**УДК:622.279.6**

*Лазєбна Ю. В.,*

*аспірантка кафедри нафтогазової інженерії та технологій,*

*асистент кафедри буріння та геології*

*Національного університету*

*«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,*

*ORCID* [*0000-0003-3863-006X*](https://orcid.org/0000-0003-3863-006X)*, e-mail:*[*jullyy93@gmail.com*](mailto:jullyy93@gmail.com)*,*

*Дмитренко В. І.,*

*к.т.н., доцент кафедри нафтогазової інженерії та технологій*

*Національного університету*

*«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,*

ORCID 0000000216782575, *e-mail:*[dmytr.v@gmail.com](mailto:dmytr.v@gmail.com),

Зезекало І. Г.,

д.т.н., професор *кафедри нафтогазової інженерії та технологій*

*Національного університету*

*«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,*

ORCID [0000-0002-9962-6905](https://orcid.org/0000-0002-9962-6905), *e-mail:*2012nadra@gmail.com

**Використання пінного розриву пласта для інтенсифікації розробки покладів ущільнених колекторів**

***Анотація.*** *У даній статті розглянуто технологію пінного розриву пласта, як альтернативу гідравлічному розущільненню низькопроникних гірських порід. Спираючись на світовий досвід руйнування ущільнених колекторів із застосуванням пінної речовини розриву визначено відмінності та переваги як узагальненого складу піни, так і технологічних результатів обраного методу в порівнянні із гідравлічним розривом пласта де речовиною розриву є рідина. Наведено недоліки існуючих пінних систем і вказано параметри, які вимагають подальшого удосконалення.*

***Ключові слова:*** *піна, розрив пласта, ущільнений колектор.*

*Lazebna Yu. V.,*

*graduate student of the Department of Oil and Gas Engineering and Technology,*

*assistant of the Department of Drilling and Geology*

*National University*

*"Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk",*

*ORCID 0000000216782575, e-mail*[*dmytr.v@gmail.com*](mailto:dmytr.v@gmail.com)*,*

*Dmytrenko V. I.,*

*Ph.D., Associate Professor of the Department of Oil and Gas Engineering and Technology National University*

*"Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk",*

*ORCID 0000000216782575, e-mail*[*dmytr.v@gmail.com*](mailto:dmytr.v@gmail.com)*,*

*Zezekalo I. G.,*

*Ph.D., Professor of the Department of Oil and Gas Engineering and Technology*

*National University*

*"Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk"*

*ORCID* [*0000-0002-9962-6905*](https://orcid.org/0000-0002-9962-6905)*, e-mail: 2012nadra@gmail.com*

**Experience in the use of foam fracturing to intensify the development of deposits of compacted reservoirs**

***Abstract.*** *This article considers the technology of foam fracturing as an alternative to hydraulic compaction of low-permeability rocks. Based on the world experience of destruction of compacted reservoirs with the use of foam rupture, the differences and advantages of both generalized foam composition and technological results of the chosen method in comparison with hydraulic fracturing where the rupture substance is liquid are determined. The shortcomings of the existing foam systems are given and the parameters that require further improvement are indicated.*

***Key words:*** *foam, formation rupture, compacted collector.*

Розробка неконвекційних покладів ущільнених колекторів вимагає особливих технологій, зокрема застосування методів інтенсифікації. Серед різноманітності таких методів найбільшої популярності набув гідравлічний розрив пласта [6, 15]. Даний метод характеризується задовільними результатами щодо покращення проникності породи-колектору, а відповідно збільшенням дебіту свердловини майже в два рази [1, 12], що є головною задачею. Попри значну ефективність, при потраплянні у пласт рідина розриву обумовлює такі ускладнення, як погіршення переміщення вуглеводнів по новоутвореним шляхам до свердловини, причиною чого є закупорювання тріщин продуктами розкладу речовин розриву та набухання глиновміщуючих гірських порід при контакті з водою; забруднення надр хімічними складниками, які не виносяться на поверхню після процедури руйнування пласта; поглинання рідини розриву, а це затрати великої кількості рідини, у тому числі і водних ресурсів. Відповідно гідравлічний розрив пласта є досить трудомістким та затратним.

З метою усунення вище вказаних проблем сучасні компанії починають застосовувати технології розриву зі значно нижчим умістом рідини або взагалі безрідинні методи. До таких методів відносяться, наприклад, пневморозрив, розрив пласта з використанням спіненої рідини або пінних систем.

Світовий досвід показує успішне застосування пінного розриву пласта, як методу виклику притоку флюїду до свердловини та інтенсифікації розробки родовищ, де продуктивні горизонти складені сланцями, піщано-глинистими породами, теригенними щільними пісковиками. Цей метод використовується в Канаді [13], США [7], Російській Федерації [3].

Наприклад, пінні системи використовуються для низькопроникних, чутливих до води пісковиків та сланців у Вірджинії та Кентукі, де поклади знаходяться в умовах низьких пластових тисків. При розущільненні гірських порід із застосуванням піни було отримано значно вищі притоки флюїдів у порівнянні із звичайним гідравлічним розривом пласта [7]. На Південно-Приобському родовищі Західного Сибіру пінний розрив пласта використовувався для збільшення притоку вуглеводнів із малопотужних ньзькопроникних пісковиків із перешаруванням глинистих прошарків. Для даного родовища було використано пінну речовину розриву, яка містила у складі до 60 % азоту. У результаті дебіт свердловин, у яких застосували пінний розрив, збільшився до 50 % у порівнянні з іншими свердловинами [3, 4, 12]

Відмінність пінного розриву пласта полягає у першу чергу в «полегшеному» складі речовини розриву. Це виражається у меншій кількості рідини, яку закачують у свердловину, нижчій концентрації хімічних складників, таких як загусники, поверхнево-активні речовини, інгібітори набухання і т.п., та більш природнім складом добавок.

При приготуванні пінної речовини розриву до 70 % водної основи замінюють вуглекислим газом або азотом [3, 13, 14]*.* Таке рішення дає можливість значно зменшити об᾽єм рідини, що закачується в пласт, а це в свою чергу зменшує кількість речовин, які залишаються в новоутворених та первинних пустотах після процесу руйнування пласта, знижує відсоток закупорювання пор та утворення кірок, покращує показники при використанні для глинистих мінералів. Як показує досвід, застосування при гідравлічному розриві піни суттєво прискорює освоєння свердловини та розробку покладу. Пояснюється це впливом енергії вивільненого газу із пінної системи після її руйнування. Газ, що входить до складу піни, після її розпаду досить швидко рухається до устя свердловини виносячи із собою технічну рідину і шлам. Таким чином відбувається самочинне очищення новоутворених тріщин та свердловини без застосування додаткових маніпуляцій, що не тільки прискорює, а ще й здешевлює процедуру розущільнення низькопроникних колекторів[1, 3, 5, 8, 9, 10, 12].

Окрім води і газу для приготування пінних систем, із метою пристосування характеристик піни до конкретних умов, використовують різноманітні складники. По-перше, додають поверхнево-активні речовини, що відіграють роль піноутворювачів - це може бути розчин савенолу і стинолу. По-друге, для підтримання стійкості піни зі зміною термобаричних умов, яка необхідна для якісного руйнування гірських порід, перенесення проппанту і запобігання передчасному руйнуванню пінної системи, додаються стабілізатори – ксантанова камедь, гуарова смола чи карбоксиметилцелюлоза [9, 10]. У залежності від мінералого-петрографічного складу продуктивної товщі при необхідності в рецептуру пін можуть входити інгібітори набухання, наприклад, KCl. За умов, коли температура продуктивного пласта сягає >60°, у розчин поверхнево-активних речовин вводять суміш лужних солей алкіл-амідпропилової групи, які підтримують стабільність пінної системи і попереджують передчасний її розпад на газ і воду [3, 13, 14].

Для утримання тріщин у відкритому стані, як і при звичайному гідравлічному розриві пласта, використовують проппант різноманітного типу залежно від особливостей продуктивної товщі та характеристик новоутворених каналів.

Отже максимальну ефективність пінних систем розриву обумовлює рецептура піни, яка забезпечує найголовніші властивості піни - в᾽язкість та стабільність. Необхідно звернути увагу на результативність можливих піноутворювачів та стабілізаторів. Проаналізувавши певну кількість складів пінних систем розриву пласта, котрі можливо використовувати для ущільнених колекторів, відзначено наступні висновки авторів−розробників рецептур [2, 3, 9, 10, 12]

У якості стабілізаторів використовуються такі компоненти, як ксантанова або гуарова камедь, карбоксиметилцелюлоза, які мають природній склад і є екологічно безпечними, розчини савенолу, стенолоу чи софіру [9, 10]. За спостереженнями [Кондрат Р. М., Дремлюх Н. С., Угриновський А. В., Ксенич А. І. Експериментальні дослідження характеристик процесу винесення твердої фази з вибою газової свердловини застосуванням пінних систем. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2017. № 2(63). С. 90−96.]визначено, що найбільш стійка піна утворюється при додаванні у розчин савенолу чи стинолу і ксантанової смоли. При цьому піна не руйнується до температури 60°С, а отже є стійкою[9, 10].

Клавдія Вілк у своїй роботі «Experimental and Simulation Studies of Energized Fracturing Fluid Efficiency in Tight Gas Formations» відзначає ефективність гуарової камеді. Дослід проводився для газонасичених пісковиків. Результати показали, що в᾽язкість такої пінної речовини зі збільшенням температури до 60º у 3 – 4 рази вища, ніж у непінних рідин розриву. До того ж при такому способі розущільнення продуктивної товщі спостерігалося краще перенесення проппанту (за рахунок високої стійкості пінної системи), на 50 % менше витрат рідини, прискорення зворотного потоку використаної технічної рідини [5].

Автори патенту UA85462, де описується піноутворювач для видалення вуглеводневого конденсату, відзначають збільшення стійкості піни та покращення піноутворення у цілому при введенні у склад поліметилвінілсілоксану та реагенту РП – 1К [11].

Отже, у порівнянні із речовинами розриву, котрі готуються на основі рідин, піни мають суттєві переваги − висока стійкість, що перешкоджає передчасному випадінню із неї проппанту [2, 3, 9, 13]; в 4 рази більша вʼязкість при підвищені температур [2, 3]; можливість регулювання щільності у великих діапазонах [3, 10]; переваги використання пінного розриву для чутливих до води гірських порід [2]; швидке очищення тріщин та свердловини за рахунок вивільненого газу, а це прискорення освоєння свердловини; можливість розробки покладу фонтанним способом [3, 12, 13]; більш екологічний склад [10, 12].

Існують показники, котрі потребують удосконалення складу пінних систем для більш ефективного використання технології при розриві ущільнених колекторів. Недоліком деяких рецептур є зниження стабільності піни зі збільшенням пластової температури, що призводить до її передчасного розпаду на газ та воду. В той же час при підвищенні температур коефіцієнт розширення піни збільшується. І навпаки, при збільшенні у складі пінної системи стабілізатора стабільність піни підвищується, а коефіцієнт розширення знижується [2, 3, 12]. Також іноді виникає зниження витоку пінної рідини, що може бути спричинено проникненням газових бульбашок у пори породи-колектору і закупорюванням ними шляхів переміщення вуглеводнів [5]. Тому при розробці пінної системи необхідний ретельний контроль діаметра бульбашок газу. Розмір обвʼязково має враховувати особливості пор газовміщуючої породи та забезпечувати безперешкодне проникнення піни крізь пустоти ущільнених колекторів і новоутворені системи тріщин.

Пінна система розриву має задовольняти такі вимоги:

* густина піни має відповідати утворенню необхідного розміру тріщин;
* можливість підтримання стабільності пінної системи при перепадах температур і тисків;
* можливість регулювання стійкості піни відповідно до часу, необхідного для виконання певного обʼєму роботи (це попередить передчасний розпад пінної системи на рідину і газ та невчасне випадіння розклинювачу);
* діаметр бульбашок піни має бути менший ніж діаметр пор породи-колектору (щоб уникнути закупорювання каналів бульбашками газу).

Технологія пінного розриву пласта успішно застосовується зарубіжними компаніями. Як показує практика [1,3, 4, 5, 7, 12, 13] використання піни у якості речовини розриву дає кращі результати, ніж звичайний ГРП - вона прискорює і полегшує розробку покладу, здешевлює процес освоєння та інтенсифікації. Зважаючи на особливості геологічних умов залягання покладів ущільнених колекторів у межах нашої держави, є необхідність удосконалення складу пінних систем із метою пристосування їх фізико-хімічних властивостей саме для розущільнення низькопроникних теригенних гірських порід на території України. Тобто необхідно досягти вищої стійкості піни та її стабільності за високих температур і тисків у цілому. Це сприятиме більш масштабному розушільненню продуктивного пласта, запобігатиме передчасному розпаду піни, забезпечить більш рівномірне розповсюдження проппанту в тріщинах.

***Література***

1. *Abdelaal A., Saleh Aljawad M., Zuhair  Alyousef, Almajid M. M. A review of foam-based fracturing fluids applications: From lab studies to field implementations. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2021. № 95. <URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875510021004352?via%3Dihub> (звернення 27.10.2021).*
2. *Байдак М. В., Будьоний О. П. Сучасні технології добування сланцевого газу. Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма ІІІ Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції. Ч. 1. (22-25 квітня 2014 р., Суми). Суми: СумДУ, 2014. С. 27-28.*
3. *Бакиров И. М., Салимов В. Г., Салимов О. В., Насыбуллин А. В., Зиятдинов Р. З. Пат. № 2457323, Российская Федерация. Способ гидроразрыва низкопроницаемого пласта с глинистыми прослоями. 2012.*
4. *Барышников А. В., Ямилов Р.  Р., Сурков А. В., Верещагин С. А., Опарин М. В., Мельников Д. В. Результаты проведения пенного гидроразрыва пласта на Южно-Приобском месторождении. Нефтяное хозяйство. 2011. № 1. С. 76-77.*
5. [*Wilk*](https://sciprofiles.com/profile/749986)*Klaudia. Experimental and Simulation Studies of Energized Fracturing Fluid Efficiency in Tight Gas Formations.* Energies. *2019. №*12*(23) URL:*[*https://www.mdpi.com/1996-1073/12/23/4465/htm#B19-energies-12-04465*](https://www.mdpi.com/1996-1073/12/23/4465/htm#B19-energies-12-04465) *(звернення 27.10.2021).*
6. *Возний В. Р., Дудра О. В. Аналіз методів інтенсифікації припливу вуглеводнів на родовищах НГВУ «Бориславнафтогаз» і оцінка коефіцієнта нафтогазовилучення. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2013. № 1(46). С. 215­225.*
7. [*Gaydos J. S.,*](javascript:;) *[Harris](javascript:;) P. C. Foam Fracturing: Theories, Procedures And Results. Unconventional Gas Recovery Symposium, Pittsburgh. 1980. URL:* [*https://doi.org/10.2118/8961-MS*](https://doi.org/10.2118/8961-MS) *(31/10/21) (звернення 27.11.2-21).*
8. *Elgibaly A. A, Salem A. M., Soliman Y. A. Improving hydraulic fracturing effectiveness in depleted and low pressure reservoirs using N2 energized fluids. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. 2021. № 1. C. 857–873.*
9. *Кондрат Р. М., Дремлюх Н. С., Угриновський А. В., Ксенич А. І. Експериментальні дослідження характеристик процесу винесення твердої фази з вибою газової свердловини застосуванням пінних систем. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2017. № 2(63). С. 90−96.*
10. *Kondrat R. M., Dremliukh N. S., Uhrynovskyi A. V. Study of foam formation process with use of water solutions of foam-forming pairs and foam stabilizers. Науковий вісник НГУ, 2017 № 3. С. 20−26.*
11. *Піноутворювач "Реагент для піни рп-1к" для видалення вуглевод невого конденсату з привибійної зони пласта, вибою та стовбура свердловини. Щербина* *О. В., Фик І. М., Каплуновський А. О., Щербина В. Г. Приватне підприємство "Науково-виробниче підприємство АЛЕКСС-А". Опис до патенту на винахід. 19)UA (11)85462 (13)C2. 26.01.2009, Бюл.№ 2, 2009 р.*
12. *Платонов С. Е. Технология пенного гидроразрыва пласта на территории Западной Сибири. Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. LIX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 11(58). Ч. 1. URL: https://sibac.info/archive/technic/11(58).pdf (звернення 27.10.2021).*
13. *Shehzad Ahmed. CO2 Foam as an Improved Fracturing Fluid System for Unconventional Reservoir. Exploitation of Unconventional Oil and Gas Resources. 2019. URL:<https://www.intechopen.com/chapters/66559> (звернення 27.10.2021).*
14. *Ткаченко М. В. Новітні рішення в ГРП. Нафта і газ. Наука – освіта – виробництво: шляхи інтеграції та інноваційного розвитку. Дрогобич: ТзОВ «Трек- ЛТД», 2019. С. 6–9.*
15. *Хомин В., Цьомко В., Гоптарьова Н., Броніцька Н., Трубенко А. Геолого-промислові особливості розкриття та випробування слабопроникних газонасичених відкладів. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 2019. Вип. 1 (84). C. 42­48.*