

*І.М. ФИК, Д.В. РИМЧУК***ВПЛИВ ПРИРОДНИХ ФАКТОРІВ ПІДТРИМУВАННЯ ПЛАСТОВОГО ТИСКУ НА ПІЗНІЙ СТАДІЇ РОЗРОБКИ ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ РОДОВИЩ.**

Об'єктом дослідження є природні фактори, які можуть впливати як на підтримання пластового тиску в процесі розробки газоконденсатних родовищ, а також на відновлення запасів виснажених покладів. До таких факторів слід віднести: обводнення покладів, просідання поверхні, пружність породи, води і газу, початкові градієнти пластового тиску в покладах, капілярні сили. При вивченні відновлення запасів на виснажених газоконденсатних родовищах, найперше треба врахувати вплив вищенаведених факторів на підтримання пластового тиску, щоб виявити саме об'єми газу, які перетікають з глибоких горизонтів (сторонні джерела).

В роботі показана динаміка обсягів обводнення та середні пластові тиски по рокам. Акцентовано, що обводнення суттєво не впливає на підтримання пластового тиску. Наведено кореляційні залежності об'ємів обводнення в часі, та залежність об'ємів обводнення від пластового тиску. Запропонована оригінальна система розрахунку об'єму водонапірної системи з метою прогнозу подальшого обводнення покладів. Враховано впливи всіх наведених вище факторів на процес підтримання пластового тиску. Показано, що для Шебелинського ГКР всі ці фактори суттєво не впливають на відновлення запасів. Вивчено вплив капілярних сил та випаровування води в покладах на процеси розробки з точкисору підтримання пластового тиску на пізній стадії експлуатації ГКР.

Ключові слова: родовище, пластовий тиск, обводнення, розробка, пружність, колектор.

*І.М. ФИК, Д.В. РИМЧУК***INFLUENCE OF NATURAL FACTORS OF SUPPORTING RESERVOIR PRESSURE AT THE LATE STAGE OF DEVELOPMENT OF GAS CONDENSATE FIELDS.**

The object of the research is natural factors that can affect both the maintenance of reservoir pressure in the process of developing gas condensate fields and the recovery of depleted deposits. Such factors include: waterflooding of deposits, subsidence of the surface, elasticity of rocks, water and gas, initial gradients of reservoir pressure in deposits, capillary forces. When studying the recovery of reserves in depleted gas condensate fields, it is necessary to take into account the influence of the above factors on the maintenance of reservoir pressure in order to identify the volumes of gas that flow from deep horizons (external sources).

The paper shows the dynamics of waterflooding volumes and average reservoir pressures over the years. It is emphasized that waterflooding does not significantly affect the maintenance of reservoir pressure. Correlation dependencies of waterflooding volumes over time and the dependence of waterflooding volumes on reservoir pressure are given. An original system for calculating the volume of the water pressure system is proposed for the purpose of forecasting further waterflooding of deposits. The influences of all the above factors on the process of maintaining reservoir pressure are taken into account. It is shown that for the Shebelinsky GCF, all these factors do not significantly affect the recovery of reserves. The influence of capillary forces and evaporation of water in deposits on the development processes from the point of view of maintaining reservoir pressure at the late stage of GCF operation is studied.

Key words: deposit, formation pressure, irrigation, development, elasticity, collector.

Вступ. Вплив природних факторів підтримання пластового тиску на пізній стадії розробки газоконденсатних родовищ.

В роботі розглядаються природні фактори, які можуть впливати як на підтримання пластового тиску в процесі розробки газоконденсатних родовищ, а також на відновлення запасів виснажених покладів.

Аналіз основних досягнень і літератури. В роботі [1,2,3] відмічалось, що в умовах розробки газоконденсатних родовищ в режимі виснаження або часткового прояву водонапірного режиму, суттєву роль відіграють природні явища з підтримання пластового тиску або навпаки.

До таких явищ слід віднести:

- обводнення газоконденсатних родовищ наступаючими пластовими видами;
- просідання поверхні над родовищем;
- пружність пор у воді та газу в родовищі;
- початкові градієнти тиску як між пластові, так і міжпорові (капілярні).

Розглянемо наведені явища з точки зору їх впливу на підтримання пластового тиску на пізній стадії розробки газоконденсатних родовищ.

На рис.1 та рис.2 наведено дві карти обводнення Шебелинського газоконденсатного родовища в часі (станом на 1981 та 1987 роки [2,3]. співставлення карт

обводнення показало, що за період 7 років площі обводнення зросли не суттєво.

Подальше обводнення родовища наведено в таблиці 1, де узагальнено об'єми вторгнення законтурних пластових вод по роках та пластові тиски.

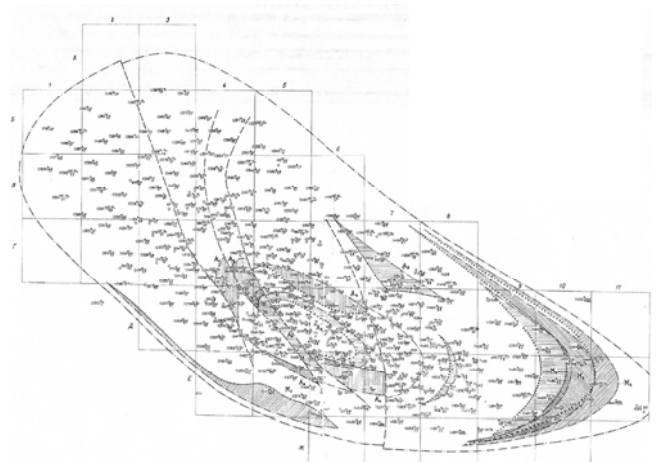


Рисунок 1 – Схема обводнення продуктивних горизонтів Шебелинського родовища (1981 рік)

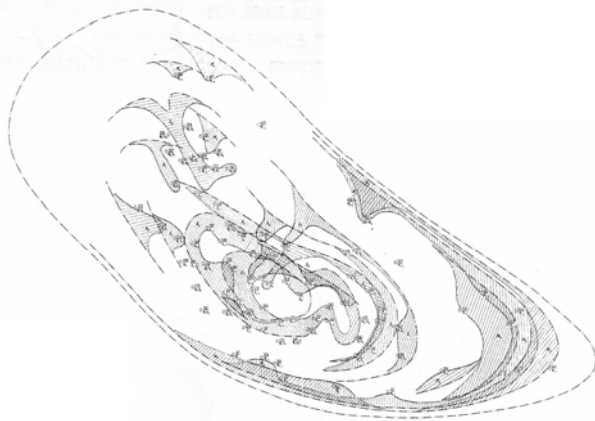


Рисунок 2 – Схема обводнення продуктивних горизонтів Шебелинського родовища (1987)

Таблиця 1 – Співставлення обсягів обводнення та середні пластові тиски в Шебелинському ГКР по роках.

Рік (t)	Q _{обв} , млн. м ³	P _{пл} , середнє МПа
1964*	0	23,8
1989	40,6	12,0
2009	80,0	2,5
2016	90,0	2,08
2022	96,0	2,00

Примітка: * - 1964 рік прийнято як початок зрушення водонапірної системи в газові поклади.

Із таблиці 1 слідує, що темпи обводнення пластовими водами продуктивних горизонтів зменшується. В роботах Абленцева В.М., Лурье А.Й., показано незначне обводнення основних родовищ ДДЗ [4,5] що підтверджується на Шебелинському ГКР.

В роботі [6] відмічається, що одним із критеріїв важковидобувних запасів є обводнення газоконденсатних покладів, тому важливо знати об'єми обводнення продуктивних пластів Шебелинського ГКР.

Авторами розраховані статистичні залежності об'ємів обводнення від часу (Q_{обв}(t)), а також залежність об'ємів обводнення від пластового тиску (Q_{обв}(P_{пл})).

Отриманні рівняння мають вигляд:

$$Q_{обв}(t) = 1.758 \cdot t - 3454 \quad r = 0,998 \quad (1)$$

$$Q_{обв}(P_{пл}) = -33,8 \cdot \ln(P_{пл}) + 114,4 \quad r = 0,967 \quad (2)$$

де r – коефіцієнт кореляції

Із отриманих рівнянь 1 і 2 слідує, що залежності об'ємів обводнення від часу і від тиску ведуть себе неадекватно і вступають у протиріччя, оскільки на пізній стадії розробки Шебелинського родовища залежність Q_{обв} від P_{пл} показує практичну стабілізацію

пластового тиску відносно незначним, але різким ростом об'ємів обводнення при падінні пластового тиску з 2,5 МПа до 2,08 МПа за період з 2009 по 2016 рік, та з 2018-2022 роках пластовий тиск стабілізувався на рівні 1,8 МПа.

Газонасичений об'єм пор Шебелинського ГКР складає 0,576 109 м³, в той час, як об'єм обводнення станом на 2022 рік складає 96 млн.м³. Тобто об'єм обводнення на 3 порядки менший ніж об'єм газонасичених пор і не може серйозно впливати на режим розробки родовища і підтримання пластового тиску.

Враховуючи, що наведений об'єм за контурних пластових вод, які увійшли в газові поклади складає 96 млн м³, при цьому пластові тиски знизились із 25 МПа до 1,8 МПа, а водонапірна система, в цілому, замкнена, можна розрахувати приблизний запас води у водонапірній системі Шебелинського родовища [3].

Пластова вода в родовищі знаходиться під тиском – стиснута. В ході розробки тиск у пласті поступово падає і вода починає розширюватись вторгаючись у газонасичену систему.

Таким чином це дозволяє провести підрахунок запасів замкнутої водонапірної системи газових та газоконденсатних родовищ. Знаючи властивості рідин, фізико-хімічні параметри пластової води, об'єм води, що увійшов у газонасичений пласт за рахунок розширення (96 млн.м³), а також початковий та поточний пластові тиски, можна розрахувати об'єм води з якого розширилась пластова вода, що вторглась у газові пласти, тобто запас води замкнутої водонапірної системи.

За різними даними коефіцієнт об'ємного розширення пластової води коливається 3,7 ÷ 5·10⁻⁴ МПа⁻¹ [2,3]. Даний параметр змінюється в залежності від тиску, температури, а також густини рідини. Слід зазначити, що коефіцієнт розширення води збільшується при наявності в воді розчиненого газу.

Оскільки Шебелинське родовище має значний діапазон змін усіх вище наведених параметрів, то у даній роботі з метою спрощення усереднено значення коефіцієнта розширення пластової води до 4,5·10⁻⁴ МПа.

Таким чином для розрахунку запасів води замкнутої водонапірної системи використаємо формулу В.Н. Щелкачова, що приймає вигляд [3]

$$V_{BC} = \frac{V_{обв}}{\beta \times (P_{пл}^{Поч} - P_{пл}^{Пот})} \quad (3)$$

де V_{BC} – об'єм водонапірної системи, м³;
V_{обв} – об'єм води, що вторглась у газонасичений поклад, за рахунок розширення V_{BC} м³;
β – об'ємний коефіцієнт розширення пластової води, 4,5·10⁻⁵ атм;

P_{пл}^{Поч} – початковий пластовий тиск, атм;

P_{пл}^{Пот} – поточний пластовий тиск, атм.

Проведемо розрахунок запасів води замкнутої водонапірної системи Шебелинського родовища використовуючи формулу 3 та дані таблиці 1,

$$V_{\text{вс}} = \frac{96 \cdot 10^6}{4 \cdot 25 \cdot 10^{-5} \times (250 - 20)} = 9,278 \text{ млрд.м}^3$$

Таким чином загальний об'єм водонапірної системи Шебелинського родовища з якої розширилась вода, що вторглась у родовище складає приблизно 9,2 млрд.м³.

Оскільки подальшого падіння пластового тиску в родовищі практично не спостерігається, то вказаний об'єм води у водонапірній системі Шебелинського ГКР (9,3 млрд.м³) не буде в перспективі впливати на обводнення.

В роботах [1,2,3] відзначалось, що просідання поверхні землі над газоконденсатними родовищами відбувається за рахунок розробки газових покладів та пониження пластового тиску (для родовищ, що розробляються в режимі виснаження. В роботі [3] наведено конкретні параметри просідання поверхні над газовими покладами Шебелинського газоконденсатного родовища.

Метою роботи

Відокремити фактори впливу на підтримання пластового тиску в середині покладів що розробляються від факторів відновлення запасів газу за рахунок перетоку з глибоких горизонтів.

Відомо, що територія поверхні по площі Шебелинського родовища просіла в середньому на 0,5 м. Цілком зрозуміло, що цей процес пов'язаний з розробкою газових покладів і пониженням пластового тиску з 25 МПа до 1,8 МПа. Якщо площа родовища складає 246•10⁶ м² то в газові поклади увійшло 123•10⁶ м³ внутрішньої пластової води (перетоки, дифузія води контактуючих водо насичених порід і глинистих пластів).

Виходячи із того, що об'єм пор газонасичених колекторів складає 2,945•10³ м³, обводнення за рахунок внутрішнього водонапірного режиму складає 4,2% від початкового газонасиченого об'єму колекторів.

Таким чином, загальний об'єм пластових вод, що увійшли в поклад Шебелинського родовища за рахунок зовнішнього і внутрішнього водонапірного режимів станом на 01.01.2009 року складає 203•10⁶ м³.

Наступним фактором, що впливає як на підрахунок запасів по падінню пластового тиску, так і на розробку родовища, є об'ємна пружність залишкової води і породи колектора. Так, при падінні пластового тиску на 20 МПа об'єм залишкової води збільшився (розширився) на 11 млн.м³. Об'єм же породи, яка розширилась у «свій» поровий простір, складе 60 млн.м³. Наведені фактори працюють аналогічно, як і внутрішній водонапірний режим.

В цілому, з урахуванням зовнішнього обводнення, внутрішнього водонапірного режиму, об'ємної пружності залишкової води та гірських порід, газонасичений поровий об'єм покладів зменшився на 274 млн.м³. Таким чином сумарне зменшення газонасиченого порового об'єму колекторів і не колекторів (початкове значення якого становило 3,521•10⁹ м³) складає до 8% від початкового. Тобто, суттєвого впливу як на підрахунок запасів, так і на розробку родовища за рахунок наведених факторів не спостерігається.

Про явище капілярних сил та їх вплив широко відомо при розробці нафтових родовищ, де капілярні явища проявляються під час видобування нафти. Сили взаємодії води з гірськими породами більші ніж у нафти. Таким чином вода здатна витіснити нафту з дрібних тріщин у більшій. В даному випадку родовище газоконденсатне (колектор гідрофільний), тому необхідно провести дослідження впливу капілярних сил на заводнення газоносної частини родовища.

Підймання рідини по капіляра під дією молекулярного притягання між стінками капілярів та рідиною відбувається до тих пір, доки поверхневий натяг спроможний утримувати стовпчик рідини. на даний процес безпосередньо впливає склад речовини, температура, фізико-хімічні властивості пласту, а також пластовий тиск що протидіє капілярному.

У продуктивному пласті на значній віддалі від газоводяного контакту багато капілярних і субкапілярних пор заповнені вуглеводнями. В ході розробки рівновага капілярних (пластових) сил порушується, і водна фаза, починає входити в тонкі газонасичені пори, а витіснені з них вуглеводні мігрують у крупні пори. Процес капілярного всмоктування може продовжуватись до наступної рівноваги капілярних тисків. Найінтенсивніше капілярне всмоктування протікає в газонасичених порах [7].

Відомо, що пластових тиск в газонасичених пластах зрівноважується капілярними силами, які визначаються радіусом порових каналів, поверхневий натяг на межі розділу газоподібної і рідкої фаз, а також крайовим кутом змочування [7,8].

Формула капілярного тиску приймає вигляд:

$$P_k = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta^0}{r} \quad (4)$$

де σ – поверхневий натяг, дін/см;

θ^0 – кут змочування в градусах;

r – радіус капілярів, см.

В умовах формування газового покладу при витісненні води газом спостерігається рівновага між пластовим тиском та тиском капілярних менісків в поровому просторі колектору. В ході розробки пластовий тиск поступово падає, тим самим протидія капілярному тиску зменшується, при цьому капілярний тиск не тільки залишається на тому ж рівні, а навіть стає більшим за рахунок зростання

поверхневого натягу, який є спадною функцією тиску згідно з дослідження М.Маскету (рис.3) [8].

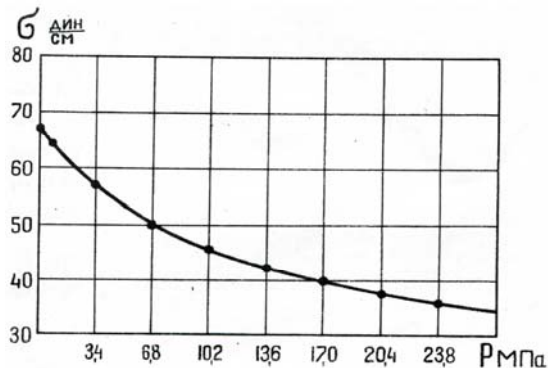


Рисунок 3 – Залежність поверхневого натягу σ води на межі з газом від тиску Р.

Використаємо формулу 3 для розрахунку радіусів порових каналів, що своєю капілярною протидією спроможні вирівнювати пластовий тиск. За даними експериментів [7,8] для зразків узятих з Хрещищенського родовища $\Theta^0=89,6^0$, при тиску в 30 МПа ($\sigma=34$ дин/см по М. Маскету) залишались водо насиченими капіляри до 2,5 мікрон. А при тиску 10 МПа ($\sigma=34$ дин/см) водонасиченими залишались капіляри діаметром 3,6 мікрон. Тобто при нижчому тиску капіляри здатні вбирати у себе більше води.

Таким чином, в ході формування покладу не вся вода була витіснена газом з капіляр, а в ході розробки (в результаті якої пластовий тиск знизиться) до залишкової води у все ще газонасиченій частині буде всмоктуватись додаткова вода, що буде відібрана від основного фронту обводнення на родовищі.

На рис.4 показна схема поглинання пластової води, що вторгається в мікроструктуру порового простору за рахунок відновлення балансу пластового тиску та капілярних сил.

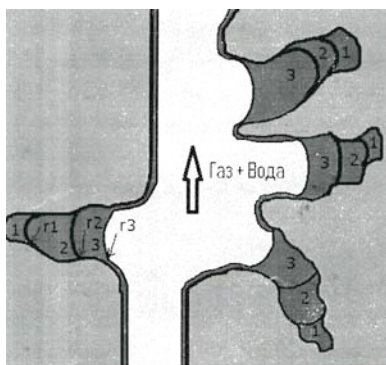


Рисунок 4 – Зрушення межі контакту «вода-газ» у капілярах:

1 – залишкові води при $P_{пл}^{поч.}(P1)$; 2 – додаткові води при $P_{пл}^{пот1}(P2)$; 3- додаткові води при $P_{пл}^{пот2}(P3)$; $r1$ та $r2$ – радіуси менісків за різних $R_{пл}$.
 $P_{пл}^{поч.}(P1) > P_{пл}^{пот1}(P2) > P_{пл}^{пот2}(P3)$

Із рис.4 слідує, що до початку розробки пластовий тиск і капілярні сили знаходились у стані рівноваги. В ході розробки пластовий тиск поступово знижувався і система «капілярний тиск – пластовий тиск» потребувала відновлення рівноваги. При початковому пластовому тиску $P1$ меніск мав радіус $r1$, поступово пластовий тиск знизився до $P2$ і радіус виріс до $r2$, відповідно при зниженні до $P3$ радіус став $r3$.

Таке відновлення можливе лише при зміні радіусів менісків в мікроструктурі порового простору. Даний процес супроводжується всмоктуванням капілярами додаткової пластової води. Таким чином при обводненні капіляри сповільнюють його темпи всмоктуючи воду з наступаючої газоводяної суміші.

Таким чином, при обводненні частина води, що вторглася в пори розсмоктується за рахунок дії капілярних сил в мікроструктуру порового простору, в наслідок чого обводнення газового покладу сповільнюється. Із карт обводнення на рис 1 та рис.2 видно, що особливого просування пластових вод на родовищі не спостерігається. Таким чином обводнення стримується у тому числі і за рахунок капілярних сил.

Як правило газові родовища, які не містять нафти, представляють собою газову шапку, що знаходиться над водою. Газ такого родовища насичений парами води.

Згідно роботи [8] в газі Шебелинського родовища в умовах пониження пластового тиску постійно збільшується дефіцит вологи. Так при тисках 8-10 МПа насиченість газу вологою складала 1,5-2 $см^3/м^3$, в той час як повна волого насиченість повинна була скласти 3-3,5 $см^3/м^3$. Якщо прийняти, що за період розробки насиченість газу вологою збільшилась в середньому на 1 $см^3/м^3$, то при вилученні газу із родовища в 600 млрд. $м^3$ в газ випаровувалось всього 600 тисяч $м^3$ води. Тобто випаровування води в пластовий газ не може компенсувати вторгнення пластових вод зовнішнього і внутрішнього водонапірних режимів, хоча в незначній мірі зменшує їх вплив на підтримування пластового тиску [3,4,5,7,8].

Слід зауважити, що на Шебелинському ГКР закачка газу в пласти не проводилась. [9]. Герметична якість свердловин забезпечує відсутність перетоків поза колонному простору зацементованої частини колони. [11, 12].

Висновки. В статті показано відокремлення факторів впливу на підтримування пластового тиску в середині покладів що розробляються від фактору відновлення запасів газу.

Показана динаміка обсягів обводнення та середні пластові тиски по рокам. Акцентовано, що обводнення суттєво не впливає на підтримування пластового тиску особливо на пізній стадії експлуатації ГКР.

Наведено кореляційні залежності об'ємів обводнення в часі, та залежність об'ємів обводнення від пластового тиску.

Запропонована оригінальна система розрахунку об'ємів водонапірної системи з метою прогнозу подальшої розробки газоконденсатних покладів.

Враховано впливи всіх наведених в статті факторів на процес підтримування пластового тиску.

Показано, що для Шебелинського ГКР всі ці фактори суттєво не впливають на відновлення запасів газу.

Вивчено вплив капілярних сил та випаровування води в покладах на процеси розробки з точки зору підтримування пластового тиску на пізній стадії експлуатації ГКР. Аналіз наведених факторів дозволить «відсікти» їх вплив на об'єми перетоків газу з глибоких горизонтів Шебелинського родовища.

Список літератури

1. Кривуля, С.В. Критерії дорозвідки великих родовищ вуглеводнів у Нижньопермсько-Верхньокам'яновугільних відкладах Дніпровсько-Донецької западини : монографія / С.В. Кривуля. - Х. : Ексклюзив, 2014. - 174 с.

2. Фик І.М. Відновлення запасів на Шебелинському газоконденсатному родовищі. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів. Харків, 2018 рік. с. 27-30.

3. Фик І.М., Фик І.М. Відновлення запасів газу Шебелинського газоконденсатного родовища – запорука довгострокової розробки // Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. Матеріали Шостої міжнародної науково-практичної конференції (7–11 жовтня 2019 р., м. Трускавець). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). – Т. 1. – К.: ДКЗ, 2019. – С. 395–400.

4. Абеленцев В.М. Прогнозування обводнення порідколекторів за характером їхньої змочуваності [Текст] / В.М. Абеленцев // Зб. наук. пр. «Питання розвитку газової промисловості України». – Харків : УкрНДІгаз, 2008. – Вип. 36. – С. 86–91.

5. Абеленцев В. М. Геологічні умови вилучення залишкових запасів і дорозвідки родовищ вуглеводнів північної приобтрової зони Дніпровсько-Донецької западини [Текст] : монографія / В.М. Абеленцев, А.Й. Лур'є, Л.О. Міщенко. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 192 с.

6. Орловський В.М. Нафтогазовилучення з важкодоступних і виснажених пластів : посібник для студ. спеціальності 185 "Нафтогазова інженерія та технології" / В.М. Орловський, В.С. Білецький, В.І. Сіренко ; Харків. нац. ун-т міського господарства ім. О.М. Бекетова ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Львів, Новий Світ – 2023, – 312 с.

7. Поверенний С.Ф. Щодо можливості оцінки змочуваності нафтогазоносних пластів за їх основними колекторськими властивостями / С.Ф. Поверенний, А.Й. Лур'є, О.В. Піддубна, О.І. Фик // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», Випуск № 52 – 2020, – С. 79-93.

8. Фик І.М. Експериментальне вивчення процесу зворотного просочення при падінні тиску в покладі / С.Ф. Поверенний, І.М. Фик, О.П. Варавіна, М.Я. Бурова, О.О.

Яцкевич // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Хімія, хімічна технологія та екологія = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Chemistry, Chemical Technology and Ecology : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2022. – № 1 (7). – С. 68-77.

9. Фик І.М. Щодо можливості сайклінг-процесу на пізній стадії розробки газоконденсатних родовищ / І.М. Фик, О.П. Варавіна, Я.О. Раєвський // Геологія нафти і газу: матеріали всеукраїнської наук.-практ. конф. студ. та аспірантів, 14-15 травня 2019 р. / ред. кол. В.А. Пересадько [та ін.]; Харків. нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т", Укр. н.-д. ін-т природних газів. – Харків : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2019. – С. 15-19.

10. Фик І.М. Перспективи довгострокової розробки Шебелинського газоконденсатного родовища в умовах відновлення запасів / Фик І.М., Фик М.І., Фик І.М. // Вісник Харківського Національного університету ім. В.Н. Каразіна. – 2009. – №50. – С.63-76.

11. Римчук Д.В. Підвищення герметичності нафтових і газових свердловин / Д.В. Римчук, А.І. Куш, В.О. Драмирський // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2019. – № 2. – С. 38-46.

12. Rymchuk D. Research and Development of A Mathematical Model of a Polymer-Based Viscous Non Newtonian Fluid for Oil and Gas Wells Drilling / D Rymchuk, N Shevchenko, A Tulska, V Ponomarenko // Petroleum & Coal, – 2022 – Vol 64, – Issue 4, – p.796-803.

References (transliterated)

1. Kryvulia, S. V. Kryterii dorozvidky velykykh rodovyshch vuhlevodniv u Nyzhnopermsko-Verkhnokamianovuhilnykh vidkladakh Dniprovsko-Donetskoï zapadyny : monohrafiia / S. V. Kryvulia. - Kh. : Ekskluzyv, 2014. - 174 s.

2. Fyk I.M. Vidnovlennia zapasiv na Shebelynskomu hazokondensatnomu rodovyshchi. Materialy vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv ta aspirantiv. Kharkiv, 2018 rik. s. 27-30.

3. Fyk I.M., Fyk I.M. Vidnovlennia zapasiv hazu Shebelynskoho hazokondensatnoho rodovyshcha – zaporuka dovhostrokovoi rozrobky // Nadrokorystuvannia v Ukraini. Perspektyvy investuvannia. Materialy Shostoï mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (7–11 zhovtnia 2019 r., m. Truskavets). Derzhavna komisiia Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn (DKZ). – Т. 1. – К.: DKZ, 2019. – S. 395–400.

4. Abielientsev, V.M. Prohnozuvannia obvodnennia poridkolektoriv za kharakterom yikhnoi zmochnosti [Tekst] / V.M. Abielientsev // Zb. nauk. pr. «Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy». – Kharkiv : UkrNDIgaz, 2008. – Vyp. 36. – S. 86–91.

5. Abielientsev, V.M. Neolohichni umovy vyluchennia zalyshkovykh zapasiv i dorozvidky rodovyshch vuhlevodniv pivnichnoi pryobtrovvoi zony Dniprovsko-Donetskoï zapadyny [Tekst] : monohrafiia / V.M. Abielientsev, A.Y. Lurie, L.O. Mishchenko. – Kh. : KhNU imeni V.N. Karazina, 2014. – 192 s.

6. Orlovskiy V.M. Naftohazovyluchennia z vazhkodostupnykh i vysnazhenykh plastiv : posibnyk dlia stud. spetsialnosti 185 "Naftohazova inzheneriia ta tekhnolohii" / V.M. Orlovskiy, V.S. Biletskyi, V.I. Sirenko ; Kharkiv. nats. un-t miskoho gospodarstva im. O.M. Beketova ; Nats. tekhn. un-t "Kharkiv. politekh. in-t". – Lviv, Novyi Svit – 2023, – 312 s.

7. Povieriennyi S.F. Shchodo mozhlyvosti otsinky zmochnosti naftohazonosnykh plastiv za yikh osnovnymy kolektorsky my vlastyvostiamy / S.F. Povieriennyi, A.I. Lurie,

O.V. Piddubna, O.I. Fyk // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina, serii «Heolohiia. Neohrafiia. Ekolohiia», Vypusk № 52 – 2020, – S. 79-93.

8. Fyk I.M. Eksperymentalne vyvchennia protsesu zvorotnoho prosochennia pry padinni tysku v pokladi / S.F. Povierennyi, I.M. Fyk, O.P. Varavina, M.Ia. Burova, O.O. Yatskevych // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Ser. Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Chemistry, Chemical Technology and Ecology : zb. nauk. pr. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2022. – № 1 (7). – S. 68-77.

9. Fyk I.M. Shchodo mozhyvosti saiklinh-protsesu na piznii stadii rozrobky hazokondensatnykh rodovyshch / I.M. Fyk, O.P. Varavina, Ya.O. Raievskiy // Heolohiia nafty i hazu: materialy vseukrainskoi nauk.-prakt. konf. stud. ta aspirantiv, 14-15 travnia 2019 r. / red. kol. V.A. Peresadko [ta in.]; Kharkiv. nats. un-t im. V.N. Karazina, Nats. tekhn. un-t "Kharkiv. politekhn. in-t", Ukr. n.-d. in-t pryrodnykh haziv. –

Kharkiv : KhNU im. V.N. Karazina, 2019. – S. 15-19.

10. Fyk I.M. Perspektyvy dovhostrokovoї rozrobky Shebelynskoho hazokondensatnoho rodovyshcha v umovakh vidnovlennia zapasiv / Fyk I.M., Fyk M.I., Fyk I.M. // Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho universytetu im. V.N. Karazina. – 2009. – №50. – S.63-76.

11. Rymchuk D.V. Pidvyshchennia hermetychnosti naftovykh i hazovykh sverdlovyn / D.V. Rymchuk, A.I. Kushch, V.O. Drahmyretskiy // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. – 2019. – № 2. – S. 38-46.

12. Rymchuk D. Research and Development of A Mathematical Model of a Polymer-Based Viscous Non Newtonian Fluid for Oil and Gas Wells Drilling / D Rymchuk, N Shevchenko, A Tulska, V Ponomarenko // Petroleum & Coal, – 2022 – Vol 64, – Issue 4, – p.796-803.

Надійшла (received) 28.02.2024

Відомості про авторів / About the Authors

Фик Ілля Михайлович, (Fyk Iliia) – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-479-7814>; e-mail: fykiliya107@gmail.com

Римчук Данило Васильович, (Rymchuk Danylo) – кандидат технічних наук, ст..н.сп., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ст. викладач кафедри видобування нафти. газу та конденсату м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1750-9140>; e-mail: dani Rorymchuk@gmail.com