

622.276.346 (043)
М 71

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

МІЩУК БОГДАН МИХАЙЛОВИЧ

УДК 622.276.1/7

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУВАННЯ НАФТИ ПРИ
ФОНТАННІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СВЕРДЛОВИН ЗА ЗМІНИ ГАЗОВОГО
ФАКТОРА**

05.15.06 – Розробка нафтових та газових родовищ

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Бойко Василь Степанович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
професор кафедри розробки та експлуатації
нафтових і газових родовищ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Акульшин Олександр Олексійович,
ПАТ "Український нафтогазовий
інститут", м. Київ,
заступник голови правління
з наукової роботи

кандидат технічних наук, доцент
Дмитренко Вікторія Іванівна,
ВНЗ Укоопспілки "Полтавський університет
економіки і торгівлі", м. Полтава,
доцент кафедри хімії

Захист відбудеться "01" липня 2016 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий "28" травня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

І. М. Ковбасюк



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стабілізація і подальший розвиток нафтогазової галузі та зниження енергетичної залежності від сусідніх держав – це одне із першочергових і актуальних завдань, яке слід вирішити в нафтогазовому комплексі України. Замість забезпечення екстенсивного розвитку, яким економіка України рухалась протягом десятиліть, енергетика повинна перейти на ефективне забезпечення сталого розвитку економіки, що, в свою чергу, матиме позитивний вплив на стан видобування нафти в Україні в цілому та сприятиме енергетичній незалежності держави. Одним із шляхів до цього є удосконалення існуючої технології видобування нафти, тобто вилучання її з покладу і піднімання на поверхню у видобувній свердловині, як єдиний комплекс взаємопов'язаних процесів.

На початковому етапі розробки нафтових родовищ свердловини тривалий час фонтанують. Завдання полягає в тому, щоб якомога на довший термін продовжити період фонтанування.

Взаємодія роботи покладу і свердловини стосовно руху газованої нафти вивчалась у роботах В. А. Архангельського, але розв'язок через свою складність і незавершеність (за словами автора) не виявив впливу на подальші дослідження і залишився фактично забутим. Частково вирішенням даного питання займалися І. Т. Міщенко та в якісному плані Г. Д. Савенков і В. С. Бойко.

Ефективна та раціональна експлуатація нововідкритих родовищ, з урахуванням спільної узгодженої роботи двох послідовних гідродинамічно пов'язаних між собою ланок системи «поклад-свердловина», дасть можливість вирішити актуальне на сьогодні завдання на кожному нафтовому родовищі.

Ідея дисертаційної роботи полягає в удосконаленні технології видобування нафти за зміни газового фактора, вилучання її з покладу та піднімання у фонтанній свердловині на поверхню на основі процесів самоузгодження спільної роботи двох ланок єдиної гідродинамічно пов'язаної системи “поклад-свердловина”, рухи газорідних потоків в котрій визначаються різними параметрами відповідно фазовими проникностями в покладі, що зумовлюють зміну газового фактора в часі, і коефіцієнтом гідравлічного опору в стовбурі свердловини, результатом чого буде досягнуто ресурсоощадження в покладі і енергозбереження у стовбурі свердловини.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках програм та планів держбюджетних науково-дослідних робіт Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу: “Дослідження нових енергозберігаючих екологічно-безпечних технологій інтенсифікації видобування вуглеводнів із родовищ і збільшення нафтогазоконденсатовилучення” і “Нарощування видобутку та надійного постачання паливно-енергетичних ресурсів нафтогазової енергетики України”, відповідає

державній галузевій програмі “Енергетична стратегія розвитку України на період до 2030 року” (розділ 6 “Стратегія розвитку нафтогазової галузі”, п. 6.7 “Видобуток нафти й газового конденсату”, пп. 6.7.1. “Прогноз видобутку нафти і газового конденсату з традиційних родовищ”).

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження є удосконалення технології видобування нафти і розроблення методу одночасного проектування технологічних параметрів розробки покладу та газліфтного фонтанування свердловин зі змінним газовим фактором за умов самоузгодження роботи пласта та свердловини.*

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі основні задачі:

1. Проаналізувати існуючі підходи до розробки нафтових родовищ при режимі розчиненого газу, результати дослідження процесів фільтрації газонафтової суміші і проектування фонтанної експлуатації свердловин.

2. Розробити метод, методикку та комп’ютерну програму для проектування технологічних параметрів процесу газліфтного фонтанування та показників розробки нафтового покладу в умовах самоузгодження двох ланок системи “поклад-свердловина”.

3. Удосконалити технологію видобування нафти в умовах самоузгодження процесів у покладі при режимі розчиненого газу та у свердловині при газліфтному фонтануванні за змінного газового фактора.

4. Провести експериментальне числове дослідження впливу фазових проникностей на процес розробки покладу, порівняти результати розрахунків за аналітичним і числовим методами визначення показників розробки нафтових родовищ на режимі розчиненого газу.

5. Обґрунтувати універсальну залежність зміни дебіту свердловини в часі на основі об’єднаного закону Вейбулла-Макегама.

6. Розв’язати задачу оптимізації режимів роботи діючих фонтанних свердловин і розробити метод визначення вибірного тиску за наявності перешкод для інструментального вимірювання у стовбурі свердловини з метою контролю за роботою діючих фонтанних свердловин.

Об’єкт дослідження – технологія видобування нафти фонтанними свердловинами при режимі розчиненого газу.

Предмет дослідження – спільна робота нафтового покладу і фонтанної свердловини.

Методи дослідження. Удосконалення технології видобування нафти і метод одночасного проектування технологічних параметрів розробки покладу та газліфтного фонтанування свердловин зі змінним газовим фактором за умов узгодження роботи пласта та свердловини створено на основі теоретичних досліджень та числових експериментів із застосуванням сучасного ліцензованого програмного забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше виконано кількісне обґрунтування узгодженої спільної роботи фонтанної свердловини і нафтового покладу за змінного експлуатаційного газового фактора та запропоновано метод розрахунку такої роботи, а в запропонованому методі сформульовано і реалізовано три принципові підходи до удосконалення технології видобування нафти за змінного в часі газового фактора за рахунок самоузгодження спільної роботи системи “поклад-свердловина”.

2. Вперше кількісно за результатами числових експериментів доведено істотну чутливість значень розрахункових технологічних показників розробки покладу при режимі розчиненого газу до зміни фазових проникностей.

3. Виведено узагальнений об'єднаний закон Вейбулла-Макегама і на його основі вперше запропоновано та обґрунтовано універсальну залежність зміни дебіту свердловини в часі, яку можна використовувати також для опису лабораторних даних щодо фазових проникностей.

4. Вперше розв'язано задачу оптимізації роботи діючих фонтанних свердловин за енергетичним критерієм, вперше запропоновано метод розрахунку вибірного тиску у фонтанних свердловинах третього і четвертого типів для контролю за їх роботою та обґрунтовано розміщення свердловин на покладі при режимі розчиненого газу за рівномірною сіткою в трактуванні теорії розробки газових родовищ.

Практичне значення одержаних результатів.

Вперше, на основі ув'язування спільної узгодженої роботи системи “поклад-свердловина”, розроблено методичку одночасного проектування технологічних показників розробки нафтового покладу зі змінним газовим фактором і фонтанної експлуатації свердловини четвертого типу шляхом самоузгодження процесів у пласті та піднімачі.

На основі даних числового експерименту переконливо рекомендовано, що з метою адекватного моделювання як аналітичного, так і числового процесу розробки нафтового покладу і отримання достовірних величин технологічних показників розробки необхідно включити в галузевий регламент обов'язкове експериментальне визначення залежностей фазових проникностей в усьому діапазоні зміни насиченості змочувальною фазою, стосовно до конкретного покладу.

Показано прийнятність запропонованої універсальної залежності зміни дебіту нафти в часі для достовірного прогнозування технологічних показників на прикладі родовищ Передкарпаття.

Виділено четвертий тип фонтанної свердловини стосовно режиму розчиненого газу та розроблено методичку розрахунку вибірного тиску у фонтанних свердловинах цього типу для контролю за їх роботою, а також вперше розроблено методичку оптимізації режимів роботи діючих фонтанних свердловин з газліфтним фонтануванням за енергетичним критерієм.

Особистий внесок здобувача. Постановка задачі сформульована науковим керівником професором В. С. Бойком. Здобувачем самостійно проаналізовано літературний матеріал, в якому розглядалися питання спільної, узгодженої роботи нафтової свердловини і покладу, особливостей видобування нафти з високою газонасиченістю, процеси руху газорідних сумішей та видобування нафти з глибоких та надглибоких покладів.

В опублікованій монографії за редакцією професора В. С. Бойка здобувачем висвітлено ряд питань, пов'язаних із імовірнісним характером падіння дебіту свердловини в часі [1], в інших роботах, опублікованих у співавторстві, здійснено кількісне узгодження спільної роботи нафтового покладу і свердловини через вибійний тиск [7, 8], розраховано зміну вибійного тиску в часі в залежності від газового фактора [6, 16], запропоновано методіку одночасного проектування спільної взаємоузгодженої роботи нафтового покладу при режимі розчиненого газу і видобувної свердловини у всіх режимах газліфтного фонтанування [13]. У публікаціях результатів роботи також запропоновано виведення, на основі положень теорії ймовірностей, універсального закону падіння дебіту в часі з використанням об'єднаного закону Вейбулла-Макегама [3, 4, 11], подано принципово нові підходи до розробки й удосконалення технології видобування нафти при наявності режиму розчиненого газу в покладі [12, 15], показано чутливість розрахункових технологічних показників розробки покладу до зміни вхідних параметрів [14], опрацьовано питання щодо розміщення свердловин на покладі при режимі розчиненого газу [2, 10], обґрунтовано й розроблено метод і практичну методіку розрахунку вибійного тиску у свердловинах четвертого типу [5], метод і методіку оптимізації процесу фонтанування діючих свердловин на основі положень теорії висхідних газоводонафтових потоків [9], а також розроблено метод і методіку спільного проектування показників розробки покладу та режиму експлуатації фонтанної свердловини четвертого типу за змінного газового фактора, проведено порівняльний аналіз результатів, отриманих за допомогою даного методу і методіки, з результатами, отриманими з використанням створеної 3D гідродинамічної моделі гіпотетичного родовища на універсальному симуляторі "ECLIPSE Blackoil".

Апробація результатів дисертації. Основні результати та положення дисертаційної роботи висвітлені у монографії "Видобування нафти в ускладнених умовах", опублікованій в 2013 році за редакцією професора В. С. Бойка, доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях: "Нафтогазова енергетика – 2011", (м. Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011р.); "Інноваційні технології буріння свердловин, видобування нафти і газу та підготовки фахівців нафтогазової галузі", (м. Івано-Франківськ, 3-6 жовтня 2012р.); "Нафтогазова енергетика – 2013", (м. Івано-Франківськ, жовтень 2011р.); "Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании – 2014",

(інтернет ресурс sworld.com.ua, 17 - 28 лютого 2014 г.); “Нафтогазова освіта і наука: стан та перспективи”, (м. Івано-Франківськ, 10-12 грудня 2014р.); “Нафтогазова енергетика – 2015”, (м. Івано-Франківськ, 21-23 квітня 2015р.); “Интеллектуальный потенциал XXI века ‘2015””, (інтернет ресурс sworld.com.ua, 10 - 22 лютого 2015 г.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась і обговорювалась на науковому семінарі кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ (грудень 2015 р.) та розширеному науковому семінарі інституту нафтогазової інженерії (квітень 2016 р.) Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковано в 16 наукових працях, серед яких: 1 монографія, 8 наукових статей (6 – у фахових виданнях України і 2 – у наукових періодичних виданнях інших держав, які індексуються в одній із світових бібліографічних баз наукового цитування), 7 матеріалів міжнародних конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, основної частини (п'яти розділів), висновків, списку використаних джерел і додатків. Матеріали дисертації викладені на 192 сторінках (145 основного тексту), містять 49 рисунків і 6 таблиць та 2 додатки. Список використаних джерел складається із 114 найменувань.

Термінологія в дисертації є загальноприйнятною в науково-технічній літературі даного напрямку.

Роботу виконано під науковим керівництвом доктора технічних наук, професора В. С. Бойка, якому автор дисертації висловлює щиро подяку за слушні поради, практичну допомогу та всебічну підтримку. Щиро вдячний також колективу кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ за сприяння в процесі виконання роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі розглядаються питання, в основному пов'язані із першим із трьох основних напрямків забезпечення енергетичної незалежності України, які були сформульовані і нещодавно озвучені на засіданні Комітету Верховної Ради з питань паливно-енергетичного комплексу, ядерної політики та ядерної безпеки ректором ІФНТУНГ академіком НАН України Є. І. Крижанівським – освоєння ресурсів нафти на значних глибинах, де очікуються високі пластові тиски, значна початкова газонасиченість пластової нафти, ймовірний прояв режиму розчиненого газу (за

даними не поодиноких геологічних досліджень, зокрема видатних українських геологів Б. Й. Маєвського, В. Р. Хомина, В. В. Гладуна, М. І. Євдошуча, М. Р. Ковальчука, Я. Г. Лазарука, О. Е. Лукіна, Б. Л. Крупського, І. І. Чебанюка, В. М. Бенька). А це особливості фільтрації газованої нафти, висхідних газорідинних потоків у свердловині та їх узгодження в системі "поклад-свердловина", методи гідродинамічних розрахунків при режимі розчиненого газу та методики проектування розробки нафтових родовищ.

Перспективність відкриття нових родовищ підтверджується результатами буріння та бажанням найбільших нафтових компаній світу інвестувати свої капітали в розвиток нафтової і газової промисловості нашої держави.

Поява нових родовищ викличе збільшення кількості фонтанних свердловин, які потрібно освоювати якомога раціональніше. Шляхом до цього є вивчення питань взаємодії свердловини із нафтовим покладом при режимі розчиненого газу, які науковцями майже не розглядалися, та розроблення методу і методики ресурсозберігаючого видобування нафти з використанням природної енергії.

Питаннями розробки нафтових і газових покладів та експлуатації свердловин займалися і займається широке коло фахівців. Серед них Адонін А. Н., Акульшин О. І., Акульшин О. О., Алієв З. С., Аметов І. М., Афанасьєва А. В., Балакіров Ю. А., Біленький В. С., Богомольний Г. І., Бойко В. С., Бойко Р. В., Возний В. Р., Гімагудінов Ш. К., Грон В. Г., Гутак О. І., Дмитренко В. І., Дорошенко В. М., Драганчук О. Т., Єгер Д. О., Желтов Ю. П., Закіров С. Н., Закіров Е. С., Зарубін Ю. О., Зезекало І. Г., Зінов'єва Л. А., Зотов Г. А., Індрупський І. М., Карапетов К. А., Кеба Л. М., Кондрат О. Р., Кондрат Р. М., Коротаєв Ю. П., Коцкулич Я. С., Крижанівський Є. І., Купер І. М., Лістенгартен Л. Б., Лисенко В. Д., Мірзаджанзаде А. Х., Мислюк М. А., Міщенко І. Т., Мухарський Е. Д., Онопрієнко В. П., Пірвердян А. М., Сазонов Б. Ф., Саркісов Е. І., Саттаров М. М., Сахаров В. А., Світлицький В. М., Тарко Я. Б., Угриновський А. В., Фик І. М., Чекалюк Е. Б., Чудик І. І., Ширковський А. І., Яремійчук Р. С., Alan G. Lucas, Anderson K. E., Baker R., Berger W. D., Bret-Rouzaut N., Brouwer R., Cook M., Djunin V. I., Economides M. J., Favennec J. P., Graham M., Handels M., Horne R. N., Hune N. J., Iftekhhar A. Karimi, Jansen J. D., Karimi I., Korzun A. V., Lee W. J., M. Sadegh Tavallali, Mian M. A., Obiajulu J. Isebor, Ozdogan U., Tavallali M., Van Essen G., Zandvliet M., Zukui Li та ін.

У роботах Архангельського В. А. досліджувалося узгодження процесу розробки нафтового родовища та експлуатації фонтанної свердловини під час руху газорідинної суміші при режимі розчиненого газу. Рух газованої рідини в пористому середовищі досліджувався в роботах акад. Лейбензона Л. С., Маскета М., Хрестіяновича С. А., Баренблатта Г. І. та інших.

Проаналізовано існуючі підходи до розробки нафтових родовищ при режимі розчиненого газу і результати дослідження процесів фільтрації газонафтової суміші в покладі, методи проектування експлуатації фонтанних свердловин з використанням теорії висхідних потоків газорідних сумішей на основі моделі гомогенного руху, а також стан фонтанної експлуатації свердловин і перспективи видобування нафти в Україні.

У результаті сформульовано шляхи до удосконалення системи взаємопов'язаних процесів вилучання нафти із надр та піднімання її на денну поверхню.

Наслідком опрацьованого матеріалу є обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, формулювання ідеї та мети роботи і задач дослідження, а також визначення об'єкта, предмета і методів дослідження.

У другому розділі показано, що фонтанна експлуатація свердловин за певних умов може бути характерною для всіх режимів роботи нафтового покладу. Залежно від режиму роботи покладу нафтові свердловини характеризуються газліфтним фонтануванням за другим, третім або четвертим типами. В аспекті теми дисертації розширено градацію свердловин і введено четвертий тип фонтанних свердловин. Залежно від режиму роботи покладу, тобто від співвідношення тисків пластового ($p_{пл}$), вибійного (p_v), насичення нафти газом (p_n) і в газовій шапці ($p_{г.ш}$), нами подано типи фонтанних свердловин в таблиці 1.

Таблиця 1 – Типи фонтанних свердловин залежно від режиму роботи покладу

№ п/п	Режим роботи покладу	Різновид режиму	Типи свердловин				Співвідношення тисків
			I	II	III	IV	
1	Пружний	Пружний	+	+			$p_{пл} > p_n, p_v \geq p_n$
2	Водонапірний	Пружний	+	+			$p_{пл} > p_n, p_v \geq p_n$
		Жорсткий	+	+			$p_{пл} > p_n, p_v \geq p_n$
3	Газонапірний	Пружний			+	+	$p_v < p_n \leq p_{г.ш}$
		Жорсткий			+	+	$p_v < p_n < p_{г.ш}$
4	Розчиненого газу	Газованої нафти			+	+	$p_v < p_n = p_{пл}$
5	Мішаний	Витіснення газованої нафти водонафтовою сумішшю			+	+	$p_v < p_n \leq p_{пл}$

Обґрунтовано спрямування досліджень в даній роботі на поклади, які розробляються на режимах розчиненого газу, газонапірному чи мішаному, і будуть експлуатуватися фонтанними свердловинами третього і четвертого типів з початком виділення газу в околиці свердловини та загалом у покладі.

Досліджено спільну взаємно узгоджену роботу фонтанної свердловини і нафтового покладу, коли в покладі існує режим розчиненого газу, приплив нафти до свердловини за якого є неусталеним, змінним у часі, як і відповідно процес фонтанування свердловини внаслідок неусталеного надходження в неї пластової енергії, що уможливило визначити зміну в часі мінімального вибіийного тиску фонтанування за рахунок уточнення граничних умов. За підходом, описаним в розділі, граничні умови не задаються постійними, а змінюються в часі при проектуванні процесу розробки нафтового покладу як за аналітичною методикою, так і за чисельною математичною моделлю.

Вперше подано кількісне обґрунтування узгодженої роботи пласта при газліфтному фонтануванні свердловини. Робота нафтового покладу і свердловини кількісно узгоджується через вибіийний тиск, оскільки приплив флюїдів із пласта і підняття рідини у стовбурі свердловини відбуваються за рахунок пластової енергії.

Запропоновано методику розрахунку узгодженої роботи свердловини і пласта при газліфтному фонтануванні з побудовою модифікованої кривої ліфтування.

У третьому розділі показано, що фазові проникності є одним із основних параметрів, які визначають гідрогазодинаміку гетерогенних систем. Подано графічні залежності показників розробки родовища за різних залежностей відносних фазових проникностей від насиченості з урахуванням капілярного тиску за Гольф-Рахтом Г. Д та параметра розподілу пор за розмірами λ , який враховує особливості конкретної пластової системи, а значить, для адекватного опису її не вдасться обійтися без експериментального дослідження кернів (рисунок 1). Тому, в обох випадках як аналітичного, так і числового проектування розробки нафтового покладу для отримання достовірних величин технологічних показників розробки потрібно мати конкретні лабораторні залежності фазових проникностей стосовно цього покладу та необхідно включити в галузевий регламент обов'язкове експериментальне визначення залежностей фазових проникностей в усьому діапазоні зміни насиченості змочувальною фазою стосовно до конкретного покладу.

Вперше запропоновано, на основі проведення параметризації функцій відносних фазових проникностей за допомогою порівняння кривих, отриманих нами на основі виведеного узагальненого закону Вейбулла-Макегами, з даними, отриманими дослідним шляхом Вікофом і Ботсетом, подати універсальну форму залежності фазових проникностей від насиченості пор нафтою s_n на основі виведеного нами узагальненого закону, внаслідок чого, як показали числові експерименти, отримується вища точність аналітичного опису дослідних даних, при цьому враховано характер ліній в залежності від λ і капілярного тиску p_k . Рівняння, підібрані для опису фазових проникностей для нафти $k_1(s_n)$ і газу $k_2(s_n)$, відповідно мають вигляд:

$$k_H(s_H) = e^{-0.7828 s_H - 1.686 (-0.02274) \left(e^{3.573 s_H - 1} \right)}; \quad (1)$$

$$k_r(s_H) = e^{-6.314 s_H^{0.7296} - 2.587 \left(e^{-6.003 s_H - 1} \right)} \quad (2)$$

Запропоновано виведення, на основі положень теорії ймовірностей, універсального закону падіння дебіту в часі шляхом об'єднання законів Вейбулла і Макегама, із якого, як окремі випадки, впливають основні найбільш поширені закони падіння дебіту, а при певних припущеннях й інші відомі залежності.

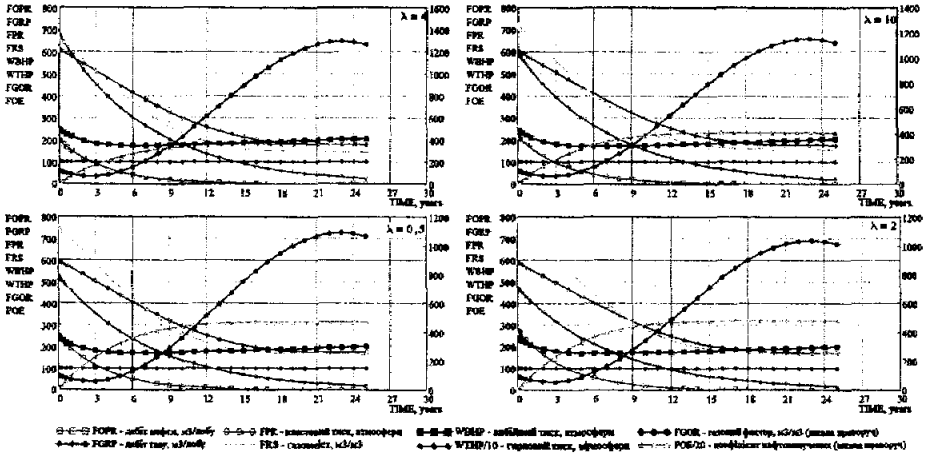


Рисунок 1 – Вплив зміни параметра λ на розрахункові технологічні показники розробки покладу, які визначають режим фонтанування свердловини

Запропонована універсальна залежність падіння дебіту свердловини в часі за законом Вейбулла-Макегама має вигляд:

$$q(t) = q_0 \left[(1 - \psi) e^{-\alpha t - \beta (e^{\zeta t} - 1)} + \psi \right], \quad (3)$$

де q_0 – витрата потоку в непорушеній частині перерізу (в початковий момент часу t); ψ , α , ζ , β , γ – сталі коефіцієнти, які визначаються шляхом відповідного оброблення фактичних даних.

Характер зміни $q(t)/q_0$ в часі t за різних значин ψ , α , ζ , β , γ показано на рисунку 2, звідки робимо висновок, що цією залежністю можна описувати практично усі можливі зміни дебіту.

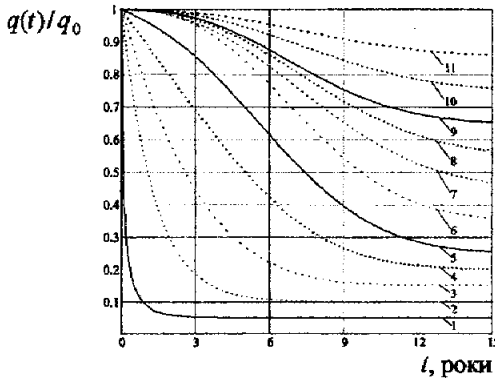


Рисунок 2 – Універсальна залежність падіння відносного дебіту свердловини в часі за законом Вейбулла-Макегамма при різних ψ , α , ζ , β , γ : 1 – $\psi = 0,05$, $\alpha = 3$, $\zeta = 0,5$, $\beta = 2$, $\gamma = 0,1$; 2 – $\psi = 0,15$, $\alpha = 0,005$, $\zeta = 1$, $\beta = 3$, $\gamma = 0,1$; 3 – $\psi = 0,1$, $\alpha = 0,5$, $\zeta = 1$, $\beta = 2,5$, $\gamma = 0,1$; 4 – $\psi = 0,2$, $\alpha = 0,005$, $\zeta = 2,5$, $\beta = 2,5$, $\gamma = 0,1$; 5 – $\psi = 0,25$, $\alpha = 0,005$, $\zeta = 2,5$, $\beta = 3$, $\gamma = 0,015$; 6 – $\psi = 0,35$, $\alpha = 0,005$, $\zeta = 2,5$, $\beta = 1$, $\gamma = 0,0001$; 7 – $\psi = 0,45$, $\alpha = 0,005$, $\zeta = 2,4$, $\beta = 30$, $\gamma = 0,0001$; 8 – $\psi = 0,55$, $\alpha = 0,005$, $\zeta = 2,5$, $\beta = 10$, $\gamma = 0,0001$; 9 – $\psi = 0,65$, $\alpha = 0,005$, $\zeta = 2,5$, $\beta = 1$, $\gamma = 0,0001$; 10 – $\psi = 0,75$, $\alpha = 0,005$, $\zeta = 2,4$, $\beta = 10$, $\gamma = 0,0001$; 11 – $\psi = 0,855$, $\alpha = 0,005$, $\zeta = 2,4$, $\beta = 10$, $\gamma = 0,0001$

Це уможливило краще описати розмаїтий характер зміни роботи свердловини чи покладу. Як підтвердження цього, подано приклади застосування універсального закону стосовно нафтових родовищ Передкарпаття (рисунок 3).

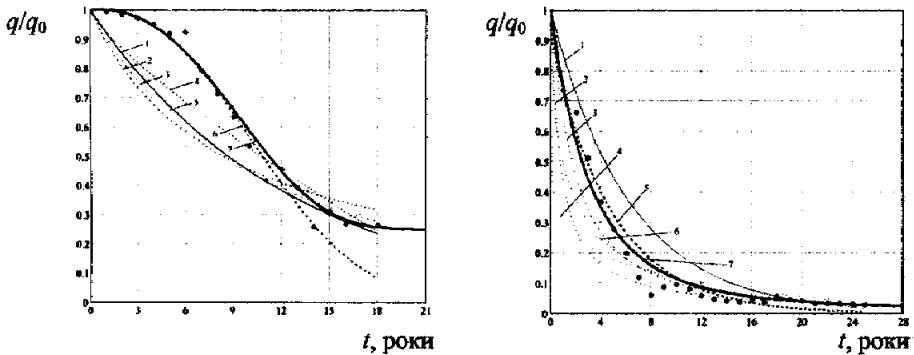


Рисунок 3 – Фактичні відносні показники падіння річного дебіту q/q_0 в часі t нафтового родовища А (ліворуч) та В (праворуч) і підібрані до них різні за виглядом теоретичні залежності: 1 – логарифмічний закон; 2 – гармонічний закон; 3 – гіперболічний закон; 4 – параболічний закон; 5 – закон Вейбулла; 6 – закон Макегамма; 7 – закон Вейбулла-Макегамма; * – фактичні дані.

Залежністю, котра найкраще описує падіння річного дебіту свердловини в часі для обох родовищ, є універсальна залежність на основі закону Вейбулла-Макегамма. Кореляційне відношення у першому випадку склало $\sigma = 0,99$, а в другому – $\sigma = 0,991$.

У четвертому розділі подано три принципово нові підходи до удосконалення технології видобування нафти при режимі розчиненого газу, згідно з якими робота нафтового покладу і робота фонтанної свердловини взаємно узгоджуються як дві ланки єдиної гідродинамічно пов'язаної системи "поклад - свердловина", встановлюється енерго- та ресурсозберігаючий технологічний режим роботи свердловини, тиск на гірлі фонтанної свердловини задається на рівні тиску в збірному шлейфі, який визначається із умови нафтогазозбору на промислі.

Враховуючи особливості роботи фонтанних свердловин четвертого типу і достатньо великий їх фонд, розроблено метод і методику спільного проектування роботи покладу і свердловини при змінних в часі показниках розробки. При цьому тиск на гірлі свердловини є сталим $p_f = \text{const}$, а змінюються дебіт і вибійний тиск ($q_n = \text{var}$, або $p_n = \text{var}$), що наближає отримані результати до результатів у реальних умовах та отримується вищий коефіцієнт нафтовилучення η .

В основі проектування режимних параметрів роботи фонтанної свердловини використано основні положення сучасної теорії висхідних газоводонафтових потоків. Удосконалений метод проектування побудовано за модульним принципом.

У першому модулі при режимі розчиненого газу розраховуємо тиски, дебіти, коефіцієнт нафтовилучення і тривалість розробки покладу. Відтак розрахунки проводяться в другому модулі. Його суть полягає в розрахунку режимних параметрів роботи фонтанної свердловини, знаючи заданий постійний тиск на гірлі свердловини і розрахований змінний газовий фактор. Невідомими є вибійний тиск і дебіт свердловини, які пов'язані між собою рівнянням індикаторної лінії, яке теж невідоме. Третій модуль покликаний ув'язати результати розрахунку за першим і другим модулями. З його допомогою знаходимо вибійний тиск і дебіт свердловини (рисунок 4). Метод проектування фонтанної експлуатації за таких умов дотепер був відсутній.

Згідно з розробленою методикою процес розробки родовища та експлуатації свердловини в часі здійснюється з постійним гірловим тиском та змінними в часі дебітом свердловини і тиском на вибої. Приклади результатів симуляції в програмному пакеті Eclipse та розрахункові дані в програмному пакеті MathCad зображено на рисунку 5.

Як видно з поданих рисунків, спостерігається чітка кореляція між отриманими результатами, що свідчить про можливість практичного використання методики, розробленої в середовищі MathCad.

З метою порівняння отриманих результатів, описаних вище, із загальноприйнятою методикою оцінки параметрів розробки родовища в часі виконано розрахунок процесу розробки родовища за методикою Зінов'євої-Розенберга в програмному пакеті MathCad. Результати подано на рисунку 6.

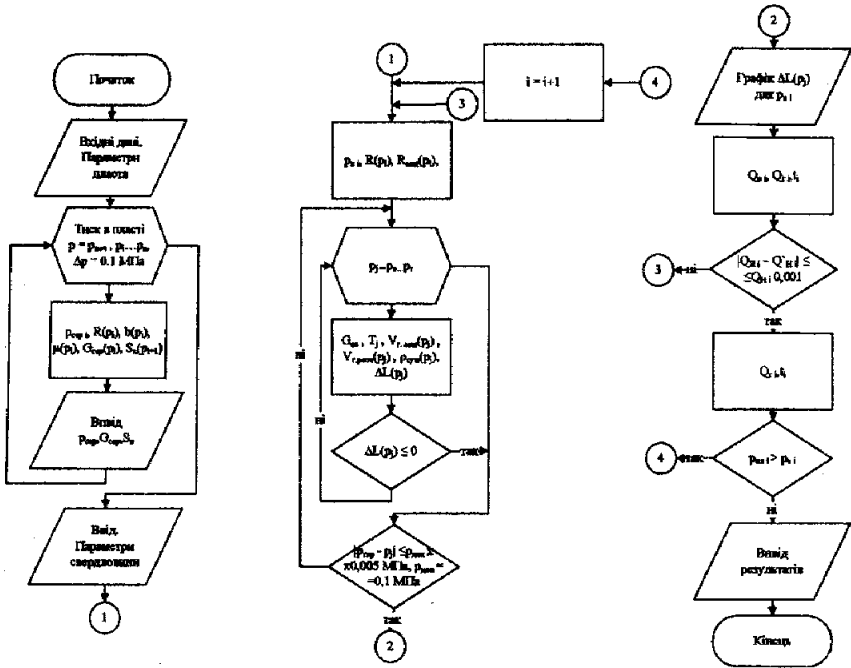


Рисунок 4 – Блок-схема розробленої нами програми спільного розрахунку показників розробки покладу і технологічного режиму роботи фонтанної свердловини за змінного в часі газового фактора

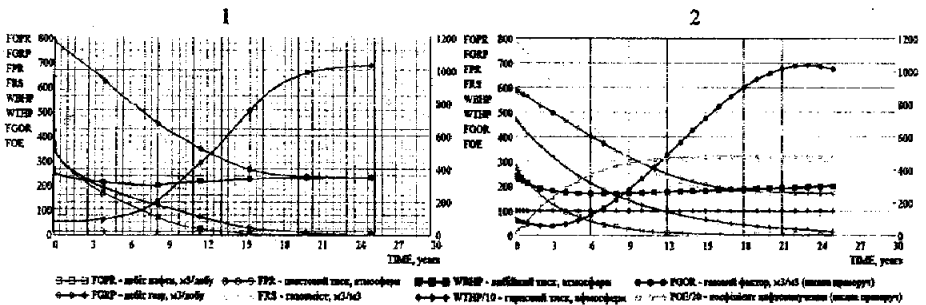


Рисунок 5 – Вихідні дані спільного проектування показників розробки покладу та технологічного режиму експлуатації фонтанної свердловини четвертого типу за змінного в часі газового фактора, отримані: 1 – в програмному середовищі Eclipse, 2 – в розробленій програмі середовища MathCad

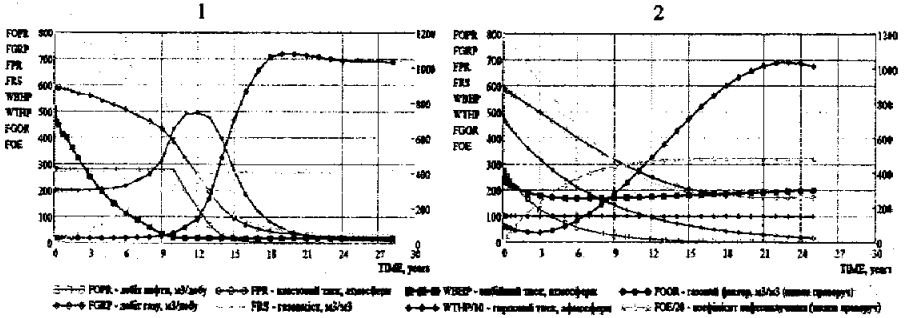


Рисунок 6 – Розрахунки показників розробки в залежності від заданих граничних умов на свердловині, а саме: 1 – $q_n = \text{const}$, а потім $p_n = \text{const}$, 2 – $q_n = \text{var}$ і $p_n = \text{var}$, змінні в часі (при цьому задається сталим тиск на гірлі свердловини $p_r = \text{const}$)

З останнього рисунка видно, що розробка родовища спочатку ведеться при постійному дебіті свердловини, в подальшому, внаслідок падіння вибієного тиску і досягнення його значення мінімального вибієного тиску фонтанування, свердловину переводять на режим роботи із стабільним вибієним тиском.

Аналізуючи зміну коефіцієнта нафтовилучення, можна зробити висновок, що при використанні удосконаленої технології коефіцієнт нафтовилучення буде вищий і становитиме 24,13 %, ніж при застосуванні відомої технології, при якій він становить 20,65 %. При цьому термін розробки скорочується на 3,5 роки.

Обґрунтовано доцільність розміщення нафтових свердловин при режимі розчиненого газу за рівномірною сіткою, так як це прийнято в теорії проектування і розробки газових родовищ.

У п'ятому розділі розроблено та обґрунтовано метод розрахунку вибієного тиску у свердловинах четвертого типу і практичну методику таких розрахунків з використанням найбільш поширеного методу Поеттманна-Карпенгера, що уможливило контроль за роботою свердловин.

Як приклад виконано розрахунок стосовно одної із свердловин нафтового родовища із опущеною до вибою двоступінчастою колоною НКТ (рисунок 7).

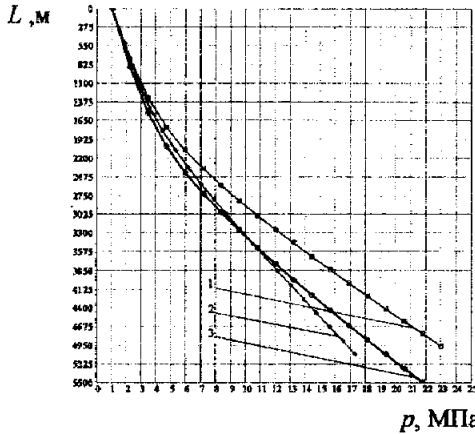


Рисунок 9 – Розрахунок зміни тиску p з глибиною L , за різними методами: 1 – Сахарова-Воловодова-Мохова, 2 – Поеттманна-Карпентера, 3 – доповненим і уточненим автором

Особливістю нашої методики є те, що в ній, на відміну від класичної методики Поеттманна-Карпентера, використано формули для розрахунку об'ємного коефіцієнта нафти із попереднім визначенням приросту об'єму нафти за рахунок одиничної зміни температурного коефіцієнта об'ємного розширення розгазованої нафти $\alpha_{об}$, K^{-1} за стандартного тиску для нафт, густина яких є меншою за 780 кг/м^3 , тобто нами розширено діапазон визначення об'ємного коефіцієнта для нафт перехідного типу, що є властивими для глибоко залеглих покладів. Методика також доповнена використанням уточненого розрахункового кореляційного коефіцієнта λ_{κ} (похибка не перевищує $\pm 4,5\%$).

Розв'язано задачу і створено практичну методику процесу фонтанування діючих свердловин на основі положень сучасної теорії висхідних газодонафтових потоків. На відміну від відомих розрахунків коефіцієнта корисної дії процесу піднімання однорідної рідини з використанням рівнянь технічної гідравліки і розрахунку коефіцієнта корисної дії газорідинного піднімача за О. П. Криловим, оптимізовано роботу фонтанної свердловини за критерієм коефіцієнта корисної дії на основі положень сучасної теорії висхідних потоків газодонафтових сумішей. Змінюючи діаметр ліфтових труб, оптимізуємо роботу свердловини за максимальною значною коефіцієнта корисної дії (ККД).

Для виконання розрахунку з допомогою ПК можна скористатися "Програмою ККД", яка написана на алгоритмічній мові PASCAL і може бути використана на будь-якому ПК, на якому вона встановлена.

Результати розрахунків показують, що “контрольна” свердловина може працювати з максимальним коефіцієнтом корисної дії 22,2%, забезпечуючи дебіт 266,33 м³/добу при вибійному і буферному тисках відповідно 20,37 і 4,25 МПа

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій удосконалено технологію видобування нафти за зміни експлуатаційного газового фактора, вилучання її з покладу та піднімання у фонтанній свердловині на поверхню на основі самоузгодження процесів спільної роботи двох ланок єдиної гідродинамічнопов'язаної системи “поклад-свердловина”, рухи газорідинних потоків в котрій визначаються різними параметрами відповідно фазовими проникностями в покладі, що зумовлюють зміну газового фактора в часі, і коефіцієнтом гідравлічного опору в стовбурі свердловини, результатом чого буде досягнуто ресурсоощадження в покладі і енергозбереження у стовбурі свердловини.

1. Проаналізовано існуючі підходи до розробки нафтових родовищ при режимі розчиненого газу і результати дослідження процесів фільтрації газонафтової суміші в покладі, методи проектування експлуатації фонтанних свердловин з використанням теорії висхідних потоків газорідинних сумішей, а також стан фонтанної експлуатації свердловин і перспективи видобування нафти в Україні.

2. Розроблено метод, методичку та комп'ютерну програму для проектування технологічних параметрів процесу газліфтного фонтанування та показників розробки нафтового покладу в умовах самоузгодження двох ланок системи “поклад-свердловина”.

3. Удосконалено технологію видобування нафти в умовах самоузгодження процесів у покладі та у свердловині при газліфтному фонтануванні за змінного газового фактора в часі на основі використання трьох принципово нових підходів до процесів проектування розробки нафтових родовищ та експлуатації свердловин.

4. Проведено числове дослідження впливу фазових проникностей на процес розробки покладу та показано, що відносні фазові проникності є одним із основних параметрів, котрі визначають гідрогазодинаміку гетерогенних систем. Побудовано залежності відносних фазових проникностей від насиченості з урахуванням капілярного тиску за Г.Д. Гольф-Рахтом та параметра розподілу пор за розмірами λ , який враховує особливості конкретної пластової системи, а значить, для адекватного опису її не вдасться обійтися без експериментального дослідження кернів. Проілюстровано вплив відносних фазових проникностей на розрахункові технологічні показники розробки покладу, які визначають режим фонтанування свердловини. Результати виконаного числового експерименту переконують, що розраховані величини технологічних параметрів розробки нафтового покладу при режимі розчиненого газу істотно залежать від вибраних залежностей фазових проникностей для нафти і газу. Тому доцільно мати конкретні лабораторним шляхом отримані залежності фазових проникностей стосовно цього покладу та

необхідно включити в галузевий регламент обов'язкове експериментальне визначення залежностей фазових проникностей в усьому діапазоні зміни насиченості змочувальною фазою стосовно до конкретного покладу.

5. Проведено порівняння результатів розрахунків за аналітичним і числовим методами визначення показників розробки нафтових родовищ на режимі розчиненого газу, а також результатів застосування універсальної залежності падіння дебіту свердловин у часі з уже відомими.

6. Обґрунтовано ймовірнісний характер законів зменшення дебітів свердловин у часі та виведено універсальну залежність на основі об'єднання законів Вейбулла і Макегама. Встановлено, що об'єднаний закон найбільш повно враховує ускладнювальні чинники, які зумовлюють падіння дебіту свердловини в часі, оскільки із універсального закону зміни дебіту свердловини в часі, як окремі випадки, випливають основні найбільш поширені закони падіння дебіту, а при певних припущеннях й інші відомі залежності.

7. Розв'язано задачу і створено практичну методіку оптимізації роботи фонтанної свердловини, в якій, на відміну від відомих розрахунків коефіцієнта корисної дії процесу підняття однорідної рідини з використанням рівнянь технічної гідравліки і розрахунку коефіцієнта корисної дії газорідинного піднімача за наближеними залежностями О. П. Крилова, здійснено розрахунок за критерієм коефіцієнта корисної дії на основі положень сучасної теорії потоків висхідних газоводонафтових сумішей.

8. Вперше розроблено метод визначення вибійного тиску за наявності перешкод для інструментального вимірювання у стовбурі свердловини з метою контролю за роботою діючих фонтанних свердловин. На основі методу розроблено конкретну методіку розрахунку вибійного тиску за гирловим тиском газоводонафтової суміші, в основу якого покладено часто застосовуваний метод Поеттманна-Карпендера і з уточненням розрахунком кореляційного коефіцієнта і густини.

СПИСОК ОПУБЛКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Видобування нафти в ускладнених умовах / [В. С. Бойко, Р. В. Бойко, Р. В. Грибовський, Р. Ф. Лагуш, В. Д. Середюк, Б. М. Міщук]. – Івано-Франківськ, 2013. – 771 с. – (Нова Зоря).

2. Бойко В. С. Обґрунтування розміщення свердловин на покладі при режимі розчиненого газу / В. С. Бойко, Б. М. Міщук // Сборник научных трудов SWorld. – 2015. – № 2 – С. 17 – 20.

3. Бойко В. С. Виведений універсальний закон падіння дебіту в часі з використанням комбінованого закону Вейбулла-Макегама / В. С. Бойко, Б. М. Міщук // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – №2. – С. 33 – 36.

4. Boiko V. S. Probabilistic behavior of well rate decrease laws through time. Universal dependence of Weibull-Makeham law / V. S. Boiko, B. M. Mishchuk // Journal of hydrocarbon power engineering. – 2014. – P. 5-12.

5. Бойко В. С. Метод і методика розрахунку вибійного тиску у діючих фонтанних свердловинах з ускладненими умовами експлуатації / В. С. Бойко, Б. М. Мішук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2015. – №4. – С. 19-26.

6. Бойко В. С. Спільна робота видобувної свердловини і нафтового покладу при режимі розчиненого газу / В. С. Бойко, Б. М. Мішук, Т. С. Веклин // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2011. – №4. – С. 21-26.

7. Бойко В. С. Дослідження особливостей роботи видобувної свердловини в системі з нафтовим покладом з метою її проектування та експлуатації / В. С. Бойко, Б. М. Мішук, Т. С. Веклин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – №1. – С. 155-160.

8. Бойко В. С. Узгодження роботи нафтового покладу і свердловини в часі за умов газліфтного фонтанування при проектуванні та експлуатації свердловини / В. С. Бойко, Б. М. Мішук, Т. С. Веклин // Прикарпатський вісник Наукового товариства ім. Шевченка. – Число 1. – 2011. – С. 230-237.

9. Бойко В. С. Метод і методика оптимізації процесу фонтанування діючих свердловин на основі положень теорії висхідних газоводонафтових потоків / В. С. Бойко, Р. В. Грибовський, Т. Р. Бойчук, Б. М. Мішук // Нафтогазова енергетика. – 2015. – №2. – С. 16-22.

10. Бойко В. С. Обґрунтування розміщення свердловин на покладі при режимі розчиненого газу [Електронний ресурс] / В. С. Бойко, Б. М. Мішук // 2015 – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sworld.com.ua/konferm2/196.pdf>.

11. Бойко В. С. Виведений універсальний закон падіння дебіту в часі з використанням комбінованого закону Вейбулла-Максгама [Електронний ресурс] / В. С. Бойко, Б. М. Мішук // 2014 – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sworld.com.ua/konfer35/384.pdf>.

12. Бойко В. С. Удосконалення методики розрахунку показників розробки нафтового покладу при режимі розчиненого газу за різних умов видобування нафти / В. С. Бойко, Б. М. Мішук // Тези доповідей міжнародної науково-техн. конференції “Інноваційні технології буріння свердловин, видобування нафти і газу та підготовки фахівців нафтогазової галузі”. – 2012. – С. 160 – 161.

13. Бойко В. С. Дослідження особливостей роботи видобувної свердловини в системі з нафтовим покладом з метою її проектування та експлуатації / В. С. Бойко, Б. М. Мішук // Збірник анотацій міжнародної науково-техн. конф. “Нафтогазова енергетика. 2011” №2. – С. 49.



14. Бойко В. С. Чутливість розрахункових технологічних показників розробки покладу до зміни вхідних параметрів / В. С. Бойко, Б. М. Міщук // Тези доповідей міжнародної науково-техн. конф. "Нафтогазова енергетика - 2015" – 2015. – С. 22 – 24.

15. Міщук Б. М. Удосконалення технології видобування нафти фонтанним способом при режимі розчиненого газу // Тези доповідей міжнародної науково-техн. конф. "Нафтогазова енергетика – 2013" – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. – С. 101 – 104.

16. Міщук Б. М. Новий метод проєктування технологічних параметрів газліфтного фонтанування свердловин при режимі розчиненого газу в покладі // Тези доповідей міжнародної науково-техн. конф. "Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи". – 2014. – С. 96 – 97.

АНОТАЦІЯ

Б. М. Міщук Удосконалення технології видобування нафти при фонтанній експлуатації свердловин за зміни газового фактора. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.06 – Розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2016.

Дисертація присвячена удосконаленню технології видобування нафти за зміни газового фактора в часі шляхом вилучання її з покладу та піднімання у фонтанній свердловині на поверхню на основі самоузгодження процесів спільної роботи двох ланок єдиної гідродинамічнопов'язаної системи "поклад-свердловина".

Розроблено метод, методику та комп'ютерну програму для спільного проєктування технологічних показників розробки нафтового покладу і процесу газліфтного фонтанування зі змінним газовим фактором.

Обґрунтовано, з позиції теорії ймовірностей, характер законів зменшення дебітів свердловин у часі та виведено універсальну залежність на основі об'єднання законів Вейбулла і Макетама.

Створено практичну методику оптимізації роботи фонтанної свердловини за енергетичним критерієм. Вперше розроблено метод розрахунку вибірного тиску для контролю за роботою діючих фонтанних свердловин газліфтного типу.

Ключові слова: система "поклад-свердловина", зміна газового фактора в часі, самоузгодження процесів у пласті і свердловині.

АННОТАЦИЯ

Б. М. Мищук "Совершенствование технологии добычи нефти при фонтанной эксплуатации скважин с изменением газового фактора". – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.06 – Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ивано-

Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2016.

Диссертация посвящена усовершенствованию технологии добычи нефти при изменении газового фактора, в понимании извлечения нефти из залежи и подъема в фонтанной скважине на поверхность на основе процессов самосогласования совместной работы двух звеньев единой гидродинамически связанной системы "залежь-скважина", движения газожидкостных потоков в которой определяются различными параметрами соответственно фазовыми проницаемостями в залежи, обуславливающие изменение газового фактора во времени, и коэффициентом гидравлического сопротивления в стволе скважины, результатом чего будет достигнуто ресурсоэкономия в залежи и энергосбережение в стволе скважины.

Разработан метод, методика и компьютерная программа для совместного проектирования технологических параметров процесса газлифтного фонтанирования и показателей разработки нефтяного месторождения.

Усовершенствована технология добычи нефти в условиях самосогласования процессов в залежи и в скважине при газлифтном фонтанировании с переменным газового фактора во времени на основе использования трех принципиально новых подходов к процессам проектирования разработки нефтяных месторождений и эксплуатации скважин.

Проведено численное исследование влияния фазовых проницаемостей на процесс разработки залежи и показано, что относительные фазовые проницаемости являются одним из основных параметров, которые определяют гидрогазодинамику гетерогенных систем. Построены зависимости относительных фазовых проницаемостей от насыщенности с учетом капиллярного давления за Д. Гольф-Рахтом и параметра распределения пор по размерам, который учитывает особенности конкретной пластовой системы, а значит, для адекватного описания ее не удастся обойтись без экспериментального исследования кернов. Проиллюстрировано влияние относительных фазовых проницаемостей на расчетные технологические показатели разработки залежи, которые определяют режим фонтанирования скважины. Результаты выполненного численного эксперимента свидетельствуют, что рассчитанные величины технологических параметров разработки нефтяной залежи при режиме растворенного газа существенно зависят от выбранных зависимостей фазовых проницаемостей для нефти и газа. Поэтому целесообразно иметь непосредственно лабораторным путем полученные зависимости фазовых проницаемостей по конкретной залежи, и при этом рекомендуем включить в отраслевой регламент обязательное экспериментальное определение зависимостей фазовых проницаемостей во всем диапазоне изменения насыщенности смачивающей фазой применительно к конкретной залежи.

Проведено сравнение результатов расчетов по аналитическим и численным методам определения показателей разработки нефтяных месторождений на режиме растворенного газа, а также результатов применения универсальной зависимости падения дебита скважин во времени с уже известными.

Обоснованно вероятностный характер законов уменьшения дебитов скважин во времени и выведено универсальную зависимость на основе объединения законов Вейбулла и Макегама. Установлено, что объединенный закон наиболее полно учитывает усложняющие факторы, которые обуславливают падение дебита скважины во времени, поскольку с универсального закона изменения дебита скважины во времени, как частные случаи, вытекают основные наиболее распространенные законы падения дебита, а при определенных допущениях и другие известные зависимости.

Создана практическая методика оптимизации работы фонтанной скважины, в которой, в отличие от известных расчетов коэффициента полезного действия процесса подъема однородной жидкости с использованием уравнений технической гидравлики и расчета коэффициента полезного действия газожидкостного подъемника по приближительным зависимостям А. П. Крылова, осуществлено расчет по критерию коэффициента полезного действия на основе положений современной теории потоков восходящих газодонефтяных смесей.

Впервые разработан метод определения забойного давления при наличии препятствий для инструментального измерения в стволе скважины с целью контроля за работой действующих фонтанных скважин. На основе метода разработана конкретная методика расчета забойного давления по устьевым давлениям газодонефтяной смеси, в основу которого положен часто применяемый метод Поеттманна-Карпендера и с уточненным расчетом корреляционного коэффициента и плотности.

Ключевые слова: система "залежь-скважина", изменение газового фактора во времени, самосогласование процессов в пласте и скважине.

SUMMARY

B. M. Mishchuk Improving the oil recovery technology at oil flowing under gas-oil ratio change. – Manuscript.

Thesis for the candidate's degree in Technical Sciences. Specialty 05.15.06. – Development of oil and gas fields. – The Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2016.

The thesis deals with the improvement of the oil recovery technology at oil flowing under gas-oil ratio change over time by extracting it from the reservoir and lifting to the surface through the ~~flow~~ well based on the self-consistency of the processes of the joint work of two parts of a single hydraulic system "reservoir-well".

НТБ
ІФНТУНГ



an2586