

Дослідження та методи аналізу

УДК 622.276

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПРАКТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ ОПТИМІЗАЦІЇ КАВІТАЦІЙНО-ПУЛЬСАЦІЙНОГО МЕТОДУ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРИПЛИВУ ВУГЛЕВОДНІВ

В.Р.Возний, С.О.Овецький, Я.М.Фем'як, М.В.Марусич

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42331,
e-mail: oveoku@rambler.ru

Разработана методика расчета и оптимизации действия кавитационных пузырьков на горные породы продуктивных горизонтов. Предварительные гидравлические расчеты позволили выделить энергию кавитации, на основании которой создана практическая методика расчета размеров кавитационных пузырьков.

In the article the method of calculation and optimization of action of cavitation bubbles is developed on the mountain breed of productive horizons. Preliminary hydraulic calculations allowed to select energy of cavitation which in same queue allowed to create the practical method of calculation of sizes of cavitation bubbles.

I. Постановка проблеми. Основні нафтогазові родовища України знаходяться на пізній стадії розробки, яка характеризується зниженням пластового тиску і різким зростанням обводненості (до 90% і більше) [1]. В процесі тривалої експлуатації свердловини відбувається кольматація навколосвердловинного простору продуктивного горизонту, яка знижує продуктивність свердловини і продуктивну потужність інтервалу перфорації, що потребує періодичного очищення привибійної зони пласта. Неоднорідність колекторських властивостей призводить до нерівномірного нафтогазовилучення і зниження коефіцієнта нафтогазовилучення в цілому.

Тому підвищення продуктивності свердловин є однією з нагальних проблем нафтогазовидобувної промисловості України.

II. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом винайдено велику кількість методів інтенсифікації припливу вуглеводнів із пласта [2-4]. Серед останніх досягнень світової науки у галузі інтенсифікації припливу вуглеводнів виділяються декілька методів.

З метою очищення привибійної зони пласта (ПЗП) та збільшення коефіцієнта нафтогазовилучення розроблено технологію і технічні засоби ударно-хвильової дії на присвердловинну зону продуктивного пласта в інтервалі перфорації, що дають змогу в локальних об'ємах

створювати дію на пласт, яка імітує геодинамічну дію [1]. Ударно-хвильова дія на пласт передбачає два види ефектів: безпосередню дію на ближню присвердловинну зону пласта з радіусом захоплення до 50 см від джерела пружних хвиль ультразвукового діапазону частот; віддалену дію, яка реєструється гідрофонами на віддалі 1-1,5 км від джерела, що генерує низькочастотні 0,2 Гц пружні хвилі. Як джерело ударного і низькочастотного хвильового навантаження в технології використовується свердловинний електророзрядний пристрій; як джерело високочастотних коливань розроблено свердловинний пристрій, що генерує пружні коливання в ультразвуковому діапазоні частот 18-25 кГц. Відновлення потенційної продуктивності видобувних і нагнітальних свердловин досягається за рахунок руйнування колоїднодисперсних систем, які кольматують присвердловинну ділянку колектора, внаслідок чого утворюються шари пониженої проникності.

Одним із методів підвищення проникності у ПЗП є вплив на продуктивний колектор методами, що забезпечують тріщиноутворення. З цією метою можуть бути застосовані теплові методи [2], які базуються на використанні термічної напруги, викликаній зміною теплового стану тіл під час їх нагрівання, охолодження і тривалого перебування за підвищеної або пониженої температури.

Технологія підвищення проникності ПЗП за рахунок створення мережі штучних тріщин може бути реалізована за допомогою теплового удару (наприклад, швидким нагнітанням у ПЗП газового конденсату, охолодженого «сухим льодом»). З цієї метою можна використовувати такі чинники: високу температуру продуктивного пласта; наявність перфораційних отворів в обсадній колоні, що концентрують теплові напруги; наявність порових каналів і природних тріщин для швидкого проникнення теплоносія в пласт; низьку пластичність матеріалу продуктивного пласта; різницю коефіцієнтів теплового розширення компонентів породи продуктивного пласта; різницю коефіцієнтів теплопровідності компонентів породи продуктивного пласта; можливість зміни температури теплоносія, поданого на вибій; можливість додаткового нагрівання ПЗП термохімічним способом перед закачуванням холодоагенту або навпаки.

Технологія струминно-вакуумної дії [3] на привибійну зону свердловини включає струминний насос та додатковий вакуумний модуль, який значно знижує вимоги до якості посадки пакера, а також уможливує його відсутність. Адаптивність системи полягає в зміні режимів функціонування вакуумного модуля у міру падіння тиску в привибійній зоні. При цьому імпульсний режим вакуумної обробки привибійної зони переходить у високочастотний віброрежим поступового зниження гідростатичного тиску в привибійній зоні. Це сприяє більш повному видаленню забруднених частинок з пластової системи та поліпшенню її колекторських властивостей. Ефективність підвищення дебіту нафти для малодебітних свердловин з високов'язкою нафтою – не менше 40% від початкового видобутку з тривалістю ефекту не менше року.

Технологія інфрачастотної хвильової дії на пласт [4] призначена для оброблення привибійної зони з метою збільшення притоку рідини у видобувних свердловинах і збільшення приймальності нагнітальних свердловин. Поставлену мету було досягнуто поліпшенням колекторських властивостей привибійної зони пласта шляхом очищення її від забруднюючих частинок, створенням у привибійній зоні мікротріщинуватості, а також генерацією домінуючих резонансних частот в пластовому середовищі. В основі технології обробки привибійної зони пласта лежить синергічна дія на колектор пульсуючим тиском рідини, спеціально підібраними хімічними реагентами та кавітаційними струменями. Завдяки присутності рідини в порах колектора та пружності твердої фази колектора генеровані коливання поширюються з привибійної зони в пластове середовище.

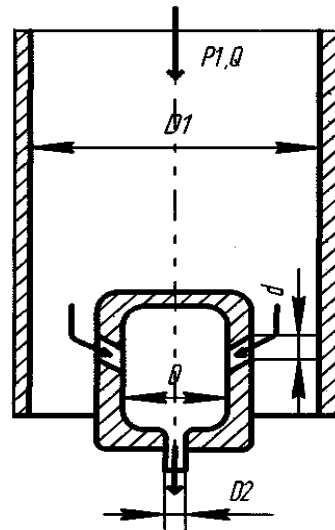
III. Виділення не вирішених частин загальної проблеми. Наведені вище методи володіють низкою недоліків, які обмежують можливість їх застосування. Перспективним на даний час є метод впливу за допомогою кавітації. Суть нового способу збудження різноманітних

за величиною ударних імпульсів і коливань тиску у широкому діапазоні частот полягає в тому, що на основі утворення газової фази в рідинних системах за допомогою спеціального пристрою-кавітатора (пульсатора) на вибої і в привибійній зоні свердловини послідовно створюються численні пухирці різних розмірів, заповнені газом або повітрям. Ці пухирці, потрапивши в зону високого тиску, лускають з виникненням ударних імпульсів тиску різної амплітуди і широкого спектру гармонік коливань тиску в привибійній зоні свердловини [5].

Невирішеними на даний момент залишаються питання практичного розрахунку оптимізаційних параметрів кавітаційного впливу на гірську породу.

IV. Постановка задачі. Одним з основних оптимізаційних параметрів під час розрахунку кавітаційного впливу на ПЗП є розміри кавітаційних бульбашок, а саме їх радіуси. Очевидно, що зміною геометричних параметрів даних утворень можна збільшувати або зменшувати інтенсивність кавітації.

V. Основний матеріал дослідження. Гідродинамічний пульсатор, конструкція якого описана в роботі [6], у першому наближенні можемо звести до гідравлічної схеми, яку зображено на рис. 1.



- Q – витрата рідини, м³/хв.;
- D₁ – діаметр корпусу пульсатора, мм;
- D₂ – діаметр вихідного отвору, мм;
- d – діаметр вхідного отвору кавітаційної камери

Рисунок 1 – Гідравлічна схема гідродинамічного пульсатора

Тоді розрахунок параметрів потоку рідини можна звести до гідравлічного. За рівнянням Бернуллі

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{1,2} + h_{in} \quad (1)$$

де: P_1, P_2 – відповідно тиск рідини на вході та виході з насадки, МПа;
 ρ – густина рідини, кг/м³;
 α_1, α_2 – коефіцієнт Коріоліса, відповідно на вході і виході з пульсатора;
 z_1, z_2 – ($z_1 = z_2$);
 V_1, V_2 – швидкість на вході і виході з насадки, м/с:

$$V_1 = \frac{4 \cdot \mu_1 \cdot Q}{\pi \cdot D_1^2}, \quad V_2 = \frac{4 \cdot \mu_2 \cdot Q}{\pi \cdot D_2^2}, \quad (2)$$

де: $\mu_1 = 0,85, \mu_2 = 0,92$ – коефіцієнти опору для циліндричної і гідромоніторної насадок відповідно;

$h_{1,2}$ – перепад напору за першим та другим діаметрами пульсатора, м:

$$h_{1,2} = \zeta_1 \frac{V_1^2}{2g} + \zeta_2 \frac{V_2^2}{2g}, \quad (3)$$

де: $\zeta_1 = 1,19, \zeta_2 = 0,38$ – коефіцієнти місцевого опору для раптового повороту та раптового звуження відповідно;

h_{in} – інерційний напір, м:

$$h_{in} = \frac{V^2}{2g}, \quad (4)$$

де: V – лінійна швидкість руху рідини, м/с:

$$V = \frac{4 \cdot \mu_2 \cdot Q}{n \cdot \pi \cdot d^2}, \quad (5)$$

де n – кількість насадок (у нашому випадку $n = 4$).

Звідси перепад тиску $\Delta P = P_1 - P_2$ може бути визначений за формулою

$$\Delta P = \left[\frac{\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2}{2g} + h_{1,2} + h_{in} \right] \cdot \rho g. \quad (6)$$

За вихідних умов: густина рідини – 1200 кг/м³ та витрата – 0,005 м³/с перепад тиску за формулою (6) складе $P_n = 1,33$ МПа. Однак реальний перепад тиску, отриманий за стендовими випробуваннями за дотримання відповідних вихідних даних, склав $\Delta P = 6,5$ МПа. Тоді різницю тиску у незбуреній рідині і даній точці кавітаційної бульбашки визначимо за формулою [7]

$$P = -\frac{\Gamma^2 \rho}{8\pi r^2} + \frac{2\sigma}{r}, \quad (7)$$

де: Γ – циркуляція швидкості, м²/с ($\Gamma = 0,000141$ м²/с [7]);

r – радіус-вектор розглянутого збурення рідини, м ($r = 0,0175$ м);

σ – поверхневий натяг рідини на межі з газом (паром), Н/м;

r – радіус бульбашки, м.

можна отримати як:

$$P = P_n - \Delta P. \quad (8)$$

Звідси, підставляючи (6) і (7) у (8), отримаємо

$$P_n = P + \Delta P = -\frac{\Gamma^2 \rho}{8\pi r^2} + \frac{2\sigma}{r} + \left[\frac{\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2}{2g} + h_{1,2} + h_{in} \right] \cdot \rho g. \quad (9)$$

Тому радіус кавітаційної бульбашки можна визначити:

$$r = \frac{2\sigma}{P_n - \left[\frac{\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2}{2g} + h_{1,2} + h_{in} \right] \cdot \rho g + \frac{\Gamma^2 \rho}{8\pi r^2}}. \quad (10)$$

Оскільки радіус кавітаційної бульбашки виступає як оптимізаційний фактор під час проведення гідродинамічної обробки ПЗП наведенням пульсатором, розрачуємо залежність радіуса кавітаційної бульбашки від: зміни перепаду тиску та густини промивальної рідини; співвідношення розмірів насадок кавітатора. Діаграми залежності радіуса кавітаційної бульбашки від перелічених чинників, зображено на рис. 2, 3.

VI. Висновки. Проведені дослідження дали змогу визначити оптимальні розміри кавітаційних бульбашок як основного оптимізаційного параметра під час проведення обробки ПЗП за допомогою розробленого гідродинамічного пульсатора. Визначено, що оптимальний перепад тиску для рідин будь-якої густини знаходиться в межах 4-4,5 МПа (рис. 2) і оптимальне співвідношення діаметрів насадки не повинно перевищувати 1,67 (рис. 3), оскільки інакше проходить розрив рідини з внутрішнім гідрударом.

Подальші роботи, використовуючи наведені вище результати, планується спрямувати на створення технології руйнування гірської породи в процесі буріння свердловин.

Література

1 Кучернюк А.В., Кучернюк В.А., Давиденко С.М., Сова В.М., Максимчук М.Ю. Технологія ударно-волнового впливу на призабойну зону нефтяних і газових скважин // Матер. міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі». – Київ: ВАТ „УкрНГГ”, 2006. – С. 47-48.

2 Світлицький В.М., Синюк Б.Б., Іванків О.О. До питання термодеструктивної дії на породи продуктивних пластів // Матер. міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі». – Київ: ВАТ „УкрНГГ”, 2006. – С. 52-55.

3 Шевчук С.П., Сліденко В.М., Саливон О.В. Технологічний адаптивний комплекс струмінно-вакуумної дії // Матер. міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі». – Київ: ВАТ „УкрНГГ”, 2006. – С. 46-47.

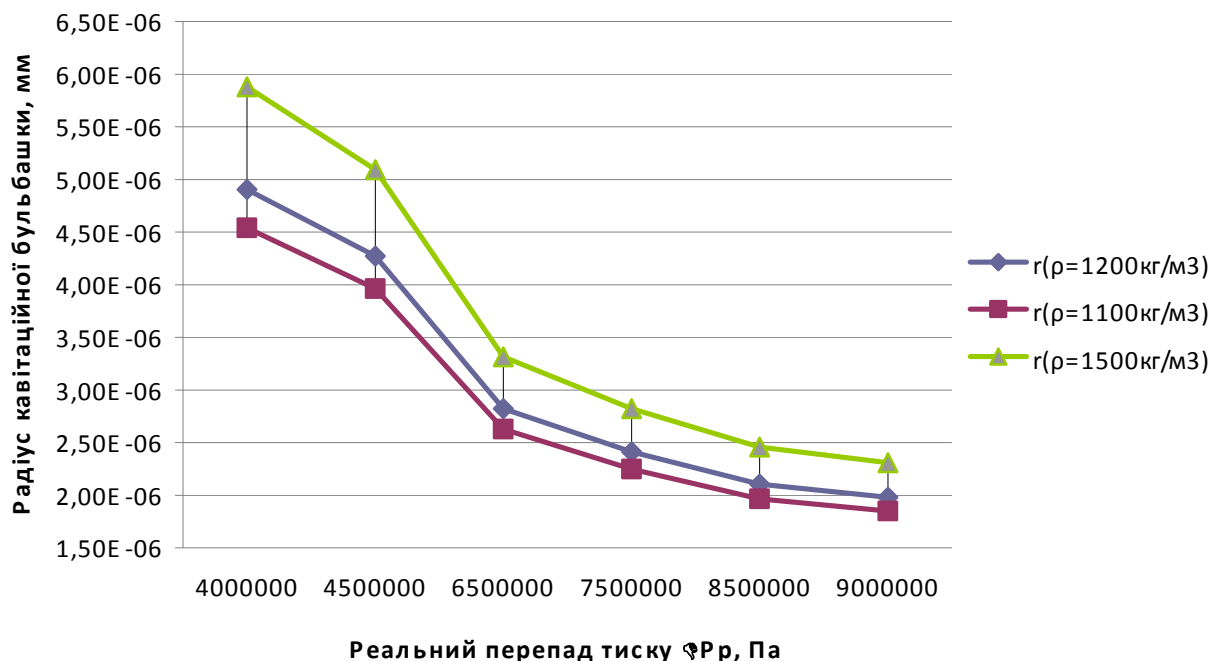


Рисунок 2 — Залежність радіуса кавітаційної бульбашки від зміни перепаду тиску та густини рідини

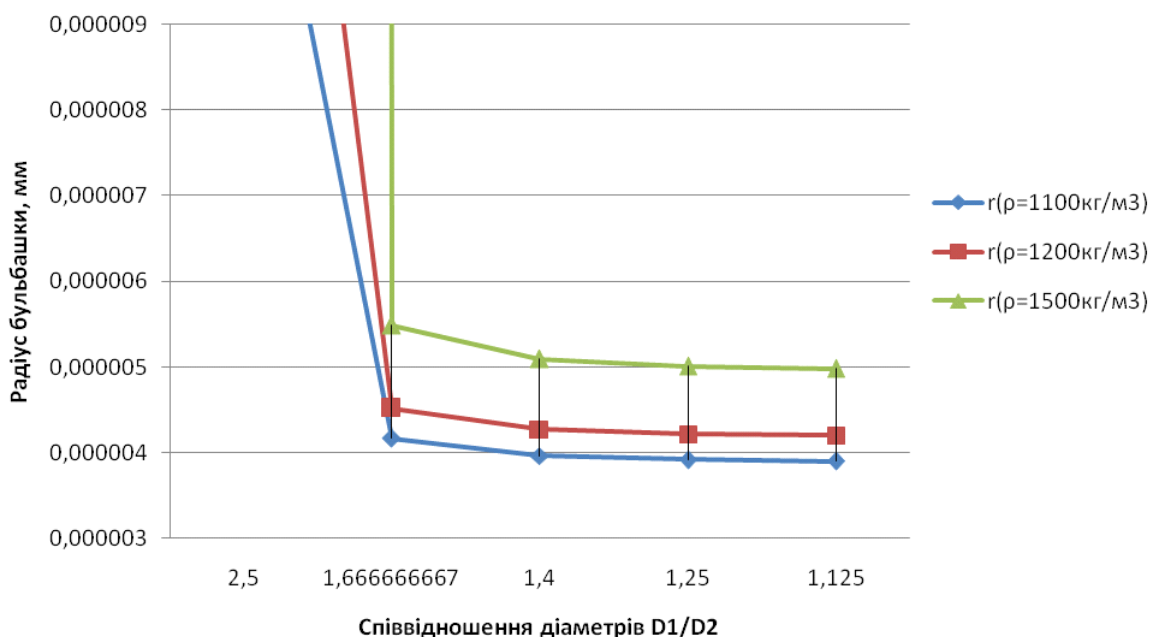


Рисунок 3 — Залежність радіуса кавітаційної бульбашки від співвідношення діаметрів кавітатора

4 Сліденко В.М., Шевчук С.П., Лістовщик Л.К. Інфрачастотна хвильова технологія підвищення продуктивності нафтових свердловин // Матер. міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі». – Київ: ВАТ „УкрНГГ”, 2006. – С. 45-46.

5 Ибрагимов Л.Х. Интенсификация добычи нефти с применением генераторов затопленных турбулентных струй и адиабатных двухфазных потоков // Нефтегазопромислово дело. – 1996. – № 6. – С. 44-49.

6 Яремійчук Р.С., Возний В.Р., Фем’як Я.М., Якимечко Я.Я. Методика і аналіз експериментальних даних досліджень роботи вихрового гідродинамічного пульсатора // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – №1. – С. 19-21.

7 Дин Р. Образование пузырей // Вопросы физики кипения. – М.: Мир, 1964. – 325 с.