

УДК 622.23.05

В.Я. Бокало, керівники доц. В.М. Сліденко, ст. викл. Поліщук В.О.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”
“Інститут енергозбереження та енергоменеджменту”, м. Київ, Україна

ІМПУЛЬСНО-СТРУМИННИЙ МОДУЛЬ ГЕОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Анотація. Запропоновані результати дослідження імпульсно-струминного модуля в складі геотехнічного комплексу. Наведені графіки зміну тиску і температури за результатами експериментальних вимірювань. Встановлено, що імпульсно-струминний модуль генерує значення амплітуд репресійного тиску близько 3,5 МПа з частотою близько 2 Гц, а максимальні значення депресії – близько 7,5 МПа.

Аннотация. Предложены результаты исследований импульсно-струйного модуля в составе геотехнического комплекса. Приведены графики изменения давления и температуры по результатам экспериментальных измерений. Установлено, что импульсно-струйный модуль генерирует значения амплитуд репрессии давления около 3,5 МПа с частотой около 2 Гц, а максимальные значения депрессии – около 7,5 МПа.

Abstract. Results of researches of the pulse-jet module in structure of a geotechnical complex are offered. This paper shows the variation of pressure and temperature on the results of experimental measurements. It is established that the pulse-jet module generates the amplitudes repression pressure of about 3.5 MPa with a frequency of about 2 Hz and the maximum depression - about 7,5 MPa.

Вступ. Збільшення об’ємів власного видобутку нафти і газу є головною задачею, яка стоїть перед промисловістю як України, так і всього світу. В умовах відсутності нових родовищ нафти і газу, які б вирішували цю проблему, в якості потенційних джерел нафти і газу на перший план виступають задачі, пов’язані з підвищенням ефективності функціонування існуючих нафтових та газових свердловин.

Для підвищення продуктивності нафтових свердловин очищенням привибійної зона свердловини та збільшенням проникливості пластової системи використовуються різноманітні технічні засоби, в складі яких часто застосовують струминний апарат та генератор імпульсних навантажень на привибійну зону.

Мета роботи. Розробити математичну модель інжекційної системи струминного апарату, що дає змогу розрахувати максимальний коефіцієнт інжекції та визначити раціональні параметри, а також привести результати експериментальних досліджень в виробничих умовах інжекційної системи струминного апарату з визначеними раціональними параметрами.

Матеріал і результати дослідження. Імпульсно-струминний модуль складається з трьох взаємодіючих блоків: струминного апарату 1, депресивної камери 2 та імпульсного зворотного клапана 3 (рис. 1) [1]. Схема розміщення депресійного генератора в свердловині передбачає його встановлення в колону насосно-компресорних труб (НКТ) 4 з пакером 5.

Робоча рідина (хімреагентний розчин) подається від насосного агрегату 6 по НКТ 4 на робочу насадку (сопло) струминного апарату 1. Далі рідина проходить через камеру змішування та дифузор апарату 1 через затрубний простір 7 до гирла свердловини. Збільшення швидкості рідини на соплі струминного апарату призводить до падіння тиску в

струмені та депресивній камері 2, що створює умови для інжектування потоку з цієї камери. При пониженні тиску в камері 2 періодично, в імпульсному режимі, відкривається зворотний клапан і в депресивну камеру 2 потрапляє рідина із пласта 7, вимиваючи з нього забруднюючі частинки, що призводить до його очищення. Важливим фактором при цьому є коефіцієнт інжекції потоку, який генерується струминним апаратом.

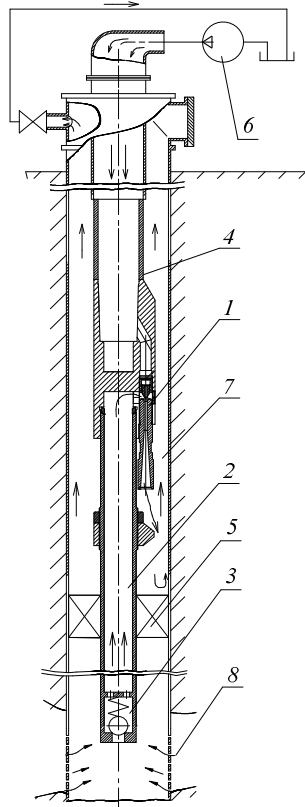


Рисунок 1 - Схема розміщення струминного апарата в свердловині

Основним елементом струминного апарату є інжекційна система, яка складається з конфузора 1, сопла 2, приймальної камери 3, камери змішування 4 та дифузора 5 (рис. 2)

Потік через інжекційну систему характеризується такими параметрами: робочою витратою Q_p , тиском на вході p_p , густиною робочої рідини ρ_p .

Конфузор 1 характеризується вхідним перерізом 0-0, а сопло 2 вихідним перерізом 1-1. Далі робочий потік разом з інжектованим через приймальну камеру 2 потрапляє на вхід камери змішування 3 (переріз 2-2) і на вхід дифузора 5 (переріз 3-3). Переріз 4-4 – вихідний для інжекційної системи.

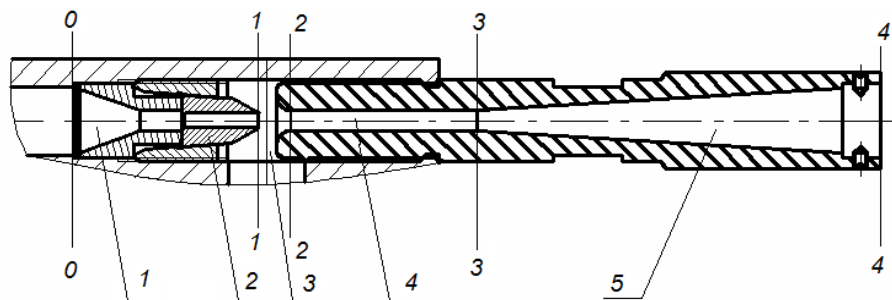


Рисунок 2 – Інжекційна система струминного апарату: 1 – конфуззор; 2 -сопло; 3 – приймальна камера; 4 - камера змішування; 5- дифузор.

Запишемо рівняння Бернуллі для перетинів 0-0 та 1-1:

$$\frac{p_0}{\rho_p g} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\rho_p g} + \frac{v_1^2}{2g} + \zeta_1 \frac{v_1^2}{2g}, \quad (1)$$

та для перерізів “робоче сопло – камера інжекції” (перетин 1-1, 2-2):

$$\frac{p_1}{\rho_p g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_i}{\rho_i g} + \frac{v_i^2}{2g} + \zeta \frac{v_i^2}{2g}, \quad (2)$$

де $\zeta_1 \frac{v_1^2}{2g}$ - втрати напору в перерізі 1-1 за формулою Борда [2], ζ_1 - коефіцієнт втрат на тертя при різкому звуженні трубопровода, v_0, v_1 - швидкість потоків рідини для перетинів 0-0 та 1-1 відповідно, ρ_i - густина інжектваної рідини (прийmemo робоче середовище однорідним, тобто $\rho_i = \rho_p$), $\zeta \frac{v_i^2}{2g}$ - втрати напору між перетинами 1-1, 2-2, ζ - коефіцієнт втрат при різкому розширенні трубопровода.

Згідно теорії затоплених турбулентних струменів [3] в камері інжекції при витіканні робочої рідини з сопла з швидкістю, що буде набагато більшою, ніж швидкість в камері інжекції, виникають циркуляційні зони низького тиску (рис. 3).

Прийmemo гіпотезу, що тиск в камері інжекції може змінюватись від $p_i = 0$ до $p_i = \rho g H$. Для ідеального струминного апарату тиск в камері інжекції p_i буде дорівнювати нулю для забезпечення найбільшого ефекту інжекції.

Враховуючи це, можна записати

$$\frac{p_1}{\rho_p g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_i^2}{2g} + \zeta \frac{v_i^2}{2g}. \quad (3)$$

Оскільки $\frac{p_i}{\rho_i g} = 0$,

то з залежності (3) швидкість інжектваного потоку буде

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \cdot p_1}{\rho_2} + v_1^2(1 - \zeta)} \quad (4)$$

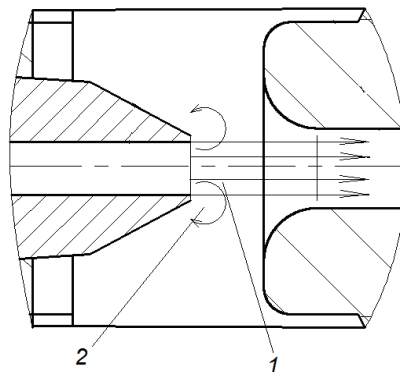


Рисунок 3 – Схема протікання затопленого струменя 1 з зоною розрідження 2

Якщо тиск інжекції прийме своє максимальне значення $p_i = \rho g H$, тоді рівняння Бернуллі матиме вигляд:

$$\frac{p_1}{\rho_p g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_i}{\rho_i g} + \frac{v_i^2}{2g} + \zeta \frac{v_i^2}{2g}. \quad (5)$$

Звідки швидкість інжектваного потоку

$$v_i = \sqrt{\frac{2p_1}{\rho_p} - \frac{2p_1}{\rho_i} + v_1^2(1 - \zeta)}. \quad (6)$$

Ділянку між перерізами 2-2 та 3-3 можна вважати лінійним дроселем довжиною l_c з незмінним діаметром d_c . Тоді перепад тиску в перерізі 2-2 можна визначити, як:

$$p_2 = \lambda \frac{l_c}{d_c} \cdot \frac{v_2^2}{2} \rho_p, \quad (7)$$

де $v_2 = \frac{4 \cdot Q_2}{\pi \cdot d_2^2}$ - швидкість в перерізі 2-2, λ - коефіцієнт тертя.

Значення витрати інжектваного потоку можна розрахувати із залежності: $Q_i = v_i \cdot S_i$, де S_i - площа перетину через яку потрапляє інжектвана рідина в камеру змішування. Площа S_i знаходиться як різниця площ робочого сопла та камери змішування, тобто: $S_i = S_{кзм} - S_{рс}$.

Коефіцієнт інжекції визначається [4] виразом

$$i = \frac{Q_i}{Q_p}. \quad (8)$$

Прийmemo для розрахунків наступні значення конструктивних параметрів струминного апарату: діаметра робочого сопла $d_c = 4$ мм, діаметра камери змішування $d_3 = 6$ мм, діаметра камери інжекції $d_i = 15$ мм, діаметра підвідного трубопроводу $d_{mp} = 22$ мм. Витрата від поверхневого насосного агрегату $Q_{nm} = 20$ л/с, глибина свердловини $H = 2000$ м, густина робочого потоку $\rho = 800$ кг/м³, внутрішній діаметр НКТ $D = 62$ мм. За наведеними залежностями (1)...(8) був розрахований максимальний коефіцієнт інжекції $i = 0.64$ та отримані залежності (рис. 4, 5).

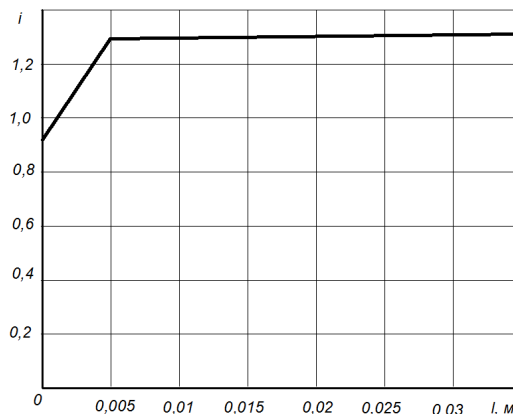


Рисунок 4 - Залежність коефіцієнта інжекції від довжини робочого сопла

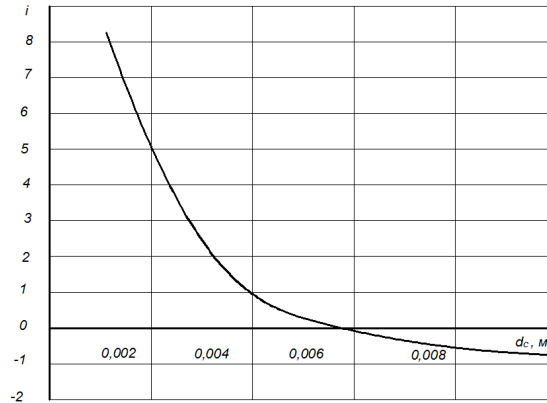


Рисунок 5 - Залежність коефіцієнта інжекції від діаметра робочого сопла.

Отримане значення коефіцієнту інжекції максимальне тому, що розрахунок проводився для випадку коли значення тиску в камері інжекції наближається до нуля, що забезпечує найефективніший режим відкриття імпульсного зворотного клапану.

Як видно з наведених графіків довжина робочого сопла на проміжку 5 – 30 мм не впливає істотно на коефіцієнт інжекції. Тому можна рекомендувати використовувати робоче сопло довжиною близько 10 мм. Діаметр робочого сопла для даних умов можна прийняти в проміжку від 4 мм. При цьому значенні перерізу робочого сопла коефіцієнт інжекції буде дорівнювати одиниці $i = 1$, тобто $Q_i = Q_p$, що відповідає його максимальному значенню.

Для підтвердження результатів моделювання були проведені експериментальні вимірювання параметрів функціонування струминного апарату в складі комплексу для підвищення продуктивності свердловин за умов Єршовського родовища Нижневартовського нафтогазодобувного управління Тюменської області Російської Федерації.

На графіку (рис.6) визначені три області роботи обладнання комплексу. Область А - функціонування мультиплікатора тиску; область Б – функціонування струминного апарату; область В- область відключення та виймання обладнання комплексу.

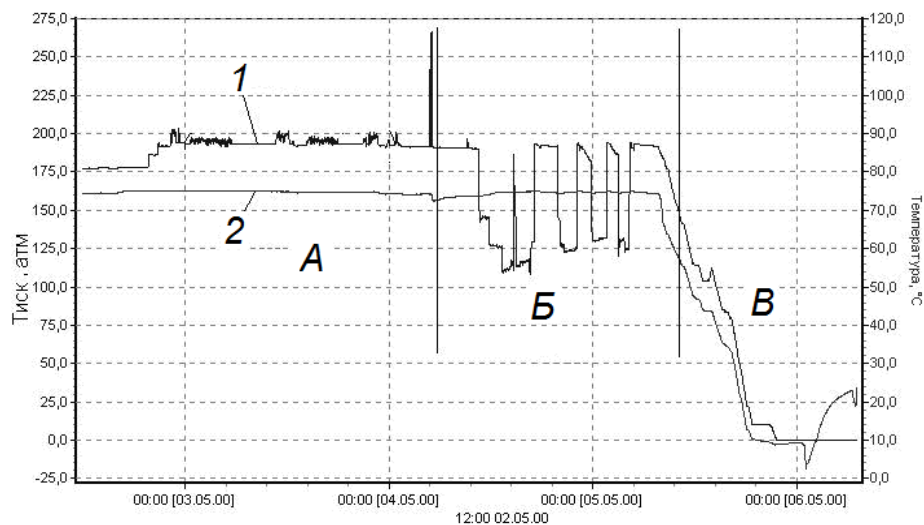


Рисунок 6 – Графіки зміни параметрів в свердловині: 1 – тиску, 2 – температури.

З графіків видно, що в області Б, коли в роботу вмикається струминний апарат, тиск в свердловині змінювався стибками від 18,0 до 11,0 МПа. Тобто використання струминного апарату дозволяє створювати задану імпульсну депресію на пласт, при необхідності керувати її значенням і тривалістю та багаторазово повторювати цикли депресії - репресії на пласт.

Висновки.

При використанні депресійного генератора імпульсної дії можна: очистити привибійну зони свердловини, інтенсифікувати приток нафти шляхом покращення фільтраційних якостей привибійної зони пласта, вторинно розкрити пласт на заданій депресії, розвивати тріщинуватість пласта.

Розроблено математичну модель інжекційної системи струминного апарату, особливості якої полягають в тому, що вона дає змогу розрахувати максимальний коефіцієнт інжекції та визначити раціональні параметри: коефіцієнт інжекції $i = 0.64$; діаметр робочого сопла $d_c = 4$ мм, та довжину робочого сопла $l_c = 10$ мм.

Експериментальними дослідженнями в виробничих умовах підтверджено ефективність визначених параметрів інжекційної системи струминного апарата.

Перелік посилань:

1. Богуслаев В.А., Слиденко В.М., Листовщик Л.К. Способ реагентно-импульсной-имплозионной обработки призабойной зоны пласта, установка для его осуществления, депрессионный генератор импульсов. Патент РФ № 2376455, опубл. 20.12.2009. Бюл. №35
2. Башта П.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашины и гидравлические приводы. – 2-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 1982.-424 с.
3. Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А. Теория турбулентных струй. – М.: Наука, 1984. – 715 с.
4. Яремейчук Р.С. Технология повышения продуктивности скважин с помощью струйных аппаратов. – М.: 1992.- 70 с.