канада, Китай, Німеччина, Норвегія, США, Японія та ін. Для України суттєвий інтерес становлять газогідратні поклади Чорного моря, оскільки запаси газу, що зосереджені в українській частині (20 – 25 трлн м<sup>3</sup>), у кілька разів перевищують існуючі запаси газу традиційних родовищ, що дозволить забезпечити Україну даним енергоносієм на кілька століть з урахуванням усіх

необхідних потреб як промислового комплексу держави, так і населення. Більше того, роль метану, яким володіє наша країна, вже найближчими роками може стати вирішальною у перерозподілі газового ринку. Тому впровадження новітніх технологій видобутку газу з альтернативних джерел енергії, до яких, у першу чергу, відносяться газогідратні поклади Чорного моря є стратегічним напрямом майбутнього розвитку енергетичного сектору [4, 5]. Проте для цього необхідно узагальнити особливості залягання газогідратних покладів, що впливатимуть на напрями і технології їх видобування.

Газові гідрати являють собою тверді льодоподібні кристалічні сполуки, утворені молекулами води та природного газу, в яких молекули води зв'язуються між собою водневими зв'язками і формують каркаси з обширними порожнинами усередині [6]. Здатність води утворювати газові гідрати пояснюється наявністю у ній водневих зв'язків. Між молекулами газу та води хімічних зв'язків не утворюється. Молекули-гості (гідратоутворювачі), розміщені у клітинах решітки, стабілізують систему, тому що сама по собі кристалічна решітка “господаря” (молекули води), якщо вона не заповнена мінімальною кількістю молекул газу, термодинамічно метастабільна [7].

Газогідрати утворюються при низьких температурах і високому тиску за умови достатньої кількості гідратоутворюючого газу і води. Властивості, притаманні газовим гідратам, унікальні. Один об'єм води при переході у гідратний стан зв'язує до 200 об'ємів метану. При цьому її питомий об'єм зростає на 26% (при замерзанні води її питомий об'єм зростає на 9%). 1 м<sup>3</sup> гідрату метану при тиску 2,63 МПа і температурі 0°C містить 164 м<sup>3</sup> газу. При цьому на частку газу припадає 0,2 м<sup>3</sup>, на воду – 0,8 м<sup>3</sup> [8].

Формування газових гідратів відбувається за наступних умов:

- правильна комбінація температури і тиску: як правило, формування гідратів обумовлюється досить низькою температурою і досить високим тиском;
- повинен бути присутнім газ-гідратоутворювач: метан, етан, пропан, вуглекислий газ або будь-який інший газ, здатний до гідратоутворення;

– достатня кількість води, необхідна для початку процесу гідратуутворення.

Накопичення газового гідрату, як правило, відбувається не у вільному просторі – морській воді, а в масиві донних порід. Важлива роль у процесі утворення природних газогідратів відведена параметрам тиску і температури, а також властивостями та особливостям середовища, у якому власне й відбувається процес гідратуутворення та подальшого гідратонакопичення.

Потужність газогідратних пластів коливається від сотень метрів (коли поклади розташовані на незначній глибині (менше 500 м)) до 1 км і більше (коли поклади знаходяться на великих глибинах). Постійним супутником і джерелом утворення природних газових гідратів може бути вільний газ, що знаходиться під газогідратним покладом. У деяких ділянках донних відкладень його концентрація настільки висока, що він починає проникати у вільні порожнечі між частинками породи. Оскільки газогідрати накопичуються в осадових породах, то ці породи стають непроникними. Утворюється замкнутий простір, здатний до самоущільнення, в якому накопичується газ, що прагне піднятися вгору. Чим більше вільного газу проникає до зони гідратуутворення, тим міцнішим стає газогідратний поклад. Після повного насичення газогідратного шару вільний газ може накопичуватися уже під ним.

Нижня лінія залягання газогідратних покладів визначається геотермічним градієнтом у донних породах. Близько 99% запасів газових гідратів знаходиться в акваторіях морів та океанів. В умовах суші також існує необхідне термобаричне поєднання тиску і температури, придатне для утворення гідратів природного газу та його гомологів. Варто відзначити, що у континентальних породах менше води і менше вільного простору, в якому формуються кристалогідрати [9]. Встановлено, що газогідратні накопичення у гірських породах існують у вигляді наступних кріогідратних структур: масивні (у піщаних ґрунтах); порфіруваті (у супіщано-суглинистих ґрунтах); лінзоподібно-шлірові (у глинистих ґрунтах).

Газові гідрати можуть бути цементом або просто заповнювати порожнечі без цементування зерен осадових відкладень. Зміцнення осадових порід

відбувається за рахунок наявності у них гідратів, виконуючих роль цементу. Також газогідрати можуть існувати у поровому просторі, не чинячи помітного впливу на жорсткість та міцність осадових порід. Утворення газових гідратів у морях в умовах донних порід припускає заповнення існуючих пустот не водою, а твердим газогідратним скелетом [10, 11]. Для оцінки енергетичного потенціалу газових гідратів важливим є визначення можливих варіантів їх знаходження в осадовій товщі та встановлення властивостей гідратовмісних пластів. Проаналізувавши існуючі дані про знахідки газогідратів у надрах Землі, можна зробити висновок, що гідрати газів існують в породах у вигляді дрібних включень, пучків, прожилок і масивних пластів.

Формування газових гідратів в осадових відкладеннях відбувається за двома різними варіантами гідратонакопичення:

– перший, коли газогідрати утворюються й накопичуються на контактах частинок породи, що веде до цементування скелета осадових відкладень;

– другий, коли утворення газових гідратів відбувається безпосередньо в пустотах і порах: гідрати практично не впливають на з'єднання часток породи, що призводить до ущільнення осадової товщі.

Узагальнені дані щодо умов формування та існування газових гідратів, дають підстави зробити висновок, що в умовах Чорноморського басейну переважають не чисті газогідратні поклади, а поклади неоднорідної структури, тобто такі, що містять певну частку алюмосилікатних включень. Ці аспекти необхідно враховувати при проектуванні технологій і параметрів розробки газогідратних покладів, зокрема методу впливу на газогідратне тіло, об'єму теплоносія, що подається, та зони дисоціації.

### Список літератури

1. Falshtynskyi, V., Saik, P., Lozynskyi, V., Dychkovskyi, R., Petlovanyi, M. (2018). Innovative aspects of underground coal gasification technology in mine conditions. *Mining of Mineral Deposits*, 12(2), 68-75. <https://doi.org/10.15407/mining12.02.068>

2. Petlovanyi, M.V., Lozynskyi, V.H., Saik, P.B., & Sai, K.S. (2018). Modern experience of low-coal seams underground mining in Ukraine. *International Journal of Mining Science and Technology*, 28(6), 917-923. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.05.014>
3. Бондаренко, В.И., Ганушевич, К.А., & Сай, Е.С. (2011). К вопросу скважинной подземной разработки газовых гидратов. *Науковий вісник НГУ*, (1), 60-66.
4. Bondarenko, V., Ganushevych, K., & Sai, K.S. (2012). Substantiation of technological parameters of methane extraction from the Black Sea gas hydrate. In *Szkoła eksploatacji podziemnej: materiały konferencyjne* (pp. 191-196). Krakow: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Akademia Górniczo-Hutnicza.
5. Bondarenko, V., Maksymova, E., Ganushevych, K., & Sai, K.S. (2013). Gas hydrate deposits of the Black Sea's trough: currency and features of development. In *Szkoła eksploatacji podziemnej: materiały konferencyjne* (pp. 66-69). Krakow: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Akademia Górniczo-Hutnicza.
6. Kvenvolden, K.A. (1994). Natural gas hydrates occurrence and issues. *Annals of the New York Academy of Sciences*, (715), 232-246.
7. Carroll, J. (2014). *Natural gas hydrates: a guide for engineers*. Oxford, United Kingdom: Elsevier, 340 p.
8. Makogon, Y.F. (1997). *Hydrates of hydrocarbons*. Tulsa, Oklahoma, United States: Pennwell Books, 482 p.
9. Makogon, Y.F. (2010). Natural gas hydrates – a promising source of energy. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2(1), 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2009.12.004>
10. Bondarenko, V., Sai, K., Ganushevych, K., & Ovchynnikov, M. (2015). The results of gas hydrates process research in porous media. *New Developments in Mining Engineering 2015*, 123-127. <https://doi.org/10.1201/b19901-23>
11. Bondarenko, V.I., & Sai, K.S. (2018). Process pattern of heterogeneous gas hydrate deposits dissociation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 21-28. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-2/4>