

УДК 681.2:532.64

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225212

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИЛУЧЕННЯ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТУ З ПЛАСТА В УМОВАХ РЕТРОГРАДНОЇ КОНДЕНСАЦІЇ

Дорошенко В. М., Тітлов О. С., Купер І. М.

Об'єктом дослідження є газоконденсатні родовища на пізній стадії їх розробки в умовах зниження пластового тиску нижче за тиск виділення конденсату з газоподібного стану. Пластові втрати конденсату при розробці покладів на режимі виснаження можуть сягати до 78 %, що спричиняє необхідність застосування різноманітних методів дії на пластову систему для його вилучення. Найбільш прийнятним методом є застосування сайклінг-процесу шляхом зворотного нагнітання в пласт (рециркуляція) видобутого та відсепарованого газу. Суттєвим недоліком сайклінг-процесу є тривала консервація запасів газу внаслідок його зворотного нагнітання в пласт та значними капітальними та експлуатаційними витратами на закачування сухого газу. З технологічної точки зору використання сайклінг-процесу стримується низьким значенням коефіцієнту охоплення пласта витискуванням. Сухий газ, який нагнітається, має меншу в'язкість за газоконденсатну суміш, що вилучається з покладу, і в умовах неоднорідної будови колектору має місце швидкий його прорив від нагнітальних до видобувних свердловин і, як результат, зменшення повноти вилучення конденсату. Як альтернативу до сайклінг-процесу для вилучення ретроградного конденсату з пласта запропоновано його витискування водою.

В роботі запропоновано уніфіковану систему заводнення, власне витискування конденсату водою або газоводяною сумішшю. Це досягається керованою експлуатацією нагнітальних та видобувних свердловин. Спочатку із свердловин відбирають газ, а з появою води в продукції застосовують методи інтенсифікації її винесення на поверхню. При необхідності свердловини переводяться в режим форсованого відбору. Наведено результати лабораторних досліджень, які виконувалися на реальних зразках кернового матеріалу Андріяшівського газоконденсатного родовища (Україна). Обґрунтовано напрямки реалізації газоводяної репресії на газоконденсатних родовищах з паралельним використанням зацмленого пластового газу, наявного в покладі. Технологія дозволяє видобути до 50 % конденсату, що випав у пласті.

Ключові слова: газоконденсатні родовища, ретроградний конденсат, сайклінг-процес, уніфікована система заводнення, газоводяна репресія.

1. Вступ

Газоконденсатні родовища, як і суто газові, розробляються переважно в режимі виснаження пластової енергії. Розробка виснажених покладів здійснюється, як правило, при тисках, значно нижчих за тиск початку конденсації пластової суміші та характеризується формуванням значних

залишкових обсягів ретроградного конденсату. Конденсат стає практично нерухомим внаслідок його низької фазової проникності. При початковому вмісті важких вуглеводнів у газі до 300–600 г/м³, насиченість пор пласта конденсатом, що випав з газу, як правило, не перевищує 10–20 % і в більшості випадків нижча від критичного (рівноважного) значення, за якого він стає рухомим [1, 2]. Рух конденсату частково відбувається тільки в обмежених за розмірами привибійних зонах пласта, власне в радіусі депресійної лійки. Разом з тим, дія капілярних та гравітаційних сил при виснаженні покладу спричиняє утворення в пласті техногенної конденсатної облямівки [3]. Результати лабораторних, аналітичних та промислових досліджень свідчать про те, що ретроградна конденсація вуглеводневої суміші негативно впливає практично на всі технологічні процеси видобутку як конденсату, так і газу. Пластові втрати конденсату при розробці газоконденсатних родовищ на режимі виснаження складають в середньому 60–78 % [4], а за іншими дослідженнями – 40–70 % [5], що цілком узгоджується.

Насиченість колектору конденсатом, як правило, набагато нижча за критичні значення насичення колектору рідкою фазою з огляду на її рухливість.

Ці явища, в поєднанні з низькими енергетичними характеристиками пласта, викликають суттєві перепони до вилучення на поверхню залишкових запасів ретроградного конденсату.

Розрізняють пасивні та активні способи розробки газоконденсатних родовищ. Пасивні способи засновані на поступовому виснаженні пластової енергії та впливають на неї тільки зміною технологічних режимів роботи видобувних свердловин. Активні способи передбачають підтримання енергії пласта шляхом дії на пластову систему через мережу нагнітальних і видобувних свердловин, забезпечуючи збільшення конденсатовилучення на 15–20 % [6]. В цьому випадку родовище протягом деякого часу розробляється на виснаження, а потім для підтримання або підняття значень пластового тиску в поклад нагнітається робочий агент (вуглеводневі або неуглеводневі газу, їх суміші, вода, вода з газом).

Прийнятним способом вилучення конденсату, що випав у пласті є сайклінг-процес [7, 8], який реалізується шляхом зворотного нагнітання в пласт (рециркуляція) видобутого та відсепарованого газу. Ефективність нагнітання сухого газу залежить від наявних запасів газу та конденсату, питомого вмісту конденсату в газі, виду та характеру фазової діаграми, кількості видобувних і нагнітальних свердловин, режимів їх роботи та розташування на структурі та площі газоносності. Безперечно сайклінг-процес забезпечує підвищення конденсатовилучення, але водночас для нього характерна тривала консервація запасів газу внаслідок його зворотного нагнітання в пласт та значними капітальними та експлуатаційними витратами на закачування сухого газу. Тому, сайклінг-процес реалізовано лише на 26 родовищах США і на 2 – в Україні.

Альтернативою зворотному нагнітання сухого вуглеводневого газу в пласт може бути штучне заводнення газоконденсатних покладів [9]. Сутність методу полягає в нагнітанні води в пласт з метою підтримання пластового тиску вищим за тиск початку конденсації. Однак і цей метод не отримав

широкого застосування з огляду на можливий прорив води до видобувних свердловин та обводнення ділянок пласта, насичених газоконденсатною сумішшю з можливим защемленням газу та зменшенням коефіцієнту його вилучення [10]. Кількість защемленого газу залежить від низки геолого-фізичних чинників, таких як пористість, проникність, неоднорідність пласта, темп і рівномірність відбору газу за площиною та потужністю пласта. До того ж, за промисловими даними [11] витискування водою з пористого середовища ретроградного конденсату спричиняє збільшення його молекулярної маси, густини та в'язкості.

Отже, при усіх позитивних і негативних рисах, заводнення є одним з перспективних напрямів підвищення вуглеводневилучення при розробці газоконденсатних покладів в умовах ретроградної конденсації [12]. Ідея нагнітання води в газоконденсатний поклад для витискування рідкого конденсату не є новою [4, 5, 13], але залишається дискусійною. З одного боку, вона приваблює відносно простотою реалізації, а з другого – насторожує відносно можливих втрат газу та конденсату в пласті. Останнім часом відкрито газоконденсатні поклади на глибинах понад 3000 м з високим конденсатогазовим фактором і високою густиною пластового флюїду. Для таких покладів використання технології заводнення стає більш привабливим методом стосовно збільшення коефіцієнту конденсатовилучення. Тому дослідження, спрямовані на вивчення процесів та розробки технологічних прийомів вилучення ретроградного конденсату з пласта, залишаються актуальними та мають як теоретичне, так і прикладне значення.

Таким чином, *об'єктом дослідження* обрано газоконденсатні родовища на пізній стадії їх розробки в умовах зниження пластового тиску нижче за тиск виділення конденсату з газоподібного стану. *А мета роботи* полягає у розробці технологічних прийомів вилучення ретроградного конденсату, який випав у пласті в процесі розробки родовища та обґрунтування перспективності застосування водогазової репресії з використанням защемленого пластового газу.

2. Методика проведення досліджень

Дослідження виконано на теоретичному (угруповання та аналіз джерел інформації) та експериментальному рівнях з використанням стандартної установки для вивчення зразків порід (керна) в умовах, наближених до реальних щодо пластових тисків і температур. В процесі досліджень [14] на реальних кернях Андріяшівського газоконденсатного родовища (Україна) виконано серію експериментів, спрямованих на вивчення процесу витискування конденсату створенням водогазової репресії як з попереднім закачуванням об'ємівки вуглеводню, так і без неї.

Модель пласта (керна) під вакуумом заповнювалася водою та продувалася азотом. Після створення залишкової водонасиченості, модель вакуумувалася та насичувалася стабільним конденсатом, який в подальшому витискався нестабільним (сирим) конденсатом. Після насичення пористого середовища конденсатом, азот заміщувався природним газом. Далі, газоконденсатна суміш витискалася пластовою водою – розчином хлористого натрію мінералізацією

100 кг/м³. Газорідинна суміш на виході з моделі проходила сепарацію для вимірювання об'ємів її інгредієнтів. Таким чином визначався коефіцієнт залишкової конденсатонасиченості та коефіцієнт витискування конденсату водою як на момент прориву води з моделі, так і після її тривалого промивання до завершення виносу конденсату. Насиченість пористого середовища окремими фазами визначалася за їх балансовим співвідношенням.

На другому етапі досліджень, перед нагнітанням газоконденсатної суміші, модель заповнювалася сирим конденсатом, який витискувався доки на виході з моделі його параметри не набували початкових значень на вході в модель. Після цього, крізь модель при тиску 30 МПа та температурі 90 °С прокачувалась газоконденсатна суміш. Отже, модель пласта в процесі досліджень насичалася газом, залишковою водою та конденсатом, що імітувало умови, наближені до реальних.

3. Результати досліджень та їх обговорення

Відомо, що в реальному поровому просторі відбувається фільтрація складної багатофазної системи та при витискуванні рідкого конденсату газом чи водою мають місце міжфазні масопереноси, в результаті чого властивості рідкої фази та вміст конденсату в газі можуть змінюватися. Однак на першому етапі досліджень такі процеси не враховувалися, їх можна оцінити лише складними розрахунками з використанням рівнянь багатокомпонентної фільтрації.

Експериментальні дослідження процесів витискування газоконденсатної суміші водою виконувалися на керні при тиску 30 МПа та температурі 90 °С. Коефіцієнти витискування газу $K_{вит.г.}$ та конденсату $K_{вит.к.}$ визначалися балансовим методом:

$$K_{вит.г.} = \frac{Q_{г вид} - Q_{к вид} \cdot S}{V_{мод} - j \cdot \rho_{г} (1 - Sq)}$$

$$K_{вит.к.} = \frac{(Q_{к вид} - Q_{г вид} q) \beta}{V_{мод} \rho_{к} (1 - Sq)}$$

де $Q_{г вид}$, $Q_{к вид}$ – видобутий із моделі газ та конденсат в стандартних умовах, см³; S – газонасиченість пластового конденсату, частка одиниці; $V_{мод}$ – поровий об'єм моделі, см³; j – величина, обернена до об'ємного коефіцієнту газу; $\rho_{г}$, $\rho_{к}$ – насиченість газом, конденсатом, частка одиниці; β – об'ємний коефіцієнт пластового конденсату, частка одиниці; q – вміст конденсату в газі, що видобувається, г/см³.

Експериментальні дослідження виконано у трьох напрямках:

- 1) витискування конденсату водою;
- 2) витискування конденсату за методом циклічної закачки;
- 3) витискування за схемою вода–газ.

На рис. 1 показано результати витискування конденсату дистильованою водою. З метою підвищення залишкового конденсатонасичення (створення рухливого валу конденсату) перед заводненням закачувався конденсат в кількості 10 % від об'єму пор. Як видно, коефіцієнт конденсатовитискування

склав лише 4 % (рис. 1, лінія 1). Отже, звичайне заводнення газоконденсатних родовищ, навіть з попереднім закачуванням вуглеводнів, є малоефективним.

Для вивчення спільної дії води та газу (водогазова репресія) експеримент було продовжено (рис. 1, лінія 2). Як видно, водогазова репресія дозволяє суттєво збільшити ступінь вилучення ретроградного конденсату, навіть після звичайного заводнення (коефіцієнт витискування конденсату досягнув 43 %).

В наступному експерименті (рис. 1, лінія 3) водогазова репресія розпочиналася одразу після закачування 10 % об'ємів конденсату. Узагальнені результати цієї серії досліджень свідчать, що такий підхід забезпечує збільшення коефіцієнту витискування ретроградного конденсату до 80 %.

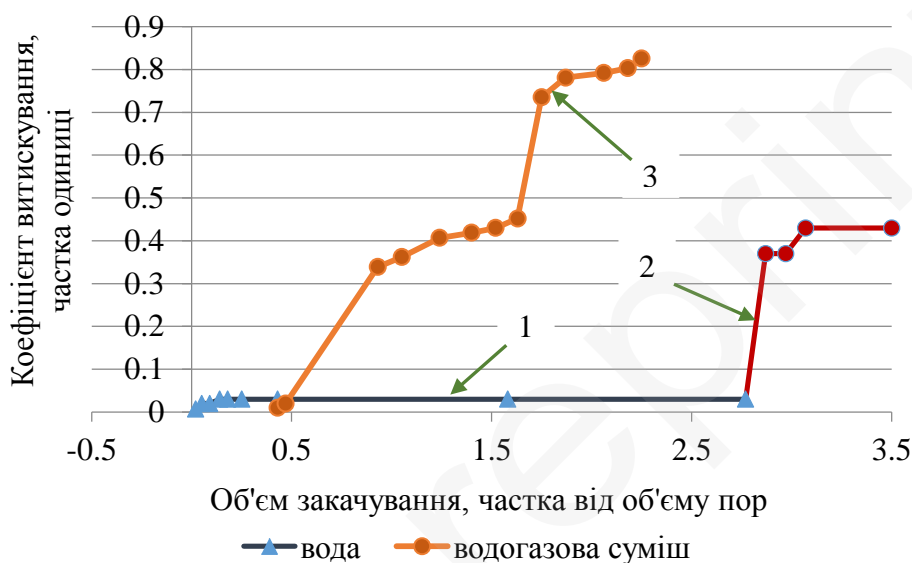


Рис. 1. Витискування конденсату з газоконденсатної моделі:

1 – водою; 2 – після неї водогазовою сумішшю; 3 – водогазовою сумішшю без попереднього нагнітання води

Закачування перед фронтом води об'ємів вуглеводневого розчинника, водогазових сумішей, розчину поверхнево активних речовин (ПАР) і послідовне нагнітання водного розчину ПАР і газу сприяють підвищенню коефіцієнту витискування конденсату в порівнянні із закачуванням тільки води. Так, в роботі [15] запропоновано розробку газоконденсатного покладу, що експлуатується в умовах зниження пластового тиску нижче від тиску конденсації, здійснювати з нагнітанням об'ємів рідких вуглеводнів (вуглеводневий конденсат, легка нафта), яка проштовхується одночасно або по чергову вуглеводневим газом і водою. При цьому об'єм продукції, що відбирається з пласта, повинен не менше як в три рази перевищувати об'єм реагентів, що нагнітаються в пласт.

Оскільки реалізація водогазової репресії вимагає, як і сайклінг-процес, значної кількості газу та відповідного устаткування, розглянуто також можливість вилучення ретроградного конденсату з виснаженого пласта за допомогою наявного в покладі защемленого газу [16]. В цьому випадку конденсат спочатку

витискався водою, а потім, до прориву води з моделі, систему розгазовували, зменшуючи тиск на 25 % нижче від тиску початку випадіння конденсату та знову продовжували витискування конденсату водою (рис. 2).

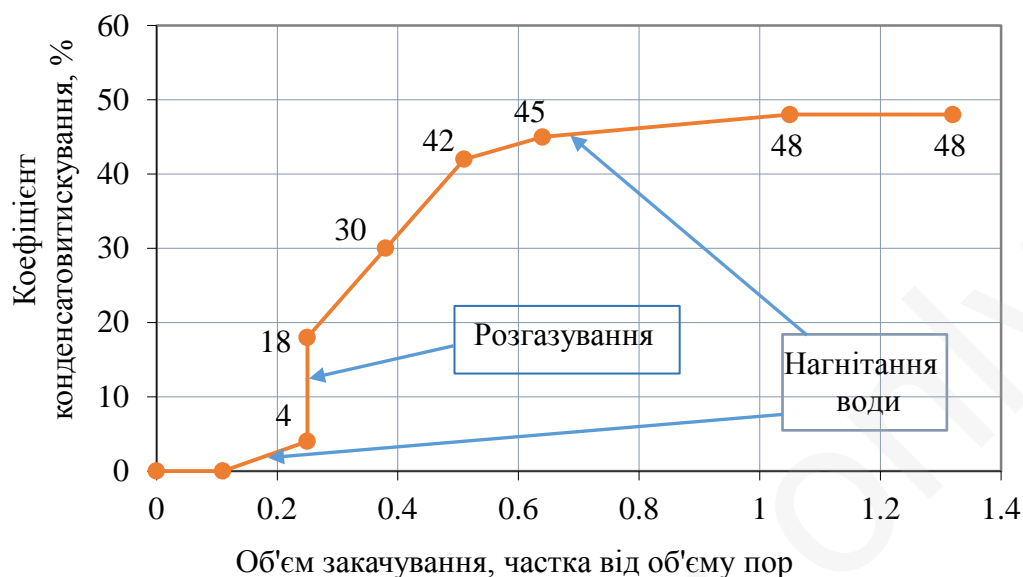


Рис. 2. Витискування конденсату водою (до прориву води), зниженням тиску до 0,25 від тиску конденсації та подальше витискування водою

Архітектура експерименту побудована на перманентному витискуванні ретроградного конденсату водою, припиненні витискування та очікуванні розгазування системи з активізацією роботи защемленого газу та продовження нагнітання води. Така процедура (рис. 2) дозволяє видобути біля 14 % ретроградного конденсату дією защемленого пластового газу та 30 % – подальшим нагнітанням води.

4. Висновки

Виконані аналітичні (оглядові) та експериментальні дослідження свідчать, про доцільність застосування водогазової репресії з використанням газу, що знаходиться в покладі родовища. Це дозволяє вилучити до 50 % конденсату, що випав в пласті. При цьому для забезпечення рухливості конденсату доцільно перед початком водогазової репресії закачати об'ємівку конденсату в розмірі 2–3 % від об'єму порового простору пласта. Отримані результати є допоміжною основою при проектуванні та впровадженні технологічного процесу на реальному покладі чи родовищі.

Література

1. Закиров, С. Н. (1998). *Разработка газовых, газоконденсатных и нефтегазо-конденсатных месторождений*. Москва: Струна, 628.
2. Кондрат, Р. М. (1992). *Газоконденсатоотдача пластов*. Москва: Недра, 253.

3. Кашуба, А. В. (2011). О возможности образования техногенной оторочки ретроградного конденсата при разработке газоконденсатных залежей. *Вестник ОГУ, 16 (135), 52–54.*
4. Закиров, С. Н. (1989). *Теория и проектирование разработки газовых и газоконденсатных месторождений.* Москва: Недра, 330.
5. *Технический семинар общества инженеров нефтяников «Конденсатоотдача газоконденсатных месторождений»* (2008). SPE Society of Petroleum Engineers. Москва.
6. Закиров, С. Н., Кондрат, Р. М. (1990). Активное воздействие на процесс разработки месторождений природных газов с целью повышения углеводородоотдачи пластов. *Разработка газоконденсатных месторождений. Секция 3 – Разработка нефтегазоконденсатных месторождений.* Краснодар, 24–28.
7. Юнусова, Л. В., Волков, А. Н., Панкратова, Е. И., Морев, А. И. (2012). Разработка мероприятий по повышению эффективности технологии активного воздействия на пласт на Вуктыльском НГКМ. *Газовая промышленность, 5, 29–32.*
8. Уляшев, В. Е., Попон, А. А., Дементьев, Д. А. (2005). Оценка возможности доизвлечения ретроградного конденсата из обводненного пласта путем прокачки «сухого» газа. *Научные проблемы и перспективы нефтегазовой отрасли в Северо-Западном регионе России: Ч. 2. Разработка и эксплуатация месторождений. Комплексные исследования пластов и скважин.* Ухта, 184–194, 222–223.
9. Agarwal, R. G., Al-Hussainy, R., Ramey, H. J. (1965). The Importance of Water Influx in Gas Reservoirs. *Journal of Petroleum Technology, 17 (11), 1336–1342.* doi: <http://doi.org/10.2118/1244-pa>
10. Lutes, J. L., Chiang, C. P., Rossen, R. H., Brady, M. M. (1977). Accelerated Blowdown of a Strong Water-Drive Gas Reservoir. *Journal of Petroleum Technology, 29 (12), 1533–1538.* doi: <http://doi.org/10.2118/6166-pa>
11. Ширковский, А. И. (1979). *Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений.* Москва: Недра, 300.
12. Ривас-Гомес, С. (1984). Руководитель лаборатории физики пласта компании «Пемекс», Мексика. Заводнение газоконденсатных пластов. *Нефть и газ за рубежом, 4, 16–22.*
13. Бурачок, О. В. (2007). Дослідження можливості витіснення водою конденсату, що випав у пласті. *Нафтова і газова промисловість, 2, 29–32.*
14. Бікман, Є. С., Гнип, М. П., Дорошенко, В. М. та ін. (2004). Перспективи підвищення вуглеводневідачі Андріяшівського ГКР. *Нафта і газ України – 2004.* Львів: Центр Європи, 2, 19–21.
15. Гнип, М. П., Прокопів, В. Й., Дорошенко, В. М., Тарабаринів, П. В., Михайлюк, В. Д. (2006). *Спосіб розробки газоконденсатного родовища.* Пат. № 76353 UA. МПК: E21B 43/18, E21B 43/16. № 2004 1109445. заявл. 17.11.2004; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.
16. Уляшев, В. Е., Бураков, Ю. Г., Мелентьев, Г. Я., Дементьев, Д. А., Чупров, В. Ф. (2005). Экспериментальные исследования по извлечению ретроградного конденсата из обводнённого пласта с использованием защемлённого газа. *Научные проблемы и перспективы нефтегазовой отрасли в Северо-Западном регионе России. Ч. 2. Разработка и эксплуатация месторождений. Комплексные исследования пластов и скважин.* Ухта, 194–213, 223.