

УДК 622.276.1/7

ПРОБЛЕМИ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН У ГАЗО- І НАФТОВИДОБУВНІЙ ГАЛУЗІ

В.С.Бойко¹, Р.В.Бойко²

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. (03422)99-41-96, e-mail: public@ifdtung.if.ua

²ГПУ „Львівгазвидобування” ДК „Укргазвидобування”,
79026, м. Львів, вул. І. Рубчака, 27
тел. (0322)23-36-64, e-mail: R.Boyko@LGV.com.ua

Проаналізовано доцільність та ефективність застосування горизонтальних свердловин для розробки і дорозробки нафтових та газових родовищ в Україні.

Ключові слова: розробка, нафтове родовище, газове родовище, горизонтальна свердловина, ефективність, нафтогазовилучення.

Розвиток економіки будь-якої держави здебільшого визначається наявністю, повнотою освоєння і рівнем використання паливно-енергетичних ресурсів, забезпечення частиною із яких, зокрема нафтою і газом, залишається надзвичайно актуальним. В Україні за наявності сировинної нафтової і газової бази гостро стоїть проблема підвищення повноти її ефективності освоєння родовищ, збільшення поточного видобутку власної нафти і газу.

Україна належить до найстаріших нафтовидобувних держав світу (наприкінці XIX ст. Галичина займала 3-є місце у світі з видобутку нафти, поступаючись тільки Росії та США), а відтак – і до газовидобувних держав (1913 р. в Дашаві одержано фонтан природного газу, а в 1929 р. завершено спорудження першого магістрального газопроводу в Україні „Дашава-Львів”). За цей час у нафтогазовій галузі України напрацьовано значні здобутки, а наше завдання – їх збагатити. Безперечно, Україна власною нафтою не забезпечена, і немає підстав вважати, що буде мати достатню кількість власної нафти в майбутньому. Україна є політично незалежною європейською державою, проте постає питання економічної незалежності, яке полягає в тому, що вона власними фінансовими ресурсами покриє усе, що необхідно для функціонування своєї економіки, тобто не розпочне усе виробляти сама, а за потреби – купить, як це робиться, для прикладу, в Японії з енергоресурсами. На основі цих заasad з урахуванням соціально-політичних, геологічних, економічних та гідрогазодинамічних умов і виробилося наше бачення концепції впровадження горизонтальних свердловин у нафтовій і газовій промисловості України.

Нафтова промисловість України, як і більшості високорозвинутих країн світу, пройшла період максимального обсягу видобутку нафти, за

яким неминуче настає спад. В Україні на сьогодні розробляється основних 86 нафтових і 95 газових та газоконденсатних родовищ. Обсяги видобутку власної нафти становлять лише 13,5% і газу 20% від потреби. Виробленість початкових видобувних запасів становить 70% по нафті і 65% – по газу, причому структура запасів постійно погіршується, коли категорія важковидобувних запасів нафти сягає 70%. Власний видобуток нафти становить 3,8-4,2 млн. т.

На розроблюваних родовищах середній поточний коефіцієнт нафтовилучення становить 22,4% (в Передкарпатті – 16,4% і ДДЗ – 39,5%), а очікуваний кінцевий коефіцієнт нафтовилучення у разі застосування традиційних методів розробки оцінюється в 35,2% (у Передкарпатті – 25,4% і ДДЗ – 46,1%), тобто ще може бути видобуто 153,2 млн. т нафти і в надрах залишиться 758,5 млн. т.

За весь понад столітній період, що минув з часу відкриття в Україні покладів нафти і газу шляхом буріння свердловин, із надр видобуто 267,8 млн. т нафти (або 63,6% від початкових видобувних запасів 420,8 млн. т), а залишкові видобувні запаси становлять 153,2 млн. т (поточні геологічні запаси – 911,7 млн. т; початкові геологічні запаси 1179,5 млн. т).

З 1972 р. видобуток нафти зменшується на 1,7-3,4% за рік. Основна причина падіння видобутку – високий ступінь виснаженості основних старих родовищ та відсутність нових, які змогли б компенсувати природне падіння видобутку нафти. Другою причиною є погіршення структури запасів через збільшення частки (до 57%) важковидобувних нафт (водонафтові і підгазові зони, низькопроникні колектори, високов'язкі нафти). По-третє, прирости запасів, одержаних за останнє п'ятнадцятиріччя, як правило, розсіяні на незначних за запасами розвіданих площах та на родовищах з великими глибинами заляганнями продуктивних пластів чи з розміщенням у шельфовій зоні, що суттєво ускладнює можливість їх освоєння і одержання значних обсягів видобутку.

Звідси і повинні формуватися напрямки і стратегія розвитку нафтової і газової промисловості як на найближчий період, так і на далеку перспективу. Головне, слід пам'ятати, що нафта і газ належать до невідтворюваних природних енергетичних ресурсів, а запаси їх є матеріальною цінністю українського народу.

На наш погляд, існують шляхи забезпечення України вуглеводнями (нафтою і газом): 1) імпорт нафти (маємо 87,8% із Російської Федерації) і газу; 2) економія споживання; 3) оптимізація пошуків нових великих родовищ, у т. ч. в нових перспективних районах; 4) нарощування нафтогазовидобутку із відкритих і розроблюваних родовищ, у т. ч. із родовищ з малими запасами; 5) пошуки нетрадиційних джерел (горючі сланці типу менілітових, бітуми, газогідрати, у т. ч. у Чорному морі, метан вугільних покладів) і раціональних альтернатив нафті та природному газу (вітрова і сонячна енергії, синтетичні вуглеводні. У т.ч., наприклад із ріпаку, тощо); 6) поглиблення переробки нафти (маємо 54,3%, у США –

90% і Німеччині – 83%) та газоконденсату; 7) використання інтелектуального і виробничого потенціалу України (в першу чергу, пов'язаного із видобуванням нафти і газу) в інших державах.

Оперативними шляхами збільшення сировинних ресурсів та поточного рівня нафтогазозабезпечення слід вважати імпорт нафти та газу і певною мірою пов'язане з ним використання інтелектуального і виробничого потенціалу та інтенсифікацію нафтогазовидобування на відкритих і розроблюваних родовищах. Водночас, роботи за іншими шляхами нафтозабезпечення не повинні скорочуватись, а розширюватись з огляду на довготривалу перспективу. Тут достатньо наголосити, хоча б на тому, що імпорт нафти до цього часу пов'язаний виключно із одним джерелом – східними регіонами Російської Федерації (87,8% з переробки нафти). Такий стан свідчить про нездорову залежність від одного партнера, посилення якої можна кваліфікувати як тенденцію до створення зв'язків на неокolonіальні.

У розвинутих країнах світу приріст у паливно-енергетичному споживанні часто забезпечується за рахунок економії, при цьому її слід розуміти і як ресурсозбереження (точніше, ресурсощадність) і як здійснення структурних змін у споживанні нафти, газу та інших енергоносіїв (вугілля, сонячна і водна енергія тощо). Основним показником раціональності використання енергоносіїв є енергомісткість валового національного продукту, яка була в колишньому Союзі вищою, ніж у США, і у 2,5 рази вищою, ніж у країнах Західної Європи. Оскільки в Україні зосереджено високоенергомісткі виробництва (чорна металургія, хімічні виробництва, важке машинобудування), то для неї цей показник є ще вищим.

Перспективні ресурси нафти оцінюються в 125 млн. т. В аспекті видобування цих ресурсів для визначення їх структури щодо величини запасів родовищ ми застосували метод оцінки ресурсів з використанням статистичного розподілу Парето і з виконанням умови рандомізації, тобто випадкового, нескерованого відбору. Застосування розподілу Парето може бути зумовлене так званими властивостями фрактальності Землі і стратиграфічних горизонтів, що її складають. Таку оцінку нами виконано стосовно до Передкарпаття і Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Встановлено високу ймовірність відкриття великої кількості малих родовищ у цих регіонах, при цьому кращою є ситуація в ДДЗ. Зокрема, встановлено, що можна очікувати відкриття значної кількості (близько 20) середніх (3-10 млн.т.) і дуже великої кількості (близько 900) малих (менше 3 млн.т.) родовищ на Передкарпатті. У Східному регіоні ще не відкрито частину (8-9) великих родовищ, властивих цьому регіонові (запаси 10-30 млн.т.), а також великої кількості середніх (близько 100) і малих родовищ. На сьогодні завданням є вироблення методології ефективного освоєння таких малорозмірних родовищ.

Оскільки Україна не може повною мірою забезпечити себе нафтою ні сьогодні, ні у майбутньому, то нашим обов'язком є розподілення за-

лишкових запасів нафти в надрах України на сьогодні і для майбутніх поколінь. Для цього необхідно:

а) створити геолого-промислову базу даних про всі відомі на сьогодні нафтогазові родовища і базу знань (в напрямку інтелектуалізації суспільства) про найбільш перспективні технології видобування та інтенсифікації видобування нафти для кожного конкретного родовища і кожного покладу України;

б) раціоналізувати режими роботи окремо для кожної свердловини і спрогнозувати обсяги видобутку нафти з конкретних родовищ та покладів із позицій забезпечення якнайповнішого вилучення нафти з надр (що звичайно, приведе до зменшення поточних дебітів нафти). Видобувати нафту для задоволення сьогоднішніх максималістських потреб та амбіцій ми навчені, навіть з філософським підґрунтям Ф. Бекона (1561-1626 р.р.), волонтаристсько-прагматична настанова якого „підкорення природи людській волі та розумові” є результатом сьогоднішнього екологічного стану земної кулі. Звідси постає проблема інтенсифікації видобування вуглеводнів з інших свердловин з метою рівномірного вироблення усіх ділянок покладу (інакше буде завдано шкоди надрам);

в) найближчим часом законодавчо затвердити квоту на максимальний дебіт нафти із кожної окремої свердловини (взявши за приклад США, а не королівську Саудівську Аравію)

г) залучати зовнішні та внутрішні інвестиції в розвиток фундаментальних наукових досліджень із проблем видобування нафти з українських родовищ та для геолого-геофізичного дослідження нафтогазових надр України (але не для видобування нафти із надр України іноземним інвестором і, тим самим, перетворення України в чийсь сировинний придаток);

г) розширити організаційно-політичну та підприємницьку діяльність щодо забезпечення України нафтою і нафтопродуктами шляхом ввезення їх з інших країн (яскравим прикладом у цьому є Японія).

На сьогоднішній день одним із найбільш раціональних напрямків підвищення ефективності вироблення важковидобувних запасів нафти у світі є застосування систем розробки, горизонтальними (ГС) і розгалужено-горизонтальними (РГС) свердловинами у поєднанні з вертикальними (ВС). Лідерами у цьому є США (70% ГС світу) і Канада (25%). У США близько 90% усіх ГС пробурено в карбонатних колекторах з метою перетину природніх тріщин і підвищення продуктивності свердловин. У Канаді близько 45% ГС пробурено на родовищах високов'язкої нафти з високопроникними теригенними колекторами, близько 40% – в тріщинуватих карбонатних колекторах з легкою нафтою для мінімізації конусоутворення, а решта – для розробки низькопроникних і тонких пластів [26,27].

Співвідношення продуктивностей ГС і ВС становить у США 3,2, у Канаді 4,1; накопиченого відбору – 2-5, підвищення кінцевого нафтовилучення на 10-20%, а приріст видобувних запасів на 8-10%. Показник

прибутку – відношення відносної продуктивності по ГС і ВС до відповідних відносних витрат – становить 1,6-1,9 [25].

У світі вже пробурено низку горизонтальних стовбурів довжиною близько 8000-9000 м. Вагомих наукових (гідрогазомеханіка припливу до ГС, доцільні умови їх застосування) і виробничих здобутків (реалізація проектів горизонтального буріння) Україна вже досягнула в цьому плані, але роботи слід активно продовжувати [2,6,17,18].

Особливо актуальною є проблема створення наукових основ і технології розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ горизонтальними і розгалужено-горизонтальними свердловинами, як це робиться у світі, де рекордна довжина горизонтальної ділянки знаходиться на рівні 11000 м. Горизонтальні ділянки стовбурів свердловин дають змогу з великою ймовірністю охопити „цілики” застійної та залишкової нафти як по площі, так і в тектонічно-ізолюваних пластах-блоках, розкрити високопроникні фільтраційні канали, що забезпечує підвищення коефіцієнта нафтовилучення та збільшення поточного видобутку нафти [1]. Для цього можна пробурити нові горизонтальні свердловини, забурити похилі, горизонтальні чи розгалужено-горизонтальні стовбури в ліквідованих, малодобітних чи аварійних вертикальних свердловинах, яких на сьогодні є багато на кожному родовищі, або створити додаткові розгалужено-горизонтальні стовбури в існуючих свердловинах [23]. Потребує вдосконалення конструкція стовбурів розгалужених свердловин (існуючі конструкції на Долинському і Бориславському родовищах виявилися невдалими). Ми усвідомлюємо існування низки проблем горизонтального буріння, проте існують підстави без зволікань переходити від дослідних робіт до ширшого освоєння і впровадження горизонтального буріння.

Потребують розширення дослідні роботи з питань розробки родовищ горизонтальними свердловинами (у т.ч. одночасно із вертикальними) та експлуатації горизонтальних свердловин (щодо способів експлуатації, дослідження, підземного і капітального ремонту, діяння на привибійну зону пласта).

Аналіз розробки 60 об'єктів західного регіону свідчить, що традиційними технологіями з надр буде вилучено лише 17,5 % балансових запасів нафти. Для досягнення проектного нафтовилучення – 23,1% – необхідно додатково пробурити понад 700 ущільнювальних вертикальних видобувних свердловин. Але, як відомо, одна горизонтальна свердловина може замінити сьогодні 3-5 вертикальних свердловин. Звідси необхідно значно розширити фундаментальні наукові та промислові роботи із застосування горизонтальних свердловин з метою вилучення нафти із нових та енергетично виснажених родовищ, у т.ч. і для розробки газових родовищ та на підземних газосховищах з огляду на світову тенденцію з цієї проблеми (комплексні дослідження в галузях геології, геофізики, петрофізики, фізики пласта, буріння, підземної гідрогазомеханіки, розробки родовищ, експлуатації та ремонту свердловин).

Застосування горизонтальних свердловин є сучасним і одним з ефективних методів збільшення видобутку нафти та газу і підвищення вуглеводневилучення з покладів. Це – одне із найсуттєвіших досягнень в області технології видобування нафти та газу за останній період. Ефективність застосування горизонтальних свердловин визначається значним збільшенням продуктивності (з урахуванням умов стійкості роботи, які визначаються геолого-промисловою характеристикою об'єкта розробки і технологією видобування) і розширення зони дренування (як по площі, так і по товщині продуктивної частини родовища), і зрештою стабілізацією рівня видобутку (на пізніх стадіях розробки) і підвищенням кінцевих коефіцієнтів газо- та нафтовилучення. Існують підстави вважати, що і буріння нових горизонтальних свердловин, і перетворення існуючих (особливо малодобітних чи аварійних, вертикальних свердловин) у розгалужені або горизонтальні є одним із найбільш ефективних напрямків вирішення проблеми забезпечення приросту видобутку власної нафти в Україні, у т.ч. в акваторіях Чорного та Азовського морів.

З розвитком технології і техніки горизонтального буріння розроблялись і наукові основи теорії припливу вуглеводнів для однієї і групи горизонтальних свердловин (у т.ч. в комбінації з існуючими вертикальними) коли на родовищах, які розробляються мережею вертикальних свердловин, з метою інтенсифікації видобування нафти пробурюють горизонтальні свердловини між існуючими вертикальними. У даній роботі узагальнюються наші здобутки в області створення гідрогазомеханіки горизонтальних свердловин, розробки принципів підходів і критеріїв вибору об'єктів доцільного горизонтального буріння свердловин, а також імовірнісних моделей розкриття горизонтальними свердловинами застійних об'ємів („ціликів”) нафти при просторовому розгляді покладів, тектонічно відокремлених нафтогазових покладів-блоків, високопровідних тріщин пласта. Це уможливило викласти окремим розділом основи підземної гідрогазомеханіки горизонтальних свердловин у підручнику для студентів ВНЗ нафтогазового профілю 3-4 рівня акредитації [5].

Накопичений досвід свідчить, що метою горизонтального і похилого буріння є більш-менш рівномірне охоплення розробкою покладів, зменшення витрат на освоєння родовищ, збільшення поточних дебітів і підвищення нафтогазовилучення. На основі аналізу світового досвіду можна виділити чотири групи принципів, за якими застосовуються горизонтальні свердловини, а саме: географо-екологічні, геологічні, технічні та економічні [4,14].

Географо-екологічні принципи зумовлені необхідністю обійти чи зберегти об'єкти, що розташовані на поверхні нафтогазоносною території (населені пункти, промислові споруди і будівлі, акваторії морів, чорноземні поля і ліси (особливо заповідної зони) охоронні санітарні і курортні зони, гористу місцевість з крутим рельєфом тощо).

Об'єкти горизонтального буріння вибирають, здебільшого, за геологічними принципами. Геолого-промислова характеристика покладу зу-

мовлює ефективність застосування складнопрофільних свердловин. Так, внаслідок безсистемного розподілу пористості, тріщинуватості і кавернозності рифових вапняків і різкої несталості їх за проникністю по всіх напрямках (навіть за відстані між експлуатаційними свердловинами 100м) сусідні свердловини часто давали найрізноманітніші дебіти – від 1-3 до 200-300 т/добу. Вибір місця закладання горизонтальної свердловини здійснюють з урахуванням сейсмічних ознак тріщинуватих зон на сейсмічних розрізах.

З технічних позицій вибір між похилим чи горизонтальним випадком свердловин може зумовлюватися необхідністю забурювання у більш нафто газонасичені зони нових стовбурів в існуючих свердловинах з метою збільшення дебіту малопродуктивних свердловин, які можуть підлягати ліквідації; відновлення недіючих чи ліквідованих свердловин та свердловин із з'явою експлуатаційною колоною, що не піддається ремонту, аварійних свердловин; забурювання "прицільних" свердловин для ліквідації відкритих газових і нафтових фонтанів.

Економічні принципи супроводжують більшість із названих принципів і полягають у зменшенні витрат на розвідку, освоєння, розробку чи дорозробку родовища.

Успішність застосування горизонтальних свердловин залежить від вибору конструкції горизонтальних свердловин (просторове розміщення в покладі, довжина і форма горизонтальної ділянки стовбура, кут нахилу, обладнання вибою і т.д), системи розміщення горизонтальних і існуючих вертикальних свердловин в об'ємі продуктивної товщі, встановлення раціонального технологічного режиму експлуатації свердловин. Системи розміщення горизонтальних свердловин можуть бути локальними, площинними, об'ємними, припокрівельними, міжпластовими, комбінованими, вторинними [2,15,16,18].

Науково-методичні основи конкретного впровадження горизонтальних свердловин повинні містити три моделі:

а) інформаційну (геологічна характеристика – ефективні товщини, коефіцієнти пористості та проникності і технологічні показники розробки родовища – дебіти, відбори, кількість свердловин, конструкції і т.д),

б) геометричну модель (серію карт полів параметрів – геологопетрофізичних тощо);

в) математичну (диференціальні рівняння, аналітичні вирази дебітів, параметрів флюїдів і т.д.).

Дослідження припливу рідини до свердловини, яка довільно розміщена в однорідному пласті обмеженої товщини призводить до постановки складних просторових (тривимірних) задач [19,20]. Для усталеного процесу фільтрації необхідно розв'язати диференціальне рівняння другого порядку з коефіцієнтами, які враховують анізотропію пласта за проникністю вздовж трьох просторових координат. Внаслідок складності задачі та з метою одержання практично придатного розв'язку нами застосовано методи фрагментів, ізотропізуючої деформації простору, джерел і стоків, відображення джерел і стоків, суперпозиції [20]. У ре-

зультаті одержано формулу дебіту однієї горизонтальної гідродинамічно недосконалої свердловини в просторово анізотропному круговому пласті за довільного її розміщення відносно покрівлі (чи подошви) пласта [1,10,21].

Показано, що дебіт горизонтальної свердловини в смугоподібному (стосовно до форми зони дренування) вертикально-анізотропному пласті з двостороннім контуром живлення лінійно зростає із збільшенням довжини горизонтальної ділянки. Товщина пласта також призводить до росту дебіту. Зростання коефіцієнта анізотропії проникності у вертикальному напрямку призводить до зменшення дебіту. Горизонтальні свердловини недоцільно застосовувати у товстих (понад 20-30 м) і високоанізотропних смугоподібних пластах, оскільки їх вплив взаємопов'язаний. Зміщення свердловини до покрівлі (чи подошви) пласта незначно впливає на дебіт [3,20].

Аналіз фільтрації нафти в круговому пласті показав, що із збільшенням довжини горизонтальної свердловини до 300-500 м дебіт практично прямолінійно зростає. Із збільшенням товщини пласта заи довжини свердловини 500 м дебіт зростає, але за великих коефіцієнтів анізотропії і товщинах (понад 100-150м) це зростання практично відсутнє [20].

Постає також питання про доцільність горизонтальної свердловини порівняно з вертикальною. Для відповіді горизонтальну свердловину нами подано еквівалентною їй вертикальною свердловиною із зведеним радіусом [24]. Аналізом встановлено, що в однорідному пласті горизонтальна свердловина є ефективнішою від вертикальної. Для компенсації впливу анізотропії проникності необхідно пробурювати горизонтальні свердловини із щораз більшою довжиною. Якщо коефіцієнт анізотропії рівний 20, то горизонтальна свердловина довжиною 500 м стає неефективною порівняно з вертикальною за товщини пласта понад 70 м.

Коли ставиться умова одержання найбільшого дебіту, то горизонтальна свердловина має бути розміщена в просторово-анізотропному пласті перпендикулярно до горизонтальної осі, вздовж якої проникність є найбільшою [7,12].

Отримані формули забезпечують набагато точніші результати порівняно з відомими (різним ступенем спрощення, частковими випадками) формулами S.D. Joshi (1988, 1991), Renard і Dupuy (1991), Ю.Борисова (1964), В. Григулецького (1992), А. Пірвердяна, В. Пилатовського, З. Алієва і В. Шеремета (1995) та інш [20,22].

Під час видобування нафти шляхом нагнітання агентів витіснення з температурою нижчою початкової пластової температури (зокрема холодної води) в пласті можуть утворюватися об'ємні "цілики" застійної малорухомої нафти, яка набуває неньютонівських властивостей, особливо за умови граничного насичення парафіном. Тому досліджено вплив неньютонівських в'язко-пластичних властивостей нафти на її фільтрацію до горизонтальної свердловини [20]. Аналіз свідчить, що зі збільшенням динамічного напруження зсуву нафти дебіт лінійно змен-

шується, причому аномальні властивості нафти можуть зумовлювати зменшення дебіту горизонтальної свердловини до 50% [20].

Тріщинна анізотропія проникності і деформівність тріщинуватого пласта призводять до значного зменшення дебіту горизонтальної свердловини, що необхідно враховувати під час спорудження та підготовки свердловин до експлуатації [9].

Розглянуто технологічну доцільність застосування двох паралельних і однаково напрямлених горизонтальних свердловин для розкриття пластів великої товщини на основі розв'язування задачі інтерференції горизонтальних свердловин (ярусне розміщення свердловин) [20].

Приплив рідини до вертикальної свердловини можна звести до плоско-радіального потоку, а потік до горизонтальної свердловини є виключно просторовим. Тому задачі інтерференції горизонтальних і вертикальних свердловин слід розглядати як просторові у тривимірному просторі, а реалізувати їх можна за кінцево-різницеvim методом за допомогою ПЕОМ. Аналітично показано, що цілком допустимо горизонтальну свердловину, яка знаходиться в покладі серед вертикальних свердловин, подавати або однією еквівалентною їй вертикальною свердловиною (перший підхід) або поряд з еквівалентними вертикальними свердловинами з відстанню між ними, яка дорівнює товщині пласта, а їх кількість брати наближено рівною відношенню довжини горизонтальної свердловини до товщини пласта (другий підхід) [23]. Для підвищення точності розрахунку слід розрахувати для кожної окремої свердловини свій зведений радіус. У результаті складний просторовий потік зводимо до плоского потоку, а плоскі задачі взаємодії свердловин розв'язуються аналітичними методами або за допомогою ПК.

З позицій теорії геометричних імовірностей показано, що спрямування стовбура свердловини у просторі відповідно до геологічної будови і стану вилучення запасів нафти уможливорює з апріорі заданою імовірністю забезпечити розкриття свердловиною високопродуктивних каналів і тріщин, охоплення „ціликів” застійної, залишкової нафти, а, значить, підвищити поточні дебіти і нафтовилучення.

Тріщинуватість порід зумовлює одержання високих чи промисловодопустимих дебітів нафти, хоч може призводити до передчасних проривів витіснювальних агентів. Зважаючи на її подвійну роль, з метою регулювання процесів нафтогазовилучення стосовно до конкретного просторового розміщення тріщин виконано аналітичну оцінку ймовірностей розкриття вертикальних і похилих паралельних та взаємноперпендикулярних плоских тріщин вертикальними, горизонтальними, похилими, похило- і горизонтально-розгалуженими свердловинами. Задачу реалізовано у вигляді плоскої моделі, в якій тріщини представлені прямими, а свердловина – відрізком певної довжини (горизонтальною проекцією). За ймовірну міру прийнято довжину [13].

Реально тріщина по своїй довжині може мати розриви, особливо це стосується мікро- і макротріщин. Імовірність неперервності тріщин $P_{\text{нп}}$ можна подати як частку, з якою одиниця довжини покривається тріщи-

нами. Тоді з метою уточнення знайдені імовірності для таких випадків необхідно перемножити на цю імовірність $P_{\text{нп}}$. Одержані формули дали змогу, зокрема, встановити, що вертикальні мікротріщини (відстані між ними становлять 0,01-0,1 м) вірогідно розкриваються вертикальними свердловинами. Імовірність розкриття макротріщин (за відстані між ними 0,02-1,0 м), які вибірково розвиваються по більш густій мережі мікротріщин, вже може зменшуватися до 0,2, а мегатріщин (відстані 100-1000 м) становить дуже малу величину – $2 \cdot 10^{-3}$ – $2 \cdot 10^{-4}$, тобто вертикальні мегатріщини практично не розкриваються вертикальними свердловинами. Мегатріщини з високою надійністю розкриваються горизонтальними чи похилими свердловинами, коли довжина горизонтальної проекції свердловини утрічі перевищує середньостатичною відстань між тріщинами. Аналіз оберненої задачі – визначення густоти тріщин у пласті – свідчить, що мегатріщини можуть розміщатися на відстанях 10-34м при надійній імовірності 0,66, а це на порядок менше тих величин, які зазвичай приймаються [13].

У процесі розробки нафтових покладів можуть утворюватися застійні зони („цілики“) нафти. Використовуючи із теорії геометричних імовірностей метод розміщення на досліджувану ділянку випадкової прямої (січної), знайдено математичне сподівання суми інтервалів довжини l_i перетину січної з „ціликами“: $M(\sum l_i) = P_{\text{ц}} L$, де $P_{\text{ц}}$ – частка площі „ціликів“ від загальної площі родовища; L – довжина горизонтальної свердловини. Отже, з одного боку, із збільшенням L зростає сумарна довжина перетину свердловини з „ціликами“, а з другого –, як показано вище, збільшується її дебіт, отже горизонтальна свердловина на пізніх стадіях розробки забезпечує залучення до вироблення застійні об'єми нафти в зонально-неоднорідних покладах [20]. Це засвідчує досвід дорозбурювання Бориславського і Долинського родовищ розгалужено-горизонтальними свердловинами (В.Й. Михалевич, Н.Н.Гунька та інш.) та Гнідинцівського і Леляківського родовищ (горизонт К-1) вертикальними свердловинами (Л.М. Середницький, Л.Е. Мірзоян та інш.).

За матеріалами аерокосмогеологічних та інших досліджень обґрунтовано блокові моделі родовищ (П.Ф.Шпак, В.В.Бабаєв), а за даними аналізу розробки блоків Долинського родовища розглянуто ефективність вироблення запасів окремих блоків та гідрогазодинамічний зв'язок між ними (М.І. Бучковська, І.І. Музичко, Ю.М. Смук). У зв'язку з цим вперше з позицій теорії геометричних імовірностей виконано кількісну оцінку можливостей літологічного і гідрогазодинамічного зв'язку між продуктивними частинами розрізів двох суміжних блоків та охоплення окремих блоків покладу вертикальними свердловинами і „хаотично“ розподілених в об'ємі стратиграфічної структури блокових, тектонічно екранованих пластів-покладів похилими і горизонтальними свердловинами. Одержано теоретичні залежності на основі детермінованого і стохастичного підходів. Імовірнісні моделі дають змогу бурити горизонтальні свердловини з найбільшою імовірністю розкриття високопровідних тріщин, застійних об'ємів нафти при просторовому розгляді покладу і

тектонічно відокремлених блоків, а також встановлювати гідродинамічний зв'язок між сусідніми блоками [20].

У результаті розроблено новий теоретико-імовірнісний метод визначення ефективності застосування горизонтальних свердловин для розробки і дорозробки нафтових родовищ.

Практика експлуатації горизонтальних свердловин, за даними її аналізу, свідчить про такі переваги: інтенсифікується видобування нафти і газу та підвищується нафтогазовилучення; продовжуються терміни ефективної експлуатації водонафтогазових покладів; спостерігається мінімальне забруднення довкілля і зберігаються екологічно чистими великі площі поверхні; зменшується кількість свердловин, необхідних для розробки родовищ; в експлуатацію залучаються родовища, які раніше вважались промислово нерентабельними (забалансовими).

Перспективи застосування горизонтальних свердловин в Україні для видобутку нафти і газу визначаються за географо-екологічними, геологічними і технічними принципами. Так, Г.Ю. Бойко показав, що і утворення покладів, і промисловий приплив нафти до свердловин визначається наявністю розломів і тріщинуватістю порід. Усі відомі у Внутрішній зоні Передкарпаття поклади вуглеводнів приурочені лише до верхніх частин виділених резервуарів, які сьогодні іноді взаємодіють між собою, що пов'язується з інтенсивною тріщинуватістю. Тріщини (їх розкриття 10-20 мкм) розвинуті переважно в алевролітах і аргілітах, орієнтовані перпендикулярно, паралельно і під кутом до шаруватості; коефіцієнт абсолютної пористості за керновими даними піщано-алевролітових порід незначний (1-12 %), найчастіше не перевищує 4-6%, коефіцієнт проникності менший ($10^{-3} \cdot 10^{-3}$ мкм²). Такі породи можуть бути колектором тільки за наявності тріщин. Характерною особливістю родовищ ДДЗ є переважне зосередження їх поблизу розривних порушень. Сформувалася тенденція до відкриття родовищ з малими запасами. Перспективи нарощування видобутку тут пов'язуються з прибороною зоною ДДЗ.

Таким чином, за умов високого ступеня виснаженості основних родовищ, погіршення структури запасів вуглеводнів, сформованої тенденції приросту запасів за рахунок відкриття родовищ з незначними запасами або на великих глибинах чи у шельфовій зоні як приросту запасів вуглеводнів, так і значного збільшення поточних обсягів видобутку нафти і газу в Україні можна досягнути шляхом застосування горизонтальних свердловин.

Література

- 1 Бойко В.С., Бойко Р.В. Гідродинамічна характеристика підземного водозабору горизонтальними свердловинами // Матеріали українсько-польської наук.-техн. конф. „Сучасні проблеми водопостачання і знешкодження стічних вод”. – Львів, 1996.

- 2 Бойко В.С., Бойко Р.В. Оптимізація просторового розміщення горизонтальних і похилих стовбурів свердловин у нафтогазовому пласті // Зб. доповідей міжнар. наук.-практ. конф. „Проблеми і шляхи енергозабезпечення України” (м. Івано-Франківськ, 7-10 грудня 1993 р.) – Івано-Франківськ, 1994.
- 3 Бойко В.С., Бойко Р.В. Основи підземної газогідродинаміки горизонтальних нафтових і газових свердловин // Матеріали наук.-практ. конф. „Нафта і газ України-96”. – Харків, 1996. – С. 11-12.
- 4 Бойко В.С., Бойко Р.В. Перші аспекти щодо доцільності застосування горизонтальних свердловин на газонафтових родовищах України // ІФДТУНГ. – Івано-Франківськ, 1996. – 26с. – Деп. в ДНТБ України 08.06.96.
- 5 Бойко В.С., Бойко Р.В. Підземна гідрогазомеханіка: Підручник. – Львів: Апріорі, 2005. – 452 с.
- 6 Бойко В.С., Бойко Р.В. Проводка горизонтальних і похилих свердловин як метод ефективного освоєння і розробки покладу // Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України: Тези доповідей і повідомлень наук.-практ. конф. (Львів, 28-30 березня, 1995р.). – Львів, 1995. – С. 151.
- 7 Бойко В.С., Бойко Р.В. Регулювання розробки нафтових родовищ застосуванням горизонтальних і розгалужено-горизонтальних свердловин // Зб. доповідей міжнар. наук.-практ. конф. „Нафта і газ України” (м. Київ 17-19 травня 1994 р.). – Львів: УНГА, 1995. – С. 209-212.
- 8 Бойко В.С., Бойко Р.В., Бойчук Т.Р. Методологія освоєння низькопродуктивних нафтових родовищ з малими запасами в Україні //Стан, проблеми і перспективи розвитку нафто- газового комплексу Західного регіону України: Тези доповідей і повідомлень наук.-практ.конф. Львів, 28-30 березня 1995 р.). – Львів, 1995. – С. 82-83.
- 9 Бойко Р.В. Дослідження припливу нафти до горизонтальної свердловини в деформівному тріщинуватому пласті // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Розробка нафтових і газових родовищ: Держ. міжвід. наук.-техн. зб. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1995. – С. 82-89.
- 10 Бойко Р.В., Бойчук Т.Р. Теоретичні засади ефективного освоєння малих нафтових родовищ шляхом застосування горизонтальних і похилих свердловин // Тези наук.-техн. конф. проф. - виклад. складу унту. – 1-а частина. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, НДІ НГТ, 1995. – С. 60.
- 11 Бойко Р.В., Бойко В.С. Приплив до горизонтальної свердловини в круговому анізотропному пласті // Нафтова і газова промисловість. – 1995. – № 2.
- 12 Бойко Р.В. Дослідження фільтрації рідини до горизонтальної свердловини в анізотропному овальному пласті. – Івано-Франківськ, 1994.– 12 с. – Деп. в ДНТБ України 15.12.94, №2487 - Ук 94.

- 13 Бойко Р.В. Імовірність розкриття тріщин продуктивного пласта свердловинами різного профілю // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Розробка нафтових і газових родовищ: Держ. міжвід. наук.-техн. зб. – 1994. – Вип. 31. – С. 14-27.
- 14 Бойко Р.В. Принципи і критерії вибору об'єктів горизонтального буріння свердловин // Нафт. і газова пром-сть. – 2000. – №6. – С. 30-33.
- 15 Бойко Р.В. Приплив рідини до багатовибійної свердловини в анізотропному пласті за нелінійним законом фільтрації // ІФІНГ. - Івано-Франківськ, 1993. – 13 с. – Деп. в ДНТБ України 25.10.93, №2063 - Ук 93.
- 16 Бойко Р.В. Приплив рідини до похилої свердловини в анізотропному пласті за нелінійним законом фільтрації // ІФІНГ. – Івано-Франківськ, 1993. – 12 с. – Деп. в ДНТБ України 25.10.93, №2065. - Ук 93.
- 17 Бойко Р.В. Регулювання дорозробки нафтових родовищ України шляхом добурювання свердловин із скерованим профілем // Тези наук.-техн. конф. проф.-виклад. складу інст. нафти і газу. – Івано-Франківськ, 1994. – 1-а частина. – С.71.
- 18 Бойко Р.В. Регулювання розробки нафтових родовищ застосуванням горизонтальних і розгалужено-горизонтальних свердловин // ІФДТУНГ. – Івано- Франківськ, 1994. – 17 с. – Деп. в ДНТБ України 10.01.95, №76 - Ук 95.
- 19 Бойко Р.В. Регулювання розробки нафтових родовищ застосуванням горизонтальних свердловин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – УкрНГІ. – К., 1996. – 18 с.
- 20 Бойко Р.В. Регулювання розробки нафтових родовищ застосуванням горизонтальних свердловин: Дисертація: канд. техн. наук. – УкрНГІ. – К., 1996. – 306 с.
- 21 Бойко Р.В. Розрахунок дебіту горизонтальної свердловини // ІФДТУНГ. Івано- Франківськ, 1994. – 37 с. – Деп. в ДНТБ України 15.12.94.
- 22 Борисов Ю.П., Пилатовський В.П., Табаков В.П. Разработка нефтяных месторождений горизонтальными и многозабойными скважинами. – М.: Недра, 1964. – 154 с.
- 23 Дослідження інтерференції горизонтальних і вертикальних свердловин / В.С. Бойко, Р.В. Бойко, С.І. Іванов, І.В. Копач // Нафт. і газова пром-сть. – 2004. – № 2. – С.27–29.
- 24 Інтенсифікація видобування газу і нафти з допомогою горизонтальних свердловин / В.С.Бойко, Я.В.Курило, Р.В. Бойко, М.М. Лилак, М.В. Лігоцький // Матеріали науково-практичної конференції “Стан і перспективи впровадження технологій інтенсифікації видобування газу та нафти на родовищах України” (Івано-Франківськ, 17-19 жовтня 2001 р.). – С.146-153.
- 25 Практика буріння і експлуатації свердловин із горизонтальними стовбурами / К.О. Оганов, Я.В. Кунцяк, Я.С. Гаврилов, І.І. Наритник. – К.: Наук. думка, 2002. – 200 с.

- 26 Don't overlook the Bakken /McCaslin John //Oil and Gas J. – 1990. – 89. – №20. – P.66.
- 27 Horizontal drilling activity booms / Moore S.D. // Petrol. Eng. Int. – 1990.– 62, № 11. – P. 15-16.

PROBLEMS AND EFFICIENCY OF INTRODUCTION OF HORIZONTAL MINING HOLES IN GAS AND OIL-EXTRACTING INDUSTRY

V.S.Boyko¹, R.V.Boyko²

¹*Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas
15, Carpats'ka Street, Ivano-Frankivs'k, 76019, Ukraine
ph.+380(342) 99-41-96, e-mail: public@ifdtung.if.ua*

²*GPOu „Lvivgazvidobouvannya" DC „Oucrgazvidobouvannya"
79026, Lvov, voul. And. Roubchaca, 27
tel.(0322) 23-36-64, e-mail: R Boyko@LGV.com.ua*

In the article the expedience and efficiency of application of horizontal mining holes is analysed for development of oil and gas deposits in Ukraine.

Keywords: *development, oilfield, gas deposit, horizontal mining hole, efficiency.*