

# Техніка і технології

УДК 622.276.43

## КЛАСИФІКАЦІЯ І ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗАВОДНЕННЯ

Д.О. Вольченко

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195,  
e-mail: public@nuing.edu.ua

*Розглядається класифікація систем заводнення, встановлено основні чинники, що впливають на інтенсивність системи заводнення. Виконано порівняльний аналіз систем заводнення.*

Ключові слова: технологія розробки, заводнення, показники розробки, схеми розміщення свердловин, ефективність системи заводнення.

*Rассматривается классификация систем заводнения, установлены основные факторы, влияющие на интенсивность системы заводнения. Произведен сравнительный анализ систем заводнения.*

Ключевые слова: технология разработки, заводнение, показатели разработки, схемы размещения скважин, эффективность системы заводнения.

*There is the considered classification of the systems of waterflood in the article, set basic factors which affect intensity of the system of waterflood. Executed comparative analysis of the systems of waterflood.*

Keywords: technology of development, waterflood, indexes of development, charts of placing of mining holes, efficiency of the system of waterflood.

Природна пластова енергія не завжди забезпечує повноту відбирання нафти і потрібну інтенсивність розробки родовищ. Для отримання більш високих значень коефіцієнтів нафтовіддачі і досягнення необхідних темпів вилучення нафти з надр на сьогоднішній день широко застосовуються методи підтримання пластового тиску шляхом нагнітання у поклад води або газу. Нагнітання води у пласт не тільки інтенсифікує процес розробки родовища, але й забезпечує найбільший коефіцієнт нафтовіддачі.

Заводнення нафтових покладів з його різновидами – це основний метод дії на нафтові пласти з метою вилучення з них нафти. Заводнення є основною технологією розробки нафтових родовищ.

Необхідно зауважити, що у перші роки розробки нафтових покладів із застосуванням заводнення ставилось єдине завдання – забезпечити підтримання пластового тиску і не допускати розгазування нафти у пласті. Пізніше було встановлено, що шляхом заводнення можна вирішувати і багато інших завдань з раціональної розробки нафтових родовищ. У результаті накопичення досвіду проектування і розробки нафтових родовищ стало зрозуміло, що

ступінь заводнення нафтового пласта визначає основні технологічні й економічні показники розробки нафтового родовища. Багаторічний досвід впровадження цього методу довів його високу ефективність як на нових, так і на виснажених родовищах з однорідними і неоднорідними колекторами за низької та підвищеної в'язкості нафти.

Досвід проектування і узагальнення досвіду розробки нафтових родовищ при водонапірному режимі свідчить, що під час розрахунку процесу заводнення і визначення технологічних показників необхідно враховувати, у першу чергу, такі чинники: зональну і пошарову неоднорідність фізико-геологічних властивостей пласта (проникність, пористість, початкову нафтонасиченість і коефіцієнт витіснення); різну рухливість нафти і води; початкові водонафтові зони; характер розкриття пластів в експлуатаційних свердловинах; особливості кінематики потоку рідини, що зумовлені режимом її відбору через систему свердловин.

Основними технологічними показниками розробки нафтового покладу є:

1) активність системи заводнення нафтового покладу;

- 2) темп видобутку нафти і рідини відносно запасів нафтового покладу;
- 3) густина мережі експлуатаційних свердловин;
- 4) кінцева нафтовіддача пласта.

Зазначені технологічні показники, в основному, визначають технологічну й економічну ефективність експлуатації нафтового родовища. Необхідно зауважити, що ці показники тісно пов'язані між собою. Так, система заводнення пласта і щільність мережі експлуатаційних свердловин значною мірою визначають темп видобутку нафти і кінцеве нафтовилучення.

Технологічні показники розробки нафтових родовищ значною мірою залежать від геолого-фізичної характеристики нафтового покладу. Однак, компонуючи різні елементи системи розробки нафтового покладу, можна суттєво вплинути на величину технологічних показників розробки нафтових родовищ, домагаючись їх високих значень, навіть за дуже несприятливих геолого-фізичних умов. Таким чином, вдається компенсувати низьку продуктивність пласта більш активною (інтенсивною) системою розробки нафтового покладу.

Найбільше впливають на темп видобутку нафти з покладу проникність пласта, в'язкість нафти у пластових умовах і перервність будови продуктивного пласта. Тому доцільно ввести поняття умовного темпу відбору

$$z_0 = \frac{z\mu_n}{k\xi}, \quad (1)$$

де:  $z$  – максимальний  $z_{\max}$  або середній  $z_{\text{ср}}$  темп відбору нафти або рідини відносно вилучуваних запасів нафти, виражених у частках одиниці;  $\mu_n$  – в'язкість нафти в пластових умовах, Па·с;  $k$  – проникність колектора,  $\text{м}^2$ ;  $\xi$  – коефіцієнт дії, який є характеристикою ступеня перервності продуктивного пласта.

Слід зауважити, що товщина пласта мало впливає на темп відбору нафти відносно запасів, оскільки, якщо дебіти свердловин є прямопропорційними товщині пласта, то аналогічно пропорційні товщині і запаси нафти, що містяться в ньому.

Умовний темп відбору є досить повною характеристикою активності або інтенсивності системи розробки нафтового покладу. Активність або інтенсивність системи розробки нафтового покладу визначається, головним чином, трьома елементами системи розробки: активністю системи заводнення нафтового покладу; градієнтом тисків, за яких ведеться розробка нафтового покладу, і щільністю мережі свердловин.

Вивчення досвіду розробки нафтових родовищ, а також теоретичні і експериментальні дослідження свідчать, що перебіг процесу заводнення залежить від таких основних чинників:

- 1) різницею між в'язкостями нафти і води;
- 2) наявності початкових водонафтових зон;
- 3) неоднорідності геолого-фізичних властивостей пластів;
- 4) особливостей руху рідини у системі свердловин;

- 5) системи дії на пласт;
- 6) умов експлуатації свердловин;
- 7) розчленованості пласта майже непроникними глинистими (або ущільненими) пропластками;
- 8) перервності пласта;
- 9) ступеня розкриття пласта у свердловинах.

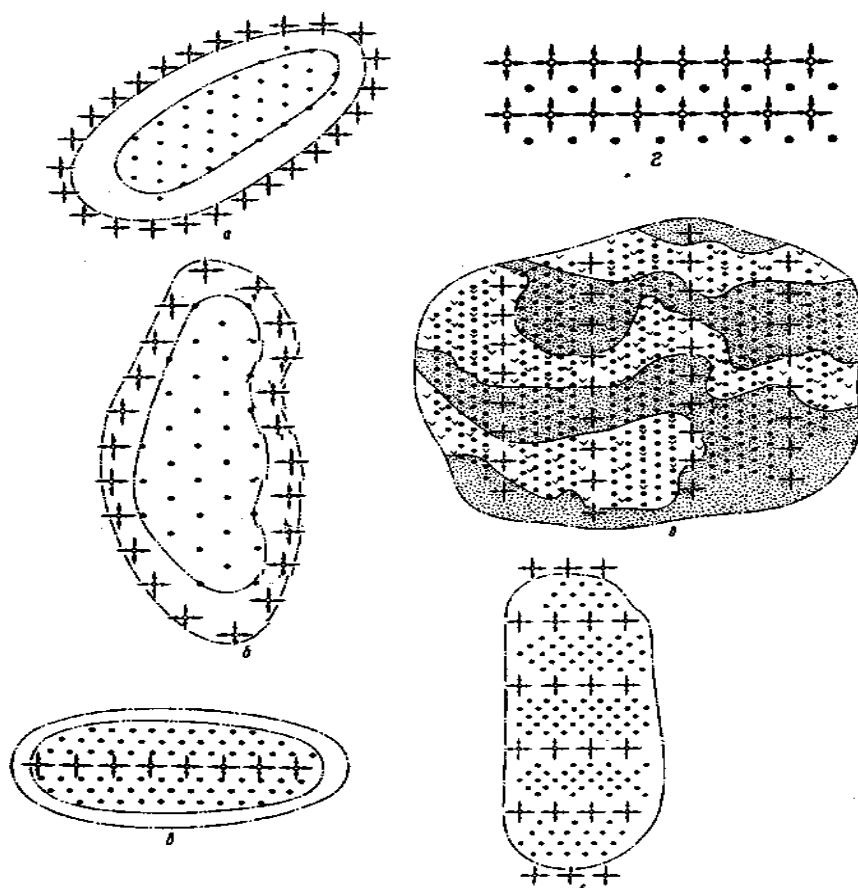
Градієнт тисків, за якого ведеться розробка нафтового покладу, визначається перепадом між вибійними тисками у нагнітальних свердловинах і вибійними тисками в експлуатаційних свердловинах внутрішніх експлуатаційних рядів. Слід зауважити, що значення градієнта тисків зазвичай обмежується геолого-фізичною характеристикою покладу або технологічними умовами експлуатації нагнітальних і експлуатаційних свердловин.

Збільшення кількості експлуатаційних свердловин (збільшення щільності мережі свердловин) також підвищує активність (інтенсивність) системи розробки нафтового покладу, однак за наявності великої кількості свердловин ефективність подальшого збільшення її кількості є вельми невисокою. Тобто цей метод підвищення активності системи розробки нафтового покладу нерідко є малоефективним, потребує значних капіталовкладень, і його використання часто-густо виявляється економічно невіправданим.

Під час вибору технологічних параметрів, що відповідають умовам раціональної розробки, необхідно правильно враховувати вплив взаємного розміщення видобувних і нагнітальних свердловин та інших реальних умов фільтрації рідин в неоднорідних пластах на процес заводнення.

Для родовищ з різними фізико-геологічними умовами створено великий комплекс систем дії на пласти методом заводнення. Залежно від розміщення водонагнітальних свердловин розрізняють різні системи заводнення, які розглянуті у працях [1, 2, 3] (рис. 1). Ці системи заводнення знайшли широке використання, і згідно з класифікацією заводнення залежно від розміщення нагнітальних свердловин відносно початкового контура нафтоносності їх можна поділити на: законтурне, приконтурне, внутрішньоконтурне (рис. 2). Такий поділ відображає, в основному, розвиток методу заводнення в процесі розробки родовищ нафти і не є загальним та однозначним критерієм для виділення систем заводнення. Найбільш принциповим є групування, поділ методів заводнення за рівнями, але й такий підхід є неоднозначним. Це можна пояснити тим, що ознаки групування і поділу за рівнями не враховують такі важливі параметри як: розміщення свердловин, форму комірки систем заводнення, принципи і критерій вибору місцезнаходження свердловин.

Активність системи заводнення визначається, у свою чергу, двома елементами – шириною блоку і кількістю рядів експлуатаційних свердловин у блоці. Але оскільки ширина блоку залежить від кількості рядів свердловин у блоці, то активність системи заводнення прак-



Заводнення: а – законтурне; б – приконтурне; в – склепінне; г – площове;  
 д – внутрішньоконтурне; е – блокове

Рисунок 1 – Системи розробки покладів нафти при заводненні

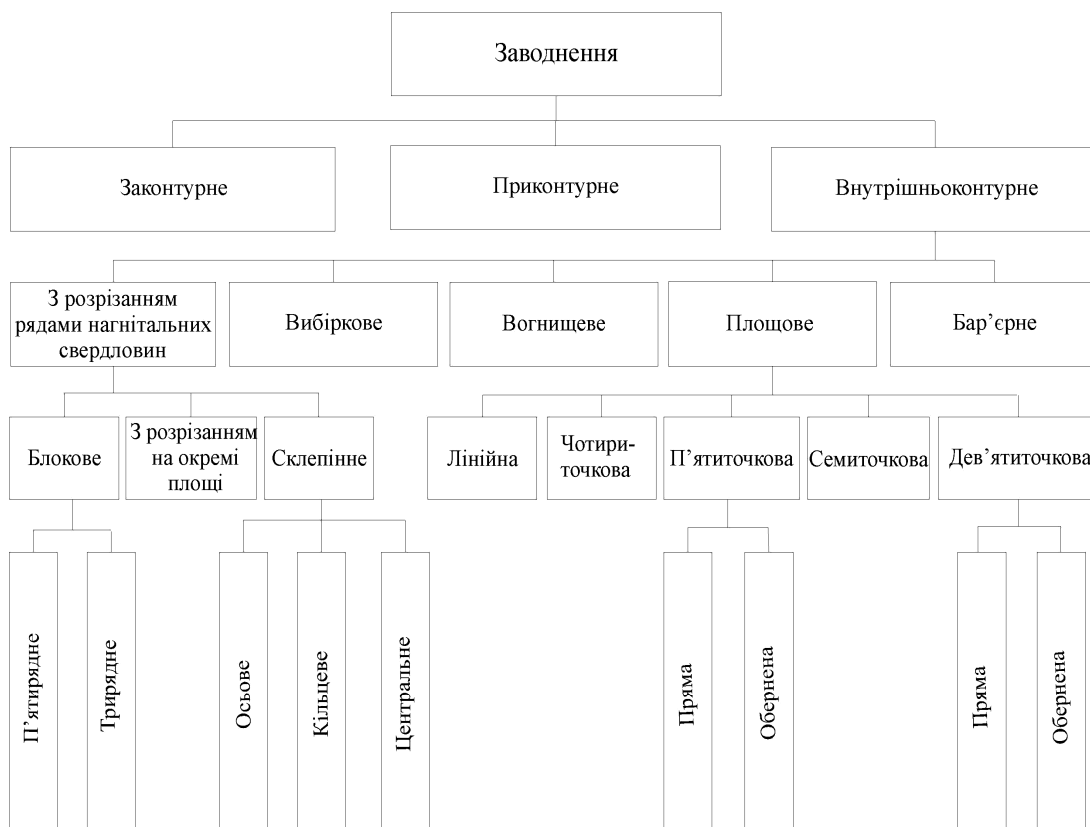
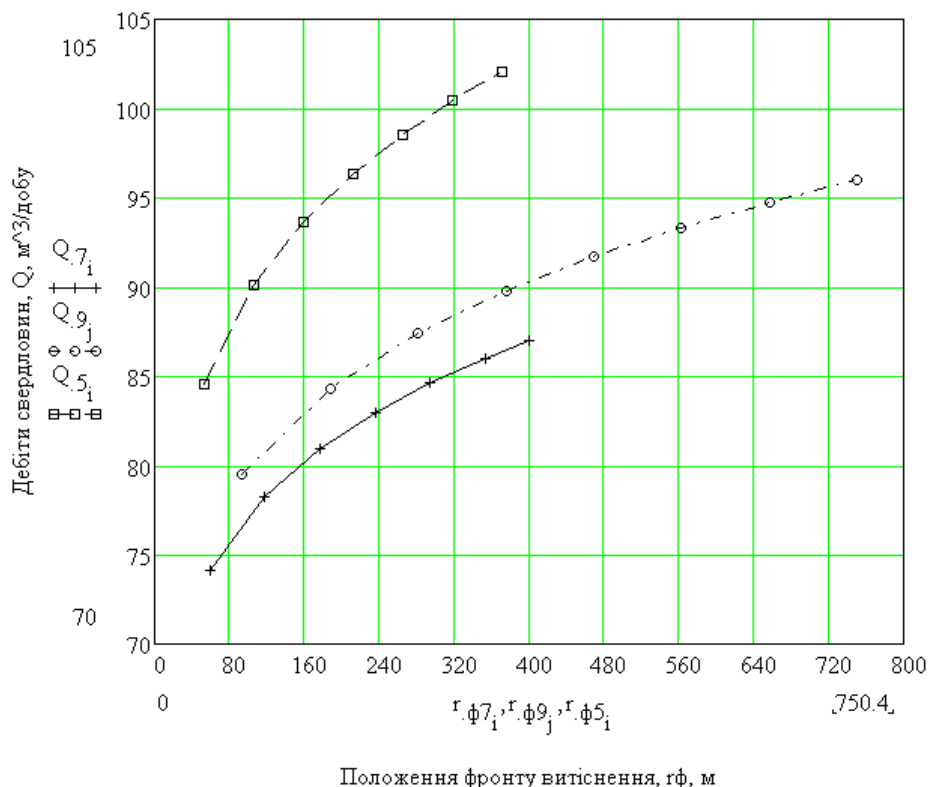


Рисунок 2 – Різновиди методу заводнення нафтових об'єктів розробки



**Рисунок 3 – Залежність дебітів для п’яти-, семи- і дев’яточкових систем заводнення залежно від положення фронту витіснення**

тично визначається кількістю експлуатаційних рядів в окремому блоці. Тому, вводиться поняття коефіцієнта інтенсивності системи заводнення, що визначається як відношення рівня видобутку рідини при даній системі заводнення до рівня видобутку рідини у випадку однорядної системи заводнення за однакових умов. Згідно з визначенням коефіцієнт інтенсивності системи заводнення є безрозмірною величиною.

Аналіз схем розміщення свердловин при відомих системах заводнення дає змогу виділити дві групи методів заводнення, що суттєво відрізняються одна від одної наявністю елемента симетрії у розміщенні видобувних і нагнітальних свердловин. У випадку симетричності елементів системи заводнення, їх можна розмістити рівномірно по всій площі покладу, і вони визначатимуть регулярну систему заводнення. Відсутність елементів симетрії і нерівномірний характер розміщення нагнітальних свердловин визначають нерегулярну систему заводнення [4].

В роботі [4] вказано, що існує велика група систем заводнення, що якісно відрізняються від регулярних систем. За ними елементи симетрії не виділяються. Нагнітальні свердловини розміщуються по площі об’єкта нерівномірно, або запомповування здійснюється у свердловини практично одного ряду. Через відсутність елемента симетрії і нерівномірність характеру розміщення нагнітальних свердловин по площі ці системи можна назвати нерегулярними.

Ширина блоку В за будь-якої системи заводнення може бути визначена як:

$$B = 2L + l(n - 1), \quad (2)$$

де: L – відстань від нагнітального до першого експлуатаційного ряду, м; l – відстань між експлуатаційними рядами, м; n – кількість експлуатаційних рядів.

Необхідно зазначити, що величини L і l є пропорційними до відстані між свердловинами 2σ. Дослідження фактичних систем розробки нафтових родовищ показує, що здебільшого

співвідношення  $\frac{2\sigma}{L}$  коливається від 1 до 3, а

співвідношення  $\frac{2\sigma}{l}$  – від 1 до 0,5. За величини

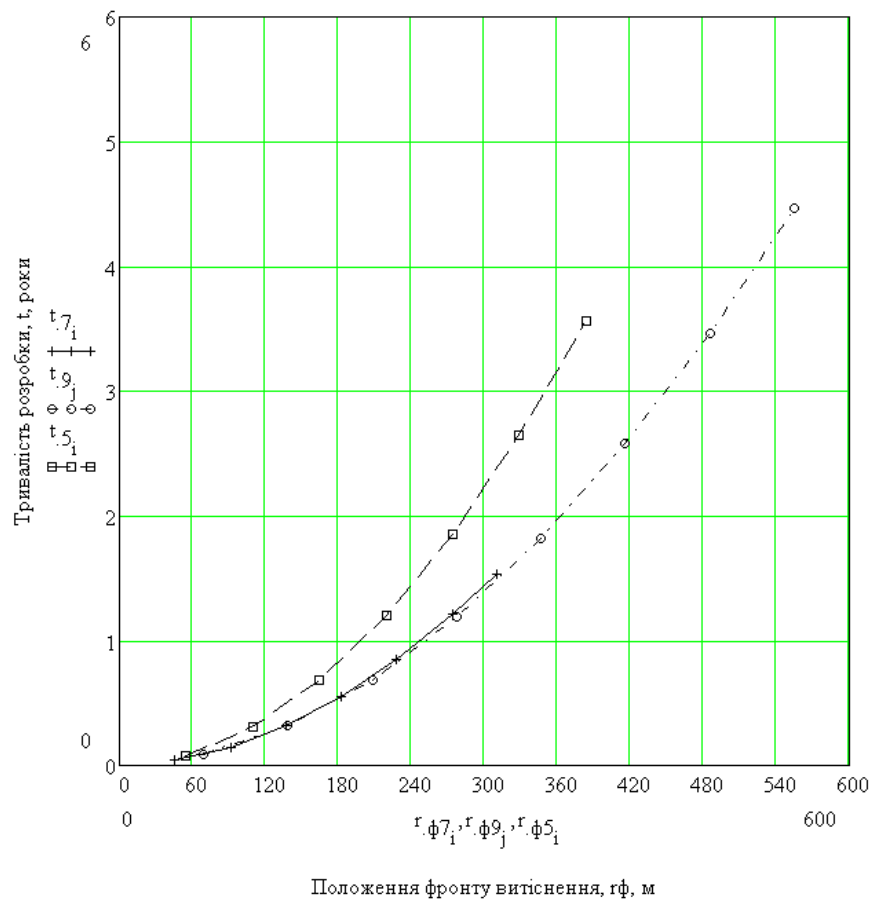
співвідношення  $\frac{2\sigma}{L} > 1$ , як свідчать результати

досліджень О.П.Крилова і А.Г.Ковальова, відбувається швидке обводнення експлуатаційних

свердловин, а за співвідношення  $\frac{2\sigma}{L} < 0,3$  –

значне віддалення нагнітальних свердловин від експлуатаційних, що призводить до послаблення впливу закачування, а у переривчастому пласті – до значних втрат нафти у зоні між експлуатаційними і нагнітальними свердловинами.

Співвідношення  $\frac{2\sigma}{l}$  у більшості технологічних схем розробки приймається приблизно рівним одиниці.



**Рисунок 4 – Залежність термінів розробки для п'яти-, семи- і дев'ятичоткових систем заводнення залежно від положення фронту витіснення**

При розрахунках прийняли, що  $L = 4\sigma$  і  $l = 2\sigma$ , тоді рівняння (2) набуло вигляду:

$$V = 2\sigma(n + 3). \quad (3)$$

З останнього рівняння випливає, що ширина блоку, а відповідно, й активність системи заводнення є пропорційними відстані між свердловинами. Таким чином, зменшення відстаней між свердловинами сприяє інтенсифікації систем заводнення нафтового пласта і зменшенню відстані від лінії нагнітальних свердловин до рідів експлуатаційних свердловин.

Порівняльний аналіз ефективності різновидів систем заводнення проводився для п'яти-, семи- і дев'ятичоткової систем заводнення. Для кожної системи заводнення було проведено розрахунки з визначення дебітів і термінів розробки (рис. 3, рис. 4).

Як видно з наведених графічних залежностей, найбільшим дебітом характеризується п'ятичоткова, найменшим – семиточкова системи заводнення за однакових положень фронту витіснення. При цьому необхідно зауважити, що найбільшим терміном розробки характеризується дев'ятичоткова, а найменшим – семиточкова система.

Таким чином, на динаміку технологічних показників розробки систем заводнення за інших рівних умов суттєво впливають співвідношення в'язкостей нафти і води, а також ступінь

неоднорідності колекторських властивостей пласта. Зі збільшенням в'язкості нафти і ступеня неоднорідності зростають терміни розробки, зменшується коефіцієнт нафтовилучення як за безводний період, так і за весь період розробки.

#### Література

- 1 Акульшин А.И. Прогнозирование разработки нефтяных месторождений / А.И. Акульшин. – М.: Недра, 1988. – 240 с.
- 2 Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ / В.С. Бойко. – К.: Реал-Принт, 2004. – 695 с.
- 3 Иванова М.М. Нефтегазопромисловая геология и геологические основы разработки месторождений нефти и газа / М.М. Иванова, Л.Ф. Дементьев, И.П. Чоловский. – М.: Недра, 1985. – 422 с.
- 4 Бакиров И.М. Сравнение эффективности систем заводнения / Игорь Бакиров // Нефтяное хозяйство. – 2009. – №7. – С.38-41.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
14.05.10  
Рекомендована до друку професором  
Кондратом Р.М.