



3. Vysniauskas A., Bishnoi P. R. A kinetic study of methane hydrate formation // Chemical Engineering Science. – 1983. – Vol. 38. – №. 7. – P. 1061-1072.

4. Ribeiro Jr. C.P., Lage P.L.C. Modelling of hydrate formation kinetics: State-of-the-art and future directions // Chemical Engineering Science. – 2008. – Vol. 63. – P. 2007-2034.

5. Davies R. M., Taylor G. The mechanics of large bubbles rising through extended liquids and through liquids in tubes // Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences. – 1950. – Vol. 200. – №. 1062. – P. 375-390.
Теплопередача в двухфазном потоке /Под ред. Д. Баттеворса и Г. Хьитта: Пер. с англ.- М.: Энергия, 1980.- 328 с.

УДК 622.324.5

ГЕОМЕХАНІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ГАЗОГІДРАТНИХ ПОКЛАДІВ

К.С. Сай, К.М. Прокопенко

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

В умовах нестабільного становища на газовому ринку України, зокрема диверсифікації джерел вуглеводнів, особливо важливим є питання визначення перспектив енергетичної безпеки держави шляхом нарощування об'ємів видобування власного газу. На сьогодні в Україні частка імпортованого природного газу залишається високою у газовому балансі країни та перевищує 40%. Розвиток газовидобувної галузі України з урахуванням провідного досвіду іноземних держав, а також новітніх розробок українських вчених, здатен з часом вирішити питання енергетичної безпеки України. У зв'язку зі зростанням цін на нафту і газ використання альтернативних видів палива набуває все більшої актуальності. Найбільш комерційно підготовленим енергоносієм, здатним замінити нафтопродукти, є метан. На ряду зі сланцевим газом, метаном вугільних родовищ, газом пісковиків, газовим конденсатом та іншою вуглеводневою сировиною, яка залягає у нетрадиційних колекторах, значну увагу притягують газогідратні поклади [1-3].

Слід зазначити дослідження, направлені на розробку і впровадження технологій одержання газу, як додаткового енергоносія, шляхом підземної газифікації вугілля у складних



гірничо-геологічних умовах [4], адже традиційні технології видобутку вугілля з тонких пластів характеризується низькою ефективністю [5]. В даний час розробкою технологій видобутку газових гідратів займаються США, Англія, Японія, Китай, Німеччина, Норвегія, Росія та ін. Аналізом можливостей видобутку метану в Україні, зокрема в Чорному морі, займається ряд українських вчених [6-9]. Одним із перспективних способів розробки газогідратного покладу є вплив на нього активуючого агента, що призводить до дисоціації кристалічного тіла гідрату та виділення метану [10, 11]. Але недостатньо уваги в літературних джерелах приділено зміні напружено-деформованого стану газогідратного покладу, на який впливає агент (морська вода), що суттєво відображається на якості дисоціації. В роботі досліджується та оцінюється вплив тиску активуючого агента, що подається (води з поверхневих шарів Чорного моря), на напружено-деформований стан газогідратного тіла.

Для досліджень використано програмний пакет, що функціонує на основі методу кінцевих елементів, – ANSYS17.0. Розробка газогідратного тіла моделювалася для умов другого геоморфологічного елементу Чорного моря – материкового схилу – на глибині 700 м, де початковий тиск у газогідратному покладі становить 7 МПа. У цій зоні газогідратне тіло має достатню потужність, доцільну для промислового освоєння. Розміри вихідної моделі прийняті 50 × 50 × 75 м. Об'єкт, що моделюється, включає три складові частини: вміщуючі породи покрівлі й підшви (потужність покрівлі становить 25 м, підшви – 30 м), що представлені пісковиком (оскільки 87% розвіданих родовищ були виявлені саме в таких породах); газогідратне тіло потужністю 20 м (в природних умовах газогідратний поклад характеризується коливаннями за потужністю, однак з метою спрощення розрахунків розглядається пласт постійної потужності); видобувна свердловина діаметром 0,4 м (оскільки для розміщення обладнання й технічних засобів цього значення буде достатньо) і глибиною 40 м (з урахуванням потужності порід покрівлі та 2/3 потужності газогідратного тіла, що обумовлено схемою відпрацювання газогідратного покладу).

Свердловина представлена у моделі як імітоване тверде тіло, а вплив тиску активуючого агента процесу розкладання спрямований у напрямі газогідратного тіла. Для створення різниці тисків (агента і газогідратного тіла) морську воду подають під тиском 8 МПа, що перевищує існуючий рівноважний тиск у газогідратному покладі. В моделі закладено фізико-механічні властивості об'єктів моделювання згідно з роботою [11]. В якості активуючого агента використовується



морська вода, оскільки вона досить безпечна для навколишнього середовища, а також є у надлишку поблизу морських газогідратних покладів. Для води не існує коефіцієнта Пуассона, оскільки вона є нестисливою рідиною, згідно основних закону Архімеда, рівнянь Ейлера та Нов'є-Стокса, тому альтернативним параметром є об'ємний модуль пружності, рівний 2000 МПа для води. Температуру активуючого агента прийнято $+22^{\circ}\text{C}$, коефіцієнт конвекції – 600 Вт/мм^2 . Для контрольованості процесу дисоціації задається час впливу, рівний 20 годинам. Мінімальне значення потоку становить 100 Вт/мм^2 , а максимальне – 200 Вт/мм^2 . Оскільки науковий інтерес становить лише дія активуючого агента на гідрат, то встановлено жорстку фіксацію покрівлі, підосви та свердловини. Результатом дослідження є отримання епюру статичних напружень, які аналізуються в подальшому.

Встановлено, що за потужністю газогідратного тіла максимальний тиск формується на його контакт з вмшуючими породами покрівлі й підосви, і становить 20 МПа, а мінімальний – в діаметрі 37,5 м навколо свердловини з величиною 3,3 МПа. Це свідчить про те що, високопродуктивно реакція розкладання газогідрату протікає у зоні сфероїда діаметром 37,5 м, оскільки величина тиску в межах даної фігури нижче у порівнянні з початковим рівноважним тиском у покладі. Проте проблема впливу на межах газогідратного покладу все ще залишається невирішеною. Характер розподілу поля напружень за потужністю газогідратного тіла показує, що напруження у газогідратному тілі достатньо рівномірно змінюються від його покрівлі та підосви до центру за поліноміальною залежністю виду $\sigma = 0,18L^2 - 3,56L + 20,11$ при $R^2 = 0,99$. На відстані 6 м від покрівлі та підосви тиск знижується у 5 разів з 20 до 4 МПа, далі дещо зменшується і сягає мінімального значення 3,3 МПа та є постійним у центрі газогідратного тіла. За довжиною газогідратного тіла від видобувної свердловини напружений стан дещо змінюється від 3,3 до 6,5 МПа.

Для більш змістовних висновків щодо визначення продуктивної зони дисоціації газогідратного тіла отримана епюра його деформацій під впливом температури та тиску активуючого агента. Аналіз епюри деформацій моделі дозволяє стверджувати, що максимальні деформації спостерігаються на бокових межах гідратного покладу й становлять 10 – 11 м та зменшуються до його центру до 7 – 8 м за поліноміальною залежністю вигляду $U = -0,0004L^3 + 0,02L^2 - 0,53L + 11,09$ при $R^2 = 0,97$, у той час як мінімальні спостерігаються на контакті гідратного тіла та вмшуючих порід з величиною 1 – 2 м та збільшуються до 8 м у центрі за поліноміальною залежністю вигляду $U = -$



$0,08L^2 + 1,59L + 0,52$ при $R^2 = 0,96$. Деформації спрямовані від бокових меж у центр газогідратного тіла, що в свою чергу призводить до зміщення об'єму газогідрату в центр протікання реакції його розкладання.

Грунтуючись на отриманих даних моделювання, можна стверджувати наступне: якісна зона дисоціації під дією температури обмежена об'ємом тороїда діаметром 37,5 м, а продуктивний вплив тиском має місце у межах сфероїда аналогічного діаметру 37,5 м, при цьому якість протікання дисоціації підвищується, що дозволяє відпрацювати 87 – 91% представленого у моделі газогідратного тіла.

Комплексний підхід до впливу на поклад температурою і тиском є досить ефективним і перспективним, оскільки, оперуючи даними проведених досліджень, для заданого об'єму газогідратного тіла можливо мінімізувати витрати активуючого агента, що подається, грунтуючись на тому, що для прогріву граничних ділянок покладу не виникає необхідності збільшувати кількість агента та його температуру, що, в свою чергу, призводить до зниження ресурсо- та енерговитрат.

Література:

1. Kvenvolden, K.A. (1993). Gas Hydrates – Geological Perspective and Global Change. *Reviews of Geophysics*, 31(2), 173-187. <https://doi.org/10.1029/93rg00268>
2. Erslund, G., & Graue, A. (2010). *Natural Gas Hydrates*. Bergen, Norway: University of Bergen. <https://doi.org/10.5772/9838>
3. Wang, X., & Economides, M.J. (2011). Natural Gas Hydrates as an Energy Source – Revisited. In *International Petroleum Technology Conference*. Bangkok, Thailand: Bangkok Convention Centre Central World. <https://doi.org/10.2523/IPTC-14211-ms>
4. Lozynskiy, V., Saik, P., Petlovanyi, M., Sai, K., & Malanchuk, Y. (2018). Analytical Research of the Stress-Deformed State in the Rock Massif around Faulting. *International Journal of Engineering Research in Africa*, (35), 77-88. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.35.77>
5. Petlovanyi, M.V., Lozynskiy, 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>
6. Bondarenko, V., Ganushevych, K., & Sai, K. (2012). Substantiation of technological parameters of methane extraction from the black sea gas hydrate. *Materiały Konferencyjne "Szkoła Eksploatacji Podziemnej"*, 20-24.



7. Bondarenko, V., Maksymova, E., Ganushevych, K., & Sai, K. (2013). Gas hydrate deposits of the Black Sea's trough: currency and features of development. *Materialy Konferencyjne "Szkoła Eksploatacji Podziemnej"*, 66-69.
8. Shnyukov, E.F., Kobolev, V.P., & Pasynkov, A.A. (2013). *Gazovyy vulkanizm Chernogo morya*. Kyiv: Lohos.
9. 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>
10. 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>
11. Bondarenko, V., Sai, K., Prokopenko, K., Zhuravlov, D. (2018). Thermodynamic and geomechanical processes research in the development of gas hydrate deposits in the conditions of the Black Sea. *Mining of Mineral Deposits*, 12(2), 104-115. <https://doi.org/10.15407/mining12.02.104>

УДК 622.691.4

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ

М.В. Панчук, І.О. Мандрик, А.М. Панчук

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Запаси викопних паливних ресурсів в Україні обмежені, тому для задоволення наявного попиту, їх доводиться імпортувати в кількості приблизно 65% від потреб, що створює основну проблему енергетичної безпеки країни. Тому використання поновлюваних джерел енергії є одним з найважливіших напрямів енергетичної політики України, спрямованої на збереження традиційних паливно-енергетичних ресурсів та поліпшення стану навколишнього природного середовища. Збільшення обсягів використання відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі України дозволить підвищити рівень диверсифікації джерел енергоносіїв, що сприятиме зміцненню енергетичної незалежності держави.