

550.832.5(043)
Н 16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

НАГОРНЯК РОМАН ІГОРОВИЧ



УДК 550.832+553.982.2

.5(043)

Н 16

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ОБВОДНЕННЯ
НАФТОГАЗОНАСИЧЕНИХ ПЛАСТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ГЕОФІЗИЧНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ СВЕРДЛОВИН

04.00.22 – Геофізика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Івано-Франківськ – 2015

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник:

- доктор геологічних наук, професор **Федоришин Дмитро Дмитрович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Міністерство освіти і науки України (м. Івано-Франківськ), завідувач кафедри геофізичних досліджень свердловин.

Офіційні опоненти:

- доктор геологічних наук **Кобольв Володимир Павлович**, Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України (м. Київ), головний науковий співробітник.

- кандидат геологічних наук **Кашуба Григорій Олексійович**, ТОВ “Надра інтегровані рішення” (м. Київ), 1-ий заступник генерального директора, головний геолог.

Захист відбудеться “27” травня 2015 р. о 11⁰⁰ – годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.01 у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

Автореферат розісланий “17” квітня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор геолого-мінералогічних наук,
професор



Кузьменко Е. Д.

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

Актуальність теми. Енергетична незалежність України обумовлює необхідність ретельного аналізу процесу вилучення вуглеводнів із продуктивних пластів нафтових та нафтогазоконденсатних родовищ. Оскільки більшість розвіданих родовищ нафти у нафтогазових регіонах України перебувають на пізніх стадіях розробки, для яких характерним є обводнення продуктивних пластів, що знижує коефіцієнт нафтовіддачі і зменшує загальний видобуток вуглеводнів. удосконалення контролю за процесом обводнення продуктивних пластів є актуальною задачею, розв'язання якої дозволить збільшити видобуток нафти.

Багато нафтових родовищ України представлені продуктивними відкладами, які характеризуються значною диференціацією колекторських і фізичних властивостей, а особливо фільтраційних параметрів порід-колекторів, що обумовлює складний характер їх обводнення. В цих умовах достовірність визначення петрофізичних параметрів продуктивних порід за результатами геофізичних досліджень свердловин знижується. Задача підвищення ефективності вилучення вуглеводнів із порід-колекторів складної будови пов'язана з удосконаленням системи інтерпретації геофізичної інформації для визначення параметрів, які дозволяють контролювати процес обводнення продуктивних пластів і ефективність вилучення вуглеводнів. Попри наявність широкого кола існуючих методик інтерпретації ГДС для аналізу та контролю характеру обводнення продуктивних пластів і удосконалення методичних основ обробки геофізичних даних наведена вище задача залишається актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Проведені автором дослідження є складовою частиною науково-дослідних робіт: №210904 "Вивчення ефективності заводнення Рибальського, Бугруватівського, Велико-Бубнівського, Анастасівського, Липово-Долинського, Перекопівського та Козіївського родовищ НГВУ "Охтирканафтогаз" за допомогою індикаторних рідин"; №510912 "Вивчення гідродинамічного зв'язку і швидкості фільтрації вод між нагнітальними і видобувними свердловинами родовищ НГВУ "Долинанфтогаз", що розробляються з ППТ"; №610925 "Вивчення гідродинамічного зв'язку і швидкості фільтрації між нагнітальними і видобувними свердловинами Старо-Самбірського і Орів-Уличного родовищ НГВУ "Бориславнафтогаз", за допомогою індикаторних рідин"; №710902 "Вивчення гідродинамічного зв'язку і швидкості фільтрації вод між нагнітальними і видобувними свердловинами родовищ НГВУ "Долинанфтогаз", що розробляються з ППТ".

Мета і задачі дослідження. Головною метою роботи є удосконалення методологічних основ обробки та інтерпретації геофізичних даних, що підвищать

an 2519

an 2518-an2519/МБА

достовірність оцінки характеру обводнення порід-колекторів.

Для досягнення мети необхідно було розв'язати такі задачі:

- дослідити розподіл нейтронних параметрів порід-колекторів за часом життя теплових нейтронів для соєнових відкладів;
- створити просторову модель розподілу часу життя теплових нейтронів у скелеті породи нафтонасичених пластів;
- розробити нову систему оцінки ступеня обводнення та контролю зміни насичення продуктивних пластів за результатами нейтронних методів;
- дослідити температурну характеристику соєнових відкладів у нагнітальних свердловинах у процесі закачування індикаторної рідини;
- створити методико-технологічну основу виділення локальних інтервалів надходження індикаторної рідини в пласти-колектори за результатами методу термометрії;
- розробити новий критерій оцінки достовірності виділення пропущених продуктивних пластів при переінтерпретації геофізичних матеріалів за результатами побудови фільтраційної моделі нафтового родовища;

Об'єкт дослідження. Менілітові, бистрицькі та вигодські продуктивні відклади Північно-Долинського нафтогазоконденсатного родовища, Долинського Пасічнянського нафтових родовищ, Бориславсько-Покутської зони Карпатського нафтогазоносного регіону.

Предмет дослідження. Фізичні та петрофізичні характеристики порід-колекторів, а також чинники, що впливають на процес їх обводнення.

Методи дослідження. Статистична обробка результатів лабораторних експериментальних досліджень зразків керна і комп'ютерна інтерпретація даних свердловинних геофізичних досліджень продуктивних порід літолого-стратиграфічних комплексів. Аналіз теоретичних і експериментальних моделей взаємозв'язків петрофізичних параметрів продуктивних відкладів. Теоретичне моделювання нейтронних властивостей гірських порід та розв'язання прямої задачі поширення теплового поля.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у підвищенні достовірності та якості методів контролю за процесом обводнення нафтонасичених порід-колекторів у процесі експлуатації родовищ, а саме:

- уперше встановлено показник ступеня обводнення палеогенових нафтоносних порід-колекторів Внутрішньої зони Передкарпатського прогину за розрахованим часом життя теплових нейтронів;
- набув подальшого розвитку спосіб виявлення локальних інтервалів надходження індикаторної рідини у продуктивні товщі за динамікою зміни теплового поля з метою виявлення шляхів їх заводнення;
- удосконалено оцінку достовірності виділення пропущених продуктивних

пластів на основі фільтраційної моделі, побудованої за даними геофізичних методів дослідження водонафтонасичених порід-колекторів.

Практичне значення одержаних результатів. Теоретичні положення і практичні висновки дисертаційної роботи реалізовуватимуться на пошукових площах і родовищах України, розрізи яких виповнені породами-колекторами складної будови.

Практичне застосування отриманих наукових результатів дасть змогу суттєво підвищити достовірність процесу контролю за обводненням продуктивних пластів-колекторів.

Особистий внесок здобувача. Автором дисертаційної роботи створено просторову модель розподілу часу життя теплових нейтронів у скелеті порід-колекторів Північно-Долинського нафтогазоконденсатного родовища. Запропоновано новий методологічний підхід до оцінки ступеня обводнення продуктивних пластів за результатами нейтронних методів дослідження свердловин.

Запропоновано методико-технологічну основу дослідження локальних інтервалів надходження індикаторної рідини у процесі її нагнітання методом термометрії. Розроблено фільтраційну модель нафтового родовища для аналізу достовірності виділення пропущених продуктивних пластів.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, викладених у дисертації, доповідались на наукових і науково-технічних конференціях, а саме: XV Міжнародному науковому симпозіумі імені академіка М.А. Усова студентів і молодих учених “Проблеми геології и освоения недр”, (м. Томськ (Росія), 2011);

V конференції молодих спеціалістів ПАТ “Укрнафта” (м. Івано-Франківськ, 2012); Міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика – 2013”, (м. Івано-Франківськ, 2013); VI конференції молодих спеціалістів ПАТ “Укрнафта” (м. Івано-Франківськ, 2014).

Публікації. За темою дисертації автором опубліковано 7 праць: наукових статей у фахових виданнях – 5, тез доповідей – 2 (з них одноосібних статей – 1, статей у науково-метричних виданнях – 1, тез доповідей без співавторів – 1).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано тему дисертаційної роботи, зазначено її мету, викладено основні завдання, визначено наукову новизну і практичну цінність виконаних досліджень, наведено дані про апробацію дисертаційної роботи, а також подано її загальну характеристику та структуру.

У **першому** розділі наведено інформацію про особливості обводнення продуктивних пластів у процесі їх розробки. Відсутність контролю динаміки обводнення продуктивних порід у пошукових інтервалах експлуатаційних свердловин обумовлює зниження ефективності видобування нафти. Розв'язок такої задачі на основі тільки промислової інформації неможливий, що пов'язано з неоднорідністю геолого-фізичних характеристик нафтогазонасичених покладів. Дослідження геологічної інформації на етапі її накопичення проводиться в межах аналізу геолого-промислових даних. Основні петрофізичні характеристики об'єкта розробки уточнюються за даними дослідження керну, з урахуванням результатів геофізичних та гідродинамічних досліджень свердловин. Для підвищення ефективності геофізичного контролю необхідно враховувати особливості геологічної будови нафтогазових родовищ та результати вимірювань з використанням стандартних і спеціальних методик дослідження у свердловині.

Питання використання геофізичних методів для контролю розробки і проектування оптимальної системи видобування вимагає результатів, отриманих у процесі спостережень за динамікою зміни параметрів розробки і досліджень геологічних чинників, що обумовлюють можливість прогнозування ефективності вилучення та можливого обводнення продуктивних пластів. Головним напрямком вирішення проблеми є аналіз та моделювання фізичних процесів, у яких відображається зв'язок петрофізичних і фізичних параметрів продуктивної товщі.

Для ефективності контролю за видобуванням вуглеводнів важливим завданням є прогнозування процесу їх вилучення з порового простору колектора нафти або газу, що, у свою чергу, потребує встановлення інтервалів, у межах яких можливе випереджуваче обводнення продуктивних пластів, а також виявлення прошарків, які не приймають участь у роботі пласта. Прогнозування необхідно проводити шляхом спрямованих режимних досліджень об'єкту вилучення за умов визначення поточних значень коефіцієнта насичення продуктивних пластів у функції часу. Головним джерелом інформації для проведення режимних досліджень є використання даних геофізичних досліджень свердловин.

У дисертації проведено ретельний аналіз застосування геофізичних методів дослідження свердловин, які проводяться з метою контролю за розробкою родовищ. Застосування нейтронних методів для виділення нафтоносних і водоносних колекторів в обсаджених свердловинах вперше було запропоновано та впроваджено

в СРСР видатними вченими Алексеевим Ф.А., Шимелєвичем Ю.С., Кожевниковим Д.А та іншими.

Метод нейтронного гамма-каротажу (НГК), який реагує на вміст хлору у пластовій воді, успішно використовується для дослідження міжфлюїдних контактів, особливо за умови високої мінералізації води (150-200 г/л). У цьому випадку інтенсивність гамма-випромінювання радіаційного захоплення теплових нейтронів у водоносній частині пласта суттєво відрізняється від інтенсивності у його нафтоносній частині. Для врахування впливу літологічних неоднорідностей колекторів на покази методу НГК під час контролю за переміщенням водонафтового контакту (ВНК) проводять контрольний замір в інтервалі досліджуваних порід після обсаджування свердловини. Це дає можливість більш впевнено відслідковувати границю переміщення ВНК у часі.

Застосування цього методу обмежене за наявності великої зони проникнення прісної фільтрату промивальної рідини в пласт, що пов'язано з малим радіусом дослідження зондів НГК. При значній неоднорідності колектора за пористістю, однозначне розчленування нафтоносних і водоносних інтервалів пластів нейтронним гамма-методом нерідко ускладнюється. В таких випадках необхідно використовувати комплекс методів НГК, а саме нейтрон-нейтронного каротажу (ННК) та імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу (ІННК).

Покази ІННК зазвичай визначаються часом життя теплових нейтронів τ_n , який, в свою чергу, залежить від присутності в гірській породі хімічних елементів з високим перетином захоплення теплових нейтронів. У геологічних розрізах нафтогазових свердловин такими хімічними елементами є хлор і меншою мірою калій та залізо. У водоносному пласті середнє значення часу життя теплових нейтронів (τ_n) менше, ніж в нафтоносному, що зумовлює збільшення декременту поглинання теплових нейтронів у водоносному пласті у порівнянні з нафтоносним.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню контролю за зміною насичення продуктивних порід-колекторів нафтових родовищ комплексом нейтронних методів (нейтронного гамма-каротажу, нейтрон-нейтронного та імпульсного нейтрон-нейтронного каротажів).

При розробленні комплексу геофізичних досліджень свердловин та виборі окремих методів, зокрема нейтронних, враховувалися чинники, які визначають фізичні та петрофізичні параметри порід, що відображаються у геофізичних полях. У результаті теоретичних та емпіричних досліджень обґрунтовано необхідність побудови нейтронної моделі розподілу часу життя теплових нейтронів у скелеті порід палеогенових відкладів внутрішньої зони Передкарпатського прогину на основі дослідження характеристик мінерального складу скелету порід продуктивних колекторів.

За результатами опису шліфів, на прикладі Північно-Долинського родовища,

встановлено мінеральний склад скелету породи еоценових і олігоценних відкладів та проведені розрахунки часу життя теплових нейтронів у скелеті. Розрахунки проводились за методиками Кожевнікова Д.А., Шимосівцем Ю.С., Козачка І.О. та інших вчених. За результатами розрахунків побудована просторова схема розподілу часу життя теплових нейтронів у скелеті порід Північно-Долинського родовища (рис. 1). Розроблена схема вказує на зміну часу життя теплових нейтронів у залежності від компонентного складу мінералів скелету породи. Врахування встановленої неоднорідності нейтронних параметрів скелету породи під час розрахунку насиченості продуктивних порід підвищить достовірність використання результатів методу ІННК при контролі за їх розробкою.

Для проведення контролю за динамікою зміни насичення пластів у період експлуатації родовища нами створено просторову схему розподілу часу життя теплових нейтронів при максимальному насиченні пластів. Результати вимірювань максимального насичення порід, які використовувались для побудови схеми, отримані за даними геофізичних досліджень у відкритому стовбурі свердловини. Апробація просторової схеми розподілу часу життя теплових нейтронів у породі для контролю за процесом насичення нами виконана на прикладі палеогенових відкладів Північно-Долинського родовища Бориславсько-Покутської зони Карпатської нафтогазоносною провінції.

У роботі запропоновано систему контролю за обводненням продуктивних пластів на основі результатів геофізичних досліджень методом імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу. Ступінь обводнення (ξ) визначається як відношення різниці часів життя теплових нейтронів у максимально насиченому пласті і вимірюваного у пласті конкретної свердловини до різниці часів життя теплових нейтронів у максимально насиченому та водонасиченому пластах:

$$\xi = \frac{\tau_{mi}^{sp} - \tau_{mi}^{nm}}{\tau_{mi}^{sp} - \tau_{mc}^{nm}}, \quad (1)$$

де τ_{mi}^{sp} – час життя теплових нейтронів у гранично насиченому продуктивному пласті;

τ_{mi}^{nm} – час життя теплових нейтронів у продуктивному пласті з поточним насиченням;

τ_{mc}^{nm} – час життя теплових нейтронів у водонасиченому пласті.

Величина (ξ) ступеня обводнення продуктивного пласта змінюється від нуля до одиниці ($0 < \xi < 1$). Значення, що відповідає одиниці, вказує на повністю обводнений продуктивний пласт, а менше одиниці – вказує на відповідну ступінь його обводнення.

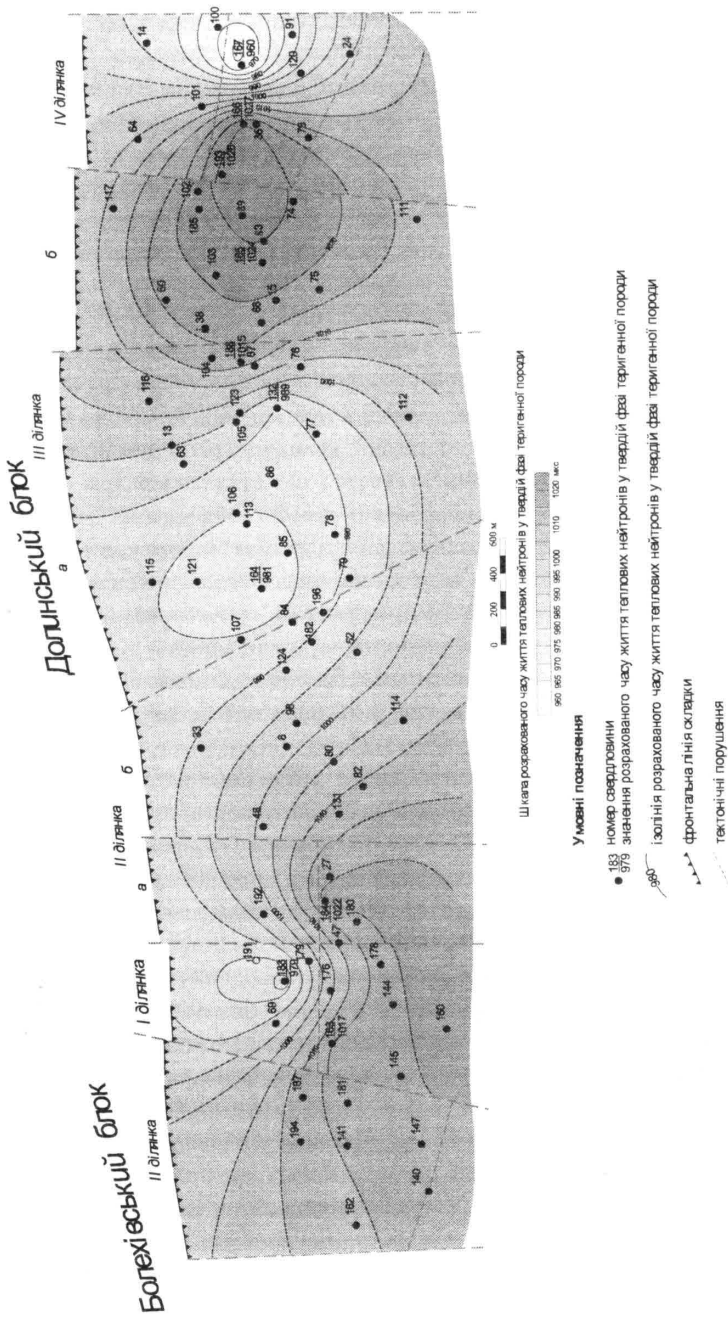


Рисунок 1 – Схема розподілу розрахованих значень часу життя теплових нейтронів у твердій фазі продуктивних вугідських відкладів Північно-Долінського родовища

Для спостереження за динамікою обводнення геологічного розрізу порід із значною мінеральною неоднорідністю нами пропонується ще один підхід з використанням відносного параметра $S = \tau_n^H / \Delta M_{nr}$, де ΔM_{nr} – параметр, що вказує на вміст водню в середовищі, тобто враховує об'єм порового простору породи і визначається за результатами НГК. Для контролю за зміною насичення вводимо поняття різницевого параметра (Δ_{nr}):

$$\Delta_{nr} = S_{max}^H - S_{пот}, \quad (2)$$

де S_{max}^H – відносний параметр, який розраховується на початковій стадії розробки за умови максимального насичення пластів;

$S_{пот}$ – відносний параметр для поточного насичення.

Якщо значення різницевого параметра рівне нулю ($\Delta_{nr}=0$), то продуктивний пласт буде максимально насичений, за умови коли ($\Delta_{nr}>0$) – відбувається обводнення пластів.

Отже, провівши комплексне дослідження процесів обводнення методом імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу за тепловими нейтронами та за допомогою побудованих схем розподілу часу життя теплових нейтронів у скелеті породи і у максимально насиченому пласті, можна в просторовому варіанті визначати динаміку характеру обводнення продуктивної товщі в цілому.

У **третьому** розділі наведено результати дослідження особливостей контролю процесу обводнення нафтонасичених пластів геофізичними методами за умов використання методики підтримання пластового тиску.

Оскільки велика кількість родовищ України перебуває на пізній стадії експлуатації, характерним для них є розробка нафтового покладу шляхом його заводнення з метою підтримання пластового тиску. Однак заводнення продуктивних товщ часто супроводжується некерованими проривами води в більш проникні прошарки геологічного розрізу, що призводить до утворення промитих зон та зон, що не охоплені заводненням.

Досягнути максимального ступеня видобування вуглеводнів у цьому випадку можна шляхом вивчення геологічної будови та встановлення міжсвердловинної неоднорідності проникності порід розрізу.

Одним з найефективніших методів вивчення гідродинамічного зв'язку між нагнітальними та видобувними свердловинами є метод індикаторних досліджень, технологія якого включає: вибір об'єкта дослідження (блок видобувних та нагнітальних свердловин); розрахунок необхідної кількості індикатора; закачування індикатора у нагнітальну свердловину та спостереження за зміною концентрації індикатора в видобувних свердловинах за результатами проведених лабораторних експериментальних вимірювань.

Під час інтерпретації результатів індикаторних досліджень трапляються випадки, коли в пробах продукції із видобувних свердловин, що теоретично мали б прореагувати на той чи інший реагент, індикатор не виявлено. Це явище може мати безліч як геологічних, так і технологічних пояснень. У дисертаційній роботі це явище пояснюється тим, що індикаторна рідина не потрапляє у пропластки, які можуть працювати на витіснення вуглеводів. Виявлення таких пропластків підвищить ефективність видобування вуглеводнів.

Нами пропонується вирішити дану проблему, використовуючи результати термометрії свердловин, а саме: вперше пропонується проведення температурних вимірів параметрів зміни теплового поля в розрізі свердловини в динамічному режимі, який передбачає спостереження зміни температурних аномалій відкладів геологічного розрізу в часі після припинення нагнітання індикаторної рідини.

Закачування індикаторної рідини супроводжується процесами теплообміну між свердловиною та породою. Характер теплообмінних процесів у свердловині значною мірою залежить від петрофізичних та температурних параметрів порід-колекторів, які впливають на теплове поле в інтервалах продуктивності, що утворене шляхом нагнітання рідини у свердловину.

У роботі проведені дослідження зв'язків теплопровідності з фізичними і фільтраційно-смісними параметрами гірських порід. Процес розповсюдження температури у свердловині обумовлений кондуктивним та конвективним способами передачі тепла. Багато авторів (Черемеський Г. А., Вахітов Г. Г., Валиуллін Р. А. та ін.) доводять, що у свердловинах вплив конвекційної передачі тепла незначний і його можна не враховувати при встановленні величини теплового поля літолого-стратиграфічних комплексів. Нами проведено експериментальні дослідження впливу конвекції на передачу тепла, утвореного локальним джерелом теплової енергії, результати яких дозволяють підтвердити несуттєвий вплив конвекції на перенесення тепла. Із рисунку 2 видно, що під час другого заміру температура пласта зменшилась, однак форма кривої є майже симетричною відносно середини аномалії, що вказує на кондуктивний спосіб передачі тепла. Конвекційна складова відсутня. Встановлені особливості перенесення тепла дозволяють під час інтерпретації підвищити достовірність виділення локальних інтервалів поглинання індикаторної рідини в розрізі свердловини.

Для обґрунтування розподілу температури у відкладах геологічного розрізу, після припинення нагнітання води, нами проведено розрахунки форми температурних кривих у випадку додатної і від'ємної аномалії, та у випадку зіставлення результатів вимірювань температури у двох суміжних пластах. За результатами цього проведено розрахунки форми температурних кривих за умови різних початкових температур та об'ємів флюїду, що нагнітають.

4. Пропускання продуктивних пластів у розрізах свердловин, представлених складнобудованими колекторами, що вимагає вирішення методико-технологічних проблем проведення геофізичних досліджень і побудови фізико-геологічної моделі геологічного середовища на основі фізичних параметрів пластів, які вимірюються у свердловині.

З метою виявлення пропущених продуктивних пластів переінтерпретація геофізичного матеріалу проводиться регулярно.

У даному напрямку наша задача полягає у розробленні критерію достовірності визначення пропущених продуктивних інтервалів при переінтерпретації геофізичного матеріалу.

Для визначення розбіжності реальних і розрахованих дебітів роботи продуктивних пластів у свердловині нами приймається критерій оцінки достовірності виявлення пропущених пластів - показник (A):

$$A = Q'' - Q' , \quad (3)$$

де Q'' і Q' - реальні і розраховані дебіти свердловини, у якій виявлено пропущений пласт.

Q' розраховується за інформацією побудованої фільтраційної моделі продуктивних відкладів родовищ без врахування пропущених пластів за формулою Дюпюї:

$$Q' = \frac{2\pi K_{\Sigma} H (P_{nt} - P_w)}{\mu \ln \frac{R_k}{r}} , \quad (4)$$

де μ - динамічна в'язкість рідини;

P_{nt} - пластовий тиск;

P_w - вибійний тиск;

R_k - радіус контуру живлення;

r - радіус свердловини в інтервалі продуктивних пластів;

H - товщина пласта;

$K_{\Sigma}^{\text{пр}}$ - інтегральна проникність порід в інтервалі перфорації.

Значення критерію A вказує на достовірність виявлення пропущених пластів. Якщо $A > 0$, то імовірність виділення продуктивного пласта висока, при $A \leq 0$ імовірність виділення пластів дуже мала.

Така постановка задачі вимагає ретельного аналізу геофізичної інформації та адаптації методики побудови фільтраційної моделі до конкретної площі за геофізичними даними. У дисертаційній роботі проведено аналіз існуючих методик побудови фільтраційної моделі родовища.

Методологічний підхід для оцінки достовірності виявлення пропущених пластів пропонується на прикладі палеогенових відкладів Пасічнянського нафтового родовища.

Нами проведено аналіз зв'язку коефіцієнтів проникності та пористості палеогенових відкладів Пасічнянського, Битківського та сукупної колекції зразків порід кам'яновугільних відкладів родовищ ДДЗ. На Пасічнянському нафтовому родовищі використана наша методика визначення коефіцієнта проникності за емпіричною залежністю, яка описується рівнянням:

$$K_{np} = \varphi [K_n, \rho_m, C(\chi(D_p))], \quad (5)$$

де ρ_m – питомий опір пласта;

C – коефіцієнт залежності, обумовлений геометрією порового простору;

K_n – коефіцієнт пористості;

$\chi(D_p)$ – функція відносного параметра, який визначає частку дисперсної глинистої фракції в поровому просторі породи.

Інформація про частку дисперсної фракції та об'єм порового простору отримана за результатами вимірювань відкладів у розрізі свердловин методами гамма-каротажу і нейтронного гамма-каротажу.

Для визначення коефіцієнта C використано результати гідродинамічних досліджень на родовищах, що експлуатують. Значення C при визначенні коефіцієнта проникності забезпечує мінімальну різницю розрахованого за геофізичними даними та визначеного за результатами гідродинамічних досліджень коефіцієнта проникності. На наш погляд, розглянутий шлях побудови фільтраційної моделі для складних геолого-петрофізичних умов Пасічнянського родовища є найбільш оптимальним і достовірним.

Побудова фільтраційної моделі продуктивних палеогенових відкладів Пасічнянського родовища з використанням геофізичних даних у площинному варіанті подається у вигляді схеми повздовжніх і поперечних профілів проникності (рис. 3, 4). Отримана фільтраційна модель дає змогу обґрунтувати теоретично розраховані дебіти свердловин, в яких проводиться оцінка достовірності визначення пропущених продуктивних пропластків під час переінтерпретації геофізичної інформації. Визначені значення критерію A дозволили встановити достовірність виділення пропущених пластів у процесі переінтерпретації результатів ГДС.

Дана технологія контролю може бути застосована в ході ревізії старих даних геофізичних досліджень на родовищах, що знаходяться на пізній стадії розробки.

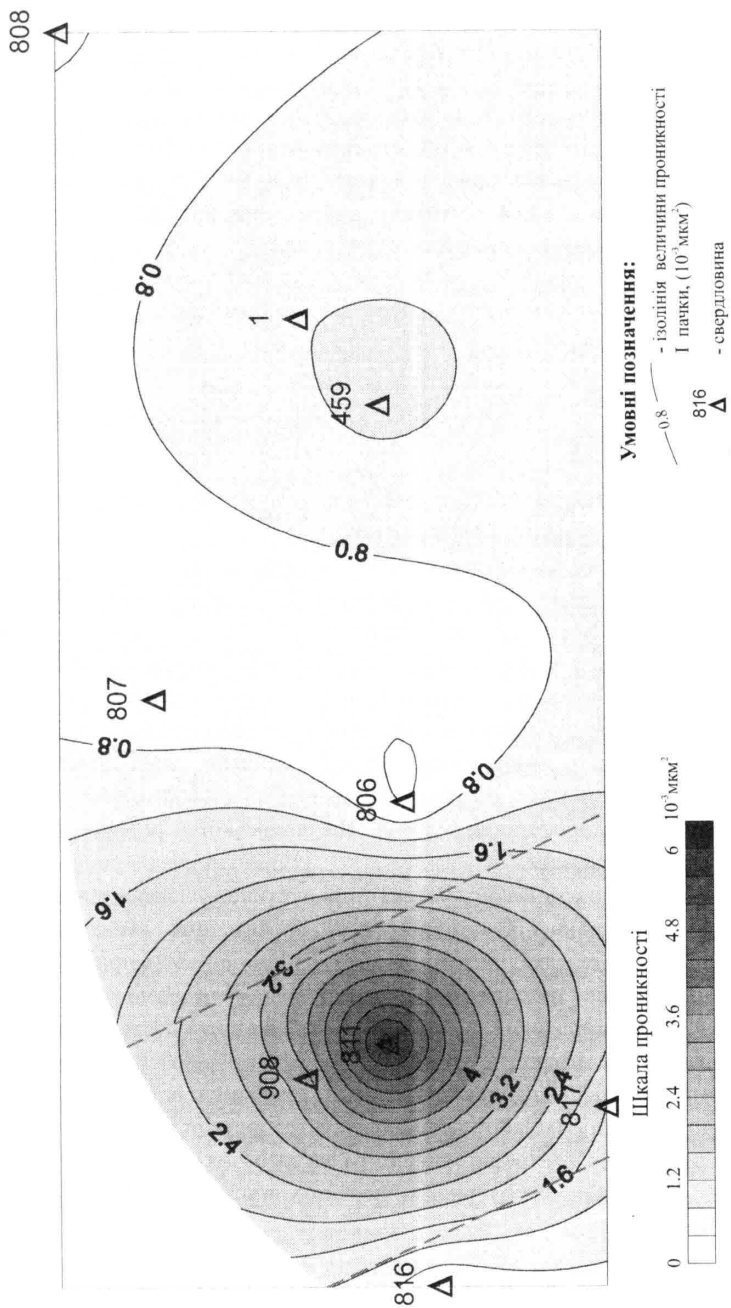


Рисунок 3 – Схема проникності I продуктивної пакки Пасічнянського нафтового родовища

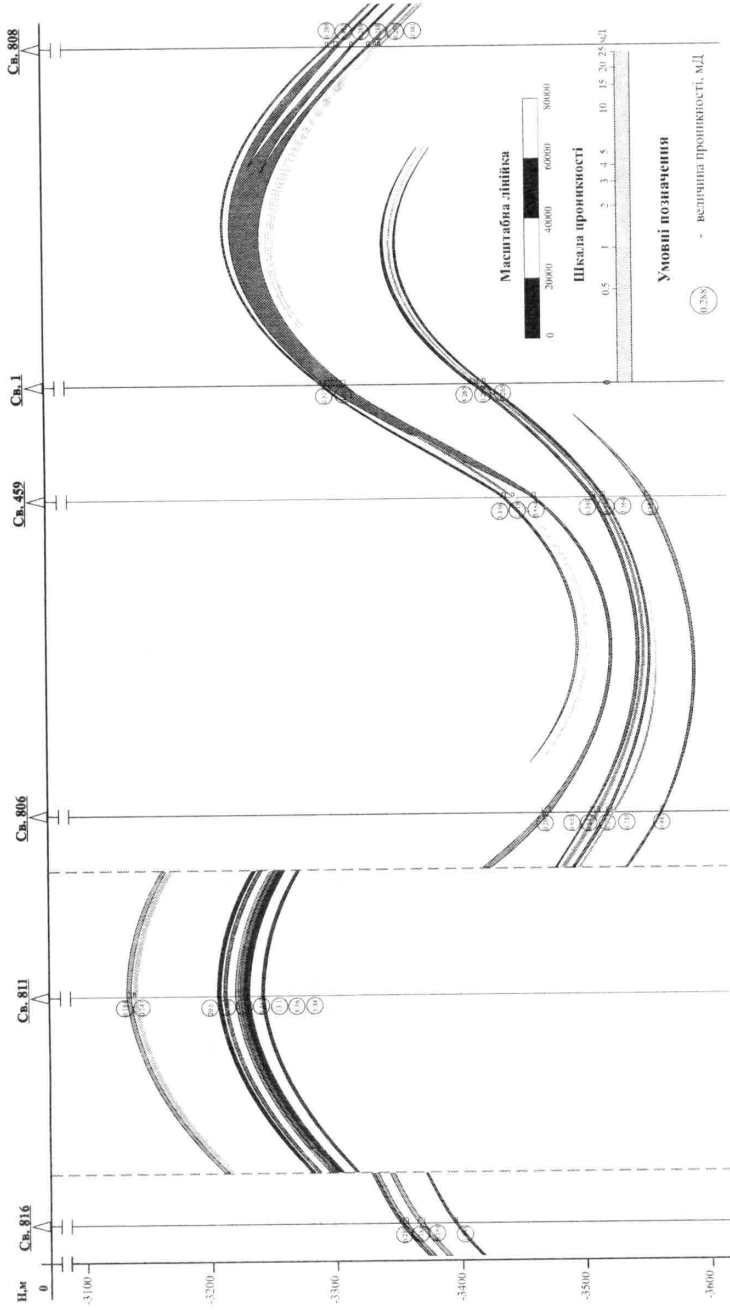


Рисунок 4 – Профіль проникності середньоменілітового продуктивного горизонту Пасічнянського нафтового родовища по лінії свердловин №816, №811, №806, №459, №1, №808.

ВИСНОВКИ

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, науково і практично обґрунтовано актуальну проблему, пов'язану із обводненням продуктивних порід-колекторів. За результатами досліджень кернавого матеріалу, обробки та інтерпретації великого об'єму матеріалів геофізичних досліджень свердловин, удосконалено методико-технологічні підходи до оцінки контролю та спостереження за процесом обводнення нафтових і газових пластів. Головні результати даної роботи можна сформулювати у формі наступних тверджень:

1. На основі аналізу мінеральної характеристики продуктивних вигодських відкладів Північно-Долинського родовища та їх компонентного складу досліджено розподіл нейтронних властивостей у скелеті породи за часом життя теплових нейтронів.

2. За результатами розподілу нейтронних параметрів палеогенових відкладів створено просторову модель часу життя теплових нейтронів у матриці нафтонасичених порід, яка дозволяє враховувати неоднорідність їхніх нейтронних властивостей під час інтерпретації результатів імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу.

3. Досліджено нейтронні характеристики гранично насичених і обводнених пластів. За результатами дослідження свердловин нейтронними методами запропоновано параметр оцінки ступеня обводнення покладів та контролю зміни насичення продуктивних пластів у процесі їх розробки.

4. Досліджено температурні характеристики палеогенових відкладів у процесі нагнітання індикаторної рідини в пласт та встановлено петрофізичні зв'язки температурних і колекторських властивостей порід-колекторів. За результатами інтерпретації даних гермометрії показано, що оптимальний розподіл температури в нагнітальній свердловині може встановлюватись тепловими параметрами рідин, що нагнітають.

5. За результатами температурних досліджень свердловин у динамічному режимі створено методико-технологічну основу виявлення локальних інтервалів надходження індикаторної рідини у породи-колектори продуктивної товщі, яка дає змогу збільшувати достовірність контролю міжсвердловинної проникності індикаторного реагенту в пласти.

6. Створено фільтраційну модель олігоценівих відкладів Пасічнянського нафтового родовища, яка є основою для встановлення критерію оцінки достовірності виділення пропущених продуктивних пластів-колекторів у процесі переінтерпретації результатів геофізичних досліджень свердловин.

Отримані в дисертації наукові і практичні результати є основою комплексного підходу до вирішення проблеми оцінки процесу обводнення продуктивних пластів

нафтогазових родовищ. Отримані результати є науково обґрунтованими, базуються на великій кількості фактичного матеріалу і апробовані в процесі інтерпретації результатів ГДС на родовищах Карпатського нафтогазоносного регіону. Окремі результати отримані на основі експериментальних досліджень у свердловині.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Федоришин Д. Д. Застосування індикаторних та геофізичних досліджень свердловин на родовищах, що розробляються з підтриманням пластового тиску / Д. Д. Федоришин, **Р. І. Нагорняк** // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ. – 2013. – № 3(48). – С. 77-83. *(Особистий внесок – формування завдання, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, формування висновків. Участь автора – 50 %)*

2. **Нагорняк Р. І.** Обґрунтування можливостей методу термометрії при контролі обводнення нафтонасичених пластів за умов впровадження підтримки пластового тиску / **Р. І. Нагорняк**, В. А. Старостін, Я. М. Коваль // Нафтогазова енергетика. – Івано-Франківськ. – 2014. – № 1(21). – С. 38-47. *(Особистий внесок формування завдання, встановлення взаємозв'язків між геологічними і геофізичними параметрами. Участь автора – 50 %).*

3. **Нагорняк Р. І.** Характеристика теплового поля нагнітальних свердловин при дослідженні обводнення продуктивних відкладів / **Р. І. Нагорняк** // Сборник научных трудов Sword.– Иваново: Маркова АД, 2014 – Выпуск 1. Том 32. – 21-26.

4. Старостін В.А. Фільтраційна модель нафтогазових родовищ як критерій контролю виявлення пропущених продуктивних інтервалів / В. А. Старостін, **Р. І. Нагорняк** // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. №1(50). – С. 140-150. *(Особистий внесок – аналіз попередніх досліджень, формування завдання, проведення досліджень. Участь автора – 50 %).*

5. **Нагорняк Р. І.** Дослідження залишкового водонасичення продуктивних порід методами нейтронного каротажу / **Р. І. Нагорняк**, В. А. Старостін // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ. –2014. – № 4(54). С. 140-150. *(Особистий внесок – обробка результатів геофізичних досліджень свердловин, побудова схем розподілу часу життя теплових нейтронів у породі. Участь автора – 50 %).*

6. **Нагорняк Р.И.** Применение геофизических методов исследований скважин при контроле за разработкой месторождений / **Р.И. Нагорняк** // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, (г. Томськ (Россия), 4-9 апреля 2011 г). – Томск: ТПУ. – 2011. – Том I. С. 344-345.

7. **Нагорняк Р.І.** Використання фільтраційних моделей з метою виявлення

пропущених інтервалів / **Р. І. Нагорняк**, В. А. Старостін, І. О. Федак // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика – 2013», (м. Івано-Франківськ, 7-11 жовтня 2013). – Івано-Франківськ: вид-во ІФНТУНГ, – 2013. С. 362-365. *(Особистий внесок – аналіз попередніх досліджень, обробка отриманих даних, узагальнення основних результатів. Участь автора - 40 %).*

АНОТАЦІЯ

Нагорняк Р. І. Удосконалення методів контролю обводнення нафтогазонасичених пластів за результатами геофізичних досліджень свердловин. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – “Геофізика”. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2015.

У дисертаційній роботі вирішується ряд важливих проблем, які виникають під час контролю за розробкою родовищ із застосуванням геофізичних методів досліджень свердловин.

З урахуванням петрофізичної характеристики порід обґрунтовано ефективність використання імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу при вивченні характеру обводнення продуктивних відкладів. Для проведення ефективного контролю за ступенем обводнення побудовано просторові схеми зміни часу життя теплових нейтронів у скелеті породи-колектора та у випадку його максимального насичення (на прикладі Північно-Долинського родовища).

Встановлено коефіцієнт оцінки ступеня обводнення продуктивних пластів за результатами вимірювання часу життя теплових нейтронів у процесі експлуатації. Також пропонується застосування різницевого параметра для спостереження за динамікою обводнення продуктивних порід з використанням відносного параметра, який враховує об'єм порового простору за результатами методу нейтронного гамма-каротажу.

Досліджено температурні характеристики продуктивних відкладів у нагнітальних свердловинах у процесі закачування індикаторної рідини.

Розроблено методико-технологічну основу виділення локальних інтервалів приймальності нагнітальних свердловин у випадку застосування термометрії в динамічному режимі проведення вимірювань.

Побудовано фільтраційну модель Пасічнянського родовища за даними геофізичних досліджень свердловин.

Удосконалено оцінку достовірності виділення пропущених продуктивних пластів за допомогою введеного критерію, що базується на визначенні розбіжності між реальними та розрахованими за фільтраційною моделлю дебітами. З цією метою

за даними геофізичних досліджень свердловин побудовано детальну фільтраційну модель палеогенових відкладів менілітової світи Пасічнянського нафтового родовища.

Ключові слова: геофізичні дослідження свердловин, фільтраційно-ємнісні властивості, структура порового простору, імпульсний нейтрон-нейтронний каротаж, індикаторний метод, обводнення продуктивних покладів, фільтраційна модель, термометрія.

АННОТАЦІЯ

Нагорняк Р.И. Совершенствование методов контроля обводнения нефтегазонасыщенных пластов по результатам геофизических исследований скважин. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.22 – "Геофизика". – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2015.

В диссертационной работе решается ряд важных задач, возникающих при контроле за разработкой месторождений с применением геофизических методов исследований скважин.

Обоснована необходимость использования импульсного нейтрон-нейтронного каротажа с учетом петрофизической характеристики пород при изучении процессов обводнения продуктивных отложений. Для повышения эффективности контроля по степени обводнения, построены пространственные схемы изменения времени жизни тепловых нейтронов в скелете породы-коллектора и при его максимальном насыщении (на примере Северо-Долинского месторождения).

Установлен коэффициент оценки степени обводнения продуктивных пластов по результатам измерения времени жизни тепловых нейтронов при разработке. Также предлагается применение разностного параметра для наблюдения за динамикой обводнения с использованием относительного параметра, учитывающего объем порового пространства по результатам нейтронного гамма-каротажа.

Одним из самых надежных методов изучения гидродинамической связи между нагнетательными и эксплуатационными скважинами является индикаторный (трассерный) метод исследования, который, однако, не всегда позволяет определить гидродинамические связи между скважинами в сложнопостроенных породах-коллекторах. Главным вопросом является изучение приемистости отдельных пластов продуктивной толщи. Теоретически и экспериментально исследованы температурные характеристики продуктивных отложений скважин при закачке индикаторной жидкости.

Разработана методико-технологическая основа выделения локальных

интервалов приемистости нагнетательных скважин при применении термометрии в динамическом режиме измерения. Решение задачи исследования принимающих индикаторную жидкость пластов позволяет эффективно проводить контроль межскважинной проницаемости месторождения.

На завершающей стадии разработки скважин актуальной является проблема переинтерпретации старых геофизических материалов с применением новых методических подходов к выделению пропущенных продуктивных пластов. Выявление пропущенных пластов позволяет увеличить добычу углеводородов. В работе разработан критерий оценки достоверности выделения пропущенных пластов при переинтерпретации геофизических материалов исследований скважин. Критерий основан на исследовании реально полученных дебитов скважин в процессе эксплуатации и рассчитанных. Для расчета дебита скважины с учетом выявленных пропущенных пластов по данным геофизических исследований скважин построена детальная фильтрационная модель Пасичнянского месторождения. По фильтрационной модели в трехмерном пространстве проведена корреляция продуктивной толщи с учетом фильтрационной характеристики пластов.

Предложенный методический подход к оценке достоверности выделения пропущенных продуктивных интервалов в сложностроенных породах-коллекторах может быть использованы на других нефтяных месторождениях Украины.

Ключевые слова: геофизические исследования скважин, фильтрационно-емкостные свойства, структура порового пространства, импульсный нейтрон-нейтронный каротаж, индикаторный метод, обводнение продуктивных залежей, фильтрационная модель, термометрия.

ABSTRACT

Nagorniak R.I. Improved methods of flooding control in oil and gas saturated layers by using the results of geophysical logging. - Manuscript.

Dissertation for the scientific degree candidate of geological sciences, specialty 04.00.22 - "Geophysics". - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, c. Ivano-Frankivsk, 2015.

In dissertation work solve some important problems that arise in control over the development of deposits using geophysical logging.

Substantiated considering the petrophysical properties of rocks, the effectiveness of pulse neutron-neutron log in studying the nature of flooding productive deposits. For the effective control of the flooding degree schemes constructed the spatial schemes of changes in the lifetime of thermal neutrons in the skeleton rock-collector and at its maximum saturation (for example, North Dolynske field).

Established coefficient assessing the degree of flooding productive layers based on measurement the lifetime of thermal neutrons during developing. Also propose to use the difference parameter for monitoring the dynamics of flooding in productive rocks using the relative parameter that takes into account the volume of pore space according to the method of neutron gamma logging.

It's studied the temperature characteristics of productive deposits in injection wells during the pumping process of fluid indicator.

Developed methodological and technological basis for the selection local acceptance intervals in injection wells by application the thermometry in a dynamic mode of measurement.

There is constructed the filtration model of Pasichnianske field according to the geophysical logging.

Improved assessment of the reliability allocation productive layers that was missed by using the entered criteria witch based on the definition of discrepancies between real and calculated (by filtration model) debits. For this purpose built a detailed filtration model of Paleogenesedimentsmeniliteformation of Pasichnianske oil field according to geophysical logging.

Keywords: geophysical logging, filtration and capacitive properties, the structure of the pore space, pulse neutron-neutron logging, indicated method, flooding of productive deposits, filtration model, thermometry.