

622.276.6(043)

П20

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

**ПАТРА ВОЛОДИМИР ДАНИЛОВИЧ**



УДК 622.276:621.039:678

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО  
ДІЯННЯ НА НАФТОВИЙ ПОКЛАД І ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ СВЕРДЛОВИНИ**

05.15.06 - Розробка нафтових і газових родовищ

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук (доктора філософії)

Дисертацією є рукопис

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

**Науковий керівник** - доктор технічних наук, доцент  
**Акульшин Олександр Олексійович**  
ПАТ «Український нафтогазовий інститут» (м. Київ),  
заступник голови правління з наукової роботи

**Офіційні опоненти** - доктор технічних наук, професор  
**Дорошенко Володимир Михайлович**,  
Державне підприємство "Науково-технологічний центр  
паливно-енергетичних ресурсів НАН України" (м. Київ),  
експерт

- кандидат технічних наук  
**Бойко Ростислав Васильович**  
ПАТ «Укртрансгаз», філія «Управління магістральних  
газопроводів «Львівтрансгаз» (м. Львів),  
начальник відділу підземного зберігання газу

Захист дисертації відбудеться "07" червня 2018 року о 14<sup>15</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

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

Автореферат розісланий "04" травня 2018 року



Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

Ковбасюк І.М.



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Проблема підвищення ефективності видобування нафти є однією з найголовніших і актуальних проблем нафтогазової галузі. Велике розмаїття геологічних умов залягання нафтових покладів, різні фільтраційні властивості продуктивних пластів і фізико-хімічні властивості пластових флюїдів зумовлюють велику диференціацію вироблення запасів нафти за площею і продуктивним розрізом, що уможливорює забезпечити стабільний видобуток нафти та досягнути високого коефіцієнта нафтовилучення.

В умовах гострого дефіциту вуглеводневої сировини важлива роль у покращанні паливно-енергетичного балансу України відводиться як удосконаленню методів вилучення нафти із покладів, так і підвищенню, а то й стабілізації поточного видобутку нафти шляхом діяння на поклад в цілому і на привибійну зону пласта.

Застосування фізико-хімічних методів діяння як на поклад, так і привибійну зону пласта відноситься до ефективних методів підвищення ефективності розробки нафтових пластів. Часто фізико-хімічні методи застосовуються в таких випадках, коли іншим способом вилучити нафту із пласта не вдається. Ефективність застосування фізико-хімічних методів залежить від природи робочих агентів для діяння на пласт і привибійну зону свердловин і технології їх застосування. Тому актуальним є удосконалення технологічних процесів видобування нафти фізико-хімічними методами.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно з напрямком національної програми "Нафта і газ України" та тематикою науково-дослідних робіт ПАТ "Укрнафта". Результати дисертаційної роботи використано при виконанні госпдоговірних тем за №№ 349/92, 348/92, 347/92, 123/94, 363/95, 365/95, 368/95, 377/95, 389/97, 397/98, 887/99, 392/99, 9-П/00, 401/00, 1086/01, 336/01, 497/02, 252/03, 402/03, 412/03, 413/03, 4/109-НТП/04 з розробленням і вдосконаленням нових технологій фізико-хімічного діяння на нафтовий поклад і привибійну зону у колективному підприємстві науково-виробничій фірмі „Нафтовик-1”, а також використовуються в навчальному процесі (лекції, курсове проектування, виконання магістерських робіт) при вивченні профільних дисциплін студентами спеціальності «Нафтогазова інженерія і технології».

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є технологічне поєднання теплових методів із методами змішаного витіснення нафти із покладів.

Основні завдання дослідження:

1. Оцінка можливості використання флотаксиду – важких побічних продуктів (ВПП) виробництва оцтового ангідриду – для підвищення нафтовилучення із заводнених пластів.

2. Розроблення та промислове впровадження технологій з використанням термохімічного діяння на привибійну зону пласта на основі рідинних хімічних реагентів.

3. Дослідження і впровадження технології селективного діяння на привибійну зону пласта з використанням кристалосольватів.

**Об'єктом дослідження** є процеси фізико-хімічного діяння на нафтовий поклад і привибійну зону пласта.

**Предметом дослідження** є технології підвищення нафтовилучення з покладів і продуктивності свердловин застосуванням фізико-хімічних методів.

**Методи дослідження.** Поставлені завдання виконувались шляхом проведення лабораторних досліджень, статистичної обробки експериментальних даних, розробленням удосконалених технологій підвищення нафтовилучення з пластів і продуктивності свердловин, дослідно-промислових випробувань і впровадження розроблених технологій.

#### **Наукова новизна отриманих результатів**

1. Вперше експериментально встановлено здатність нафторозчинного флотаксиду екзотермічно взаємодіяти із водними розчинами лугів для синергетичного поєднання ефектів термохімічного і змішаного витіснення нафти в одній технології, що забезпечує приріст коефіцієнта нафтовилучення до 10–13 %.

2. Вперше доведено можливість внутрішньопластового утворення теплової облямівки послідовно запомповуваними рідинними хімічними реагентами при фізико-хімічному діянні на привибійну зону пласта і поклад.

3. Вперше експериментально обґрунтована ефективність екзотермічних реакцій при послідовному нагнітанні соляної кислоти та гідроксиду аміаку (також гідроксиду натрію) і формальдегіду та аміаку з метою термохімічного діяння на привибійну зону пласта.

4. Вперше розкрито механізм зміни проникності кварцевого пористого середовища і формування безпосередньо в пласті теплової облямівки при кислотолужному діянні.

5. Вперше досліджено здатність кристалічного хлористого кальцію і водного розчину діетиленгліколю в умовах вибою свердловини утворювати термотривкі, механічно міцні і непроникні сольватні структури з використанням їх для тимчасової ізоляції високопроникних каналів (з функцією пакера) перед селективним фізико-хімічним діянням на привибійну зону і газовий та нафтовий поклад.

#### **Практичне значення одержаних результатів**

1. Запропоновано удосконалену технологію підвищення ступеня вилучення залишкової нафти із заводнених пластів шляхом послідовного запомповування у нагнітальні свердловини нафторозчинного флотаксиду і водного розчину луґу (гідроксидів амонію, натрію чи калію).

2. Розроблено удосконалені технології кислотолужного оброблення нафтових пластів з метою підвищення продуктивності видобувних і приймальності нагнітальних свердловин та повноти витіснення нафти за 5 технологічними схемами, в яких поєднуються ефекти – тепловий, кислотного, лужного і механічного діяння та гідродинамічного ефектів – закріплення тріщин пласта з попередньою тимчасовою ізоляцією високопроникних інтервалів кристалосольватами (селективне діяння) або без неї.

3. Розроблено 3 технології селективного діяння на привибійну зону пласта солянокислотним розчином (або за іншим фізико-хімічним методом) з тимчасовою ізоляцією окремих інтервалів чи тріщин продуктивного пласта кристалосольватами.

4. Технології розроблені за участю автора і затверджені галузевими керівними документами.

Впровадження створених удосконалених технологій фізико-хімічного діяння на нафтовий поклад і привибійну зону з використанням рідинних хімічних речовин за безпосередньої участі автора забезпечило додаткове отримання 54200 тонн нафти та економічного ефекту 6,3 млн.грн. (там, де цей ефект підприємства підраховували).

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати експериментальних і теоретичних досліджень, які виносяться на захист, а також промислові впровадження виконані автором особисто.

У роботах, які виконані у співавторстві і винесені на захист, автору належить наступне: постановка задачі, її вирішення і безпосередня участь у впровадженні в роботах по нових технологіях термохімічної дії на продуктивний пласт [8, 10, 11, 12, 14] особистий внесок автора 65%; в роботах [5, 6, 16, 17] – 70%; в роботах [4, 13, 15, 18] – 65%; патенти, керівні документи [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27] – 30-50%.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на таких конференціях і семінарах: на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 1994, 1996, 1999, 2000, 2002, 2003 рр.); на 5-й Міжнародній конференції „Нафта і газ України-98” (м. Полтава, 15-17 вересня 1999 р.); на науково-практичній конференції „Стан і перспективи розробки родовищ нафти і газу України” (м. Івано-Франківськ, 18-21 листопада 2003 р.).

**Публікації результатів наукових досліджень.** За результатами досліджень і практичних впроваджень, які викладено в дисертації, опубліковано 27 робіт (без співавторів – 4), із них у фахових журналах – 14, в зарубіжних – 1, тези доповідей – 4, авторських свідощів і патентів України – 8.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Основний зміст викладено на 204 сторінках машинописного тексту, в т.ч. вміщує 32 рисунки, 31 таблицю, список використаної літератури з 170 найменувань на 19 сторінках і 3 додатки.

Автор шире вдячний науковому керівникові доктору технічних наук Акульшину О.О. за постійну увагу до роботи, а також висловлює шире подяку першому науковому керівникові професору Акульшину О.І., доктору технічних наук, професору Зарубіну Ю.О., доктору технічних наук, професору Бойку В.С. і колективу кафедри РЕНІР ІФНТУНГ за наукові консультації та практичну допомогу під час виконання дисертації.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, наведено основні напрямки досліджень, відображено наукове та практичне значення отриманих результатів і подано загальну характеристику дисертаційної роботи.

**Перший розділ** присвячено стану вивченості проблеми підвищення ефективності видобування нафти фізико-хімічними діяннями на поклад та привибійну зону пласта із застосуванням теплоти і термохімічних процесів.

Підвищення ефективності функціонування будь-якого виробництва завжди є предметом пильної уваги практиків і науковців. Особливо це стосується нафтовидобувної галузі загалом у світі і в тих країнах (у т.ч. і в Україні), котрі в тій чи іншій мірі володіють власними ресурсами і запасами нафти, а нафтовидобуток формує значну частину валового національного продукту або є важливим чинником економічної і політичної незалежності.

На основі огляду та аналізу вітчизняного та світового досвіду досліджень і застосування методів та вивчення механізмів діяння на поклад і привибійну зону пласта із створенням нових технологій із тепловим і термохімічним діянням відмічаємо, що вагомий внесок зробили Абдулін Ф.С., Акульшин О.І., Акульшин О.О., Амелін І.Д., Аметов І.М., Багіров М.Л., Байбаков Н.К., Богданов І.І., Бойко В.С., Бойко Р.В., Боксерман А.А., Вахітов Г.Г., Возний В.Р., Гарушев А.Р., Гімагудінов Ш.К., Гришаненко В.П., Дмитренко В.І., Дорошенко В.М., Єгер Д.О., Єнтов В.М., Желтов Ю.В., Желтов Ю.П., Жданов С.І., Зарубін Ю.О., Захаров М.Ю., Зезекало І.Г., Золотухін А.Б., Качмар Ю.Д., Комісаров А.І., Кривонос Г.В., Коробков Є.І., Кондрат О.Р., Кондрат Р.М., Кузнецов О.Л., Купер І.М., Курбанов А.Л., Логінов Б.Г., Макеєв Г.А., Мартинців В.Ф., Малофеев С.Є., Мартос В.Н., Махмутов Н.Р., Мірзаджанзаде А.Х., Міщенко І.Т., Міщенко І.С., Мислюк М.А., Мороз Л.Б., Оганов К.А., Романов А.В., Рижик В.М., Розенберг М.Д., Рудий М.І., Рудий С.М., Савенков Г.Д., Світлицький В.М., Сергеев Б.З., Сімкін Е.М., Соломатін А.Г., Стрижов І.Н., Сургучов М.Л., Тарко Я.Б., Тосунов Е.М., Уголев В.С., Чарний І.А., Чекалюк Е.Б., Шейнман А.Б., Яремійчук Р.С., Baily H.R., Burger J.G., Coats K.H., Combarnous M., Edmondson T.A., Gottfried B.S., Larkin B.K., Mungan N., Ramey H.J., Sahuquet V.C., Sourieau P., Tadema H.J., Tomas G.W., Wejdema J. і багато інших.

Після застосування звичайного заводнення, гідродинамічних і газових методів та методів, які покращують заводнення, в покладах все-таки залишається до 30–70 % початкових балансових запасів нафти. Цю залишкову нафту здатні витіснити лише такі робочі агенти, які змішуються з нафтою і водою або мають наднизький міжфазовий натяг. До них відносять найперспективніші і високопотенційні методи витіснення нафти діоксидом вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) і мицелярними розчинами. Ці методи є найбільш перспективними, потенційні масштаби застосування визнаються дуже великими, але впровадження мицелярного розчину обмежується порівняно високою вартістю його, а обмеження впровадження діоксиду вуглецю визначається ресурсами природного діоксиду вуглецю. Тому актуальним є питання пошуку інших дешевих змішуваних витіснювальних агентів, якими могли б бути важкі побічні продукти (ВПП) виробництва оцтового ангідриду.

Розповсюдженими і ефективними методами інтенсифікації розробки родовищ є теплові методи. Теплове діяння на пласт супроводжується фізико-хімічними явищами, які пов'язані із зміною характеристик рідин і газів, самого пористого середовища, фазовими перетвореннями, зміною інтенсивності міжфазової взаємодії. Теплове діяння найбільш широко застосовується для підвищення нафтовилучення із пластів та інтенсифікації продуктивності свердловин, видалення асфальтено-смолистих і парафінистих відкладів. Для діяння на привибійну зону пласта нагрітими кислотними розчинами використовуються декілька технологій –

термохімічне діяння, термокислотне оброблення, термооброблення привибійної зони.

Попередньо виконаний аналіз літературних даних переконав нас у доцільності дослідження твердих кристалогідратів і кристалосольватів з метою тимчасової ізоляції окремих інтервалів перед фізико-хімічними обробленнями.

Таким чином, виконаний огляд і аналіз попередніх досліджень та промислових робіт уможливив нам сформулювати актуальність теми дисертації, мету і завдання щодо подальшого дослідження.

У другому розділі висвітлено результати теоретичних і експериментальних досліджень: а) важких побічних продуктів виробництва оцтового ангідриду, котрі розчинні в нафті, для створення теплової облямівки та змішаного витіснення нафти з метою підвищення нафтовилучення із покладів; б) термокислотолужного оброблення привибійної зони пласта і діяння на поклад; в) використання кристалосольватів для селективної ізоляції окремих інтервалів продуктивного розрізу.

Особливу зацікавленість становлять нафторозчинні речовини, які, як рідини, можна запомпувати на велику відстань у нафтовий пласт і які здатні при змішуванні вступати в екзотермічні реакції з іншими компонентами. Нами вперше запропоновано використовувати вітчизняний реагент під умовною назвою ВПП (важкий побічний продукт) і товарною – флотаксид. Так, взаємодія ацетангідриду, основного компоненту флотаксиду, з лугами дає значний тепловий ефект (1390 кДж/моль). Окрім того, його важливою особливістю є те, що ацетангідрид розчиняється в нафті. При цьому, він зумовлює ефект змішаного витіснення, а відтак, вступаючи в екзотермічну реакцію з лугом, викликає виділення теплоти. При режимі змішаного витіснення коефіцієнт нафтовитіснення за даними лабораторних досліджень ряду авторів може сягати величини, близької до 100%.

ВПП утворюється при виробництві технічного оцтового ангідриду (товарна назва – ацетангідрид), утилізація яких є серйозною науковою і технічною проблемою. Їх, головним чином, спалюють і частково використовують як реагенти для флотації вугілля.

ВПП являє собою темну смолянисту рідину. Вміщує такі основні компоненти: оцтовий ангідрид – 20-40%; етилендіацетат – 30-50%; оцтову кислоту – 2,0-10%; вищі ефіри і смолисті речовини – решта. Основні дані про ВПП: густина – 1080-1200 кг/м<sup>3</sup>; динамічний коефіцієнт в'язкості – 4,0-265,0 мПа·с; температура samozагоряння – 330° С; температура спалаху – 67°С; температура застигання – нижче (-35° С). ВПП добре змішується з нафтою, нерозчинний у воді.

Можливість побудови технології підвищення нафтовилучення з використанням оцтового ангідриду (або речовин з аналогічними властивостями) полягає у поєднанні ефектів змішаного витіснення і теплового діяння. При нагнітанні в пористе середовище оцтовий ангідрид змішується з нафтою, збільшуючи насиченість пласта вуглеводневою фазою, що у свою чергу повинно вести до збільшення її рухомості і зниження залишкової нафтонасиченості. Це дасть змогу видобути, як мінімум, обсяг нафти, який дорівнює обсягу оцтового ангідриду, що запомпований в пласт.

Наступне нагнітання речовини, що здатна вступати в екзотермічну реакцію з оцтовим ангідридом, зокрема водного розчину аміаку, уможливить створити теплову облямівку з відповідним збільшенням повноти видобування нафти.

Ацетангідрид (оцтовий ангідрид) є основним складником ВПП, взаємодіє з лугами з виділенням значної кількості теплоти, добре розчиняється в нафті. Тому для виділення впливу на процес нафтовилучення теплового ефекту та фізичного (гідродинамічного) ефекту змішаного витіснення спочатку виконали дослідження з використанням оцтового ангідриду, а відтак – з використанням ВПП.

У даній роботі розглядається процес вилучення залишкової нафти із промитих водою пластів, котрий охоплює послідовне витіснення нафти водою, запомпування облямівки нафторозчинного оцтового ангідриду (змішване витіснення), повторне запомповування води як буферного розділювача, а відтак запомповування одної чи двох облямівок водного розчину аміаку і на завершення протискування цих рідин водою.

При фізичному моделюванні процесів витіснення рідин подібність їх у моделі та натурі обґрунтували і забезпечили умовами виконання лабораторних досліджень за відомими і використовуваними в лабораторній практиці критеріями  $\pi_1$  і  $\pi_2$  (за Д.А.Ефросом), а щодо комбінованого запомповування рідин на основі аналізу процесів і явищ, які виникають при цьому, обмежилися тими ж критеріями.

Дослідження з оцінки ефективності застосування ВПП проведено на розробленій установці. Підготовку моделі для експериментів провели так, як це прийнято в сучасній лабораторній практиці. Експериментальні дослідження виконано на штучно зцементованих середовищах з піску фракції 0,25 мм (досліди А1–А2) і насипному пористому середовищу з піску фракції менше 0,1мм (дослід А3).

Експерименти проводилися в два етапи. На першому етапі проводилося витіснення нафти водою до досягнення практично постійного коефіцієнта витіснення, на другому – в пористе середовище послідовно нагнітали оцтовий ангідрид, водний розчин аміаку і протискувальний агент (воду). У досліді А3 формувалися 2 теплові облямівки. Аміак нагнітався як 25% водний розчин в досліді А1–А2 і при створенні другої облямівки в досліді А3, а при створенні першої облямівки в цьому досліді – як 12,5% водний розчин.

Загальним підсумком проведених досліджень є істотне збільшення коефіцієнта витіснення нафти  $\beta$  з моделі пласта. Різниця між кінцевим коефіцієнтом витіснення в досліді і коефіцієнтом витіснення після першого етапу витіснення нафти водою склала від 7% до 18% (рисунки 1 і 2).

Загальною рисою проведених досліджень є те, що джерело тепловиділення випереджає умовний тепловий фронт. На основі методу балансових співвідношень за результатами експериментальних досліджень виконано теоретичне обґрунтування розміру теплової облямівки і приросту температури.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили механізм підвищення коефіцієнта нафтовилучення за рахунок створення теплової облямівки реагентами, один з яких є нафторозчинним. Додаткова нафта при застосуванні оцтового ангідриду вилучається як за рахунок змішаного витіснення, так і теплового діяння, ступінь впливу якого підсилюється внаслідок протікання екзотермічної реакції на поверхні залишкової нафти.



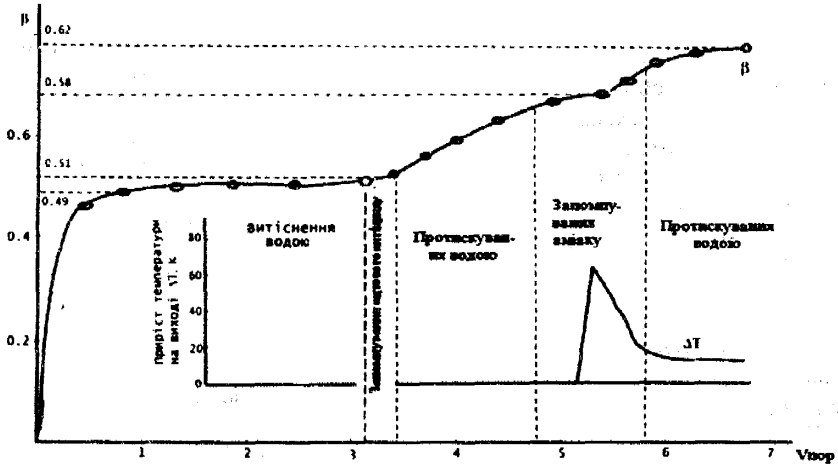


Рисунок 1 – Перебіг процесів витіснення нафти в досліді А1  
 $\beta$  – коефіцієнт витіснення нафти;  $V_{пор}$  – об'єм агентів у порових об'ємах

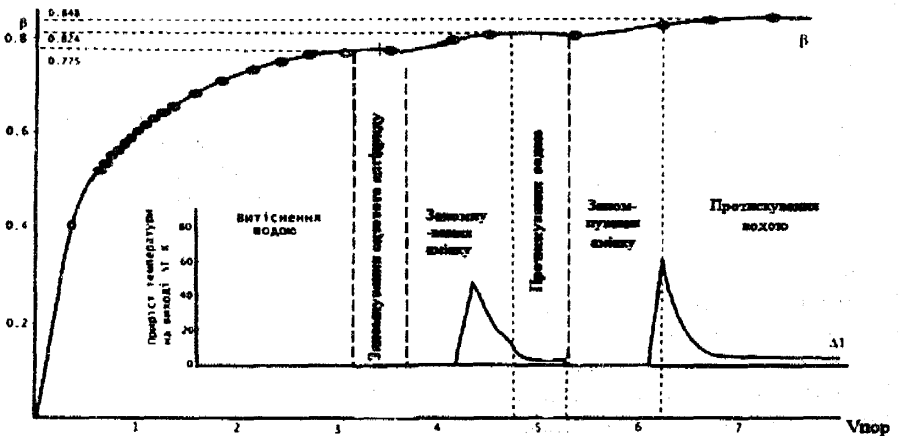


Рисунок 2 – Перебіг процесів витіснення нафти в досліді А3  
 $\beta$  – коефіцієнт витіснення нафти;  $V_{пор}$  – об'єм агентів у порових об'ємах

Теоретичні оцінки в достатній мірі узгоджуються з фактичними результатами за умови достовірного визначення утримуючої здатності пористого середовища стосовно нафторозчинного компонента.

Експериментальні дослідження з вивчення діяння ацетангідриду і аміаку на формування теплової облямівки та підвищення коефіцієнта нафтовилучення

проведено з плануванням повного факторного експерименту другого порядку. У результаті отримано рівняння регресії:

$$\beta = 0,406 + 0,92 \cdot V_1 - 1,424 \cdot V_1^2 + 0,227 \cdot V_2 - 0,136 \cdot V_2^2 - 0,488 \cdot V_1 \cdot V_2,$$

де  $\beta$  – коефіцієнт нафтовилучення;  $V_1, V_2$  – відповідно об'єми ацетангідриду і аміаку в частках від об'єму нафтонасичених пор пласта.

Отримані в експериментах кількісні показники піддано аналізу з використанням методів математичної статистики за розрахунком середніх вибірових значень, дисперсії відтворення похибок середніх значень у групах показників, значимості коефіцієнтів рівняння з використанням критеріїв Кохрена і Фішера. Показано, що нафторозчинний ацетангідрид, як основний компонент важких побічних продуктів, разом з водним розчином аміаку призводить до підвищення коефіцієнта нафтовилучення.

Досліди з оцінки ефективності ВПП, як реагенту для підвищення нафтовилучення, були проведені з використанням описаної вище фільтраційної установки і виконанням регламентних критеріїв моделювання  $\pi_1$  і  $\pi_2$  на насипних пористих середовищах.

Також були проведені дослідження в'язкості ВПП в суміші з нафтою. Дослідженнями встановлено, що при змішуванні ВПП і нафти відбувається зростання в'язкості суміші. Наявність цього ефекту, імовірно, спричинить збільшення коефіцієнта охоплення пласта заводнення після протискування облямівки ВПП водою.

За результатами дослідів можна зробити висновок, що нагнітання облямівки ВПП забезпечує вилучення додаткової нафти з пористого середовища в порівнянні зі звичайним витісненням водою (рисунок 3). Очевидно, що механізм дії облямівки ВПП зводиться до змішаного витіснення.

Як впливає з механізму змішаного витіснення, приріст коефіцієнта витіснення виявився пропорційним розміру облямівки. Максимальний приріст становив біля 0,05 для облямівки розміром 0,343 від порового об'єму. Оцінка впливу розмірів облямівки на обсяг додатково видобутої нафти показала, що приріст коефіцієнта витіснення пропорційний розміру облямівки (рисунок 4).

Широко застосовуваними методами діяння на привибійну зону пласта є термохімічні. Серед багатьох екзотермічних реакцій рідинних хімічних компонентів, що уможливають нагнітати їх у пласт, не доводячи тиск нагнітання до тиску розкриття тріщин, нами вибрано, запропоновано і обґрунтовано раціональні стехіометричні відношення доцільності застосування в нафтовидобувній галузі екзотермічні реакції трьох пар компонентів: соляної кислоти і гідроксиду аміаку; соляної кислоти і гідроксиду натрію; формальдегіду та аміаку.

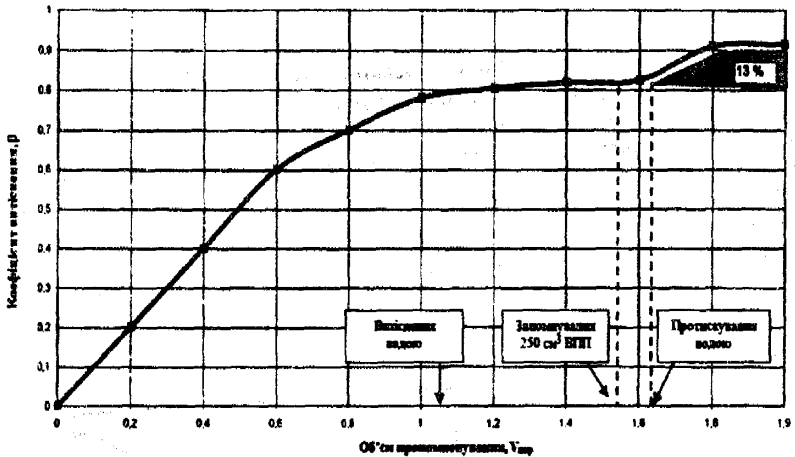


Рисунок 3 - Результати досліджень процесу витіснення нафти розчином ВПП (дослід В1)

Для встановлення ефективності поєднання лугу і кислоти нами виконано лабораторні дослідження. При лабораторному дослідженні термокислотолужного діяння ставилась мета оцінити можливість впливу послідовного нагнітання лугу і кислоти на проникність пористого середовища, яке складається переважно із кварцових пісковиків. Відповідно до цього були поставлені 2 серії дослідів на штучних пористих середовищах поблизу області автономельності за критеріями  $\tau_1$  і  $\tau_2$  при відсутності значного впливу гравітаційних сил.

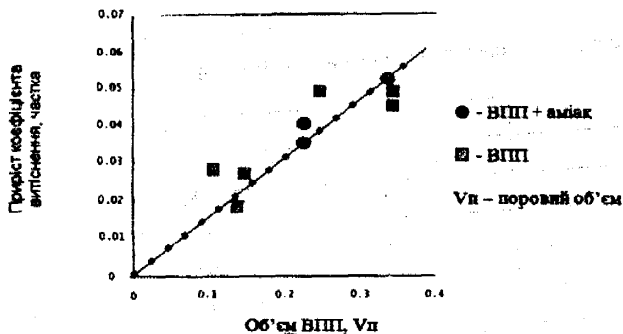


Рисунок 4 - Залежність приросту коефіцієнта витіснення від об'єму облямівки ВПП

За результатами трьох дослідів (Г1-Г3) з різними концентраціями компонентів доказана можливість утворення теплової облямівки з використанням розчинів лугу та кислоти (рисунок 5).

Це означає, що швидкість реакції визначається швидкістю дифузії лугу із зв'язаної води в поровий об'єм, який займає кислотний розчин.

Лужний та кислотний розчини, окрім термохімічного впливу, здатні самостійно (окремо) впливати на проникність пласта. Коефіцієнт проникності розраховували за законом Дарсі, знаючи вхідні та виміряні величини. На рисунку 6 показано зміну коефіцієнта проникності пористого середовища, яке початково було насичене тільки водою, в ході послідовного пропомповування води  $H_2O$ , солянокислотного розчину  $HCl$  і розчинів лугу  $NaOH$  різної концентрації.

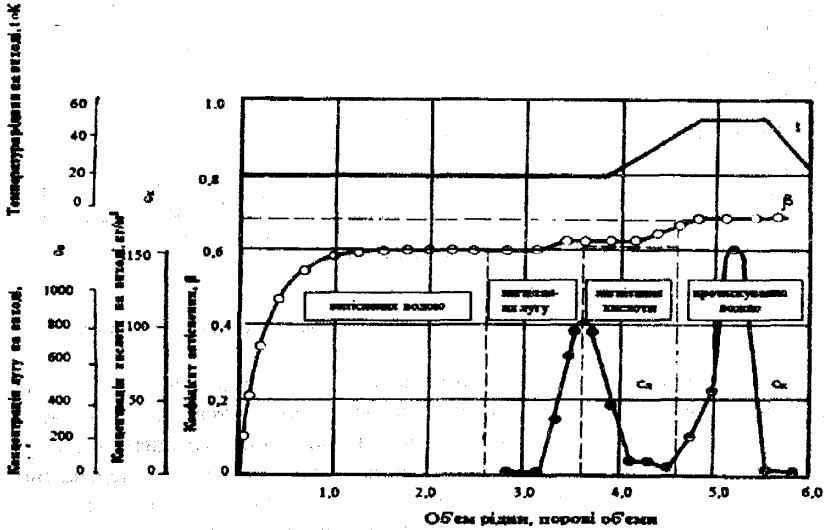


Рисунок 5 - Перебіг процесу витіснення нафти за даними до дослідів ГЗ

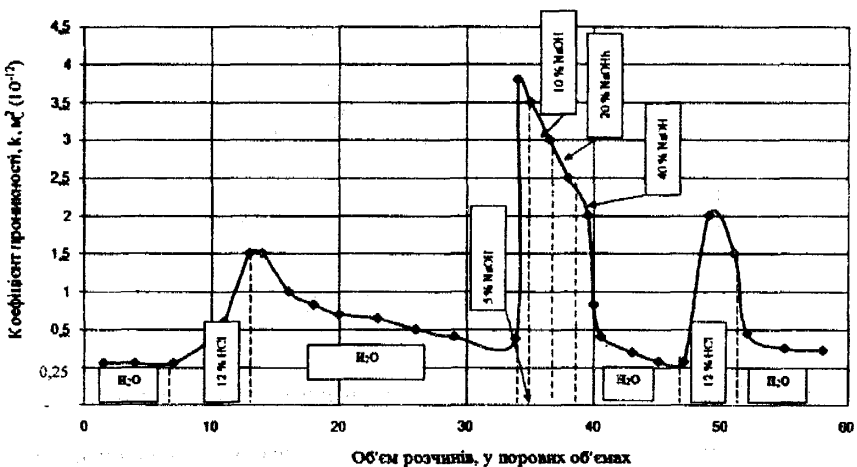


Рисунок 6 – Зміна коефіцієнта проникності заглинизованого водонасиченого пористого середовища в ході дослідів №1 при запомповуванні води і водних розчинів соляної кислоти та лугу  $NaOH$

На основі даних досліджу №1, пропомповування спочатку двох порових об'ємів 12% розчину соляної кислоти і розчину лугу призвело до збільшення коефіцієнта проникності заглинизованого пористого середовища більше, ніж у 10 раз. Однак, при наступному нагнітанні води спостерігалось зниження проникності (дещо нижче початкового значення), що викликано зміною текстури і структури пористого середовища. В першу чергу це пов'язано з міграцією і набуханням глинистих частинок у воді основами – лугами, зокрема з гідроксидом натрію NaOH. Звідси отримуємо збільшення проникності, але більшість основ у воді нерозчинні, а тому можемо говорити про міграцію мінералів в ході нагнітання води.

На другому етапі досліджу № 1 в пористе середовище послідовно нагнітали по одному поровому об'єму 5, 10, 20 і 40% розчину гідроксиду натрію NaOH. Перша об'ємівка лугу з концентрацією 5% уможливила значно збільшити проникність пористого середовища до рівня, який перевищував величину проникності після кислотного оброблення.

Наступні пропомповування об'ємівок лугу з підвищеними концентраціями не призвели до подальшого росту коефіцієнта проникності, а навпаки, намітилась тенденція до його різкого зниження. Різко знизилась проникність і при подальшому пропомповуванні через взірць води.

Ще одне оброблення пористого середовища 12% розчином соляної кислоти дало змогу, в певній мірі, відновити проникність, що найбільш важливо, та знизити швидкість згасання фільтрації при подальшому пропомповуванні води. Пояснення цьому аналогічне попередньому.

Дослід №2, результати якого показано на рисунку 7, ми провели на насипному пористому середовищі, яке створили ретельно промитим кислотним розчином та насичували нафтою Бугруватівського нафтового родовища з динамічним коефіцієнтом в'язкості 8,0 мПа·с (вміст парафінів 5%, смол 27%, асфальтенів 6%). Тут також виконувались критерії подібності  $\pi_1$  і  $\pi_2$ , хоч це не було необхідним, так як нас цікавило тільки вивчити вплив лужного розчину на процес.

У цьому досліді початкове нагнітання розчину соляної кислоти з концентрацією 10% не призводило до зростання проникності в пористому середовищі через відсутність кислорозчинних речовин. На близькому до постійного зберігся рівень проникності в ході подальшого витіснення нафти водою. Тут зниження абсолютної проникності компенсувалось збільшенням фазової проникності по воді через зменшення нафтонасиченості в ході витіснення нафти.

Наступне пропомповування через пористе середовище об'ємівок лужних розчинів з різною концентрацією проходило, коли процес витіснення нафти був практично завершеним. У результаті послідовного пропомповування 5, 10, 20% розчинів лугу проникність пористого середовища збільшилась у 10 раз. Однак при наступному нагнітанні води спостерігалось різке зниження проникності внаслідок колюматії порового простору продуктами реакції.

При поясненні результатів другого досліджу слід виходити також з аналізу експериментальних досліджень методу лужного заводнення.

Ефективність методу лужного заводнення ґрунтується на взаємодії лугів з активними компонентами нафти (органічними і нафтовими кислотами, характерною для яких є реакція заміщення з утворенням різних кислот) і з гірською породою. При цьому утворюються поверхнево-активні речовини, змінюється

змочуваність породи, набухають глини, утворюються стійкі водонафтові емульсії і виділяються осади. Тому, при наступному нагнітанні води зниження проникності практично до початкової величини можна пояснити переукладанням осадів.

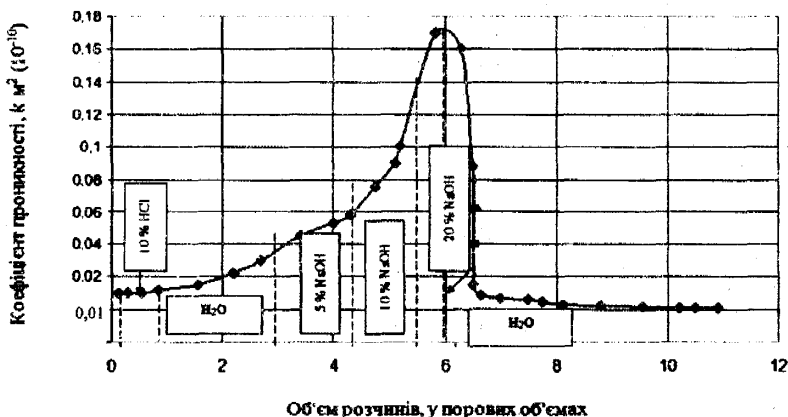


Рисунок 7 – Зміна проникності пористого середовища в ході дослідження № 2 при витісненні високов'язкої нафти солянокислотним розчином, водою і лужними розчинами

Хоч лужне заводнення забезпечує підвищення коефіцієнтів нафтовилучення на 3–15% порівняно із звичайним.

З метою підвищення ефективності кисло-лужних оброблень нами рекомендується до складу одного чи обох розчинів додавати неіоногенні поверхнево-активні речовини (НПАР).

Ефективність дії лужних розчинів при обробленні привибійної зони пов'язана як із взаємодією з породою пласта, так із взаємодією з пластовими флюїдами. При контакті лужних розчинів з породою продуктивного пласта відбувається взаємодія лугу з силікатними компонентами та вплив на ступінь набухання глинистих компонентів. При пластових температурах до 80°C в основному переважає вплив на глинисті компоненти породи. Доцільним є збільшення температури і концентрації лугу.

Проведені дослідження підтвердили можливість збільшення проникності пористого середовища, яке складається в основному з кварцового піску, за рахунок дії розчину лугу. Разом з тим, присутність продуктів реакції, які в подальшому можуть знизити проникність пористого середовища, потребує здійснення нейтралізації їх шкідливого впливу. Це можна досягнути, в деякій мірі, діянням лугу з невисокою концентрацією (5–10%) з наступним обробленням пористого середовища кислотними розчинами.

Для обробки заглинизованих пластів рекомендується використовувати реагенти з меншими відповідними показниками рН (карбонат чи бікарбонат натрію, тринатрійфосфат та бісульфат натрію, дигідрофосфат натрію або подібні реагенти).

Таким чином, лужне і кислотне діяння на колектор забезпечують збільшення його проникності, а поєднане кислотнолужне оброблення нафтонасиченого колектора дає змогу сформувати безпосередньо в пласті теплову облямівку.

Для розробки технології тимчасової селективної ізоляції (тампонування) високопроникних пластів з метою наступного діяння кислотними чи іншими розчинами на низькопроникну частину розрізу нами досліджено використання кристалогідратів ( $\text{CaCO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) і кристалосольватів ( $\text{CaCl}_2 \cdot 0,5\text{C}_4\text{H}_8\text{O}(\text{OH})_2$ ), які є твердими хімічними сполуками, подібними на лід, з дуже низькою проникністю.

Утворення кристалосольватів – процес екзотермічний. При змішуванні солей, які здатні утворювати кристалосольвати з розчинником, виділяється деяка кількість теплоти, величина котрої визначається величиною теплоти сольватації іонів, з яких складається сіль.

Нами досліджено процес утворення і затвердіння кристалосольватів за стандартною методикою стосовно тампонажних розчинів.

Кристалогідрати утворюються в результаті сполучення безводного хлористого кальцію з водою, кристалосольвати – при сполученні безводного хлористого кальцію з етиленгліколем або діетиленгліколем.

Дослідженнями препаратів на термостійкість виявлено, що кристалогідрат розкладається (переходить в рідкий стан) при температурі  $40^\circ\text{C}$ , а кристалосольват – при температурі  $50 - 100^\circ\text{C}$  зберігає свої властивості. При вмісті води 50 % і більше кристалосольвати мають мінімальну термічну стабільність і руйнуються уже при температурі, рівній  $30^\circ\text{C}$ , тобто це практично кристалогідрати.

Лабораторні дослідження показали, що кристалосольвати стійкі і тверднуть при температурі до  $110^\circ\text{C}$ .

Утворення і затвердіння кристалосольватів супроводжується збільшенням їх об'єму. При утворенні кристалосольватів з хлористого кальцію і чистого діетиленгліколю відносне збільшення об'єму утвореного кристалосольвата становить 16–23 % від початкового об'єму суміші, а для кристалосольватів з хлористого кальцію і водно-гліколевих сумішей відносне збільшення об'єму сягає 18–25 %. Все це забезпечує надійне зчеплення кристалосольватних структур із стінками свердловини і тріщини пласта.

Кристалосольвати, отримані з суміші хлористого кальцію і діетиленгліколю, утворюють монолітні кристалічні непроникні структури. Нами проведено дослідження на лабораторному устаткуванні, зібраному на основі УДПК, з вивчення проникності та механічної міцності кристалосольватів. За результатами дослідів зроблено висновок, що перепади і граничні градієнти тисків руйнування кристалосольватів практично не залежать від розмірів частинок (лусочок) хлористого кальцію.

Для прогнозування зміни форми і механічної міцності кристалосольватних структур у тріщинах пласта, коли під час нагнітання витісняювальних агентів змінюється напружений стан і деформуються тріщини, ми проводили також дослідження на згин і на стиск зразків з хімічно чистого хлористого кальцію в діетиленгліколі (зразки згідно ДСТУ Б В.2.7–88–89, як і зразки цементного каменю досліджувались на приладі МП–100 за стандартною методикою стосовно цементного каменю). Найбільшу міцність на згин і на стиск мають кристалосольвати, які виготовлені на 70 % розчині діетиленгліколю у дистильованій

воді, що відповідає стандарту міцності цементному каменю і можна вважати придатним для тампонування тріщин та інших порожнин в умовах свердловин.

Після виконання технологічних робіт у свердловинах (з вирівнювання профілю нагнітання чи припливу) тимчасові ізоляційні структури з кристалосольватів у разі необхідності можна зруйнувати. Це можна зробити шляхом розчинення їх водою. Для цього нами проведено дослідження з визначення швидкості розчинення кристалосольватів пластовою водою Долинського родовища, менілітового покладу (пластова вода хлоркальцієвого типу, мінералізація  $966 \text{ мг/дм}^3$ , густина  $1035 \text{ кг/м}^3$ ). Значна швидкість розчинення досягається при циркуляції води знизу при температурі  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  і становить  $1200 \text{ мм/год}$ .

Таким чином, кристалосольватні структури на основі хлористого кальцію і діетиленгліколю, є термотривкими в прийнятному інтервалі температур і мають достатню механічну і гідромеханічну міцність, що уможливило їх застосування у процесах видобування нафти.

У **третьому розділі** описано створені технології підвищення нафтовилучення діям на поклад і привибійну зону свердловини.

На основі проведених у розділі 2 експериментальних досліджень і теоретичних обґрунтувань запропонованих нами хімічних реагентів, розроблено удосконалені технології із поєднанням екзотермічних і гідродинамічних ефектів, що призначені для підвищення коефіцієнта нафтовилучення з покладів, а також для інтенсифікації припливу з низькопроникних пропластків з тимчасовою ізоляцією високопроникних інтервалів продуктивного пласта.

Технології базуються на використанні важких побічних продуктів виробництва оцтового ангідриду (ВПП), луґу ( $\text{NaOH}$ ), хлористого кальцію ( $\text{CaCl}_2$ ), гліколів (діетиленгліколь), безводної нафти, водного розчину аміаку ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), соляної кислоти ( $\text{HCl}$ ), водного розчину формальдегіду  $\text{CH}_2=\text{O}$  (формаліну), водорозчинних солей амонію (хлориду  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , нітрату  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , фториду  $\text{NH}_4\text{F}$ ).

Принципова відмінність технології підвищення нафтовилучення з використанням важких побічних продуктів полягає в поєднанні (в комплексному діянні) змішаного витіснення нафти, збільшення динамічного коефіцієнта витіснювальної фази (ВПП) і теплового діяння на поклад у зоні витіснення.

Технологія базується на властивостях 2 основних компонентів ВПП: оцтового ангідриду, який здатний екзотермічно взаємодіяти з послідовно запомповуваним за ВПП луґом (водним розчином аміаку); етилендіацетатом, котрий добре розчиняє вуглеводні, створюючи ефект змішаного витіснення, і володіє високою в'язкістю (порівняно з в'язкістю пластової нафти, коли прийнятним є заводнення покладу), чим додатково усувається нестійкість руху межі поділу фаз і підвищується коефіцієнт охоплення пласта витісненням.

На таких засадах нами створено нову технологію підвищення нафтовилучення з покладів, що розробляється за методом заводнення.

Розроблені технології підвищення продуктивності видобувних і приймальності нагнітальних свердловин та повноти витіснення нафти на основі термокислотолужних реакцій працюють за рахунок одночасного кислотолужного і теплового діяння на привибійну зону пласта.

Технології ґрунтуються на використанні теплоти, яка виділяється при екзотермічній взаємодії двох реагентів, змішування яких відбувається



безпосередньо на вибої свердловини або в пласті, тобто проводяться за різними технологічними схемами. Вибір тієї чи іншої схеми залежить від мети теплового діяння.

Термокислотолужне діяння на привибійну зону і на поклад базується на здатності соляної кислоти взаємодіяти з лугом (гідроксидом натрію, гідроксидом амонію) з виділенням великої кількості теплоти.

Для проведення разом з тепловим діянням одночасно і солянокислотного оброблення, з метою забезпечення екзотермічної реакції соляної кислоти і водного розчину лугу, соляно-кислотний розчин на завершальній стадії процесу нагнітають з надлишком.

Для проведення термокислотолужного діяння на привибійну зону пласта з використанням гідроксиду натрію розроблено 5 технологічних схем:

*А. Технологічна схема одночасно-роздільного нагнітання рідинних реагентів у свердловину.*

*Б. Технологічна схема одночасно-роздільного нагнітання реагентів з попередньою тимчасовою ізоляцією високопроникних інтервалів пласта кристалосольватом.*

*В. Технологічна схема термохімічного оброблення з використанням кристалічного гідроксиду натрію і проведення реакції на вибої.*

*Г. Технологічна схема термокислотолужного оброблення із запомповуванням кристалічного гідроксиду натрію в тріщини пласта за схемою гідравлічного розриву.*

*Д. Технологічна схема кислотолужного оброблення водонагнітальної свердловини з наступним трасуванням фільтраційних потоків.*

Також розроблено технології селективного діяння на привибійну зону пласта з використанням кристалосольватів. Їх властивість утворювати міцні ізоляційні структури покладено нами в основу 3 розроблених технологій: тимчасової ізоляції окремих нафтонасичених пропластків продуктивного розрізу; тимчасової ізоляції (тампування) тріщин тріщинувано-пористого пласта перед солянокислотним обробленням; тимчасового розмежування (відокремлення) затрубного простору.

Послідовність технологічних операцій з тимчасової ізоляції окремих інтервалів пласта, з наступним діянням, наприклад, солянокислотним розчином на інший інтервал, залежить від поглинальної здатності свердловини.

Технологічний процес тимчасової ізоляції тріщин тріщинувано-пористого пласта здійснюється за схемою гідравлічного розриву пласта.

Хлористий кальцій використовується для утворення кристалосольватного пакера і як "підстильний матеріал", який потім доводиться розчиняти водою, що зумовлює збільшення витрати хімреагенту. Звідси нами запропоновано як "підстильний матеріал" використовувати будь-яку сіль, яка добре розчиняється у воді, наприклад, хлориди або нітрати натрію чи калію.

Як "підстильний матеріал" також рекомендуємо використати солі амонію (хлорид  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , нітрат  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , фторид  $\text{NH}_4\text{F}$ ), а тоді розчинення його проводиться нагнітанням розчину формальдегіду (формаліну)  $\text{CH}_2\text{O}$ .

При взаємодії формальдегіду з солями амонію утворюються різні кислоти, а вода і уротропін  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$  (ефективний інгібітор корозії металів та сповільнювач реакцій кислот із гірськими породами).

Утворені соляна  $\text{HCl}$  і азотна  $\text{HNO}_3$  кислоти розчиняють карбонатні породи пласта ( $\text{CaCO}_3$ ), а фтористоводнева кислота  $\text{HF}$  – силікати, з утворенням води ( $\text{H}_2\text{O}$ ), діоксиду вуглецю і водорозчинних солей ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{SiF}_4$ ).

У четвертому розділі наведено результати впровадження запропонованих технологій.

Як об'єкт для проведення промислових випробувань нової технології підвищення нафтовилучення з використанням ВПП нам запропонували ділянку в полі нагнітальної свердловини 981 Муравленківського родовища (НГВУ «Муравленконафта», Росія). Додатковий видобуток нафти за 8 місяців роботи навколо розміщених видобувних свердловин склав 29320 тонн нафти або 244 тонни додаткової нафти на 1 тонну запопваного ВПП.

Роботи з термохімічного оброблення привибійної зони пласта з використанням соляної кислоти і аміачної води проводились на нафтовидобувних і нагнітальних свердловинах. За технологією термохімічної дії з використанням аміачної води було здійснено 35 операцій у свердловинах Бориславського, Надвірнянського та Долинського нафтопромислових районів. Успішність проведених робіт складає 94%. Завдяки проведеним роботам додатково видобуто 15687,0 тонн нафти, що на одну обробку складає 448 тонн. Економічний ефект від впровадження технології склав 6,3 млн.грн.

За результатами впровадження технології з утворення тимчасових ізоляційних бар'єрів з кристалосольватів додатковий видобуток нафти склав 9193,0 тонни нафти, зменшилась обводненість продукції, тривалість ефекту 3–19 місяців. Роботи було проведено на 21 свердловині.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій на основі виконаних лабораторних, теоретичних та промислових досліджень удосконалено технології діяння на привибійну зону пласта і нафтовий поклад в цілому з використанням порівняно дешевих хімічних речовин для підвищення нафтовилучення з заводнених зон покладу і продуктивності свердловин на пізній стадії розробки.

За результатами виконаних досліджень і практичних впроваджень отримано такі наукові та практичні результати.

1. Аналіз сучасного стану вивченості проблеми підвищення ефективності видобування нафти діянням на поклад і привибійну зону пласта на пізніх стадіях розробки нафтових родовищ, що характерно для умов видобування нафти в Україні, свідчать, що найбільш доцільними є фізико-хімічні методи підвищення коефіцієнта нафтовилучення із уже заводнених зон покладу і поточних дебітів видобувних свердловин, тобто методи з використанням термохімічних процесів, які ґрунтуються на екзотермічних реакціях.

2. Вперше запропоновано для підвищення нафтовилучення з заводненої зони покладу використовувати вітчизняний нафторозчинний реагент флотаксид під умовною назвою ВПП (важкий побічний продукт), що є побічним продуктом виробництва технічного оцтового ангідриду (ацетангідриду), основними складниками якого є етилендіацетат (30–50%), який добре розчиняє вуглеводні, і оцтовий ангідрид (20–40%), який екзотермічно внутрішньопластово може

взаємодіяти з послідовно запомповуваними водними розчинами лугів (гідроксидів натрію, амонію, калію), що уможливорює використання їх для підвищення нафтовилучення з заводнених зон покладу з комплексним поєднанням ефектів термохімічного (тепловий ефект реакції) і змішаного (внаслідок розчинення в нафті) витіснення нафти, а також зменшення ймовірності в'язкісної нестійкості руху межі поділу (за рахунок підвищеної в'язкості витіснювального агента та їх суміші, особливо при співвідношенні об'ємів 1:1).

3. За результатами фізичного моделювання процесів витіснення нафти ВПП і окремо основним складником ВПП – оцтовим ангідридом, з дотриманням критеріїв подібності, встановлено збільшення температури в тепловій об'ємній моделі пласта на 32–46°C за рахунок взаємодії оцтового ангідриду і луку, а зростання коефіцієнта витіснення залишкової нафти на 7–19% – за рахунок змішаного витіснення нафти ВПП.

4. На основі раціонального планування експерименту проведено дослідження і шляхом статистичного аналізу підібрано рівняння регресії коефіцієнта нафтовилучення від об'ємів ацетангідриду та аміаку.

5. Дослідженнями використання рідинних лужнокислотних розчинів, придатних для термохімічного діяння на поклад або привибійну зону пласта, встановлено: зростання проникності порового колектора, можливість утворення теплової об'ємівки як солянокислотним, так і лужним розчинами; приріст пластової температури в межах 12 – 23 °C; необхідні технологічні прийоми і концентрації реагентів для досягнення високої дифузії між розчинами і максимального теплового ефекту.

6. Експериментальними дослідженнями з використання кристалогідратів та кристалосольватів для проведення ізоляційних робіт у свердловинах вперше встановлено: можливість створення тимчасових ізоляційних бар'єрів (корків) виключно кристалосольватами на основі кристалічного хлориду кальцію і діетиленгліколю; технологічні прийоми здійснення і концентрації реагентів для утворення термотривких, механічно міцних і непроникних сольватних структур; термотривкість ізоляційних композицій до 110 °C у пластових умовах; збільшення композиції в об'ємі на 16–25 % у процесі затвердіння; швидкість руйнування композиції шляхом циркуляції води.

7. Розроблено ряд удосконалених технологій (із модифікаціями) підвищення нафтовилучення та інтенсифікації роботи видобувних і водонагнітальних свердловин на основі термохімічних процесів і використання:

- флотаксиду і водного розчину луку (гідроксидів амонію, натрію, калію);
- комплексу соляної кислоти і луку в одній технології (кислотолужне оброблення привибійної зони), аміачної води і соляної кислоти, аміачної води і формаліну, гідроксиду натрію і соляної кислоти (за 5 технологічними схемами);
- кристалічного хлористого кальцію і водного розчину діетиленгліколю (3 технології).

8. Розроблена технологія підвищення нафтовилучення шляхом нагнітання ВПП реалізована на свердловині 984 в Івано-Франківському родовищі. В результаті цього додатковий видобуток нафти становив 244 тис. тонн за 8 місяців роботи навколишніх свердловин склав 29320 тонн, або 244 тис. тонн додаткової нафти на 1 тис. тонн запомпованого ВПП.

9. Реалізація технології оброблення привибійної зони пласта з використанням лужних (аміачна вода, гідроксид натрію) та кислотних (соляна кислота, формалін) розчинів здійснена у 35 видобувних свердловинах Долинського, Бориславського, Надвірнянського, Полтавського та Охтирського нафтопромислових районів. За рахунок їх проведення додатково видобуто понад 15000 тонн нафти.

10. Впровадження технології з використанням кристалосольватів здійснено у 21 свердловині Долинського, Надвірнянського та Полтавського нафтопромислових районів. За рахунок її проведення додатково видобуто понад 9000 тонн нафти.

Загалом, за розробленими технологіями термохімічного діяння на поклад та привибійну зону пласта, здійсненими на одній ділянці покладу та 52 свердловинах, додатково отримано понад 54000 тонн нафти.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

### *Публікації в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. **Патра В.Д.** Закачка индикатора, как один из эффективных методов контроля и управления разработкой нефтяных месторождений. //Prace Instytutu Nafty i Gazu nr 137. PL ISSN 0209–0724, Krakow, 2006. С. 813 – 820.

2. **Патра В.Д.** Підвищення нафтовіддачі з використанням відходів виробництва оцтового ангідриду /*Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.* (Серія „Розробка та експлуатація нафтових і газових родовищ” : Державний міжвідомчий науково-технічний збірник.) Івано-Франківськ. 1995. Вип. 32. С. 104–110.

3. **Патра В.Д.** Тимчасова ізоляція в багатопластовому об’єкті для кислотної обробки низькопрониких інтервалів пласта /*Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.* (Серія „Розробка та експлуатація нафтових і газових родовищ” : Державний міжвідомчий науково-технічний збірник.) Івано-Франківськ. 1996. Вип. 33. С. 98–104.

4. Акульшин О.О., **Патра В.Д.** До питання про об’єднання двох пластів в один об’єкт розробки нафтового родовища /*Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.* (Серія „Розробка та експлуатація нафтових і газових родовищ”: Державний міжвідомчий науково-технічний збірник.) Івано-Франківськ. 1998. Вип. 35. (Том 3) С. 39–46.

5. **Патра В.Д.**, Акульшин О.І., Зарубін Ю.О. Деякі результати впровадження технології термохімічної обробки привибійної зони пласта // *Нафтова і газова промисловість.* 1998. № 3. С. 29–31.

6. Акульшин О.О., **Патра В.Д.** Індикаторний метод дослідження процесу розробки нафтонасичених пластів /*Нафтова і газова промисловість.* 1999. № 1. С.34–36.

7. **Патра В.Д.** Використання відходів виробництва оцтового ангідриду для підвищення ефективності нафто вилучення. /*Енергетика: економіка, технології, екологія.* 2001. №2. С. 51–54.

8. **Патра В.Д.**, Акульшин А.А. Энергосберегающая технология разработки трещиновато–пористых нефтенасыщенных пластов. /*Актуальные проблемы*

*устойчивого развития*. Под общей редакцией И.В.Недина, Е.И.Сухина. К.: О-во «Знание» Украины. 2003. С. 310–331.

9. Височанський З.М., **Патра В.Д.**, Бандура В.В. Водонабрякаючий полімерний матеріал ПОЛКАР, як один з ефективних хімічних реагентів з обмеження водоприпливу у видобувних свердловинах. *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ*. (Серія „Розробка та експлуатація нафтових і газових родовищ” : Державний міжвідомчий науково-технічний збірник). Івано-Франківськ. 2005. № 1 (14) С. 108–112.

10. Рудий М.І., **Патра В.Д.** Загущені кислоти. Загусники на основі полімерів та сополімерів акриламіді // *Проблеми нафтогазової промисловості*: Зб. наук. праць. Вип. 4. Київ. 2006. С.178 – 186.

11. Рудий М.І., **Патра В.Д.** Лужно-кислотні розчини як реагенти комбінованого впливу на привибійну зону пласта // *Науковий вісник ІФНТУНГ*. Івано-Франківськ. 2007. №1 (15). С.52–57.

12. Рудий М.І., **Патра В.Д.** Нові технології термохімічної дії на продуктивний пласт для інтенсифікації видобування вуглеводнів на родовищах України. // *Нафтогазова енергетика*. Всеукраїнський науково-технічний журнал. Київ. 2008. № 1(6). С. 14 – 22.

#### **Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

13. Зарубін Ю.О., Єгер Д.О., **Патра В.Д.** Декольматація привибійної зони пласта з внутрішньосвердловинним нагрівом розчинника /*Збірник статей науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу*. Івано-Франківськ. 1995. с. 57.

14. **Патра В.Д.**, Акульшин О.І. Реагент ТПП, як ефективний інтенсифікатор нафтовидобутку /*Збірник доповідей науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу*. (III частина) Івано-Франківськ. 1996. с 31.

15. Акульшин О.І., **Патра В.Д.**, Акульшин О.О. Визначення гідродинамічного зв'язку між водонагнітальною свердловиною і нафтовидобувними /*Збірник науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу* (2 частина). Івано-Франківськ. 1997. с. 14.

16. Акульшин О.І., **Патра В.Д.** Технологія термохімічної обробки свердловин. /*Матеріали 5-ої Міжнародної конференції „Нафта-Газ України-98”*. Полтава. 1998. С. 142.

17. Акульшин О.О., Зарубін Ю.О., Височанський З.М., **Патра В.Д.**, Лилак М.М. Регулювання процесу витіснення нафти Бугруватівського родовища, з метою підвищення нафтогазовидобутку при використанні полімерної композиції Полікар. /*Матеріали науково-практичної конференції „Стан і перспективи розробки нафти і газу України”*. Івано-Франківськ. 2003. С. 177 – 180.

18. Акульшин О.О., Зарубін Ю.О., Височанський З.М., **Патра В.Д.**, Кукуев А.Г. Впровадження технології визначення гідродинамічного зв'язку і швидкості фільтрації між водонагнітальними і нафтовидобувними свердловинами Чижівського нафтового родовища ІНГУ „Полтаванафтогаз”. /*Матеріали науково-*

практичної конференції „Стан і перспективи розробки нафти і газу України”. Івано-Франківськ. 2003. С. 175–177.

### *Авторські свідоцтва і патенти:*

19. Патент України № 34745 А. Спосіб термохімічної обробки свердловин. Манюк С.В., Рудий М.І., Кукуев А.Г., **Патра В.Д.**, Козак К.Г., Лобойко Л.М., Акульшин О.О. ВАТ „Укрнафта” НГВУ „Полтаванафтогаз”. Зареєстр. 15.03.2001 р.

20. Патент України № 52041 А. Спосіб обмеження водопрпливу у свердловину. Копач І.В., Акульшин О.О., Манюк С.В., Рудий М.І., Мачужак М.І., **Патра В.Д.**, Кукуев А.Г. ВАТ „Укрнафта” НГВУ „Полтаванафтогаз”. Зареєстр. 16.12.2002 р. Бюл. № 12.

21. Патент України № 71930. Спосіб заводнення неоднорідних за проникністю пластів. Гнип М.П., Акульшин О.О., Петриняк В.А., Босяк О.В., **Патра В.Д.**, Рудий М.І., Пилипець І.А. ВАТ «Укрнафта». Зареєстр. 17.01.2005. Бюл. № 1.

22. Патент України № 72444. Спосіб обмеження водопрпливу у газових та газоконденсатних свердловинах. Манюк С.В., Рудий М.І., Садов А.М., Мачужак М.І., Акульшин О.О., Грушко Є.А., **Патра В.Д.** ВАТ «Укрнафта». Зареєстр. 15.03.2005. Бюл. № 3.

23. Патент України № 67393 А. Спосіб гідрофобізуючої обробки неоднорідних за проникністю пластів. Акульшин О.О., Гнип М.П., Петриняк В.А., Пилипець І.А., Немировська Л.В., **Патра В.Д.**, Ровенчак В.А., ВАТ «Укрнафта», Зареєстр. 16.10.2006. Бюл. № 10.

24. Позитивне рішення на винахід „Спосіб дослідження газового пласта” Височанський З.М., **Патра В.Д.**, Зарубін Ю.О., Синюк Б.Б. КП НВФ „Нафтовик-1”. Індекс МПК 7E21B49/00.

25. Патент України № 84839. Спосіб обмеження водопрпливу у свердловину. **Патра В.Д.**, Рудий М.І., Височанський З.М., Зазуляк О.М., Здольник Г.П., Верба Ю.В. Зареєстр. 11.11.2013. Бюл. № 21.

26. Патент України № 96360. Індикаторний спосіб вибору свердловин для проведення методів інтенсифікації на родовищі чи її ділянці. **Патра В.Д.**, Рудий М.І., Зазуляк О.М., Здольник Г.П., Верба Ю.В., Нікітін В.О. Зареєстр. 10.02.2015. Бюл. № 3.

### *Керівні документи на розроблені технологічні процеси:*

27. СТП 320.00135390.034-2002. Технологія ізоляції водопрпливу у видобувні свердловини з використанням водонабрякаючих полімерів. Автори: Яцків М.П., Акульшин О.О., **Патра В.Д.** Наказ по ВАТ „Укрнафта” № 169 від 18.06.2003 р.

### АНОТАЦІЯ

**Патра В.Д.** Удосконалення технологій фізико-хімічного діяння на нафтовий поклад і привибійну зону свердловини. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.15.06 – Розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Міністерства освіти і науки України, м. Івано-Франківськ, 2018 р.

Дисертацію присвячено вдосконаленню технологій фізико-хімічного діяння на нафтовий поклад і привибійну зону свердловини. Розроблені наукові основи проведення термохімічних реакцій на основі рідинних хімічних реагентів для отримання принципово нових технологій діяння на привибійну зону свердловини. Розроблено технологію вибіркової дії на привибійну зону пласта з метою інтенсифікації припливу вуглеводнів і ізоляції пластових вод. Розроблено принципово нову технологію дії на привибійну зону пласта з використанням порівняно дешевих, рідинних хімічних реагентів для підвищення продуктивності свердловин, а також технологію селективної дії на привибійну зону свердловини з використанням кристалосольватів.

**Ключові слова:** термохімічна дія, продуктивність, хімічні реагенти, неоднорідні пласти, оброблення привибійної зони пласта, кристалосольват.

### АННОТАЦИЯ

**Патра В.Д.** Усовершенствование технологий физико-химического воздействия на нефтяную залежь и призабойную зону скважины. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.15.06 – Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа Министерства образования и науки Украины г. Ивано-Франковск, 2018 г.

Диссертация посвящена усовершенствованию технологий физико-химического воздействия на нефтяную залежь и призабойную зону скважины. Разработаны научные основы проведения термохимических реакций на основе жидких химических реагентов для получения принципиально новых технологий воздействия на призабойную зону скважины. Разработано технологию избирательного воздействия на призабойную зону пласта с целью интенсификации притока углеводородов и изоляции пластовых вод. Разработано принципиально новую технологию воздействия на призабойную зону пласта с использованием сравнительно дешевых, жидких химических реагентов для повышения продуктивности скважин, а также технологию селективного воздействия на призабойную зону скважины с использованием кристаллосольватов.

**Ключевые слова:** термохимическое воздействие, продуктивность, химические реагенты, неоднородные пласти, обработка призабойной зоны пласта, кристаллосольват.

### ANNOTATION

**Patra V.D.** Improvement of technologies of physical and chemical action on the oil deposit and bottom-hole well zone. – On the manuscript.

Thesis of the Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) scientific degree gaining according to the major 05.15.06 – Development of Oil and Gas Fields. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas of the Ministry of education and science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2018.

The thesis is devoted to improvement of technologies of physical and chemical action on the oil deposit and bottom-hole well zone. Scientific fundamentals of carrying out thermochemical reactions on the basis of liquid chemical reagents to get fundamentally new technologies of action on the bottom-hole well zone have been developed. Technological principles of processes of intensification of development of oil fields have been developed on the basis of exothermic interaction of liquid chemical reagents directly in the formation.

Technologies by the use of thermochemical action on the bottom-hole formation zone on the basis of liquid chemical reagents have been developed and industrially introduced. The technology of selective action on the bottom-hole formation zone by the use of crystalline solvates has been researched and introduced.

The aim of the work is the increase of efficiency (technological and economic) of oil production by creation and introduction into industrial practice new technologies of action on the deposit and bottom-hole formation zone on the basis of expansion of the base of reagents (thermochemical reactions and chemical re-agents).

The technical and technological methods of increase of the efficiency of processes of oil production by the action on the deposit and bottom-hole formation zone using thermochemical and other effects have been analysed.

The technology of the use of oil-soluble reagents for forming the thermal fringe and mixed displacement of oil from formation has been developed. The use of flotaxid (heavy by-products as waste of the production of acetic anhydride) for the increase of oil recovery from the water flooded zones of formations has been researched.

For the first time the ability of oil-soluble flotaxid to interact exothermically with water solutions of alkalis has been experimentally and theoretically determined and researched. This makes possible the use of them for the increase of oil recovery from the water flooded volumes of deposit with complex combination of effects of the thermochemical and mixed displacement of oil in one technology that ensure the increase of oil recovery factor of 10 – 13 %.

Scientific fundamentals of carrying out thermochemical reactions on the basis of liquid chemical reagents to get fundamentally new technologies of action on the bottom-hole well zone have been developed.

The possibility of intra-formation forming of the thermal fringe by sequently pumped liquid chemical reagents at thermochemical action on the bottom-hole formation zone and deposit has been experimentally determined.

Physical and chemical effects have been experimentally discovered at the sequent pumping hydrochloric acid and ammonia hydroxide (sodium hydroxide as well) and formaldehyde and ammonia for thermochemical action on the bottom-hole formation zone.

For the first time the mechanism of change of permeability of quartz porous medium and forming the thermal fringe directly in the formation at the acid-alkaline action has been experimentally discovered.



The technology of selective action on the bottom-hole formation zone for intensification of inflow of hydrocarbons and shutoff of formation waters has been developed. Fundamentally new technology of action on the bottom-hole formation zone by the use of comparatively cheap, liquid chemical reagents for the increase of the productivity of wells, and also the technology of the selective action on the bottom-hole well zone by the use of crystalline solvates have been developed.

For the first time the ability of crystalline calcium chloride and water solution of diethylene glycol in conditions of the bottom of the well to form heat-resistant, mechanically strong and impermeable solvate structures has been researched. These structures could be used for the temporary shutoff of high-permeability channels (with the function of packer) before the selective physical and chemical action on the bottom-hole formation zone and gas and oil deposit.

**Keywords:** thermochemical action, productivity, chemical reagents, heterogeneous formations, treatments of bottom-hole formation zone, crystalline solvate.

Підписано до друку 27.04.2018. Формат 60x84/16. Папір офсетний.  
Друк різнографічний. Гарнітура Times New Roman. Авт. арк. 0, 9. Наклад 100.

Видавеш та виготівник «Симфонія форте»

76019, м. Івано-Франківськ, вул. Крайківського, 2, тел. (0342) 77-98-92

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців  
та виготівників видавничої продукції: серія ДК № 3312 від 12.11. 2008 р.