

# Наука — виробництву

УДК 622.279.23.4

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ПРИВИБІЙНИХ ЗОН ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ СВЕРДЛОВИН ВІД СКОНДЕНСОВАНИХ ВУГЛЕВОДНІВ

О.Р. Кондрат, Р.М. Кондрат, Я.Д. Климишин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195,  
e-mail: kondrat@nung.edu.ua

*Охарактеризовано особливості розробки газоконденсатних родовищ у режимі виснаження пластової енергії і методи очищення привибійної зони газоконденсатних свердловин від сконденсованих вуглеводнів. За результатами лабораторних досліджень на насипних моделях пласта запропоновано композиції ПАВ і хімреагентів та технології їх застосування для оброблень привибійних зон газоконденсатних свердловин з метою збільшення дебітів газу і конденсату.*

Ключові слова: газоконденсатне родовище, свердловина, привибійна зона, розробка, експлуатація, конденсація, очищення, розчини пар і хімреагентів.

*Охарактеризованы особенности разработки газоконденсатных месторождений в режиме истощения пластовой энергии и методы очистки призабойной зоны газоконденсатных скважин от сконденсированных углеводородов. По результатам лабораторных исследований на насыпных моделях пласта предложены композиции ПАВ и химреагентов и технологии их использования с целью увеличения дебитов газа и конденсата.*

Ключевые слова: газоконденсатное месторождение, скважина, призабойная зона, разработка, эксплуатация, конденсация, очистка, растворы пав и химреагентов.

*We have characterized the peculiarities of gas-condensate deposits on depletion of reservoir energy and methods of gas-condensate well bottom zones cleaning up from condensed hydrocarbons. On the results of the laboratory studies of artificial reservoir models we have proposed the surfactants compositions and chemical reagents and the technology of their application to increase gas and condensate output.*

Keywords: gas-condensate deposit, well bottom zone, development, production, condensation, cleaning up, surfactants compositions and chemical reagents

Розробка газоконденсатних родовищ у режимі виснаження пластової енергії супроводжується випаданням з газу вуглеводневого конденсату в інтервалі зміни тисків від початку конденсації до максимальної конденсації вуглеводневої суміші. Це призводить до зростання насиченості пористого середовища рідкою фазою і, як наслідок, - до зменшення фазової проникності для газу. Найістотніше фазова проникність для газу зменшується у привибійній зоні свердловин, де насиченість пористого середовища конденсатом досягає максимального значення. Це пов'язано з додатковим випаданням з газу конденсату в зоні депресійної воронки свердловини за рахунок зниження тиску від поточного пластового до поточного вибійного і безперервним надходженням до цієї зони нових об'ємів газу з глибини пласта.

Зниження фазової проникності для газу у привибійній зоні свердловин супроводжується

зменшенням дебіту газу. Коли дебіт газу стає нижчим мінімально необхідного значення для винесення конденсату з вибою на поверхню, свердловина зупиняється.

За початкового вмісту конденсату в газі від 300 до 600 г/м<sup>3</sup>, що характерно для більшості газоконденсатних родовищ, насиченість пор пласта конденсатом, що випадає з газу, не перевищує 10-15 % і є нижчою критичного значення, при якому він стає рухомим. Конденсат рухається тільки в незначній за розмірами зоні, що безпосередньо прилягає до свердловини. Розмір зони рухомого конденсату не перевищує декількох метрів і тільки при великому початковому вмісті конденсату в газі досягає 10 м і дещо більше [1].

У зв'язку з обмеженими розмірами зони рухомого конденсату практично весь конденсат, що випадає з газу, залишається у пласті. Випаровування конденсату, що випав у пласті,

в газову фазу в області тисків, менших тиску максимальної конденсації, є незначним. Тому під час розробки газоконденсатних родовищ з початковим вмістом конденсату в газі 300-600 г/м<sup>3</sup> і більше в режимі виснаження пластової енергії досягається досить низький коефіцієнт конденсатовилучення – 13-40 %.

Розробка газоконденсатних родовищ у режимі виснаження пластової енергії призводить також до низьких коефіцієнтів газовилучення. Коефіцієнт газовилучення зменшується як за рахунок защемлення газу конденсатом, що випав у пласті, в окремих порових каналах чи взагалі припинення фільтрації газу в умовах низькопроникних колекторів [2], так і за рахунок передчасного відключення (зупинки) видобувних свердловин. При розробці газоконденсатних родовищ на виснаження практично неможливо вплинути на першу групу чинників, які викликають зменшення коефіцієнта газовилучення. За цих умов можна тільки мінімізувати втрати пластової енергії шляхом рівномірного відроблення продуктивних пластів, що досягається відповідним розміщенням видобувних свердловин, тобто забезпечити рівномірне зниження тиску в межах всього пласта, і тим самим дещо підвищити коефіцієнти газо- і конденсатовилучення [3]. Тому основним напрямом підвищення коефіцієнтів газо- і конденсатовилучення при розробці газоконденсатних родовищ на виснаження є забезпечення стабільної роботи видобувних свердловин.

Відомі методи підвищення продуктивності газоконденсатних свердловин в умовах випадання конденсату з газу можна поділити на дві групи [2]:

методи очищення привибійної зони свердловини від сконденсованих вуглеводнів;

методи, що попереджують накопичення конденсату у привибійній зоні свердловин чи зменшують насиченість конденсатом пористого середовища.

Методи першої групи ґрунтуються на витісненні конденсату з привибійної зони углиб пласта, переведенні його у газову фазу і поєднанні цих двох діянь запомповуванням з поверхні рідких або газоподібних агентів: сухого газу, або газу, збагаченого пропан-бутановою фракцією чи проміжними компонентами, наприклад, широкою фракцією легких вуглеводнів; нагрітого сухого і збагаченого газу; діоксиду вуглецю; різних вуглеводневих розчинників. Недоліком методів першої групи є необхідність проведення чистих оброблень привибійної зони пласта, яка швидко насичується конденсатом після пуску свердловини в експлуатацію.

Методи другої групи ґрунтуються на здійсненні теплового впливу на привибійну зону свердловин (за допомогою вибійних нагрівачів, шляхом мікрохвильового нагрівання конденсату, діяння електромагнітним полем радіочастотного діапазону) і зменшенні насиченості конденсатом пористого середовища. Наведені теплові методи оброблення привибійних зон свердловин складні в реалізації і характеризуються обмеженим радіусом теплового впливу.

Ефективним методом підвищення продуктивності газоконденсатних свердловин є періодичне оброблення привибійної зони розчинами ПАР і хімреагентів, що забезпечує очищення пористого середовища від сконденсованих вуглеводнів і гідрофілізацію поверхні породи. У гідрофільній породі конденсат, як гідрофобна фаза, займає центральну частину пор, що характеризується найменшим опором рухові, тому насиченість конденсатом пористого середовища зменшується і зростає фазова проникність для газу. ПАР поступово адсорбується з поверхні породи, що забезпечує значну тривалість міжопераційного періоду між обробленнями свердловин.

З метою вибору ефективних ПАР для очищення пористого середовища від сконденсованих вуглеводнів і технологій їх застосування виконано комплекс лабораторних досліджень.

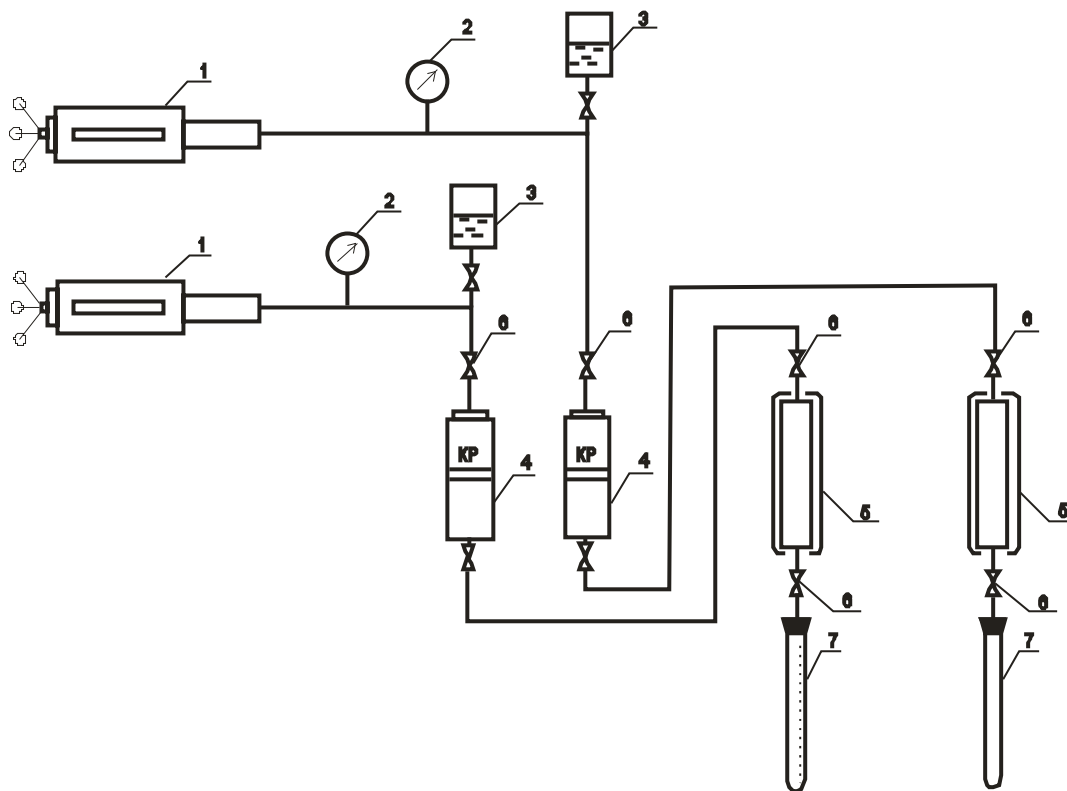
Дослідження очисних (витісних) властивостей розчинів ПАР здійснювалось з використанням насипних моделей пласта на експериментальній установці, схема якої зображена на рисунку 1. Тиск у моделях пласта створювали за допомогою ручних пресів 1, під'єднаних до контейнерів 4, які заповнювались необхідними на кожній стадії дослідження флюїдами. Контейнери містять розділювачі, які запобігають змішуванню робочих рідин пресів із запомповуваними у модель пласта 5 агентами. Як робочі рідини пресів використано оливу, яка подавалась в контейнери з ємностей 3. На виході з моделі вилучували флюїди вловлювалися у мірну бюретку 7 з ціною поділки 0,1 см<sup>3</sup>. Необхідна температура в моделі пласта підтримувалась за допомогою стандартних термостатів. Регулювання подачі оливи і руху флюїдів здійснювалось з допомогою вентилів 6. Контроль за створюваним тиском в експериментальній установці здійснювався з допомогою зразкових манометрів 2.

Для досліджень використовували насипні моделі пласта діаметром 15 мм і довжиною 420 мм. Абсолютна проникність пористого середовища – 0,046-0,951 мкм<sup>2</sup>, пористість – 0,273-0,413.

Суть методики проведення лабораторних досліджень полягала в наступному.

Після вимірювання початкової проникності насипної моделі створювалась залишкова водонасиченість шляхом насичення попередньо вакуумованої моделі пласта водою з мінералізацією 50 г/л і подальшого витіснення її газом. Відтак для створення залишкової конденсатонасиченості 1/3 моделі пласта насичували конденсатом, після чого конденсат витіснявся газом. Після створення залишкової конденсатонасиченості вимірювали проникність моделі. Далі у модель пласта запомповували розчин ПАР в об'ємі, рівному об'єму запомпованого в модель конденсату, і витримували цей розчин у моделі 4-8 год. Після цього модель пласта продували газом і вимірювали проникність.

У дослідах використовували водні розчини водорозчинних ПАР, конденсатні розчини нафторозчинних ПАР, метанол та ізопропиловий



1 – прес установки; 2 – манометри; 3 – ємність з оливою; 4 – контейнер;  
5 – модель пласта; 6 – вентилі; 7 – мірна бюретка

**Рисунок 1 – Схема лабораторної установки для дослідження процесу очищення пористого середовища від сконденсованих вуглеводнів**

спирт. Як водорозчинні ПАР, використовували: савенол SWP, неол АФ<sub>09-12</sub>, мирол -1, полонина, теас, деемульгатор ПМ, сольпен-10, фейрі, крот, композит NR-60-40. Як нафторозчинні ПАР використовували ріпокс-6, катіонний жир, жиринокс, рена-нафохім, Cillit-Bang (універсальний), Cillit-Bang (антижир). У дослідях здійснювалось як нагнітання окремо водних чи конденсатних розчинів ПАР, так і послідовне нагнітання спочатку конденсатних, а потім водних розчинів ПАР і навпаки. В окремих дослідях здійснювалось послідовне нагнітання метанолу чи ізопропилового спирту, а потім робочого розчину ПАР з проміжним продуванням моделі пласта газом (чи без продування).

З метою вивчення ефективності очищення пористого середовища від сконденсованих вуглеводнів розчинами різних ПАР визначалась фазова газопроникність моделі пласта до і після нагнітання робочих рідин. Дослідження проведено з використанням таких робочих агентів:

- 5 % мас. водних розчинів ріпоксу-6, миролу-1, савенолу SWP, полонини, теасу, сольпену-10, Cillit-Bang (універсальний); Cillit-Bang (антижир), кроту, композиту NR-60-40;

- 5 % мас. конденсатних розчинів жириноксу, неолу АФ<sub>09-12</sub>, ріпоксу-6, катіонного жиру, сольпену-10, рена-нафтохіму, деемульгатора ПМ;

- метанолу;
- ізопропилового спирту;

Також здійснювали послідовне запомпуння таких робочих рідин:

- 5 % мас. розчину ріпоксу-6 в конденсаті і 5 % мас. розчину савенолу SWP у воді;

- 5 % мас. розчину ріпоксу-6 в конденсаті і 5 % мас. розчину полонини у воді;

- 5 % мас. розчину ріпоксу-6 в конденсаті, 5 % мас. розчину деемульгатора ПМ у конденсаті і 5 % мас. розчину савенолу SWP у воді;

- 5 % мас. розчину сольпену-10 у воді і 5 % мас. розчину Cillit-Bang (універсальний) у воді;

- 5 % мас. розчину сольпену-10 у воді і 5 % мас. розчину фейрі у воді;

- 5 % мас. розчину сольпену-10 у конденсаті і 5 % розчину фейрі у воді;

- 5 % мас. розчину рена-нафтохіму в конденсаті і 5% мас. розчину фейрі у воді;

- 5 % мас. розчину Cillit-Bang (універсальний) у воді і 5% мас. розчину кроту у воді;

- 5 % мас. розчину фейрі у воді і 5 % мас. розчину Cillit-Bang (універсальний) у воді.

- метанолу і 5 % мас. розчину теасу у воді;

- метанолу і 5 % мас. розчину ріпоксу-6 у воді;

- метанолу і 5 % мас. розчину ріпоксу-6 в конденсаті;

- метанолу, 5 % мас. розчину сольпену-10 у воді і 5 % мас. розчину Cillit-Bang (універсальний) у воді;

- метанолу, 5 % мас. розчину сольпену-10 у воді і 5 % мас. розчину Cillit-Bang (універсальний) у воді;

- ізопропилового спирту і 5 % мас. розчину Cillit-Bang (універсальний) у воді;
- ізопропилового спирту і 5 % мас. розчину сольпену-10 у воді;
- ізопропилового спирту і 5 % мас. розчину Cillit-Bang (антижир) у воді;
- послідовне нагнітання з проміжним продуванням моделі пласта газом: метанолу і 5% мас. розчину ріпоксу-6 в конденсаті; метанолу і 5% мас. розчину теасу у воді.

Аналіз результатів досліджень з очищення пористого середовища від сконденсованих вуглеводнів різними робочими агентами свідчить, що найкращі очисні властивості мають 5% розчин ріпоксу-6 в конденсаті і 5% розчини сольпену-10, Cillit-Bang (універсальний) і композиту NR-60-40 у воді. Так, при початковій газопроникності пористого середовища  $0,85 \text{ мкм}^2$  після насичення моделі пласта конденсатом газопроникність знизилась до  $0,607 \text{ мкм}^2$ , а після запомпвання 5% розчину ріпоксу-6 в конденсаті збільшилась до  $0,82 \text{ мкм}^2$  (на 35%).

Для 5% розчинів ПАР у воді отримали такі зміни коефіцієнта газопроникності: композит NR-60-40:  $0,0773-0,0009 - 0,0175 \text{ мкм}^2$  (на 94,43%), Cillit-Bang<sub>2</sub> (універсальний):  $0,0818-0,0069 - 0,0124 \text{ мкм}^2$  (на 79,45%), сольпен-10:  $0,1-0,0069 - 0,011 \text{ мкм}^2$  (на 57,06%). Найбільше відносне збільшення (відновлення) проникності по відношенню до абсолютної проникності отримано при використанні 5% розчину ріпоксу-6 в конденсаті (96,43%). Інші ПАР розміщуються в такій послідовності в сторону зменшення відносного відновлення проникності: композит NR-60-40, Cillit-Bang (універсальний), сольпен-10.

Застосування конденсатних розчинів інших досліджуваних ПАР дало незначний приріст проникності пористого середовища після його оброблення. Так, після запомпвання 5% конденсатного розчину неолу АФ<sub>09-12</sub> проникність зросла на 5,45%, а при використанні 5% конденсатного розчину жириноксу – на 4%. Використання 5% розчинів катіонного жиру, сольпену-10 і рена-нафтохіму в конденсаті призвело до негативного результату – проникність пористого середовища додатково зменшилась на 5,45-80,55%.

За результатами лабораторних досліджень, використання водних розчинів практично всіх досліджуваних ПАР (за винятком сольпену-10 і фейрі) призводить до зниження проникності пористого середовища.

Негативний результат з очищення пористого середовища від сконденсованих вуглеводнів отримано при використанні 5% водних розчинів миролу-1, савенолу SWP і ріпоксу-6. Так, після запомпвання водного розчину миролу-1 проникність моделі пласта зменшилась на 35%, після запомпвання водного розчину савенолу SWP – на 75,62%, а у разі водного розчину ріпоксу-6 – на 87,36%.

Незначне зростання проникності пористого середовища отримано після застосування 5% водного розчину теасу (на 7,32%) і полонини (на 13,73%).

Погіршення проникності пористого середовища у разі застосування водних розчинів миролу-1, савенолу SWP і ріпоксу-6 пояснюється утворенням у пористому середовищі стійких водоконденсатних емульсій водних розчинів наведених ПАР із сконденсованими вуглеводнями, які при подальшому продуванні моделі пласта газом, що імітує пуск свердловини в експлуатацію, не виносяться з пористого середовища.

Після застосування 5% розчину фейрі у воді проникність відновилась на 15,92%, а після застосування 5% розчину Cillit-Bang (антижир) у воді проникність додатково зменшилась на 5,08%.

Послідовне запомпвання в модель пласта розчинів різних ПАР призводить як до збільшення, так і до зменшення газопроникності пористого середовища після створення залишкової конденсатонасиченості.

Так, при послідовному запомпванні 5% розчину ріпоксу-6 в конденсаті і 5% розчину савенолу SWP у воді газопроникність пористого середовища збільшилась на 5,7%.

При послідовному запомпванні 5% розчину сольпену-10 у воді і 5% розчину фейрі у воді газопроникність моделі пласта зросла у 3,26 разів.

При послідовному запомпванні 5% розчину Cillit-Bang (універсальний) у воді і 5% кроту у воді газопроникність пористого середовища зросла у 2,34 разів.

При послідовному запомпванні 5% розчину фейрі у воді і 5% розчину Cillit-Bang (універсальний) у воді газопроникність пористого середовища зросла у 2,33 разів.

Водночас при послідовному запомпванні 5% розчину ріпоксу-6 в конденсаті і 5% розчину полонини у воді газопроникність пористого середовища додатково зменшилась на 39,55%, а при послідовному запомпванні 5% розчину ріпоксу-6 в конденсаті, 5% розчину деемульгатора ПМ у конденсаті і 5% розчину савенолу SWP у воді газопроникність моделі пласта зменшилась у 4,62 разів порівняно із її значенням на момент створення залишкової конденсатонасиченості.

Згідно з дослідними даними, досить ефективною є оброблення моделі пласта із сконденсованими вуглеводнями метанолом. Так, при початковій проникності за повітрям  $0,155 \text{ мкм}^2$  після насичення моделі пласта конденсатом і створення залишкової конденсатонасиченості проникність моделі пласта знизилась до  $0,054 \text{ мкм}^2$ . Запомпвання метанолу призвело до збільшення проникності до  $0,12 \text{ мкм}^2$  (на 121,3%). Повторні два експерименти підтвердили високу очисну властивість метанолу. Так, при початковій проникності за повітрям  $0,152$  і  $0,353 \text{ мкм}^2$  після насичення моделі пласта конденсатом і створення залишкової конденсатонасиченості проникність моделі пласта знизилась до  $0,108$  і  $0,158 \text{ мкм}^2$  відповідно. Запомпвання метанолу призвело до збільшення проникності до  $0,120$  і  $0,295 \text{ мкм}^2$  відповідно (на 11,54% і 86,69%).

У разі застосування ізопропилового спирту проникність моделі пласта в різних дослідах зросла від 17,8 до 23,72 %.

Враховуючи високі очисні властивості метанолу, проведено дослідження з послідовного запомпуння в модель пласта із сконденсованими вуглеводнями метанолу і водних розчинів ПАР.

Аналіз експериментальних даних свідчить, що послідовне запомпуння метанолу і 5% розчину ріпоксу-6 в конденсаті призвело до зменшення газопроникності пористого середовища приблизно на 40%. При запомпунні услід за метанолом 5% розчину теасу у воді проникність пористого середовища зменшилася на 87%. Така ситуація пояснюється утворенням під впливом цих ПАР високов'язкої емульсії „вода-конденсат” в результаті змішування конденсату, води і метанолу. Утворення високов'язкої емульсії „вода-конденсат” за наявності в системі метанолу спостерігалось візуально при змішуванні цих речовин у пробірці.

Запомпуння після метанолу 5% водного розчину сольпену-10 призвело до збільшення проникності пористого середовища на 18,91%, а при подальшому запомпунні 5% водного розчину Cillit-Bang (універсальний) проникність моделі пласта збільшилась у 2,43 разів порівняно з її значенням на момент створення залишкової конденсатонасиченості. В іншому досліді з цими ПАР і хімреагентами після запомпуння водного розчину сольпену-10 проникність пористого середовища зросла на 68,95%, а після запомпуння водного розчину Cillit-Bang (універсальний) – у 2,47 разів.

У дослідах з ізопропиловим спиртом подальше запомпуння 5% розчину Cillit-Bang (універсальний) призвело до збільшення проникності пористого середовища в 1,78 разів порівняно з її значенням на момент створення залишкової конденсатонасиченості, а при запомпунні після ізопропилового спирту 5% розчину сольпену-10 у воді проникність пористого середовища збільшилась у 1,83 разів.

Приймаючи до уваги ту обставину, що запомпуння після метанолу водних розчинів деяких ПАР призводить до зниження проникності пористого середовища, виконано дослідження, в яких після запомпуння метанолу модель пласта продувалась газом і тільки після цього запомпунувався водний розчин ПАР. Така послідовність виконання операцій виявилась досить ефективною. Так, у двох дослідах з послідовним запомпунням метанолу, продуванням моделі пласта газом і наступним запомпунням 5% розчину ріпоксу-6 в конденсаті проникність пористого середовища зросла у 2,61 і 2,65 разів порівняно з її значенням на момент створення залишкової конденсатонасиченості і стала рівною відповідно 91% і 98,5% від абсолютної газопроникності. Послідовне запомпуння метанолу, продування моделі пласта газом і запомпуння 5% розчину теасу у воді не дало позитивного результату. Отримано те саме значення проникності, як на момент створення залишкової конденсатонасиченості.

За результатами виконаних досліджень можуть бути рекомендовані такі композиції ПАР та хімреагентів і послідовність їх використання для оброблення привибійних зон газоконденсатних свердловин з метою очищення пористого середовища від сконденсованих вуглеводнів:

- 5% розчин ріпоксу-6 в конденсаті;
- 5% розчин сольпену-10 у воді;
- 5% розчин Cillit-Bang (універсальний) у воді;
- 5% розчин композиту NR-60-40 у воді;
- 5% розчин фейрі у воді;
- 5% розчин кроту у воді;
- послідовне запомпуння 5% водних розчинів сольпену-10 і фейрі;
- послідовне запомпуння 5% водних розчинів Cillit-Bang (універсальний) і кроту;
- послідовне запомпуння 5% водних розчинів фейрі і Cillit-Bang (універсальний);
- послідовне запомпуння метанолу і 5% водних розчинів сольпену-10 і Cillit-Bang (універсальний);
- послідовне запомпуння ізопропилового спирту і 5% водного розчину Cillit-Bang (універсальний);
- послідовне запомпуння ізопропилового спирту і 5% водного розчину сольпену-10;
- послідовне запомпуння метанолу (ізопромислового спирту), продування пористого середовища газом і подальше запомпуння 5% розчину ріпоксу-6 в конденсаті або Cillit-Bang (універсальний) чи сольпену-10 у воді.

Наведені композиції ПАР і хімреагентів та технології їх застосування дозволяють ефективно очистити пористе середовище від сконденсованих вуглеводнів і збільшити продуктивність газоконденсатних свердловин.

### Література

- 1 Панфилов М.Б. Накопление конденсата в пласте / М.Б. Панфилов // Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. – М.: ВНИИЭгазпром. – 1980. – Вып. 9. – С. 17-19.
- 2 Кондрат Р.М. Газоконденсатоотдача пластов / Р.М. Кондрат – М.: Недра, 1992. – 255 с.
- 3 Закиров С.Н. Максимизация текущих отборов конденсата / С.Н. Закиров, А.И. Варламов // Обз. информ. – 1983. – Вып.7. – 35 с. – Сер. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
12.08.11

Рекомендована до друку професором  
Коцкуlichem Я.С.