УДК 622.279.5
DOI: 10.15587/2706-5448.2020.217780

АПРОБАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАГНІТАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В ПОКЛАД ГОРИЗОНТУ В–16 ГАДЯЦЬКОГО РОДОВИЩА (УКРАЇНА) В УМОВАХ ПРОЯВУ ВОДОНАПІРНОГО РЕЖИМУ

Кривуля С. В., Матківський С. В., Кондрат О. Р., Бікман Є. С.

Об'єктом дослідження є газоконденсатні поклади, що розробляються в умовах прояву водонапірного режиму. Для удосконалення існуючих технологій витіснення залишкових запасів газу діоксидом вуглецю з родовищ, що розробляються при водонапірному режимі, проведено дослідження з використанням основних інструментів гідродинамічного моделювання Eclipse та Petrel компанії Schlumberger (США). Технологію нагнітання діоксиду вуглецю апробовано до умов покладу горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища (Україна). Згідно з результатами проведених досліджень встановлено, що завдяки нагнітанню невуглеводневого газу знижуються обсяги видобутку пластової води порівняно з варіантом розробки на виснаження. На основі отриманих результатів моделювання здійснено розрахунок величини прогнозних коефіцієнтів вилучення вуглеводнів на момент прориву діоксиду вуглецю у видобувні свердловини за величиною накопиченого видобутку пластової води. Згідно проведених розрахунків встановлено, що впровадження технології вторинного видобутку вуглеводнів забезпечує значно вищі кінцеві коефіцієнти вуглеводневилучення порівняно з розробкою покладу на виснаження. Прогнозний коефіцієнт газовилучення при нагнітанні діоксиду вуглецю в поклад горизонту В-16 збільшується на 2,95 % від величини залишкових запасів газу, а коефіцієнт вилучення конденсату для цих умов на 1,24 %. За результатами проведених досліджень встановлено технологічну ефективність використання діоксиду вуглецю в якості агенту нагнітання для підвищення вуглеводневилучення з покладів, для яких характерний водонапірний режим розробки. Згідно з результатами моделювання впровадження технології нагнітання діоксиду вуглецю в поклад горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища дозволяє значно збільшити вуглеводневилучення з покладів, тим самим підвищити видобувні можливості родовища.

Ключові слова: *3D модель родовища, газоконденсатний поклад, водонапірний режим, защемлений газ, нагнітання діоксиду вуглецю.*

1. Вступ

Переважна більшість продуктивних покладів газових та газоконденсатних родовищ виснажені та переважно знаходяться під впливом пластових водонапірних систем і розробляються в умовах просування пластової води в газонасичені горизонти [1, 2].

Основні складнощі, які виникають при видобутку залишкових запасів

Не для перевидання

вуглеводнів пов’язані з особливостями дорозробки покладів на завершальній стадії, для якої характерні низькі значення пластового тиску, низькодебітність та обводнення видобувних свердловин [3].

Розробка родовищ в умовах прояву водонапірного режиму характеризується нерівномірним переміщенням газоводяного контакту залежно від характеру розподілу фільтраційно-ємнісних характеристик, як за площею, так і за товщиною. Неоднорідність зумовлює вибіркове обводнення продуктивних покладів та защемлення пластовою водою залишкових запасів газу. В обводнених частинах покладу залишаються значні запаси мікро- та макрозащемленого газу [4].

Проектуванню розробки родовищ вуглеводнів в умовах прояву водонапірного режиму присвячено значну кількість експериментальних та теоретичних досліджень [5–7].

За результатами проведених досліджень розкрито механізм поведінки защемленого газу пластовою водою в пористому середовищі та розроблено значну кількість технологій, однак більшість з них малоефективні та не знаходять практичної реалізації. Згідно проведених досліджень [8, 9] встановлено, що саме неоднорідність продуктивних покладів вносить значну невизначеність в процес обґрунтування рекомендованої технології подальшої розробки родовищ вуглеводнів в умовах активного водонапірного режиму.

В даній роботі проведено апробацію технології нагнітання діоксиду вуглецю в поклад горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища (Україна) з метою витіснення залишкового газу защемленого пластовою водою.

2. Об’єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є газоконденсатні поклади, що розробляються в умовах прояву водонапірного режиму.

За результатами аналізу поточного стану розробки покладу горизонту В-16 встановлено значні залишкові запаси природного газу. Згідно з результатами адаптації постійно діючої геолого-технологічної моделі покладу горизонту В-16 встановлено, що частина залишкових запасів газу защемлена пластовою водою.

Вирішення проблеми підвищення вуглеводневилучення з покладу горизонту В-16 та мінімізації шкідливого впливу законтурних вод на процес видобування газу призвело до пошуку нових підходів до розробки покладу за таких умов.

Потреба в удосконаленні існуючих технологій розробки родовищ в умовах прояву водонапірного режиму розробки зумовило проведення додаткових досліджень з використанням поширеної на сьогоднішній день практики використання постійно діючої геолого-технологічної моделі Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є апробація технології витіснення залишкового газу з порового простору діоксидом вуглецю та регулювання процесу розробки для

умов покладу горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища з використанням гідродинамічного моделювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Дослідити динаміку основних технологічних показників розробки покладу горизонту В-16 під час нагнітання діоксиду вуглецю та при розробці покладу на виснаження.
2. Встановити технологічну ефективність впровадження технології нагнітання діоксиду вуглецю для умов покладу горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Відомі методи, які використовуються для попередження та регулювання просування пластових вод та боротьби з обводненням експлуатаційних свердловин направлені на мінімізацію негативного впливу водонапірного режиму на процес розробки родовищ та збільшення коефіцієнтів вуглеводневилучення за таких умов [8, 9].

Поряд із проблемою контролю та регулювання поступлення законтурних вод у газонасичену частину пласта важливою проблемою є видобування защемленого газу з обводнених пластів. На сьогоднішній день перспективним залишається напрям підвищення газовилучення з обводнених газоконденсатних родовищ шляхом нагнітання невуглеводневих газів (азот, діоксид вуглецю, димові та викидні гази, суміші різних газів).

Про високу технологічну ефективність витіснення защемленого газу невуглеводневими газами свідчать результати лабораторних досліджень [10, 11]. Згідно з результатами проведених досліджень найбільший коефіцієнт газовилучення досягається при витісненні природного газу з обводнених моделей пласта діоксидом вуглецю. При використанні в якості агентів нагнітання димових газів і азоту для витіснення залишкового газу з порового простору отримуються дещо нижчі кінцеві значення коефіцієнтів газовилучення.

Аналізуючи фізико-хімічні властивості діоксиду вуглецю слід відмітити, що його густина у 6 разів вища за густину природного газу в пластових умовах. Багаточисленними дослідженнями підтверджено, що діоксид вуглецю добре розчиняється у воді при збільшенні тиску, та значно гірше при збільшенні температури та мінералізації пластової води. Зважаючи на початкові термобаричні умови залягання продуктивних покладів можна стверджувати, що діоксид вуглецю буде розчинятися у пластовій воді, забезпечуючи при цьому сповільнення руху законтурних вод та подальшого їх прориву до видобувних свердловин. Завдяки високій розчинності діоксиду вуглецю забезпечується ефективне витіснення залишкового газу з обводнених продуктивних покладів [12].

За результатами теоретичних досліджень процесу нагнітання діоксиду вуглецю в продуктивні поклади підтверджено ефективність його використання в якості агенту нагнітання. Завдяки нагнітанню невуглеводневого газу на початковому газоводяному контакті досягається зниження активності водонапірної системи завдяки створенню гідродинамічного бар’єру на межі

двох фаз та забезпечуються значно вищі кінцеві коефіцієнти вуглеводневилучення порівняно з розробкою на виснаження [13, 14].

Результати моделювання свідчать про те, що впровадження досліджуваної технології призводить до відтермінування процесу обводнення видобувних свердловин та забезпечує при цьому стабільну та безводну їх експлуатацію протягом тривалішого періоду розробки продуктивних покладів [15].

Удосконаленню існуючих технологій розробки родовищ вуглеводнів присвячено дуже багато досліджень з використанням чисельного моделювання [16, 17]. Побудова цифрових тривимірних моделей є невід'ємним атрибутом управління процесом розробки родовищ вуглеводнів. Адже, саме постійно діюча геолого-технологічна модель призначена для вирішення основних завдань розробки родовищ з метою найбільш повного вилучення запасів вуглеводнів та досягнення максимального економічного ефекту. Однак, до сьогодні не достатньо досліджена проблема підвищення вуглеводневилучення з родовищ вуглеводнів, що розробляються в умовах водонапірного режиму [18].

Для напрацювання оптимальних шляхів вилучення защемленого газу здійснено чисельне моделювання розробки північно-східного родовища Хічкока, що розташоване в штаті Техас. Розрахунок різних варіантів розробки родовища дозволив обґрунтувати оптимальні темпи відбору вуглеводневої продукції та вибрати раціональну систему розробки родовища [19].

Також дослідження ефективності витіснення залишкового газу різними агентами нагнітання проведено і для родовища, яке знаходиться поблизу гірського хребта Сьерра-де-Чьяпас в Мексиці. В якості агентів нагнітання використано сухий газ, діоксид вуглецю, азот та димові гази. Отримані результати свідчать про те, що найефективнішим є варіант з нагнітання діоксиду вуглецю. Завдяки впровадженню даної технології видобувається частина защемленого газу водою. В зонах нагнітання діоксиду вуглецю різко зростає пластовий тиск та створюється додатковий гідродинамічний бар'єр, що ускладнює просування пластової води в продуктивні пласти. Впровадження технології підтримання пластового тиску призводить до збільшення видобутку конденсату та забезпечує значно вищі коефіцієнти вуглеводневилучення [20].

Згідно результатів досліджень процесу нагнітання невуглеводневих газів в поклади встановлено, що найбільша ефективність технології вторинного видобутку вуглеводнів забезпечується у випадку, коли процес нагнітання здійснюють після досягнення економічно-рентабельного періоду розробки покладів [21, 22].

Багаточисельними дослідженнями встановлено, що в більшості випадків для забезпечення більш повного охоплення продуктивної газонасиченої площі покладу розробкою бажаним було б повне попередження просування законтурних вод в продуктивні поклади. Однак, на сьогодні практичного вирішення даної проблеми так і не знайдено.

5. Методи дослідження

Для апробації технології нагнітання діоксиду вуглецю в поклад горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища з метою підвищення

коефіцієнту вуглеводневилучення використовувались основні інструменти гідродинамічного моделювання Eclipse та Petrel компанії Schlumberger (США).

Дослідження виконано на основі постійно діючої геолого-технологічної моделі Гадяцького родовища. Для відтворення фізичних процесів, що мають місце в продуктивному покладі при нагнітанні діоксиду вуглецю створено композиційну PVT-модель з використанням модуля PVTi програмного забезпечення Eclipse [23–25].

Газоконденсатний поклад розробляється на виснаження з використанням 4 видобувних свердловин (№№ 56, 73, 74, 75). Нагнітання діоксиду вуглецю здійснюється з використанням 4 нагнітальних свердловин (№№ 52, 101, 201, 202), що розміщені по периметру поточного газоводяного контакту. Дебіт газу видобувної свердловини становить 50 тис. м^3/доб. Нагнітання діоксиду вуглецю здійснюється з темпом на рівні 50 тис. м^3/доб в 1 свердловину. Розробка продуктивного покладу здійснюється до моменту прориву діоксиду вуглецю в останню з видобувних свердловин.

Схема розміщення нагнітальних та видобувних свердловин на площі покладу горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища наведена на рис. 1.

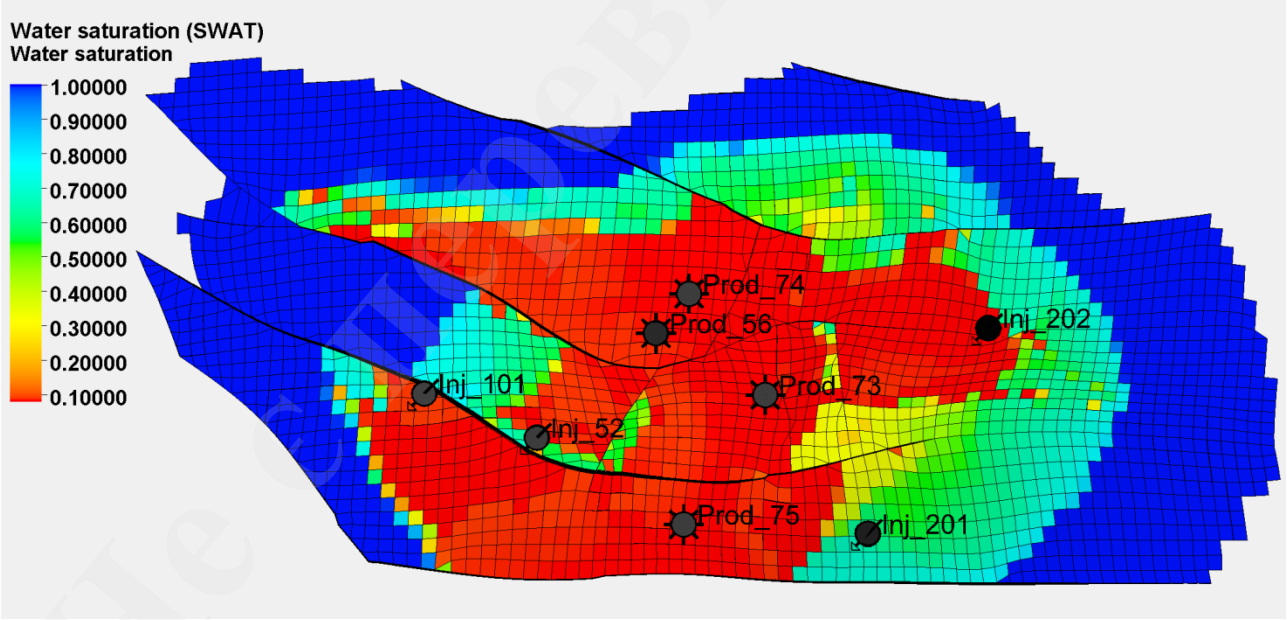


Рис. 1. Схема розміщення нагнітальних та видобувних свердловин на площі покладу горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища

В ході проведення досліджень для варіанту з нагнітанням невуглеводневого газу в продуктивні поклади фіксувався момент прориву діоксиду вуглецю в кожну з видобувних свердловин. З метою оцінки величини отриманого ефекту від впровадження досліджуваної технології при розробці продуктивного покладу на виснаження, видобувні свердловини зупинялись в той самий момент часу, що і при розробці покладу з нагнітанням діоксиду вуглецю.

На основі проведених досліджень здійснювався розрахунок основних технологічних показників розробки продуктивного покладу на момент прориву

діоксиду вуглецю в одну із видобувних свердловин за величиною видобутої пластової води на момент його прориву. Результати досліджень оброблялись у вигляді графічних залежностей досліджуваних параметрів на момент прориву діоксиду вуглецю в одну із видобувних свердловин.

6. Результати досліджень

Використовуючи постійно діючу геолого-технологічну модель Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища, проведено дослідження ефективності технології нагнітання діоксиду вуглецю в продуктивний поклад горизонту В-16 з метою збільшення кінцевого коефіцієнта вуглеводневилучення.

Аналізуючи результати моделювання розробки покладу горизонту В-16 встановлено, що при нагнітанні діоксиду вуглецю забезпечується підтримання пластового тиску на більш високому рівні, порівняно з розробкою покладу на виснаження.

Характер динаміки пластового тиску в часі зумовлений інтенсивним просуванням пластової води в поклад та відключенням видобувних свердловин по причині обводнення, або прориву діоксиду вуглецю. У випадку зупинки свердловини по одній із вищезазначених причин знижується відбір природного газу з покладу, що призводить до зниження темпу падіння пластового тиску.

Динаміка пластового тиску в часі при розробці покладу горизонту В-16 на виснаження та при нагнітанні діоксиду вуглецю наведена на рис. 2.

Аналізуючи динаміку пластового тиску слід відмітити, що після зупинки останньої видобувної свердловини відбувається інтенсивне збільшення пластового тиску. Такий характер залежності зумовлений подальшим просуванням законтурних вод в газонасичені інтервали продуктивного покладу та зрівноваженням гідродинамічної системи.

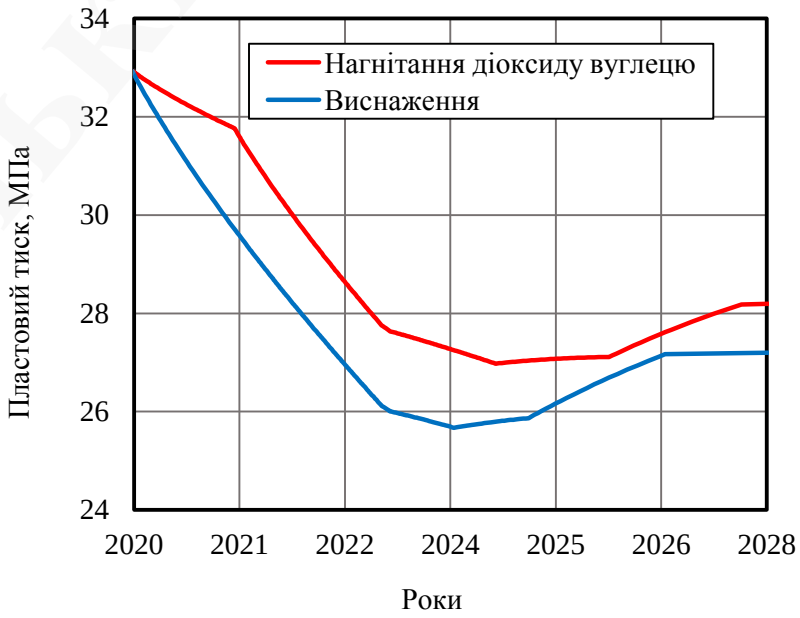


Рис. 2. Динаміка пластового тиску в часі при розробці покладу горизонту В-16 на виснаження та при нагнітанні діоксиду вуглецю

Згідно результатів моделювання встановлено, що при нагнітанні діоксиду вуглецю створюється додатковий гідродинамічний бар'єр, завдяки якому відбувається часткове блокування просування пластової води по найбільш високопроникним пропласткам покладу горизонту В-16. На основі проведених розрахунків технологічних показників розробки продуктивного покладу можна стверджувати, що завдяки впровадженню технології нагнітання діоксиду вуглецю знижується активність водонапірної системи. За результатами досліджень процесу розробки продуктивного покладу при нагнітанні невуглеводневого газу забезпечується зменшення обсягів видобутку пластової води в порівнянні з розробкою на виснаження.

Динаміка накопиченого видобутку пластової води при розробці покладу горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища на виснаження та при нагнітанні діоксиду вуглецю наведена на рис. 3.

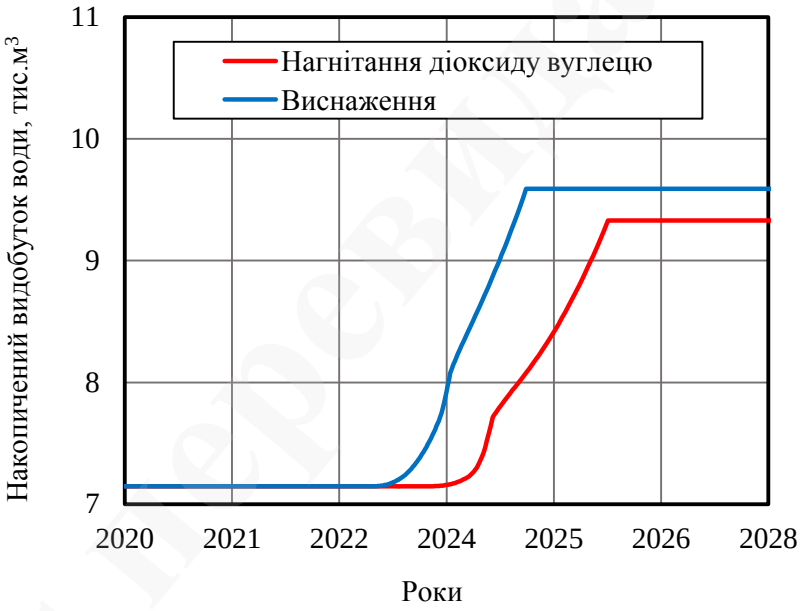
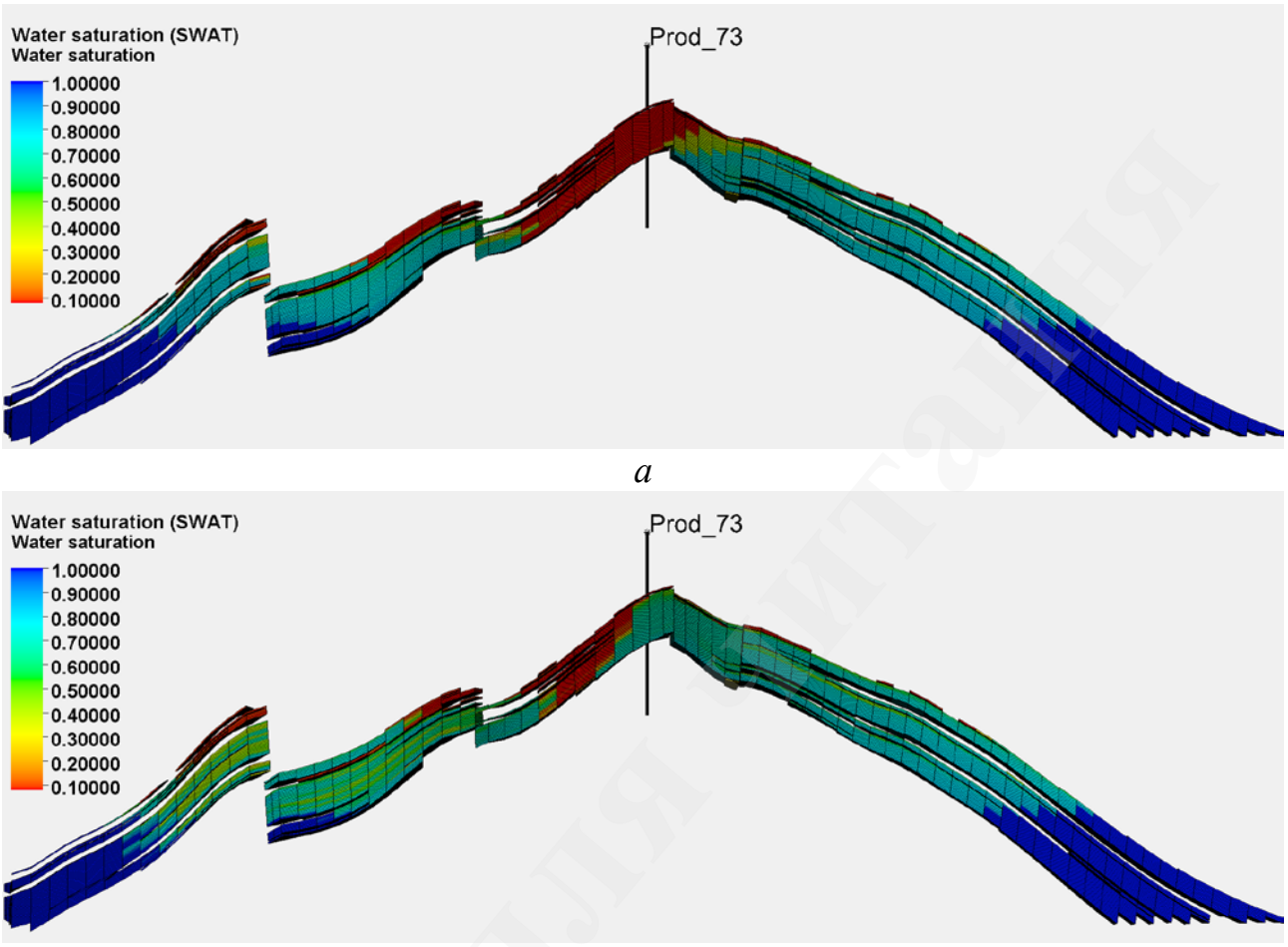


Рис. 3. Динаміка накопиченого видобутку пластової води при розробці покладу горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища на виснаження та при нагнітанні діоксиду вуглецю

Аналізуючи залежності динаміки накопиченого видобутку пластової води слід відмітити, що у варіанті розробки покладу горизонту В-16 з нагнітанням діоксиду вуглецю відбувається відтермінування процесу обводнення видобувних свердловин. Зважаючи на різницю в густинах діоксиду вуглецю та природного газу, а також його розчинність у пластовій воді, можна стверджувати про створення штучного бар'єру на межі розділення двох фаз. Нагнітання діоксиду вуглецю призводить до блокування вибіркового просування пластової води і тим самим забезпечує стабільну безводну експлуатацію видобувних свердловин протягом тривалішого періоду розробки покладу порівняно з розробкою на виснаження.

Стан обводненості продуктивного покладу в зоні розміщення видобувної свердловини № 73 покладу горизонту В-16 наведено на рис. 4.

Не є перевиданням



а

б

Рис. 4. Стан обводненості продуктивного покладу в зоні розміщення видобувної свердловини № 73 покладу горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища: *а* – на початок нагнітання діоксиду вуглецю; *б* – на момент прориву діоксиду вуглецю

Використовуючи результати моделювання процесу розробки покладу горизонту В-16 проведено розрахунок величини коефіцієнтів вуглеводневилучення за величиною залишкових запасів вуглеводнів. На основі аналізу розрахункових даних встановлено, що завдяки впровадженню технології нагнітання діоксиду вуглецю в поклад горизонту В-16 забезпечується значно вищий прогнозний коефіцієнт газовилучення порівняно з розробкою на виснаження.

Динаміка прогнозного коефіцієнта вилучення газу при розробці покладу горизонту В-16 на виснаження та при нагнітанні діоксиду вуглецю наведено на рис. 5.

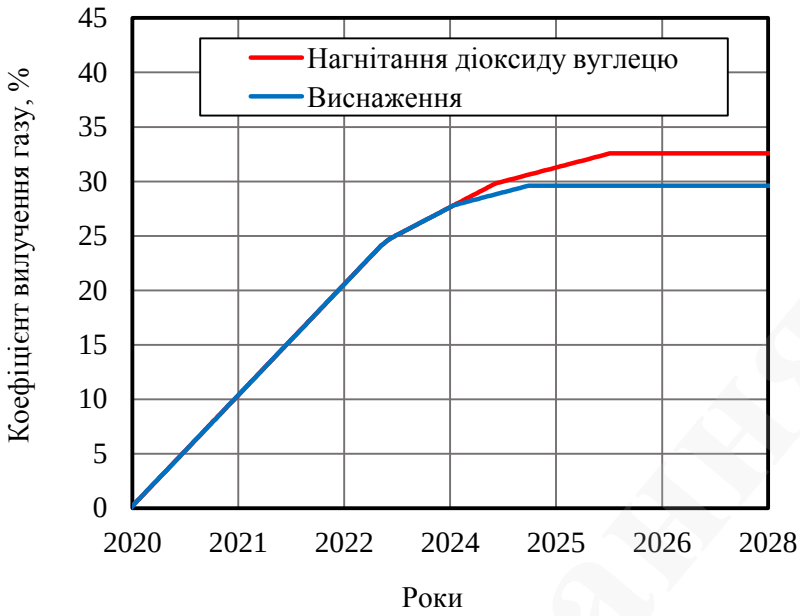


Рис. 5. Динаміка прогнозного коефіцієнта вилучення газу при розробці покладу горизонту В-16 на виснаження та при нагнітанні діоксиду вуглецю

Кінцевий коефіцієнт газовилучення від залишкових запасів газу при нагнітанні діоксиду вуглецю на момент його прориву в останню видобувну свердловину становить 32,56 %. При розробці газоконденсатного покладу горизонту В-16 на виснаження кінцевий коефіцієнт вилучення природного газу становить 29,61 %. Зважаючи на отримані результати досліджень необхідно відмітити, що завдяки впровадженню технології нагнітання невуглеводневого газу з метою витіснення мікро- та макрозащемленого газу вдається підвищити кінцевий коефіцієнт газовилучення на 2,95 %.

Згідно аналізу результатів розрахунків процесу розробки газоконденсатного покладу горизонту В-16 спостерігається збільшення величини коефіцієнта вилучення конденсату при нагнітанні діоксиду вуглецю в порівнянні з розробкою покладу на виснаження.

Динаміка прогнозного коефіцієнта вилучення конденсату при розробці покладу горизонту В-16 на виснаження та при нагнітанні діоксиду вуглецю наведена на рис. 6.

Газоконденсатний поклад горизонту В-16 характеризується високим потенційним вмістом рідких вуглеводнів C_{5+}, який становить більше 300 г/м^3. Зважаючи на те, що завдяки нагнітанню діоксиду вуглецю в поклад горизонту В-16 підтримується пластовий тиск на значно вищому рівні порівняно з розробкою на виснаження забезпечується додатковий видобуток конденсату.

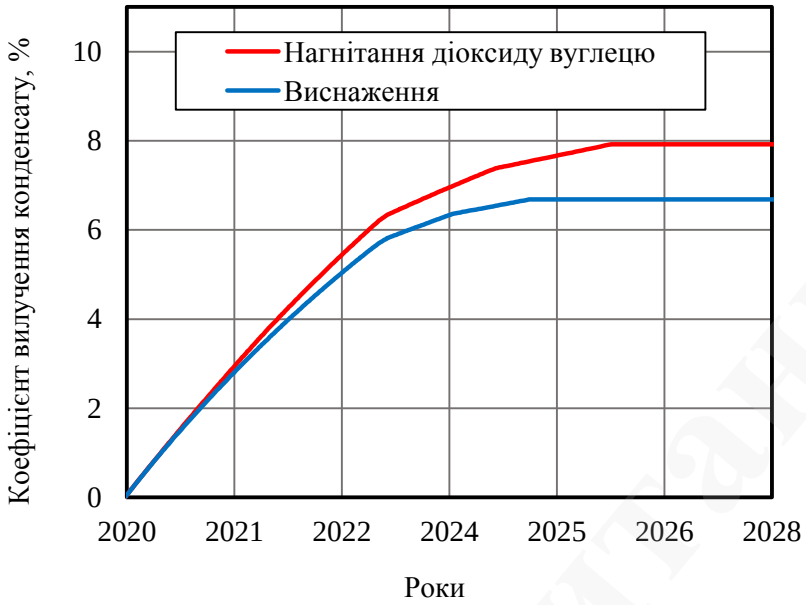


Рис. 6. Динаміка прогнозного коефіцієнта вилучення конденсату при розробці покладу горизонту В-16 на виснаження та при нагнітанні діоксиду вуглецю

Прогнозний коефіцієнт конденсатовилучення від залишкових запасів конденсату при нагнітанні діоксиду вуглецю на момент його прориву в останню з видобувних свердловин становить 7,92 %, а при розробці покладу горизонту В-16 на виснаження – 6,68 %. За результатами проведених розрахунків завдяки впровадженню технології нагнітання діоксиду вуглецю підвищується кінцевий коефіцієнт вилучення конденсату на 1,24 % за величиною залишкових запасів конденсату.

Результати проведених досліджень свідчать про технологічну ефективність нагнітання діоксиду вуглецю в продуктивні поклади для регулювання просування законтурних вод та витіснення мікро- і макрозащемленого газу з метою збільшення кінцевого коефіцієнту вуглеводневилучення для умов конкретного покладу.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Використовуючи результати розрахунків, отриманих на основі досліджень синтетичних цифрових моделей газоконденсатних покладів, проведено апробацію технології нагнітання діоксиду вуглецю в поклад горизонту В-16 Гадяцького родовища. Згідно результатів апробації встановлено технологічну ефективність використання діоксиду вуглецю для контролю та регулювання просування законтурних вод для умов покладу горизонту В-16. На основі результатів проведених досліджень встановлено, що при нагнітанні діоксиду вуглецю в поклад горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища досягається збільшення коефіцієнта газовилучення на 2,95 % в порівнянні з розробкою покладу на виснаження. Кінцевий коефіцієнт вилучення конденсату при цьому збільшується на 1,24 %.

Weaknesses. Результати проведених досліджень дозволяють удосконалити існуючу технологію розробки покладу горизонту В-16 Гадяцького

нафтогазоконденсатного родовища в умовах водонапірного режиму розробки. Згідно результатів моделювання при нагнітанні діоксиду вуглецю забезпечуються значно вищі кінцеві коефіцієнти вилучення вуглеводнів в порівнянні з розробкою на виснаження. Однак, остаточне рішення щодо впровадження досліджуваної технології повинно прийматися на основі всебічного техніко-економічного аналізу. Оскільки саме економічна оцінка відіграє вирішальну роль в прийнятті остаточного рішення. Зазвичай згідно результатів проведених досліджень ефективні одні технології, а рекомендовані до впровадження за результатами розрахунків економічних показників зовсім інші.

Opportunities. Апробацію технології нагнітання діоксиду вуглецю до умов продуктивного покладу горизонту В-16 здійснено з використанням постійно-діючої геолого-технологічної моделі Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища. Враховуючи значний вплив неоднорідності покладів вуглеводнів як за площею, так і за товщиною на процес вибору оптимальної технології розробки родовищ вуглеводнів доцільно проводити додаткові дослідження з метою забезпечення максимального вуглеводневилучення. Для нагнітання діоксиду вуглецю в поклад горизонту В-16 Гадяцького родовища використовувались пробурені свердловини на родовищі. Враховуючи вищенаведене основним завданням наступних досліджень повинно бути обґрунтування оптимальної кількості видобувних та нагнітальних свердловин, а також просторового розміщення їх на площі газоносності. Результати наведених досліджень можуть бути використані в світовій практиці нафтогазовидобутку.

Threats. У випадку впровадження технології нагнітання діоксиду вуглецю в продуктивний поклад горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища з метою витіснення залишкового газу з порового простору необхідно передбачити джерела постачання невуглеводневого газу на родовище. В промислових масштабах діоксид вуглецю виділяється із димових газів. Також до альтернативних джерел отримання діоксиду вуглецю відноситься технологія розділення повітря. Завдяки будівництву установки з обробки повітря отримується азот, діоксид вуглецю та аргон.

8. Висновки

1. Використовуючи постійно діючу геолого-технологічну модель Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища виконано апробацію технології нагнітання діоксиду вуглецю до умов газоконденсатного покладу горизонту В-16. За результатами проведених досліджень здійснено розрахунок основних технологічних показників розробки продуктивного покладу. Згідно проведених розрахунків встановлено, що завдяки нагнітанню діоксиду вуглецю забезпечується підтримання пластового тиску на значно вищому рівні порівняно з розробкою покладу на виснаження. Завдяки цьому досягається збільшення накопиченого видобутку вуглеводнів. На основі аналізу технологічних показників розробки покладу горизонту В-16 встановлено, що у випадку впровадження технології нагнітання діоксиду вуглецю забезпечується збільшення видобутку газу та різке зменшення видобутку пластової води. Враховуючи вищенаведене, можна стверджувати про високу технологічну

ефективність використання в якості агенту нагнітання діоксиду вуглецю з метою блокування просування пластової води в продуктивний поклад горизонту В-16 та попередження обводнення видобувних свердловин

2. Використовуючи результати проведених досліджень процесу розробки покладу горизонту В-16 Гадяцького нафтогазоконденсатного родовища здійснено розрахунок прогнозних коефіцієнтів вуглеводневилучення згідно розглянутих варіантів моделювання. Кінцевий коефіцієнт газовилучення при нагнітанні діоксиду вуглецю на момент його прориву в останню видобувну свердловину становить 32,56 %, а коефіцієнт конденсатовилучення – 7,92 %. При розробці продуктивного покладу на виснаження прогнозний коефіцієнт газовилучення становить 29,61 %, а коефіцієнт конденсатовилучення – 6,68 %.

Згідно результатів моделювання встановлено, що завдяки впровадженню технології нагнітання діоксиду вуглецю вдається підвищити кінцевий коефіцієнт вилучення газу та конденсату на 2,95 % та 1,24 %, відповідно.

Результати проведених досліджень свідчать про технологічну ефективність нагнітання діоксиду вуглецю в поклад горизонту В-16 з метою витіснення мікро- та макрозащемленого газу та збільшення кінцевого коефіцієнту вуглеводневилучення. Подальшу доцільність впровадження даної технології на газоконденсатних родовищах України необхідно визначати за результатами всебічного техніко-економічного аналізу.

Література

1. Kondrat, R. M. (1992). *Gazokondensatootdacha plastov*. Moscow: Nedra, 255.
2. Matkivskyi, S. V., Kovalchuk, S. O., Burachok, O. V., Kondrat, O. R., Khaidarova, L. I. (2020). Doslidzhennia vplyvu neznachnoho proiavu vodonapirnoi systemy na dostovirnist materialnoho balansu kolektoriv. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch, 2 (75)*, 43–51.
3. Rassokhin, G. V. (1997). *Zavershaiuschaia stadiia razrabotki gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdenii.* Moscow: Nedra, 184.
4. Boiko, V. S., Boiko, R. V., Keba, L. M., Seminskyi, O. V. (2006). *Obvodnennia hazovykh i naftovykh sverdlovyn.* Kyiv: Mizhnarodna ekonomichna fundatsiia, 791.
5. Geffen, T. M., Parrish, D. R., Haynes, G. W., Morse, R. A. (1952). Efficiency of Gas Displacement From Porous Media by Liquid Flooding. *Journal of Petroleum Technology, 4 (2),* 29–38. doi: http://doi.org/10.2118/952029-g
6. Knapp, R. M., Henderson, J. H., Dempsey, J. R., Coats, K. H. (1968). Calculation of Gas Recovery Upon Ultimate Depletion of Aquifer Storage. *Journal of Petroleum Technology, 20 (10),* 1129–1132. doi: http://doi.org/10.2118/1815-pa
7. Rassokhin G. V. Leontev I. A., Petrenko V. I. et. al. (1973). *Vliianie obvodneniia mnogoplastovykh gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdenii na ikh razrabotku.* Moscow: Nedra, 264.
8. Rczaee, M., Rostami, B., Mojarad, M. (2013). Experimental Determination of Optimized Production Rate and its Upscaling Analysis in Strong Water Drive Gas Reservoirs. I*nternational Petroleum Technology Conference held in Beijing,* 1–11. doi: http://doi.org/10.2523/IPTC-16938-Abstract

9. Anikeev, D. P., Zakirov, S. N., Kondrat, A. R. (2013). Vozmozhnosti uvelicheniia KIG pri razrabotke zalezhei gaza s podoshvennoi vodoi. *Gazovaia promyshlennost, 9 (695)*, 51–53.

10. Zakirov, S. N., Indrupskii, I. M., Zakirov, E. S. i dr. (2004). *Novye printsipy i tekhnologii razrabotki mestorozhdenii nefti i gaza. Ch. 2.* Moscow-Izhevsk: Institut kompiuternykh tekhnologii, 484.

11. Zakirov, S. N., Zakirov, I. S., Batanova, M. N. i dr. (2004). *Novye printsipy i tekhnologii razrabotki mestorozhdenii nefti i gaza. Ch. 1.* Moscow-Izhevsk: Institut kompiuternykh tekhnologii, 520.

12. Sim, S. S. K., Turta, A. T., Singhal, A. K., Hawkins, B. F. (2009). Enhanced Gas Recovery: Effect of Reservoir Heterogeneity on Gas-Gas Displacement. *Canadian International Petroleum Conference*. Calgary. doi: http://doi.org/10.2118/2009-023

13. Sim, S. S. K., Brunelle, P., Turta, A. T., Singhal, A. K. (2008). Enhanced Gas Recovery and CO2 Sequestration by Injection of Exhaust Gases From Combustion of Bitumen. *SPE Symposium on Improved Oil Recovery*. Tulsa. doi: http://doi.org/10.2118/113468-MS

14. Sinisha A. Jikich, Duane H. Smith, W. Neal Sams, Grant S. (2003). Enhanced Gas Recovery (EGR) with Carbon Dioxide Sequestration: A Simulation Study of Effects of Injection Strategy and Operational Parameters. *SPE Eastern Regional Meeting.* Pittsburgh. doi: https://doi.org/10.2118/84813-ms

15. Kondrat, O., Matkivskyi, S. (2020). Research of the influence of the grid density of injection wells on the gas extraction coefficient when injecting carbon dioxide into reservoir. *Technology Audit and Production Reserves, 5 (1 (55))*, 12–17. doi: http://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.215074

16. Matkivskii, S. V., Kondrat, O. R. (2020). Vpliv trivalosti periodu nagnitannia dioksidu vugletsiu na gazoviluchennia v umovakh proiavu vodonapirnogo rezhimu. *Study of modern problems of civilization*. Oslo, 135–139.

17. Ogolo, N. A., Isebor, J. O., Onyekonwu, M. O. (2014). Feasibility Study of Improved Gas Recovery by Water Influx Control in Water Drive Gas Reservoirs. *SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition.* Lagos. doi: http://doi.org/10.2118/172364-ms

18. Aziz, K., Settari, A. (1979). *Petroleum Reservoir Simulation*. London: Applied Science Publishers, 135–139.

19. Crichlow, H. B. (1977). *Modern Reservoir Engineering – A Simulation Approach*. New Jersey: Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 354.

20. Matkivskii S.V., Kondrat O.R. 2020. Vpliv trivalosti periodu nagnitannia azotu v produktivni pokladi na kharakter prosuvannia plastovoi vodi. *About the problems of science and practice, tasks and ways to solve them.* Milan, 137–140.

21. Ancell, K. L., Manhart, T. A. (1987). Secondary Gas Recovery from a Water-Drive Gas Reservoir: A Case Study. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Dallas. doi: http://doi.org/10.2118/16944-MS

22. Cruz Lopez, J. A. (2000). Gas Injection As A Method For Improved Recovery In Gas-Condensate Reservoirs With Active Support. *SPE International Petroleum Conference and Exhibition in Mexico.* Villahermosa. doi: http://doi.org/10.2118/58981-MS

23. Khan, C., Amin, R., Madden, G. (2012). Economic Modelling of CO2 Injection for Enhanced Gas Recovery and Storage: A Reservoir Simulation Study of Operational Parameters. *Energy and Environment Research, 2 (2).* doi: http://doi.org/10.5539/eer.v2n2p65

24. Tiwari, S., Suresh Kumar, M. (2001). Nitrogen Injection for Simultaneous Exploitation of Gas Cap. *SPE Middle East Oil Show*. Manama. doi: http://doi.org/10.2118/68169-MS

25. Burachok, O. V., Pershyn, D. V., Matkivskyi, S. V., Bikman, Ye. S., Kondrat, O. R. (2020). Osoblyvosti vidtvorennia rivniannia stanu hazokondensatnykh sumishei za umovy obmezhenoi vkhidnoi informatsii. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch, 1 (74),* 82–88.

Тільки для читання