

УДК 622.23.05

В.Я. Бокало, науковий керівник: доц. В.М. Сліденко

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

### СТРУМИННИЙ НАСОС ВІБРАЦІЙНОЇ ДІЇ

**Анотація.** *Запропоновані результати дослідження струминного насоса вібраційної дії. Встановлено структуру струминного насоса, в склад якого входить вібраційний модуль, який генерує коливання тиску в інжекційному потоці.*

**Аннотация.** *Предложенные результаты исследования струйного насоса вибрационного воздействия. Установлена структура струйного насоса, в состав которого входит вибрационный модуль, который генерирует колебания давления в инжекционном потоке.*

**Abstract.** *Results of studies of jet pump vibration. The structure of the jet pump comprising vibrating module that generates pressure fluctuations in the injection flow.*

**Вступ.** На сьогодні розвиток видобутку вуглеводнів є головною задачею, яка стоїть перед промисловістю України. В умовах сталого фонду нафтогазових родовищ актуальна задача відновлення та підвищення дебіту існуючих нафтових та газових свердловин.

**Аналіз попередніх досліджень.** 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 [1, 2].

**Мета роботи.** Розробити структуру та математичну модель струминного насоса вібраційної дії для забезпечення коливань інжекційного потоку.

**Матеріал і результати дослідження.** Струминний насос вібраційної дії складається з трьох взаємодіючих блоків: інжекційного модуля 1, депресивної камери 2 та вібраційного модуля 3 (рис. 1) [2]. Схема розміщення струминного насоса 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) інжекційного модуля 1. Далі рідина проходить через камеру змішування та дифузор насоса через затрубний простір 7 до гирла свердловини. Збільшення швидкості рідини на соплі інжекційного модуля 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, відкривається клапан вібраційного модуля 3 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 пульсуючого потоку, який генерується інжекційним модулем і гармонізується вібраційним модулем 3.

Основним елементом інжекційного модуля 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  $\rho_p$ .

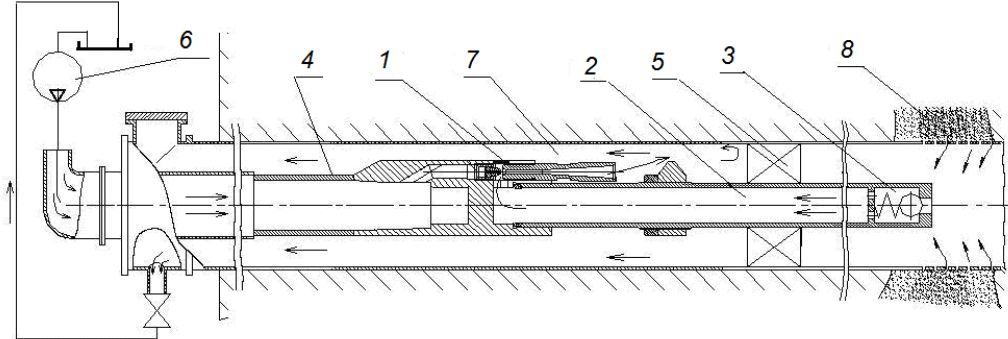


Рисунок 1 - Схема розміщення струминного апарата з вібраційним модулем в свердловині

Конфузор 1 характеризується вхідним перерізом 0-0, а сопло 2 вихідним перерізом 1-1. Далі робочий потік разом з інжектваном 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.

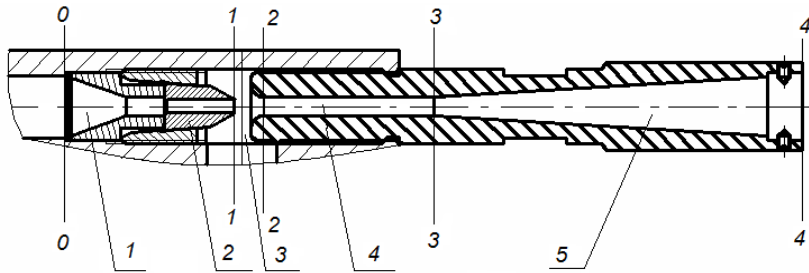


Рисунок 2 – Інжекційна система струминного апарату: 1 – конфузори; 2 -сопло; 3 – приймальна камера; 4 - камера змішування; 5- дифузор.

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” (переріз 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 [1],  $\zeta_1$  - коефіцієнт

втрат на тертя при різкому звуженні трубопроводу,  $v_0$ ,  $v_1$  - швидкість потоків рідини для перетинів 0-0 та 1-1 відповідно,  $\rho_i$  - густина інжектваної рідини (прийемо робоче

середовище однорідним, тобто  $\rho_i = \rho_p$ ),  $\zeta \frac{v_i^2}{2g}$  - втрати напору між перетинами 1-1, 2-2,  $\zeta$

- коефіцієнт втрат при різкому розширенні трубопроводу.

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

Прийемо 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

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

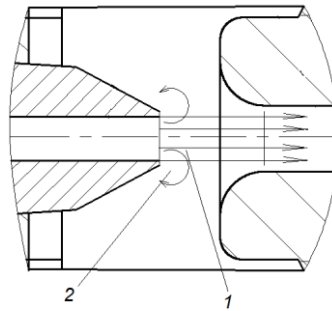


Рисунок 3 – Схема протікання затопленого струменя 1 з зоною розрідження 2

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,  $\lambda$  - 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 [1] 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  $Q_{nn} = 20$  л/с, глибина свердловини  $H = 2000$  м, густина робочого потоку  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>, внутрішній діаметр НКТ  $D = 62$  мм. За наведеними залежностями (1)...(8) був розрахований максимальний коефіцієнт інжекції  $i = 0.64$ . З використанням вібраційного модуля генерується змінний потік  $Q_i \text{ var}$ , значення частоти коливань тиску в якому визначається частотним параметром

$\omega_i = \sqrt{\frac{c_{кл}}{m_{зв}}}$ , де  $c_{кл}$  - жорсткість пружного елемента клапана вібраційного модуля,  $m_{зв}$  - зведена маса рухомих елементів вібраційного модуля.

**Висновки.** Струминний насос вібраційної дії впливає на пластову систему свердловини пульсуючим інжекційним потоком, очищує привибійну зони свердловини, тим самим інтенсифікуючи приток нафти шляхом покращення фільтраційних якостей привибійної зони пласта.

Запропонована математична модель інжекційної системи струминного насоса дозволяє: розрахувати максимальний коефіцієнт інжекції; частоту пульсації тиску в інжектваному потоці; раціональні значення діаметру робочого сопла  $d_c = 4$  мм та довжини робочого сопла  $l_c = 10$  мм.

#### Перелік посилань:

1. Яремейчук Р.С. Технология повышения продуктивности скважин с помощью струйных аппаратов. – М.: 1992.- 70 с.
2. Богуслаев В.А., Слиденко В.М., Листовщик Л.К. Способ реагентно-импульсной-импlosionной обработки призабойной зоны пласта, установка для его осуществления, депрессионный генератор импульсов. Патент РФ № 2376455, опубл. 20.12.2009. Бюл. №35