

УДК 622.276.64; 622.245.54

Фик Ілля Михайлович,

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мінералогії, петрографії та корисних копалин Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, м. Свободи, 4, м. Харків, 61000, Україна, e-mail: mfyk@yandex.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7453-5636>;

Фик Михайло Ілліч,

кандидат технічних наук, доцент, кафедра видобування нафти, газу та конденсату, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна, e-mail: mfyk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5154-6001>;

Фик Ілля Михайлович,

викладач, кафедра видобування нафти, газу та конденсату, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: fykiliya107@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0479-7814>

ПЕРСПЕКТИВИ ДОВГОСТРОКОВОЇ РОЗРОБКИ ШЕБЕЛИНСЬКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО РОДОВИЩА В УМОВАХ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАПАСІВ

Робота спрямована на дослідження перспектив збільшення та стабілізації видобутку газу в Україні на виснажених родовищах за рахунок відновлюваних процесів щодо запасів газу. У статті розглядаються та аналізуються основні результати розробки Шебелинського ГКР з точки зору його обводнення та можливого відновлення запасів газу в покладах, що розробляються, за рахунок перетоків газу з глибоких горизонтів. Детально розглянуті всі чинники, які впливають на пластовий тиск в процесі розробки покладів. В роботі представлено аналіз водонапірної системи родовища, проведено розрахунок запасу законтурної води (замкнutoї водонапірної системи), досліджено динаміку обводнення (вторгнення води в газові поклади) родовища та роль капілярних сил у сповільненні просування водного фронту. Показано, що обводнення практично не впливає на газовий режим розробки, а темпи зниження пластового тиску уповільнюється як під впливом відомих чинників, так і за рахунок перетоків газу по диз'юнктивних тектонічних порушеннях, особливо в центральній частині родовища. Обґрунтовано, що при зниженні річного видобутку газу до 1800–1900 млн. м³ він буде повністю компенсований перетоками. Наведений графічний прогноз видобутку газу до 2040 р. за варіантами без компресорної і компресорної експлуатації з 2019 р. з урахуванням відновлення запасів. Розраховано, що за умови введення на Шебелинському ГКР запланованої нової компресорної станції, річний видобуток газу в період 2020–2040 рр. буде зберігатися на рівні 2,4–2,1 млрд. м³, а додатковий видобуток газу за період 2019–2036 рр. складе 6,5 млрд. м³.

Об'єктом дослідження є Шебелинське газоконденсатне родовище. Видобуток газу та процеси підтримання пластового тиску, в тому числі за рахунок перетоків газу з глибинних горизонтів по тектонічних порушеннях.

Предметом дослідження є аналіз та прогноз видобутку газу на перспективу за різними варіантами розробки, як компресорної так і без компресорної експлуатації родовища з урахуванням підтримання пластового тиску за рахунок відновлення запасів.

Ключові слова: газ, родовище, видобуток, запаси, обводнення.

И. М. Фык, М. И. Фык, И. М. Фык. ПЕРСПЕКТИВЫ ДОЛГОСРОЧНОЙ РАЗРАБОТКИ ШЕБЕЛИНСКОГО ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАПАСОВ. Работа направлена на изучение, перспектив увеличения и стабилизации добычи газа в Украине на истощенных месторождениях за счет восстановительных процессов по запасам газа. В статье рассматриваются и анализируются основные результаты разработки Шебелинского ГКМ с точки зрения его обводнения и возможного восстановления запасов газа в залежах, которые разрабатываются, за счет перетоков газа из глубоких горизонтов. Подробно рассмотрены все факторы, которые влияют на пластовое давление в процессе разработки залежей. В работе представлен анализ водонапорной системы месторождения, проведен расчет запаса законтурной воды (замкнутой водонапорной системы), исследована динамика обводнения (вторжение воды в газовые залежи) месторождения и роль капиллярных сил в замедлении продвижения водяного фронта. Показано, что обводнение практически не влияет на газовый режим разработки, а темпы снижения пластового давления замедляется как под влиянием известных факторов, так и за счет перетоков газа по дизъюнктивных тектонических нарушениях, особенно в центральной части месторождения. Обосновано, что при снижении годовой добычи газа в 1800-1900 млн. м³ он будет полностью компенсирован перетоками. Приведенный графический прогноз добычи газа к 2040 году по вариантам без компресорной и компресорной эксплуатации с 2019 года с учетом восстановления запасов. Рассчитано, что при условии введения на Шебелинском ГКМ запланованной новой компресорной станции, годовая добыча газа в период 2020-2040 годов будет сохраняться на уровне 2,4 - 2,1 млрд. м³, а дополнительная добыча газа за период 2019-2036 составит 6,5 млрд. м³

Объектом исследования является Шебелинское газоконденсатное месторождение. Добыча газа и процессы поддержания пластового давления, в том числе за счет перетоков газа из глубинных горизонтов по тектоническим нарушениям.

Предметом исследования является анализ и прогноз добычи газа на перспективу по различным вариантам разработки, как компресорной, так и без компресорной эксплуатации месторождения с учетом поддержания пластового давления за счет восстановления запасов.

Ключевые слова: газ, месторождение, добыча, запасы, обводнение.

Аналіз попередніх досліджень. Стабілізація видобутку газу на виснажених газоконденса-

тних родовищах України є надзвичайно актуальною, позаяк на облаштованих (з готовою інфра-

структурою) родовищах продовження їх експлуатації значно знижує собівартість видобутку порівняно з введенням в розробку нових родовищ.

Стабілізація видобутку газу на виснажених родовищах може досягатися наступними шляхами:

- бурінням нових свердловин в слабкодренованих зонах;
- зарізка бокових стволів;
- введення в розробку пропущених газоконденсатних покладів;
- пониження робочих тисків свердловин за рахунок введення додаткових компресорних станцій;
- інтенсифікацією видобутку та інші.

Наведені способи збільшення видобутку газу ґрунтуються на наявних в покладах запасах і, як правило, не пов'язані з можливістю їх збільшення або відновлення.

Однак, останнім часом в опублікованих дослідженнях все частіше наводяться обґрунтування можливості відновлення запасів на старих виснажених газоконденсатних родовищах за рахунок перетоків газу з глибоких горизонтів [1,2,3,4,5,6]

В роботі [7] показано, що джерелами походження і шляхами міграції вуглеводнів на Ромашківському родовищі були тектонічні порушення і 80% вуглеводнів в покладах мають неорганічне (глибинне) походження.

В роботі Рудька О. І., Бондаря В. І. Ловинюков В.І та інших [8] наведені матеріали сучасних концепцій формування вуглеводневих покладів, в основі яких покладено такий основний чинник як дегазація Землі.

В роботі [9] академік Лукін О. Ю. висловив думку, що глибокозалеглі газоконденсатні родовища перебувають в процесі постійного формування, причому в такому темпі, який зіставляється з темпами інтенсивного видобутку газу.

Виходячи із вищенаведеного, можна припустити, що ймовірними територіями дегазації Землі можуть бути нафтогазоконденсатні родовища, а їх виснаження зумовлює збільшення градієнтів тисків між покладами, з пониженими пластивими тисками та глибокими горизонтами.

Враховуючи актуальність проблеми відновлення запасів виснажених газоконденсатних родовищ України, в ході роботи авторами проведено дослідження відновлення запасів газу на Шебелинському газоконденсатному родовищі та на їх основі обґрунтовано можливість довгострокової експлуатації родовищ.

Загальні відомості про родовище.

Шебелинське газоконденсатне родовище (ШГКР) відкрито у 1950 році та введено у промислову розробку в 1959 році.

На рис. 1 наведено структурну карту 60-х років (за Вороним Е. Е.) та сучасну структурну карту ГПУ Шебелинкагазвидобування.

Родовище приурочене до крупної брахіантуклінальної складки висотою 1160 м, є масивно-пластовим покладом з численними тектонічними порушеннями, єдиним початковим газоводяним контактом на абсолютній позначці -2270 м, площею газонасиченості 246 км², початковим і поточним пластивими тисками 23,8 МПа і 2,08 МПа, відповідно [2,3].

Характерною геолого-промисловою особливістю ГКР є широкий діапазон змін колекторських властивостей газонасичених порід за площею і розрізом (проникність коливається від 0,1 до 100 мД), що зумовлює нерівномірність відпрацювання покладу за пластивим тиском і за дебітом свердловин в просторі і в часі. Середній коефіцієнт пористості колекторів складає 0,13, середній коефіцієнт газонасиченості – 0,5 [2].

Значну увагу при розробці ШГКР приділяли стану обводнення, водночас в ході експлуатації Шебелинського ГКР активного обводнення свердловин не спостерігали і прогнози УкрНДІгазу щодо газового режиму його розробки, в цілому, підтвердилися [3].

З метою введення поправки на обводнення при підрахунку запасів Шебелинського ГКР за методом падіння пластивого тиску було об'ємним методом підраховано об'єм пластивих вод, що вторглися в газонасичені поклади [10].

На рис. 2 показано розташування обводнених зон Шебелинського родовища по горизонтах М2 – А4, а в таблиці 1 наведено параметри цих зон, в тому числі площі та об'єми обводнення в періоди 1989 і 2016 років, з яких випливає, що обводнення, в основному, сконцентровано в центральній частині родовища по гор. А-4, та в південно-східній частині по гор. М-3 [10].

Із таблиці 1 видно, що максимальне обводнення горизонтів спостерігається в 1989 році по гор. М₃ – 11,5 млн.м³ та по гор. А₄ – 10,3 млн.м³ води, а в 2016 році об'єм обводнення зріс по гор. М₃ до 12,5 млн.м³ води, а по гор. А₄ до 11,65 млн.м³ [2,11]. Мінімальне обводнення спостерігається в горизонтах М₅, А₁, А₂, А₅ : 0,32-0,96 млн.м³ води. Якщо сумарний об'єм обводнення горизонтів в 1989 році складав 40,6 млн.м³ води, то станом на 2009 рік оцінюється в об'ємі 80 млн.м³, при цьому середній пластивий тиск знизився з 12,0 до 2,5 МПа. Станом на 2016 рік при зниженні пластивого тиску до 2,08 МПа об'єм обводнення в цілому виріс до 90 млн.м³ води, тобто на 10 млн.м³ [11].

Результати обводнення продуктивних горизонтів Шебелинського ГКР узагальнено в таблиці 2.

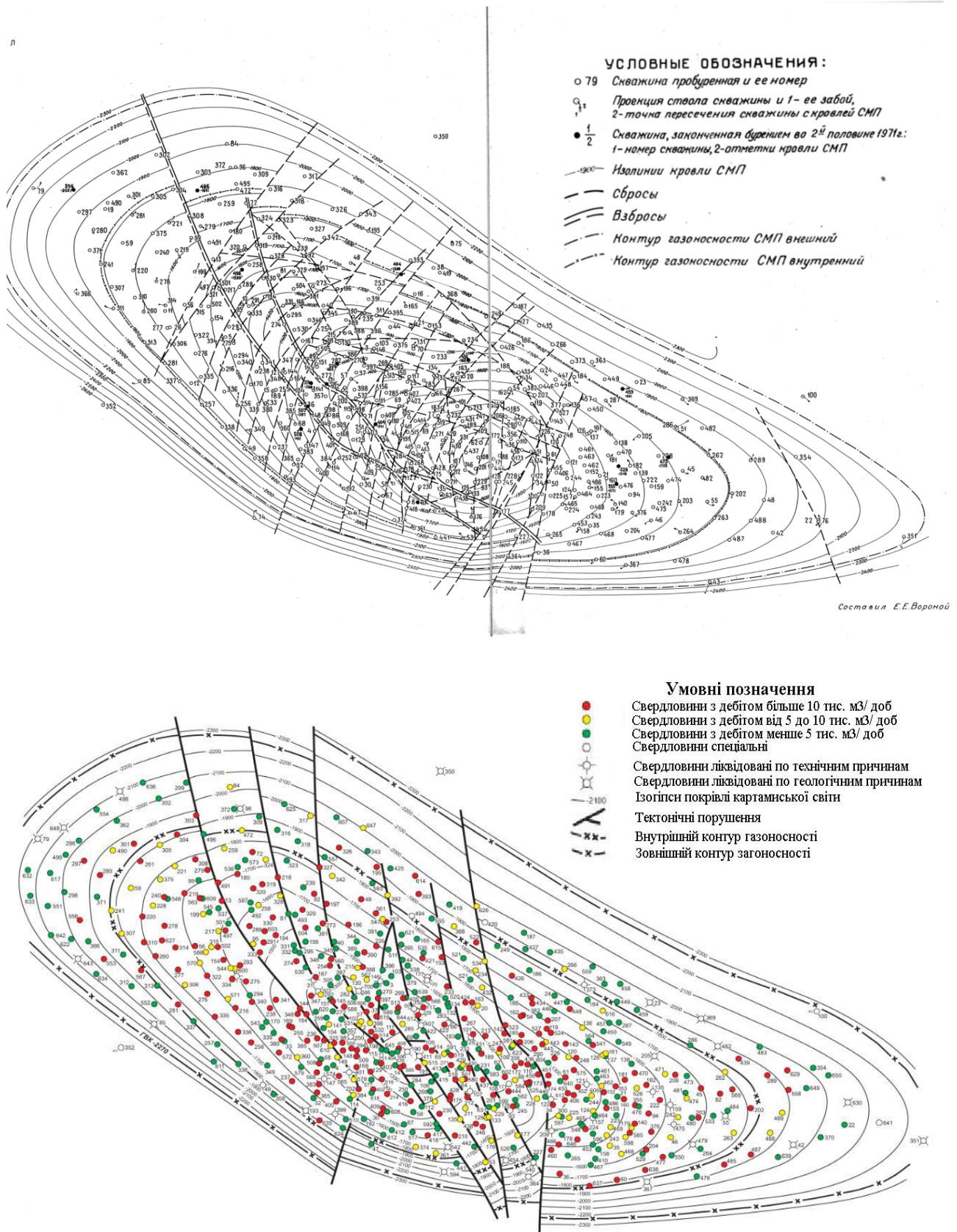


Рис. 1. Структурні карти горизонту СМП Шебелинського ГКР: верхня – автор Вороной Е.Е., УкрНДІгаз 60 роки, нижня – сучасна структурна карта ГПУ Шебелинкагазвидобування

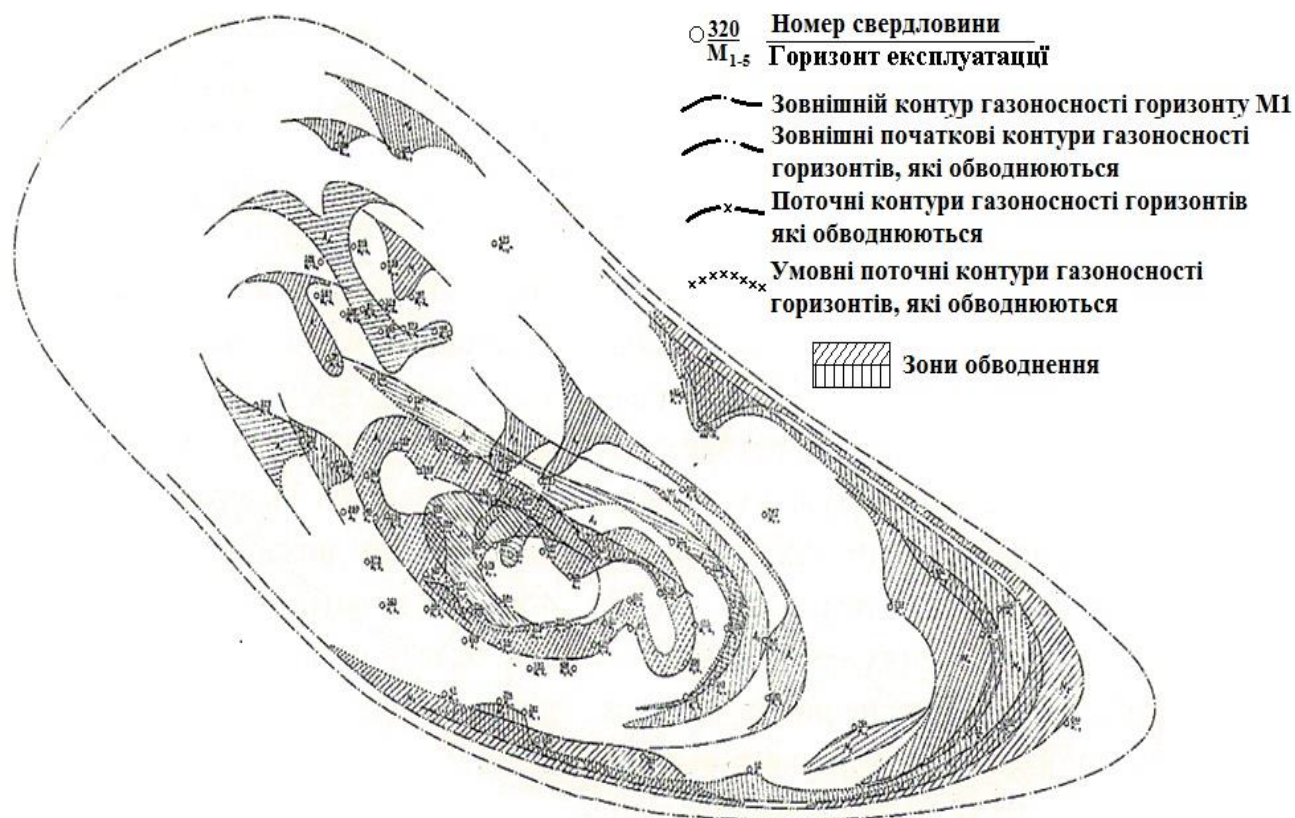


Рис. 2. Карта-схема обводнення продуктивних горизонтів ШГКР

Таблиця 1

Характеристики обводнення продуктивних горизонтів Шебелинського ГКР в умовах обводнення

| Горизонт | Ефективна товщина, м | Коефіцієнт пористості | Коефіцієнт початкової газонасиченості | Коефіцієнт залишкової газонасиченості зон обводнення | Площа обводнення, 10 ⁶ м ² | | Об'єм обводнення, 10 ⁶ м ³ | |
|----------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------------|--|--|--------|--|--------|
| | | | | | 1989 р | 2016р* | 1989 р | 2016р* |
| M ₂ | 2,0-14,0 | 0,10-0,14 | 0,30-0,62 | 0,11-0,30 | 12,15 | 13,15 | 4,48 | 5,48 |
| M ₃ | 1,6-16,3 | 0,09-0,24 | 0,50-0,70 | 0,19-0,52 | 13,06 | 14,06 | 11,5 | 12,5 |
| M ₄ | 6,4-8,8 | 0,1 | 0,5 | 0,36 | 7,94 | 8,94 | 0,96 | 1,35 |
| M ₅ | 4,0-6,5 | 0,13 | 0,55 | 0,35-0,37 | 1,37 | 1,97 | 0,17 | 0,35 |
| A ₀ | 10,4-19,2 | 0,18-0,22 | 0,70-0,83 | 0,60-0,63 | 5,94 | 6,94 | 2,5 | 3,2 |
| A ₁ | 1,0-5,0 | 0,12-0,16 | 0,55-0,62 | 0,21-0,45 | 4,72 | 5,72 | 0,6 | 1,19 |
| A ₂ | 3,8-6,8 | 0,09-0,12 | 0,38-0,57 | 0,18-0,25 | 4,14 | 4,61 | 0,56 | 0,96 |
| A ₃ | 9,0-16,0 | 0,12-0,23 | 0,54-0,88 | 0,30-0,38 | 4,81 | 5,71 | 2,73 | 3,53 |
| A ₄ | 3,2-23,0 | 0,12-0,22 | 0,55-0,78 | 0,23-0,54 | 4,76 | 5,57 | 10,25 | 11,65 |
| A ₅ | 3,2-10,0 | 0,10-0,16 | 0,42-0,62 | 0,17-0,35 | 1,62 | 2,43 | 0,31 | 0,72 |
| A ₆ | 30 | 0,26 | 0,89 | 0,63 | 2,75 | 3,87 | 5,58 | 6,79 |

Нижче наведено статистичні залежності об'ємів обводнення від часу ($Q_{обв}(t)$), а також

залежність об'ємів обводнення від пластового тиску $Q_{обв}(P_{пл})$ [12].

Отримані рівняння мають вигляд:

$$Q_{обв}(t) = 1.758 \cdot t - 3454$$

$$\text{Коеф. кореляції } 0,998 \quad (1)$$

$$Q_{обв}(P_{пл}) = -33.8 \cdot \ln(P_{пл}) + 114,4$$

$$\text{Коеф. кореляції } 0,967 \quad (2)$$

На рис. 3 та рис. 4 показано графічне від-

ображення рівнянь 1 і 2.

Таблиця 2

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 |

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

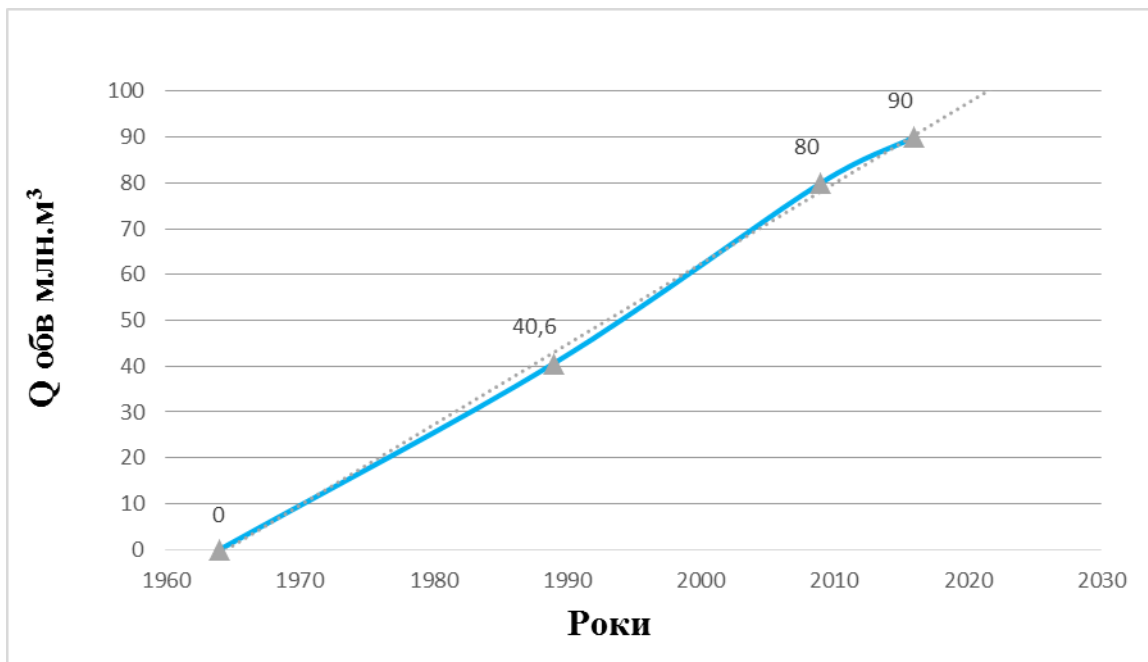


Рис. 3. Зміна об'ємів обводнення Шебелинського ГКР в часі

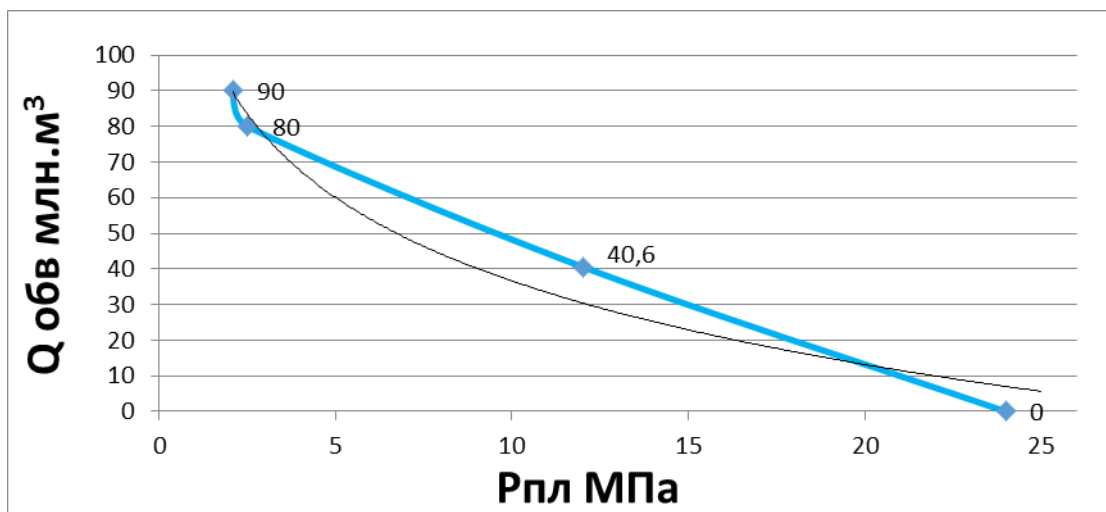


Рис. 4. Об'єми обводнення Шебелинського ГКР залежно від пластового тиску

Із отриманих рівнянь 1 і 2 та графіків рис. 3 і 4 випливає, що залежності об'ємів обводнення від часу і тиску ведуть себе неадекватно і вступають у протиріччя, оскільки на пізній стадії розробки Шебелинського родовища залежність $Q_{обв}$ від $R_{пл}$ показує практичну стабілізацію пластового тиску з відносно незначним, але різким ростом об'ємів обводнення при падінні пластового тиску з 2,5 МПа до 2,08 МПа за час з 2009 до 2016 року.

Із роботи [2] також випливає, що газонасичений об'єм пор Шебелинського ГКР складає $0,576 \cdot 10^9$ м³, цвдочас як об'єм обводнення станом на 2016 рік складає $90 \cdot 10^6$ м³. Тобто об'єм обводнення на 3 порядки менший ніж об'єм газонасичених пор і не може серйозно впливати на режим розробки родовища.

Враховуючи, що наведений об'єм законтурних пластових вод, які вторглися в газові поклади, складає 90 млн. м³, при цьому пластові тиски знизилися із 23,8 МПа до 2,08 МПа, а водонапірні системи, в цілому, замкнені, по восьми горизонтах можна розрахувати приблизний запас води у водонапірній системі Шебелинського родовища.

Пластові води в законтурній частині родовища знаходяться під тиском (стиснуті). В ході розробки тиск у пласті поступово спадає, вода починає поступово розширюватися, що забезпечує вторгнення у газонасичені поклади.

Отже, 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

$$V_{вс} = \frac{90 \times 10^6}{4,5 \times 10^{-4} \times (23,8 - 2,08)} = 0,921 \times 10^{10}, \text{ м}^3 \quad (4)$$

Отже, об'єм водонапірної системи Шебелинського родовища, яка забезпечила вторгнення пластової води (за рахунок її розширення) 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 ($9,2$ млрд. м³) не буде в перспективі впливати на подальше обводнення продуктивних горизонтів та підтримання пластового тиску.

На думку авторів при дослідженні обводнення родовищ слід брати до уваги вплив капілярних сил, як на залишкову газонасиченість так і на темпи переміщення газо-водяних контактів (ГВК).

Про явище капілярних сил та їх вплив широко відомо при розробці нафтових родовищ, де

за рахунок розширення (90 млн. м³), а також початковий та поточний пластові тиски, можна розрахувати об'єм води з якого розширилася вода, що вторглася у газові пласти, тобто запас води замкнутої водонапірної системи.

За різними даними коефіцієнт об'ємного розширення пластової води від тиску коливається $3,7 \div 5 \times 10^{-4}$ МПа⁻¹ [13,14]. Значення даного параметра змінюється залежно від тиску, температури та густини рідини. Також слід зазначити що коефіцієнт збільшується при наявності в воді розчиненого газу.

Оскільки Шебелинське ГКР має значний діапазон коливань по вище наведених параметрах, то для подальших розрахунків було прийнято усереднене значення коефіцієнту об'ємного розширення пластової води від тиску у розмірі $4,5 \times 10^{-4}$ МПа.

Для розрахунку запасів води замкнутої водонапірної системи використаємо формулу В. Н. Щелкачова, що набуває вигляду [15]:

$$V_{вс} = \frac{V_{обв}}{\beta \times (P_{пл}^{поч} - P_{пл}^{пот})} \quad (3)$$

де $V_{вс}$ – об'єм водонапірної системи, м³

$V_{обв}$ – об'єм води, що вторглася у газонасичений поклад, за рахунок розширення $V_{вс}$, м³

β – об'ємний коефіцієнт розширення пластової води, $4,5 \times 10^{-4}$ МПа⁻¹

$P_{пл}^{поч}$ – початковий пластовий тиск, МПа

$P_{пл}^{пот}$ – поточний пластовий тиск, МПа

Проведемо розрахунок запасів води замкнутої водонапірної системи Шебелинського родовища, використовуючи формулу 3 та дані табл. 2.

капілярні явища проявляються під час видобування нафти. Сили взаємодії води з гірськими породами більші, ніж нафти, тому вода здатна витіснити нафту з дрібних тріщин у більші. В даному випадку родовище газоконденсатне (коллектор гідрофільний), тому необхідно провести дослідження впливу капілярних сил на заводнення газоносної частини родовища.

Підіймання рідини по капілярах 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 рідини, температура, фізико-хімічні властивості пласту, а також пластовий тиск, що врівноважує капілярний.

У продуктивному пласті на значній віддалі від газоводяного контакту багато капілярних і

субкапілярних пор заповнені вуглеводнями. В ході розробки рівновага капілярних сил порушується і водна фаза починає входити в тонкі газонасичені пори, а витіснені з них вуглеводні мігрують у крупні пори. Процес капілярного всмоктування може продовжуватися, постійно забезпечуючи рівновагу капілярних та пластових тисків. Найінтенсивніше капілярне всмоктування протікає в газонасичених порах гідрофільних колекторів [16].

Відомо, що пластовий тиск в газонасичених пластах врівноважується капілярними силами, які визначаються радіусом порових каналів, поверхневим натягом на межі розділу газоподібної і рідкої фаз, а також крайовим кутом змочування [17].

Формула капілярного тиску має вигляд:

$$P_k = \frac{2 \times \sigma \times \cos \theta^\circ}{r} \quad (5)$$

де – σ – поверхневий натяг, дін/см;

θ° – крайовий 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 дослідженнями М. Маскету (рис. 5) [14].

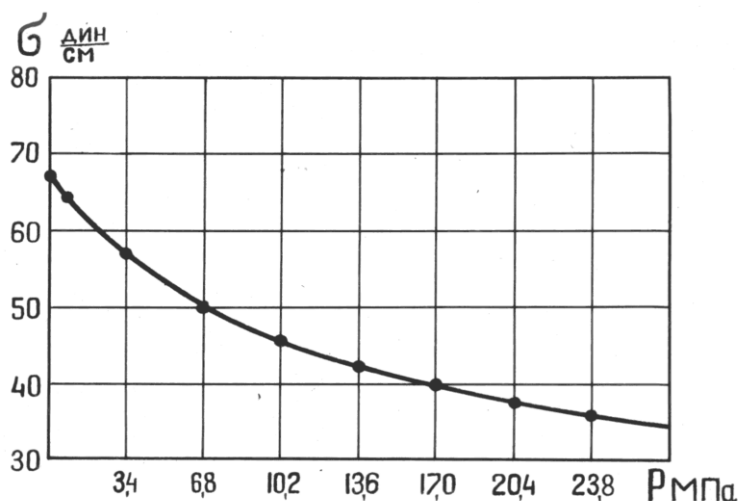


Рис. 5. Залежність поверхневого натягу води на межі з газом від тиску P

Використаємо формулу 5 для розрахунку радіусів порових каналів, що своєю капілярною протидією спроможні вирівнювати пластовий тиск. За даними експериментів [19] для зразків, узятих з Хрестищенського родовища $\theta = 89,6^\circ$, при тиску в 30 МПа ($\sigma = 34$ дін/см по М. Маскету [18]), залишалися водонасиченими капіляри діаметром до 2,5 мікронів, а при тиску 10 МПа ($\sigma = 46$ дін/см) водонасиченими залишалися капіляри діаметром 3,6 мікронів, тобто при нижчому тиску капіляри здатні вбирати у себе частину пластової води, що вторглась в газові поклади за рахунок збільшення радіуса менісків.

На рисунку 6 показана схема поглинання пластової води, що вторгається в мікроструктуру порового простору за рахунок відновлення балансу пластового тиску та капілярних сил.

Із рис. 6 випливає, що до початку розробки пластовий тиск і капілярні сили знаходилися у стані рівноваги. В ході розробки пластовий тиск поступово знижувався і система «капілярний

тиск-пластовий тиск» потребувала відновлення рівноваги. При початковому пластовому тиску $P_{пл}^{поч}$ меніск мав радіус r_1 , поступово пластовий тиск знизився до $P_{пл}^{пот1}$ і радіус виріс до r_2 , відповідно при зниженні до $P_{пл}^{пот2}$ радіус став r_3 .

Таке відновлення можливе лише при зміні радіусів менісків в мікроструктурі порового простору. Даний процес супроводжується всмоктуванням капілярами додаткової пластової води, що призводить до зниження темпів обводнення, і підтверджується в роботах [20,21], в яких наведені результати досліджень обводнення з урахуванням капілярних сил.

Згідно з даними табл.2 градієнт обводнення за роки з 1964 по 2009 рр. складав 1,77 млн. m^3 / рік, а з 2009 по 2016 рік він склав 1,43 млн. m^3 / рік, тобто темпи обводнення Шебелинського ГКР з часом уповільнюються.

Отже, вибіркоче обводнення не є причиною підтримання пластового тиску на Шебелинському ГКР і забезпечується пружністю локальних

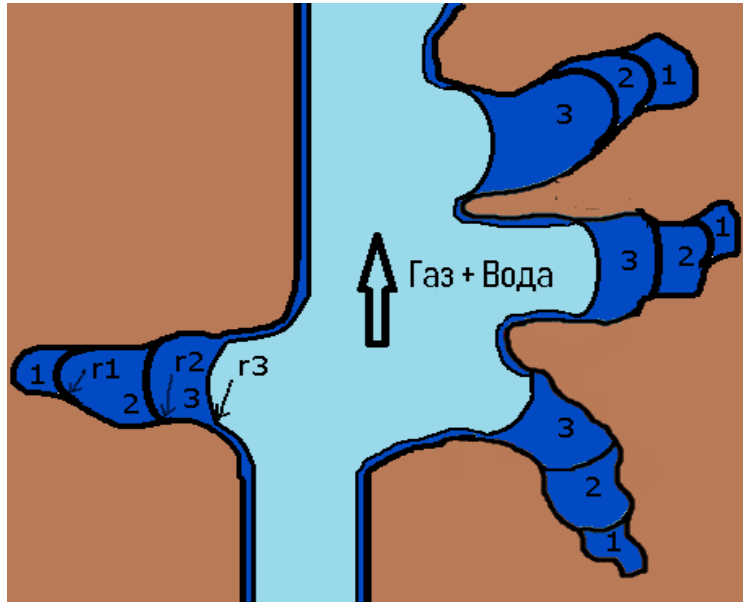


Рис. 6. переміщення межі контакту «вода-газ» у капілярах:

1 – залишкові води при $P_{пл}^{поч}$; 2 – додаткові води при $P_{пл}^{пот1}$;3 – додаткові води при $P_{пл}^{пот2}$; r_1, r_2 та r_3 – радіуси менісків за різних $P_{пл}$; $P_{пл}^{поч} > P_{пл}^{пот1} > P_{пл}^{пот2}$

водонапірних систем окремих горизонтів, а родовище, в основному, працює у газовому режимі.

В ході дослідження були враховані всі чинники, що можуть впливати на підтримання пластового тиску – це: обводнення, просідання поверхні, пружність гірських порід, пластової води та газу. Аналіз показав, що наведені фактори не можуть в значній мірі підтримувати пластовий тиск. [2]. Виходячи із вищенаведеного, можна припустити, що на Шебелинському ГКР існує інший фактор впливу на підтримання пластового тиску; і таким фактором можуть бути перетоки газу з глибоких горизонтів, тобто відновлення запасів газу.

В роботах Кривулі С.В., Терещенко В.О., Заріцького А.П., Волосника Е.О. відмічалася можливість наявності значних запасів на великих глибинах ДДЗ [3,4].

Щодо Шебелинського ГКР, то найбільш вдало пояснює, як формування, так і можливість перетоків газу з глибоких горизонтів в поклади, що розробляються, геологічний профіль Верповського М.М. та Гладченко Ю.О. рис.5. Автори показали, що міграція вуглеводнів можлива по тектонічних порушеннях як на стадії формування покладу, так і на стадії розробки [4]. Аналогічні дослідження були проведені Чепілем П.Н. в роботі [22].

Буріння 11 глибоких свердловин (до 5 тис. метрів) на Шебелинському ГКР показало наявність газоносних ущільнених колекторів, були навіть окремі викиди газу, що свідчить про зага-

зованість відкладів карбону по всій глибині. Однак, промислових покладів, як і надійних покривель, виявлено не було. В таблиці 3 наведено номери свердловин пробурених на глибокі горизонти та результати їх випробування [16].

Із табл. 3 видно, що сталих дебітів із вказаних свердловин і глибоких горизонтів карбону отримано не було.

Враховуючи широку сітку диз'юктивних дислокацій на Шебелинському родовищі (див. рис. 1), їх підтвердження глибоким бурінням (рис. 7), можна вважати, що тектонічні порушення можуть бути шляхами сучасної міграції вуглеводнів до покладів світи мідистих пісчаників та араукаристової світи; тим більше, що пластовий тиск в них знизився до 2,08 МПа, а тиск на великих глибинах досягає 30-50 МПа, це й зумовило можливість перетоків газу.

Баланс розподілу тиску газу з глибиною за рахунок розробки було порушено, створилася гігантська міжпластова депресія, що і забезпечило, за посередництва тектонічних порушень, перетоки газу в поклади, що розробляються, тобто спостерігається відновлення запасів газу Шебелинського родовища.

Результати дослідження перспектив розробки Шебелинського ГКР з урахуванням відновлення запасів.

В ході дослідження було проведено аналіз розробки родовища, в результаті якого можна припустити, що річний об'єм перетоку газу в поклад, що розробляється із глибоких покладів складає в середньому 1,9 млрд. м³.

Зведені результати випробувань і газопроявів в стратиграфічних горизонтах глибоких свердловинах Шебелинсько ГКР

| Горизонти | Номери свердловин в яких спостерігались газопрояви |
|-------------------------|--|
| $C_1^S - C_2^b - C_2^M$ | 200,300,500,600,700,701,701бис,702,703,704,800 |
| Б-5-6 | 600 |
| Б-7 | 200,800 |
| К-6 | 701 |
| М-2 | Не спостерігались |
| М-3 | 703 |
| М-4 | 200 (нафтопрояви) |
| М-6 | 300,600,701,701бис,704 |
| М-7-6-1 | 300, 701,702,703 |
| С-3-4 | 500,600 |
| С-5-6 | 800(факел 0,8 м) |
| С-9 | 800(факел 0,8 м) |

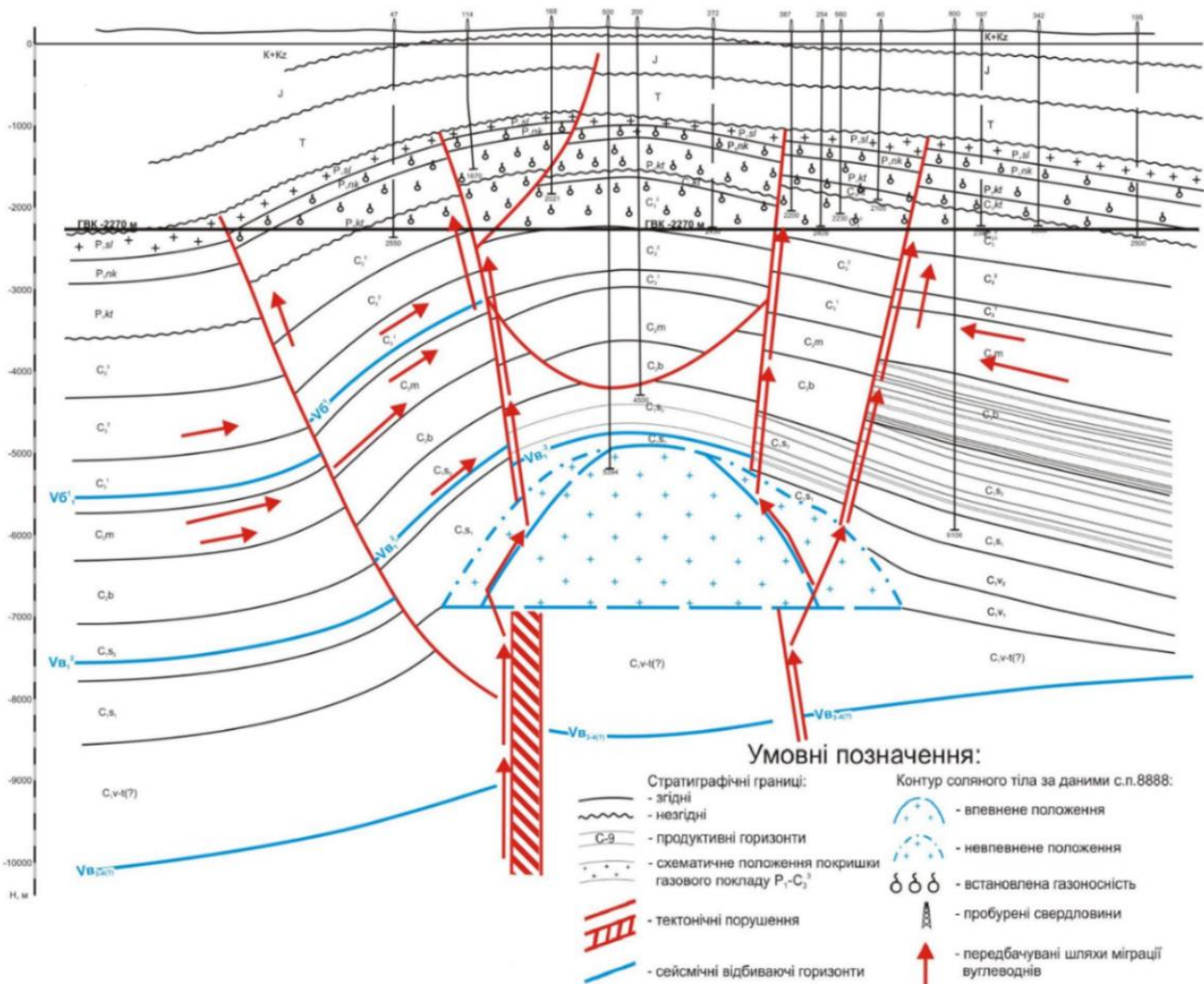


Рис. 7. Можливі шляхи перетоків газу на Шебелинському газоконденсатному родовищі згідно матеріалів Придніпровської ГРЕ (Верповський М.М., Гладченко Ю.О., 1990 р.)

На рис. 8 показано періоди розробки Шебелинського ГКР з 1980 по 2016 рік [2,3,4]. Слід зауважити, що в період 1999 по 2003 рік, річні обсяги видобутку газу були знижені до 1800–1900 млн. м³, при цьому пластовий тиск стабілізувався на рівні 3,3 МПа.

Але пізніше, в період з 2004 по 2016 рік, що спостерігається на кривих рис. 8, річний видобуток газу знову збільшився до 2,4 млрд. м³, при цьому продовжилось падіння пластового тиску.

Це дає підстави зробити припущення, що на Шебелинському ГКР спостерігається підтримання пластового тиску за рахунок відновлення запасів газу в об'ємі 1,8–1,9 млрд. м³.

Враховуючи вищенаведене, авторами було розглянуто чотири варіанти подальшої розробки Шебелинського ГКР: розробка без введення в експлуатацію дотискної компресорної станції (ДКС) та з введенням ДКС без врахування перетоків (діючі проектні варіанти), а також з врахуванням перетоків газу (відновлення запасів) для безкомпресорної та компресорної розробки (прогнози авторські варіанти).

Розрахунки видобутку газу, а також пластові тиски по рокам показано графічно за різними варіантами розробки на рис. 9 [24].

Отже, прогноз показників розробки, обґрунтований в даній статті, є уточненням до останніх прийнятих документів розробки рекомендується для врахування в наступних розрахунках щодо прогнозу довгострокового видобутку газу із Ше-

белинського ГКР. За результатами підрахунків при безкомпресорній розробці з урахуванням перетоків газу, розпочинаючи з 2020 року, буде спостерігатися перехід в режим постійного річного видобутку в об'ємах 1,9 млрд. м³; при введенні нової ДКС і пониженні робочих тисків свердловин річний видобуток в період 2020–2040 рр. буде зберігатися на рівні 2,4–2,1 млрд. м³

Загальний додатковий видобуток газу за цей період при введенні ДКС з урахуванням перетоків, порівняно з безкомпресорною експлуатацією, складе понад 6,5 млрд. м³.

Висновки.

1) Перспективи довгострокової розробки Шебелинського ГКР в значною мірою залежать від відновлення запасів газу за рахунок перетоків газу з глибинних горизонтів карбону по тектонічних порушеннях, що сприяє підтримувannya пластового тиску в покладі та забезпечує збільшення обсягів річного видобутку при будь-якому варіанті розробки. При цьому річний видобуток газу не може бути меншим 1.9 млрд. м³ протягом багатьох десятиліть.

2) У ході розробки родовища депресія між основним резервуаром, що розробляється, та глибинними горизонтами карбону буде тільки зростати, що може збільшити об'єм газових перетоків і прискорити субвертикальні дегазаційні процеси, враховуючи наявність як макро-, так і мікротектонічних диз'юнктивних порушень.

3) Слід зауважити, що подальшого обводне-

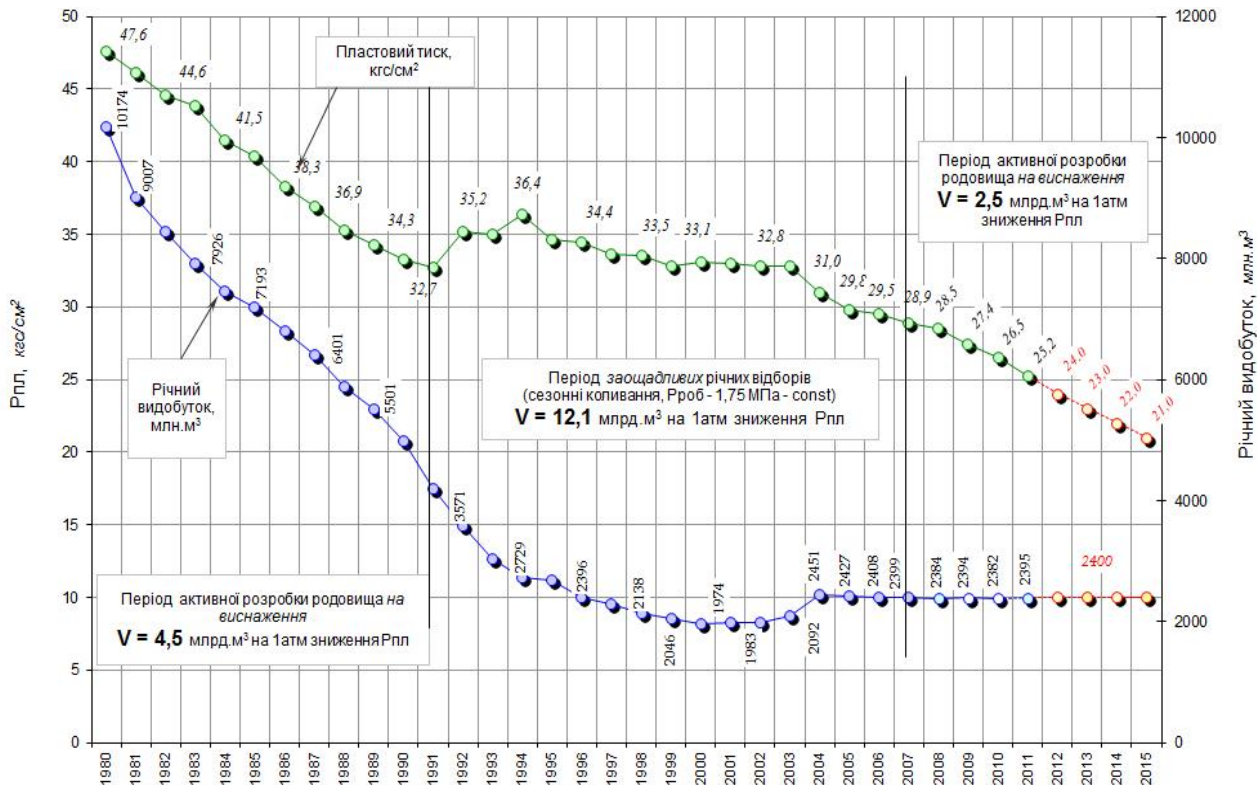


Рис. 8. Темпи вилучення залишкових запасів Шебелинського ГКР по рокам [1,2]

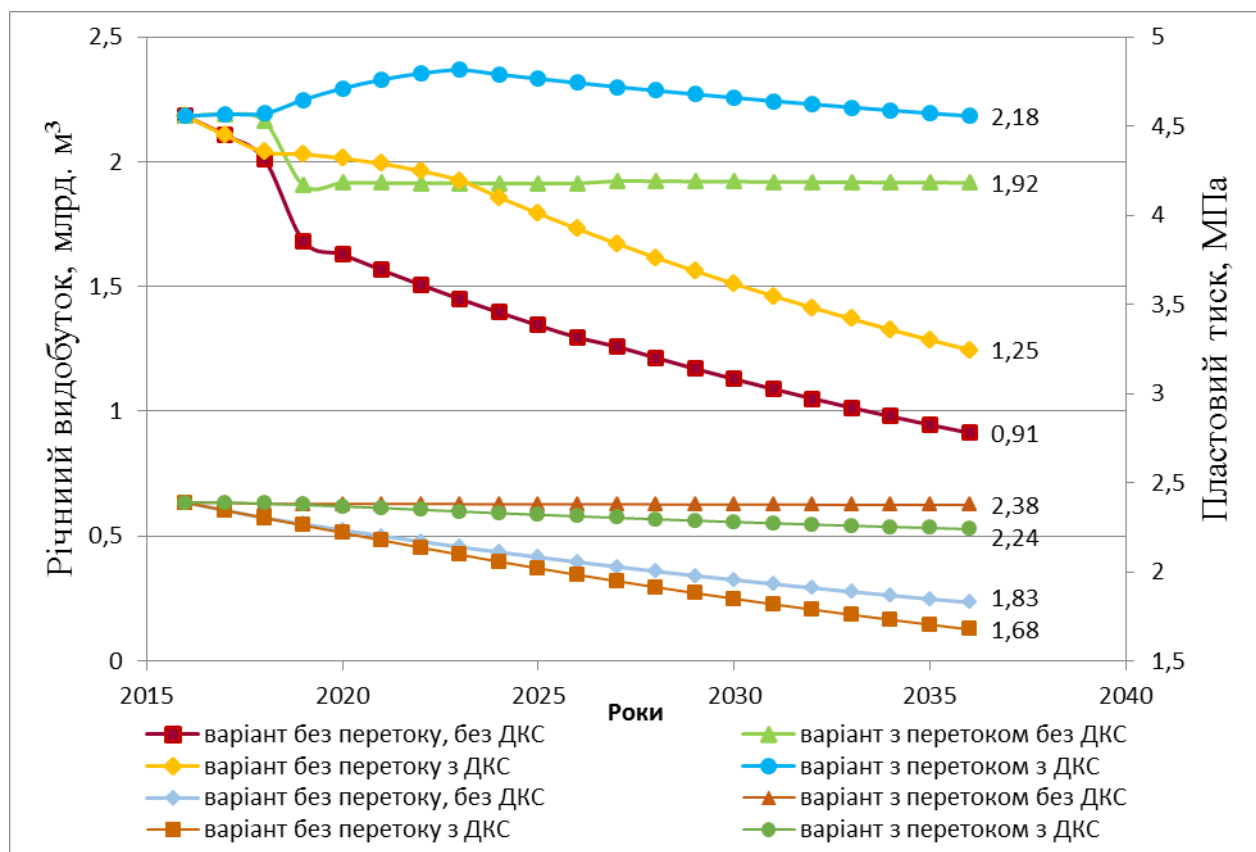


Рис. 9. Прогноз показників розробки Шебелинського ГКР за різними варіантами розробки

ння продуктивних горизонтів в перспективі не буде, враховуючи обмежену та виснажену водонапірну систему. Також, за рахунок відновлення балансу пластового та капілярних тисків на пізній стадії експлуатації, частина води, що вторгається в продуктивні поклади, та води внутрішнього водонапірного режиму будуть «розсмоктуватися» по мікрокапілярах, додатково сповільнюючи процес обводнення родовища.

4) Перерахунок проектних показників розробки з урахуванням перетоку газу з глибоких горизонтів дозволить визначитися зі збільшенням енергоефективності Шебелинського родовища та забезпечить зменшення ризиків інвестиційних надходжень в розвиток інфраструктури промислу. Додатковий видобуток газу за рахунок введення нової дотискувальної станції за період

2020–2040 рр. складе понад 6,5 млрд. м³.

5) Враховуючи можливість довгострокової розробки Шебелинського ГКР слід звернути особливу увагу на фонд свердловин, його оновлення, ремонт або використання як провідників для геотермальних ресурсів Землі при умові облаштування відповідної інфраструктури промислу.

6) Встановлене виконаними дослідженнями явище відновлення запасів газу на Шебелинському ГКР є перспективним і для інших родовищ України, особливо для Шебелинсько-Хрестищенської групи родовищ, і потребує подальших спеціальних досліджень, для визначення довгостроковості розробки родовищ на пізній стадії експлуатації.

Література

1. Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов / С.Н. Закиров, Р.Н. Кондрат, С.А. Волосник и др. // Материалы Международного научного семинара. В 2-х томах. – Т.2. – Москва, 2009. – С. 157-161.
2. Фесенко Ю.Л. Стан і перспективи розробки Шебелинського газоконденсатного родовища / Ю.Л. Фесенко, С.О. Волосник, І.М. Фик // Нафтова і газова промисловість. – 2009. – №5-6. – С. 24-28.
3. Кривуля С.В. Особливості геологічної будови, нарізування запасів та розробка великих родовищ у відкладах Р₁-С₃ в ДДЗ на прикладі Шебелинського газоконденсатного родовища / С.В. Кривуля, В.О. Терещенко // Вісник ХНУ. – 2012. – №1033. – С. 15-82.

4. Кривуля С.В. Критерії дорозвідки великих родовищ вуглеводнів у нижнепермсько-верхньокам'яновугільних відкладах Дніпровсько-Донецької западини : монографія / Кривуля С. В. – Х. : ТО Ексклюзив, УкрНДІгаз, НТУ «ХПІ». – 2014 р. – С. 173.
5. Вдовиченко А.І. Проблеми нароцування запасів і видобутку нафти і газу в Україні за рахунок їх відновлення/ А.І. Вдовиченко, А.М. Коваль, П.М. Чепіль // *Нафта і газ. Наука – Освіта – Виробництво: шляхи інтеграції та інноваційного розвитку: матеріали Всеукраїнського наук.-техніч. конф. (м. Дрогобич, 10-11 березня 2016р).* – Дрогобич: ТзОВ «Трек – ЛТД». – 2016. – 174 с.
6. Яремійчук Р.С. Нефтяная реанимация / Р.С. Яремійчук // *Нефтяное обозрение «Терминал».* – 2015. – № 2. – С. 44-49
7. Юсупова Л.Ф. К вопросу об источниках происхождения и путях миграции нефти при формировании месторождений на территории республики Татарстан. // Л.Ф. Юсупова, А.Ю. Гуторов // *Материалы 38-й научно-технической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов: в 3 т. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. – Т.2. – 279 с.*
8. Енергетичні ресурси геологічного середовища України (стан та перспективи) [Текст] : у 2-х т. Т.2 / Г.І. Рудько, О.І. Бондар, В.І. Ловинюков [та ін.] ; за ред. Г.І. Рудька. – Чернівці : Букрек, 2014. – 520 с. – Від Державної комісії України по запасах корисних копалин при Державній службі геології та надр України. – 80-00.
9. Лукін О.Ю. Забезпечення України власним природним газом: проблемні аспекти. За матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України, 2 липня 2014 року // *Вісник НАН України.* – 2014. – №9. – С. 16–22.
10. Фык И.М. К вопросу обводнения Шебелинского месторождения / И.М. Фик, В.С. Григорьев, Д.Р. Сороченко // *Нефтяная и газовая промышленность.* – 1989. – № 4. – С. 26–29.
11. Ментух І.О. Геологічні основи перспективи розробки Шебелинського родовища / І.О. Ментух // *Геологія нафти і газу: матеріали міжвузовської науково-практичної конференції студентів та аспірантів (м. Харків, 16-17 травня 2017 р.).* – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2017. – 98 с.
12. Фик І. М. Стан обводнення Шебелинського газоконденсатного родовища // *Актуальні питання наук про Землю: погляд молоді: матеріали II Наукової конференції студентів і аспірантів (м. Харків, 12-13 квітня 2018 р.).* – Х.: Стиль- Издат, 2018. – С. 36–40.
13. Нефтегазопромысловая геология и гидрогеология / Каналин В.Г., Вагин С.Б., Токарев М.А. и др.: учеб.для вузов. – М.: ОАО "Издательство "Недра", 1997. - 366 с.
14. Справочник по нефтепромысловой геологии / Н.Е. Быков, А.Я. Фурсов, М.И. Максимов и др.; под ред. Н.Е. Быкова, М.И. Максимова, А.Я. Фурсова. – М.: Недра, 1981. – 525с.
15. Абленцев В.М. Геологічні умови вилучення залишкових запасів і дорозвідки родовищ вуглеводнів північної прибережної зони Дніпровсько-Донецької западини : монографія / В.М. Абленцев, А.Й. Лур'є, Л.О. Міщенко. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 192 с.
16. Довідник з нафтогазової справи / За заг. ред. В.С. Бойка, Р.М. Кондрата, Р.С. Яремійчука. – Київ; Львів, 1996. – 620 с.
17. Пірсон С.Д. Учение о нефтяном пласте / С.Д. Пірсон. – М.: Гостонтехиздат, 1961. – 670 с.
18. Маскет М. Физические основы технологии добычи нефти / М. Маскет. – М.: Гостонтехиздат, 1953. – 606 с.
19. Фик І.М. Прогнозирование остаточной газонасыщенности пласта: дис.. канд. техн.. наук. / Ілля Михайлович Фик. – Івано-Франківськ, 1981. – 227 с.
20. Andersen P.O. Improved modeling of gravity-aided spontaneous imbibition using momentum-equation-based relative permeabilities / P.O. Andersen, Y.Qiao, S. Evje, D.C. Standnes // *EAGE - 19th European Symposium on Improved Oil Recovery, 24-27 April, Stavanger, Norway, 2017* [<https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700303>].
21. Zhou X. Interrelationship of Wettability, Initial Water Saturation, Aging Time, and Oil Recovery by Spontaneous Imbibition and Waterflooding. / X. Zhou, N. R. Morrow, S. Ma et al. // *SPE Journal.* – №5 (2). – P. 199–207 [<https://doi.org/10.2118/62507-PA>, [SPE-62507-PA](https://doi.org/10.2118/62507-PA)]
22. Друге життя родовищ нафти і газу України – міф чи реальність / П. М. Чепіль // *Мінеральні ресурси України.* – 2008. – №2. – С. 37-38.
23. Перспективи основної і глибинної зон нефтегазонакопления Днепровско-Донецкой впадины / А.П. Зарицький, С.В. Кривуля, А.В. Лизанец, Е.А. Волосник // *Питання розвитку газової промисловості України: зб. наук. праць. Вип XXXIX.* – Х.: УкрНДІгаз, 2011. – С. 11-17.
24. Фик І.М. Відновлення запасів на Шебелинському газоконденсатному родовищі / І. М. Фик // *Геологія нафти і газу: матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів (м. Харків, 19-20 квітня 2018 р.).* – Х.: ХНУ імені Каразіна, 2018. – С. 27-31.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

UDC 622.276.64; 622.245.54

Ilya Fyk,

Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of Department of Mineralogy, Petrography and Minerals,
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: mfyk@yandex.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7453-5636>;

Mykhailo Fyk,

PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Oil, Gas and Condensate extraction,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
2 Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine,
e-mail: mfyk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5154-6001>;

Ilya Fyk,

Trainee Teacher, Department of Oil, Gas and Condensate extraction,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
e-mail: fykiliya107@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0479-7814>

PROSPECTS OF LONG-TERM DEVELOPMENT OF SHEBELYNKA GAS-CONDENSATE DEPOSIT IN CONDITIONS OF STOCKS RECOVERY

The work is aimed to study the gas recovery stabilization prospects in Ukraine on the existing deposits due to renewable processes concerning gas reserves. The article reviews and analyzes the main results in the Shebelynka gas condensate field (GCF) development from the point of view of its water flooding. It is possible to restore the gas reserves in the assumption that they are being developed due to the gas flow from deep horizons. In detail, all factors are taken into consideration, which influences the formation pressure in the process of deposits development. The work presents analysis of the water pressure system in the Shebelinka GCF, the results of the calculation of reserves of edge water (water pressure system of the field is limited), investigates the dynamics of water flooding (intrusion of water in gas deposits) and the role of capillary forces in slowing down the advance of the water front. It was shown that water flooding practically does not affect the development of gas depletion, and the reservoir pressure-decline rate is slowing down both under the influence of known factors and due to the flow of gas through tectonic disruptions, especially in the core deposit. It is proved that when the annual gas consumption is reduced to 1800-1900 million m^3 , it will be fully compensated by the crossflow of gas. The graphic forecast of gas recovery till 2040 is presented in variants without compressor and compressor opening since 2019, taking into consideration the reserves stock.

It has been calculated that with introduction of the planned new compressor station at Shebelinka GCF annual gas production in the period of 2020-2040 will be maintained at 2.4-2.1 billion cubic meters and additional gas extraction for the period 2019-2036 is - 6.5 billion m^3 .

During the development of the field, depression between the main reservoir and the deep horizons of carbon will increase, that might increase the volume of gas crossflow and accelerate the degassing of the Earth, taking into account presence of macro- and micro-tectonic faults.

Considering the possibility of a long-term development in the Shebelinka GCF, it is necessary to pay special attention to the fund of wells, its updating, repair or use as a means for receiving the heat from the Earth.

The phenomenon of restoration of gas reserves at the Shebelinka GCF, which was established by researches, is promising for other deposits of Ukraine and needs further special researches, on separate objects.

Object of research: Shebelinka gas condensate field. Gas extraction and processes for maintaining reservoir pressure, including through the gas crossflow of gas from the deep horizons of tectonic disturbances.

Subject of the study: Analysis and forecast of gas production in the future for various options for development, both compressor and non-compressor exploitation of the deposit, taking into consideration maintenance of reservoir pressure and stock reserves.

Keywords: gas, field, development, stocks, flooding.

References

1. Zakirov S. N. et al. (2009). *Materials of the International Scientific Seminar "Theory and practice of application of enhanced oil recovery methods"*, Moscow. 2, 157-161.
2. Fesenko Yu.L. et al. (2009) *Status and prospects of development of Shebelinsky gas condensate field. Naftova i gazova promy'slovisť*, 5-6, 24-28.
3. Kry`vulya S.V., Tereshhenko V.O. (2012). *Features of the geological structure, stock build-up and the development of large deposits in the deposits of P_1-C_3 in the DDD on the example of Shebelinsky gas condensate field. Visnyk XNU*, 1033, 15-82.

4. Kryvulya S.V. (2014). *Criteria for the exploration of large hydrocarbon deposits in the lower Permian-Carboniferous deposits of the Dnipro-Donets depression. Monograph. Kharkiv, «TO Eksklyuzy`v», UkrNDIgaz, NTU «KhPI», 173.*
5. Vdovy`chenko A.I. et al. (2016). *Problems of stockpiling and oil and gas production in Ukraine due to their recovery. Nafta i gaz. Nauka – Osvita – Vy`robny`ctvo: shlyaxy` integraciyi ta innovacijnogo rozvy`tku: materialy` Vseukrayins`kogo nauk.-texnich. konf. (m. Drohoby`ch, 10-11 bereznya 2016 r.), TzOV «Trek – LTD», 174.*
6. Yaremlychuk R. S. (2015). *Oil Resuscitation. Neftyanoye obozreniye «Terminal», 2, 44-49.*
7. Yusupova L.F., Gutorov A.Yu. (2011). *On the question of sources of origin and ways of oil migration during the formation of deposits in the territory of the republic of Tatarstan. Materialy 38-y nauchno-tehnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh. aspirantov i studentov. Ufa, UGNTU, 2, 279.*
8. Rud`ko G. I. et al. (2014). *Energy resources of the geological environment of Ukraine (state and outlook). Chernivci, Bukrek, 520.*
9. Lukin O.Yu. (2014). *Maintenance of Ukraine's own natural gas: problem aspects. According to the materials of the scientific report at the session of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine, July 2, 2014, Visny`k NAN, 9, 16–22.*
10. Fyk I. M. et al. (1989). *On the issue of flooding of Shebelinskoye field. Neftyanaya i gazovaya promyshlennost, 4, 26–29.*
11. Mentux I.O. (2017). *Geological foundations of the prospect of developing the Shebelinsky deposit. Geology of oil and gas: materials of the inter-university scientific and practical conference of students and postgraduates (Kharkiv, May 16-17, 2017), V. N. Karazin Kharkiv National University, 98.*
12. Fyk I. M. (2018). *The state of flooding of the Shebelin gas condensate field. Actual issues of the Earth sciences: the view of the youth: materials of the II Scientific conference of students and postgraduates (Kharkiv, April 12-13, 2018), «StyT`-Izdat», 36–40.*
13. Kanalin V.G. (1997). *Oil and gas geology and hydrogeology. Moscow. OAO "Izdatelstvo "Nedra", 366.*
14. Bykov N.E et al. (1981). *Oilfield geology directory. Moscow, Nedra, 525.*
15. Abyelyencev V. M. et al. (2014) *Geological conditions for the extraction of residual stocks and exploration of hydrocarbon deposits in the northern floodplain zone of the Dnipro-Donets'k depression: monograph. Kharkiv. V.N. Karazin Kharkiv National University, 192.*
16. Bojko V.S. (1996). *Oil and Gas directory. Kiev; Lviv, 620.*
17. Pirson S.D. (1961). *The doctrine of the oil reservoir. Moscow, «Gostoptekhizdat», 670.*
18. Masket M. (1953). *Physical bases of oil production technology. Moscow, «Gostontekhizdat», 606.*
19. Fyk I.M. (1981). *Forecasting of residual gas saturation of the formation: PhD dis., Ivano-Frankivsk, 227.*
20. Andersen P.O. et al. (2017). *Improved modeling of gravity-aided spontaneous imbibition using momentum-equation-based relative permeabilities. EAGE - 19th European Symposium on Improved Oil Recovery, 24-27 April, Stavanger, Norway [https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700303].*
21. Zhou X., Morrow N. R., Ma S. et al. (2018). *Interrelationship of Wettability, Initial Water Saturation, Aging Time, and Oil Recovery by Spontaneous Imbibition and Waterflooding. SPE Journal, 5 (2), 199–207 [https://doi.org/10.2118/62507-PA, SPE-62507-PA].*
22. Chepil` P. M. (2008). *The second life of oil and gas deposits in Ukraine is a myth or a reality. Mineral`ni resursi Ukrainy`, 2, 37-38.*
23. Zaritskiy A.P. et al. (2011). *Perspectives of the main and deep zones of oil and gas accumulation in the Dniπροetrovsk-Donetsk cavity. The issue of development of the gas industry in Ukraine: a collection of scientific works. Vy`pusk XXXIX, Kharkiv, UkrNDIgaz, 11-17.*
24. Fyk I. M. (2018). *Reserve of reserves at Shebelinsky gas condensate field // Geology of oil and gas: materials of the all-Ukrainian scientific and practical conference of students and postgraduates (Kharkiv, April 19-20, 2018). Kharkiv, V. N. Karazin Kharkiv National University, 27-31.*