

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИВИБІЙНОЇ ЗОНИ ПЛАСТА НА ПРОДУКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИДОБУВНИХ СВЕРДЛОВИН

С. В. Матківський¹, Л. І. Матіішин²

¹Акціонерне Товариство «Укргазвидобування»;

04053, м. Київ, вул. Кудрявська, 26/28;

тел./факс (04427) 2-31-15, e-mail: matkivskij@gmail.com;

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;

тел.0966587275, e-mail: lilya.matiishun@gmail.com

Охарактеризовано причини зниження продуктивності газових свердловин. Розкрито структуру параметра кольматації пласта. Для умов модельної свердловини з використанням математичних залежностей досліджено вплив різних значень радіусів зони забруднення привибійної зони пласта, кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони пласта та різного ступеня зниження пластового тиску від початкового значення на продуктивність газових свердловин. Результати досліджень наведені у вигляді графічних залежностей дебіту газу для початкового значення пластового тиску від кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони для різних радіусів зони забруднення, від радіусу зони забруднення для різних значень кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони, від кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони для різного ступеня зниження пластового тиску за радіусу забрудненої зони 0,25, від радіусу зони забруднення різного ступеня зниження пластового тиску за кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони 2. Згідно результатів досліджень із збільшенням кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони отримуємо суттєве зменшення дебіту газу, а дебіт газу тим більший, чим більше значення пластового тиску. Значний вплив на зменшення дебіту газу має забруднення зони за високих значень пластового тиску. За методом статистичної обробки розрахункових даних встановлено середнє оптимальне значення радіусу забрудненої зони, яке дорівнює 0,25 для всіх значень кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони та середнє оптимальне значення кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони, що становить 1,97.

Ключові слова: кольматація, привибійна зона, пласт, продуктивність, дебіт газу, пластовий тиск, проникність забрудненої зони, радіус зони забруднення.

Переважна більшість родовищ вуглеводнів в Україні та і в цілому в світі вступають в пізню стадію розробки, що супроводжується істотним зниженням рівня видобутку вуглеводнів. Пов'язано це в основному з падінням пластового тиску, накопиченням рідини в елементах системи «пласт-свердловина-шлейф» та погіршенням їх гідродинамічних характеристик, корозією підземного та наземного обладнання.

Продуктивність видобувних свердловини значно залежить від стану привибійної зони пласта (ПЗП), який в процесі розробки продуктивних покладів погіршується в часі через об'ємну перебудову структури пористого простору (ділатансії), набухання глин, що містяться у породі, тощо.

Також при розробці продуктивних покладів має місце забруднення (кольматація) пласта, яка відбувається на стадії первинного розкриття і надалі поглиблюється під час вторинного розкриття та в процесі експлуатації свердловин. Під цим поняттям розуміють процес природного проникнення або штучного внесення дрібних частинок і мікроорганізмів в пори та тріщини гірських порід, а також осадження в них хімічних речовин, що сприяє зменшенню їх водо- або газопроникності. Проблема кольматації нафтових і газових покладів залишається актуальною протягом всього періоду розробки родовища. Носієм кольматуючого матеріалу (кольматанта) можуть служити як рідини так і гази.

На основі критичного аналізу результатів досліджень та промислового досвіду автори [1] встановили, що цементування є одним з джерел серйозного забруднення привибійної зони пласта (ПЗП), в результаті якого питома продуктивність свердловини знижується на 35%. У разі забруднення ПЗП понад 50% загального зниження тиску фільтрації відбувається у присвердловинній зоні. Таким чином, будь-яке руйнування ПЗП колектора є причиною зниження ефективності роботи видобувних свердловин [2-3].

Для оцінки стану забруднення продуктивного покладу Van Everdingen A.F. і Hurst N. в 1949 році вперше ввели поняття скін-фактору (S). [4]. За результатами досліджень встановлено, що падіння вибійного тиску в результаті погіршення проникності пласта пропорційне скін-фактору. На основі цього Hawkins M.F. запропонував формулу для розрахунку скін-фактору, яка згодом ввійшла в наукову літературу, як Hawkins' formula.

Узагальнений скін-фактор характеризує втрати тиску в пласті, викликані викривленням ліній потоку, порушенням закону Дарсі, порушеннями природного стану ПЗП в результаті буріння і розкриття перфорацією. На ступінь забруднення привибійної зони істотно впливає проникність колектора [5-8].

Якщо значення скін-фактору дорівнює нулю, руйнування привибійної зони не відбувається. Позитивне значення скін-фактору є індикатором для оперативного прийняття рішень щодо проведення заходів з

інтенсифікації припливу вуглеводнів та зниження ступеня забруднення привибійної зони.

Метою даних досліджень є визначення впливу параметрів оброблення привибійної зони пласта на продуктивність свердловини, розроблення рекомендацій щодо вибору методу дії на пласт та оптимальних параметрів привибійної зони пласта після оброблення, зокрема проникності та радіусу зони обробки, та їхнього впливу на дебіт свердловини після обробки та обґрунтування етапу розробки, на якому проведення оброблень є найбільш доцільним та ефективним.

Методика дослідження та вихідні дані

Для оцінки впливу забруднення ПЗП на продуктивні характеристики свердловини використано залежність для середнього коефіцієнта проникності:

$$k_{\text{сеп}} = \frac{\ln\left(\frac{R_{\kappa}}{r_c}\right)}{\frac{1}{k_{\text{забр}}} \cdot \ln\left(\frac{R_{\text{забр}}}{r_c}\right) + \frac{1}{k_{\text{пласта}}} \cdot \ln\left(\frac{R_{\kappa}}{R_{\text{забр}}}\right)}, \quad (1)$$

де R_{κ} – радіус контуру живлення пласта, м; r_c – радіус свердловини, м; $k_{\text{забр}}$ – коефіцієнт проникності забрудненої зони, м²; $R_{\text{забр}}$ – радіус забрудненої зони, м; $k_{\text{пласта}}$ – коефіцієнт природної проникності пласта, м².

Дослідження виконані для гіпотетичної газової свердловини з наступними параметрами: глибина спуску насосно-компресорних труб (НКТ) до середини інтервалу перфорації – 3143 м; внутрішній діаметр НКТ – 6,2 см; ефективна товщина газоносного пласта – 12 м; початковий пластовий тиск – 37,01 МПа; депресія тиску – 1,5 МПа; пластова температура – 337 К; температура на гирлі – 290 К; радіус контуру живлення пласта – 1500 м; відносна густина газу – 0,659; коефіцієнт проникності – 55мД; значення коефіцієнтів фільтраційних опорів привибійної зони пласта: $A=1,32$ (МПа²·доб/тис.м³) та $B=0,0018$ (МПа·доб/тис.м³)².

Дослідження виконані для різних значень радіусів зони забруднення ПЗП (0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5 м); кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони пласта (1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25; 2,5; 2,75; 3,0 рази) та різного ступеня зниження пластового тиску від початкового значення (1; 0,9; 0,7; 0,5; 0,3; 0,1 Р_{поч}).

Результати дослідження

Проведено дослідження оцінки впливу забруднення ПЗП (товщини та проникності забрудненої зони) на продуктивність газових свердловин.

На рис. 1 показано залежності дебіту газу для початкового значення пластового тиску від кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони для різних радіусів зони забруднення, а на рис. 2 – залежності дебіту газу від радіусу зони забруднення для різних значень кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони. Для інших значень пластового тиску характер залежностей аналогічний.

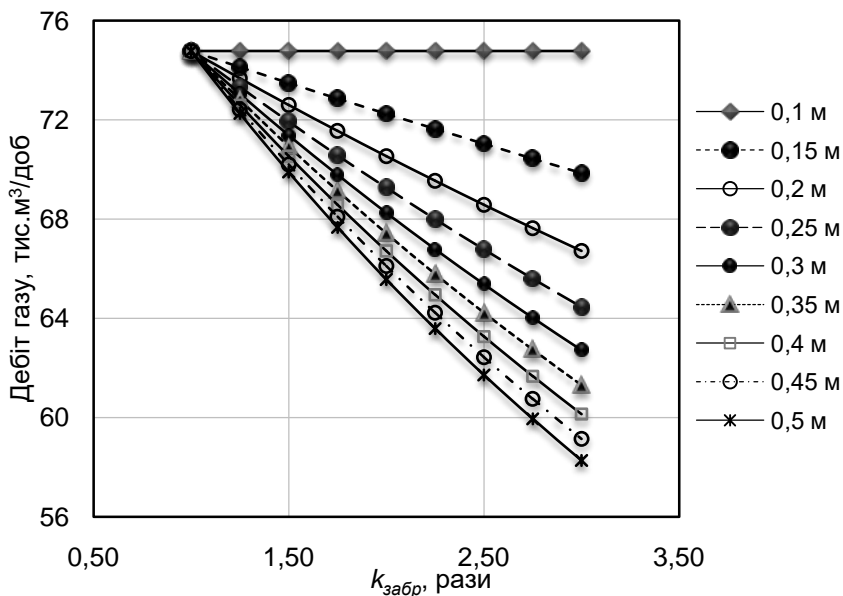


Рис. 1. Залежності дебіту газу від кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони для різних радіусів зони забруднення

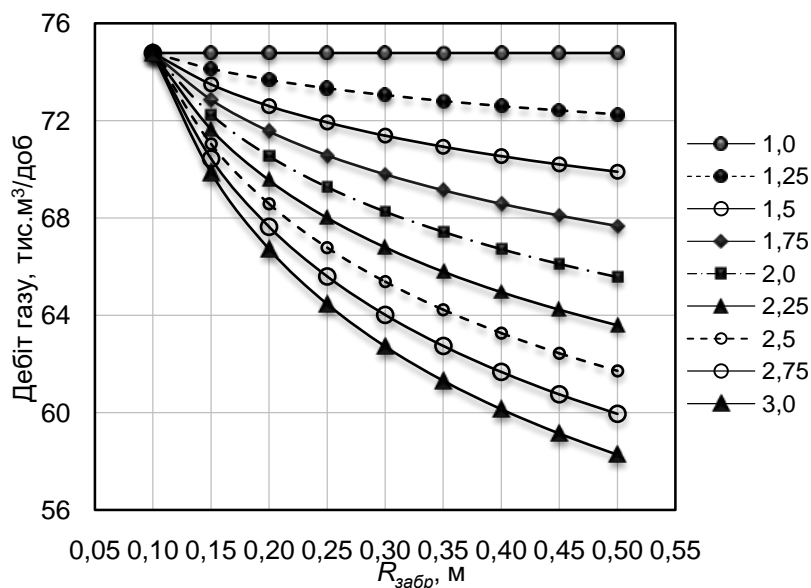


Рис. 2. Залежності дебіту газу від радіусу зони забруднення для різних значень кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони

Аналіз графічних залежностей рисунків 1-2 показує те, що дебіт газу суттєво зменшується із збільшенням радіусу зони забруднення та кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони. Так, збільшення радіусу зони забруднення з 0,1 м до 0,5 м та кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони у 1,5 рази дебіт газу зменшується з 74,78 тис.м³/доб до 69,9 тис.м³/доб (на 6,53 %), а при кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони у 3 рази – з 74,78 тис.м³/доб до 58,27 тис.м³/доб (на 22,08 %). Це свідчить про те, що із збільшенням кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони отримуємо суттєве зменшення дебіту газу.

За радіусу зони забруднення 0,2 м дебіт газу зменшується з 74,78 тис.м³/доб до 66,72 тис.м³/доб (на 10,8 %) за кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони з початкового значення до 3 разів; за радіусу зони забруднення 0,4 м – з 74,78 тис.м³/доб до 60,14 тис.м³/доб (на 19,6 %) за тих же самих значень кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони. Чим більший радіус забрудненої зони, тим більший ступінь зменшення дебіту газу.

Залежності рис. 1 змінюються лінійно і кожна з них описується лінійним рівнянням, коефіцієнт кореляції яких змінюється в межах 0,9943 – 0,9993. Залежності рисунку 2 описуються квадратичними рівняннями.

За методом статистичної обробки розрахункових даних встановлено середнє оптимальне значення радіусу забрудненої зони ($R_{\text{забр}}=0,25$) для всіх значень кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони, вище якого дебіт газу зменшується, але вже не так суттєво.

На рис. 3 показано залежності дебіту газу від кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони для різного ступеня зниження пластового тиску за радіусу забрудненої зони 0,25, а на рис. 4 – залежності дебіту газу від радіусу зони забруднення різного ступеня зниження пластового тиску за кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони 2.

Залежність рис. 4 описується квадратичним рівнянням, коефіцієнт кореляції якого становить 0,9999. Як показує аналіз залежності рисунка 4, із збільшенням ступеня зниження пластового тиску абсолютне зменшення дебіту газу зменшується.

Аналізуючи результати досліджень графічних залежностей 3 та 4, дебіт газу тим більший, чим більше значення пластового тиску. Як бачимо, суттєвий вплив на зменшення дебіту газу має забруднення зони за високих значень пластового тиску. Так, залежно від кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони за початкового пластового тиску 37,01 МПа дебіт газу зменшується з 74,78 тис.м³/доб до 64,46 тис.м³/доб (на 13,8 %); за тиску 0,9 від початкового значення (33,31 МПа) – з 67,74 тис.м³/доб до 58,26 тис.м³/доб (на 13,99 %); за тиску 0,7 від початкового значення (25,91 МПа) – з 53,3 тис.м³/доб до 45,64 тис.м³/доб (на 14,37 %); за тиску 0,5 від початкового значення (18,51 МПа) – з 38,35 тис.м³/доб до 32,67 тис.м³/доб (на 14,81 %); за тиску 0,3

від початкового значення (11,1 МПа) – з 22,82 тис.м³/доб до 19,33 тис.м³/доб (на 15,3 %); за тиску 0,1 від початкового значення (3,7 МПа) – з 6,65 тис.м³/доб до 5,6 тис.м³/доб (на 15,79 %).

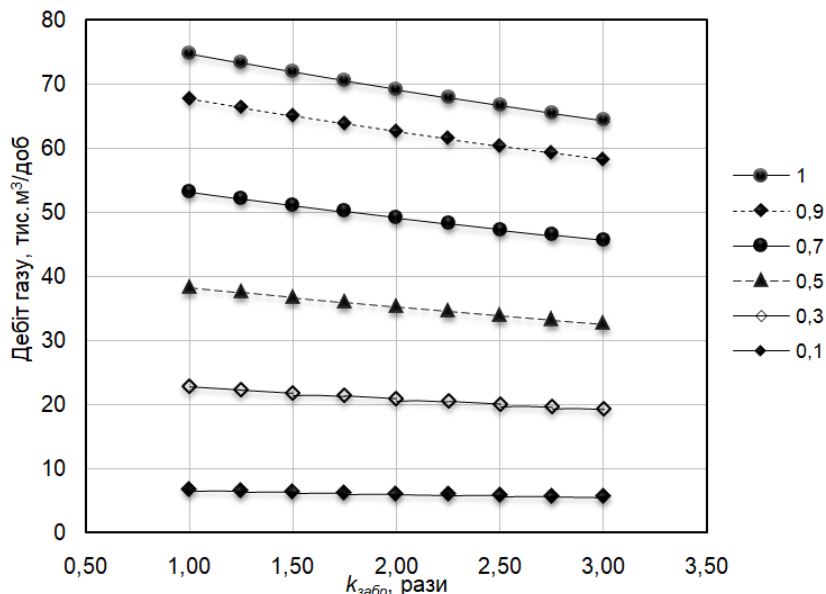


Рис. 3. Залежності дебіту газу від кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони для різного ступеня зниження пластового тиску за радіусу забрудненої зони 0,25

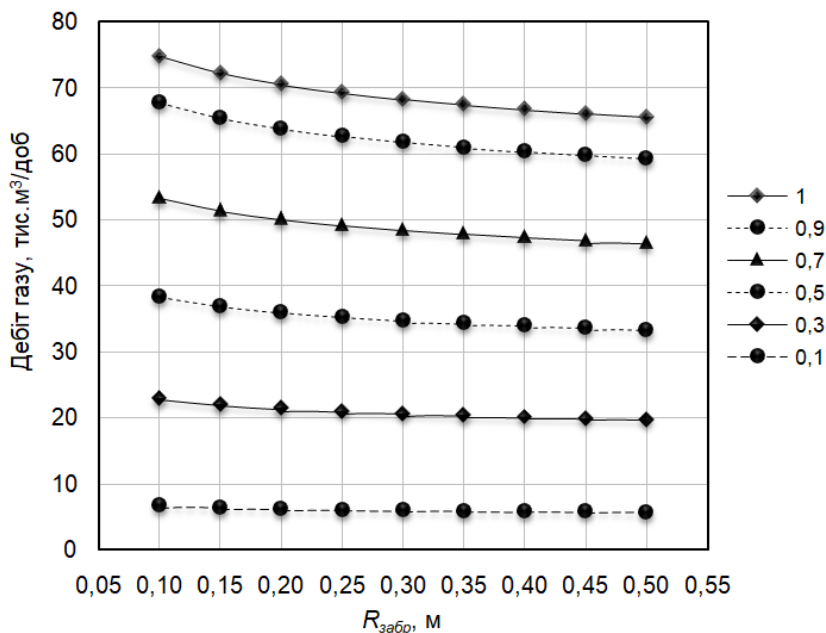


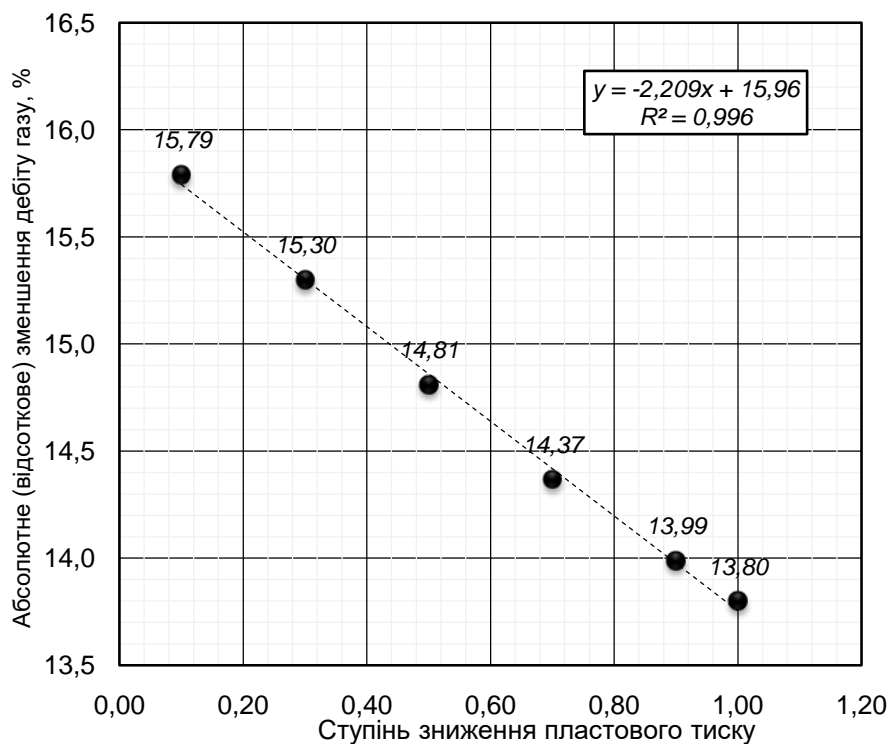
Рис. 4. Залежності дебіту газу від радіусу зони забруднення різного ступеня зниження пластового тиску за кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони 2

Залежно від зміни радіусу зони забруднення за початкового пластового тиску 37,01 МПа дебіт газу зменшується з 74,78 тис.м³/доб до 65,57 тис.м³/доб (на 12,31 %); за тиску 0,9 від початкового значення (33,31 МПа) – з 67,74 тис.м³/доб до 59,28 тис.м³/доб (на 12,49 %); за тиску 0,7 від початкового значення (25,91 МПа) – з 53,3 тис.м³/доб до 46,46 тис.м³/доб (на 12,83 %); за тиску 0,5 від початкового значення (18,51 МПа) – з 38,35 тис.м³/доб до 33,27 тис.м³/доб (на 13,25 %); за тиску 0,3 від початкового значення (11,1 МПа) – з 22,82 тис.м³/доб до 19,70 тис.м³/доб (на 13,67 %); за тиску 0,1 від початкового значення (3,7 МПа) – з 6,65 тис.м³/доб до 5,71 тис.м³/доб (на 14,14 %).

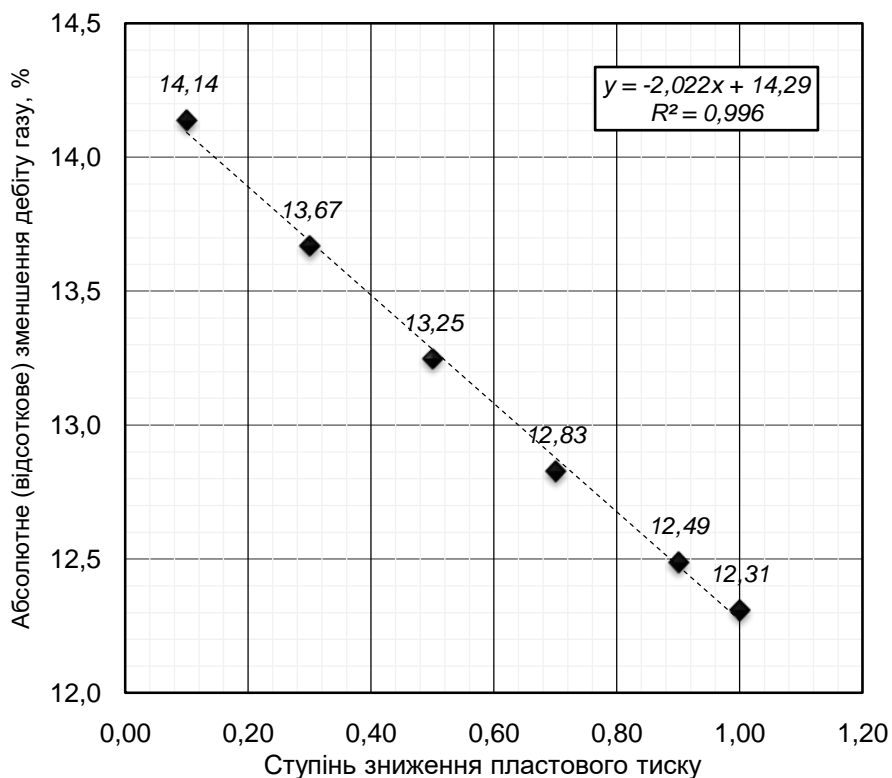
Графічні залежності рис. 3 оброблено методом найменших квадратів і встановлено середнє оптимальне значення кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони ($k_{забр}=1,97$), вище якого дебіт газу зменшується, але не так суттєво.

На рис. 5 побудовано залежність абсолютного зменшення дебіту газу (%) від ступеня зниження пластового тиску (залежно від кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони та радіусу забрудненої зони).

Залежності рис. 5 описуються лінійними рівняннями, з високими значеннями коефіцієнтів кореляції.



а)



б)

а) залежно від кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони;

б) залежно від радіуса забрудненої зони.

Рис. 5. Залежності абсолютного зменшення дебіту газу (%) від ступеня зниження пластового тиску

Таким чином, доцільно і більш ефективним для підвищення продуктивності свердловин покращувати стан привибійної зони пласта шляхом проведення відповідних геолого-технічних заходів з метою відновлення природної проникності та можливого її збільшення за низьких значень пластового тиску та дебітів газу.

Висновки

Забруднення ПЗП є негативним фактором, який виникає в процесі експлуатації видобувних свердловин. Для покращення продуктивності таких свердловин доцільно проводити методи очищення ПЗП від забруднення і покращувати фільтраційно-емісійні характеристики пластів шляхом проведення різних фізико-хімічних методів діяння на ПЗП залежно від параметрів продуктивного пласта.

У статті показано, як кратність коефіцієнта проникності забрудненої зони та радіус забрудненої зони впливає на дебіт газу і яке значення впливу цих параметрів на різних етапах розробки покладу.

Згідно результатами виконаних досліджень встановлено, що суттєве зменшення дебіту газу відбувається при забрудненні зони з радіусом забруднення 0,25 м та кратності коефіцієнта проникності забрудненої зони рівному 2. Вище цих значень дебіт газу зменшується, але не так суттєво. Найбільш негативно ці параметри впливають на дебіт газу за малих значень пластового тиску.

Результати проведених досліджень свідчать про те, що для стабілізації та нарощення видобутку вуглеводнів необхідно удосконалювати існуючі та розробляти нові прогресивні технології видобутку вуглеводнів, які дозволять реалізувати залишковий потенціал діючих газових і газоконденсатних родовищ та підвищити кінцеві коефіцієнти вуглеводневилучення.

Література

1. Нижник А.Е., Куксов А.К., Лебедев О.А. и др. К вопросу влияния процесса цементирования на продуктивность скважин // НТЖ. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2001, №5-6.
2. Крылов В.И., Крецул В.В. Современные технологические жидкости для заканчивания и капитального ремонта скважин. Методы повышения эффективности разработки нефтяных месторождений в завершающей (четвертой) стадии: расширенное заседание ЦКР Роснедра 4-5 декабря 2007 г., – М.: НП НАЭН, 2008.
3. Качмар Ю.Д., Світлицький В.М., Синюк Б.Б., Яремійчук Р.С. Інтенсифікація припливів вуглеводнів у свердловину. Книга перша. Львів: Центр Європи, 2004. 352 с.
4. Petroleum production systems / Michael J. Economides, A. Daniel Hill, Christine Ehlig. – Economides, 1994 by Prentice Hall PTR.
5. Акимов Н.И., Стрижнев К.В., Чернов А.В., Павлов И.В. Влияние параметров пласта на продуктивность горизонтальных скважин // Интервал. 2006, №4. с. 38-43.
6. Михайлов Н. Н. Информационно-технологическая геодинамика околоскважинных зон. М.: Недра 1996. с.339.
7. Подгорнов В.М., Сулейменов Н.С., Ширдавлетов Н.Т. Фильтрационные барьеры вокруг горизонтальных стволов в гранулярных коллекторах Арыскупского месторождения, НТЖ // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2012, №2. с. 45-48.
8. Кондрат Р.М., Хайдарова Л.І. Дослідження впливу характеристик розкриття газоносних пластів перфорацією на видобувні можливості свердловини. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2019. №4(73). С. 46-53.

Стаття надійшла до редакційної колегії 27.09.2023 р.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF CONTAMINATION OF THE BOTTOMHOLE ZONE OF THE FORMATION ON THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF PRODUCTION WELLS**S. V. Matkivskiy¹, L. I. Matiishyn²**¹*Ukrgazvydobuvannya Joint Stock Company;**04053, Kyiv, street Kudryavska, 26/28;**tel./fax (04427) 2-31-15, e-mail: matkivskij@gmail.com;*²*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;**76019, Ivano-Frankivsk, st.Karpatska, 15;**тел.0966587275, e-mail: lilya.matiishun@gmail.com*

The reasons for the decrease in productivity of gas wells are characterized. The structure of the formation colmatation parameter is revealed. For the conditions of a model well, using mathematical dependencies, the influence of different values of the radii of the contaminated zone at the bottomhole formation zone, the multiplicity of the permeability coefficient of the contaminated formation zone and different degrees of reduction in reservoir pressure from the initial value on the productivity of gas wells was studied. The research results are presented in the form of graphical dependences of gas flow rate for the initial value of reservoir pressure on the permeability coefficient of the contaminated zone for different radii of the contaminated zone, on the radius of the contaminated zone for different values of the permeability coefficient of the contaminated zone, pressure along the radius of the contaminated zone 0.25, on the radius of the zone pollution of varying degrees of reduction in reservoir pressure according to the multiplicity of the permeability coefficient of the contaminated zone 2. According to the results of studies, with an increase in the multiplicity of the permeability coefficient of the contaminated zone, we will obtain a significant decrease in the gas flow rate, and the gas flow rate, the greater the value of the reservoir pressure. Zone contamination at high values of reservoir pressure has a significant impact on the reduction in gas production. Using the method of statistical processing of calculated data, the average optimal value of the contaminated zone radius was established to be equal to 0.25 for all values of the permeability coefficient of the contaminated zone and the average optimal value of the permeability coefficient of the contaminated zone to be 1.97.

Keywords: *colmatation, bottomhole zone, reservoir, productivity, gas flow, reservoir pressure, permeability of the contaminated zone, radius of the contaminated zone.*