

УДК 622.24 : 621.694.2

## СВЕРДЛОВИННА ЕЖЕКЦІЙНА СИСТЕМА І МЕТОДИКА ЇЇ РОЗРАХУНКУ

О. В. Паневник, Р. Г. Онацко

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42430,  
e-mail: [public@ifdtung.if.ua](mailto:public@ifdtung.if.ua)

*Рассмотрена возможность совершенствования математической модели работы двух эжекторных насосов в единой забойной компоновке на основе определения гидравлических связей элементов эжекторной системы, которая позволяет определить ее параметры для реальных условий эксплуатации.*

*The perfection opportunity of mathematical model of work two jet pumps in uniform bore hole configuration on a basis hydraulic communications definition of element ejector system, which allows to define its parameters for real operation conditions*

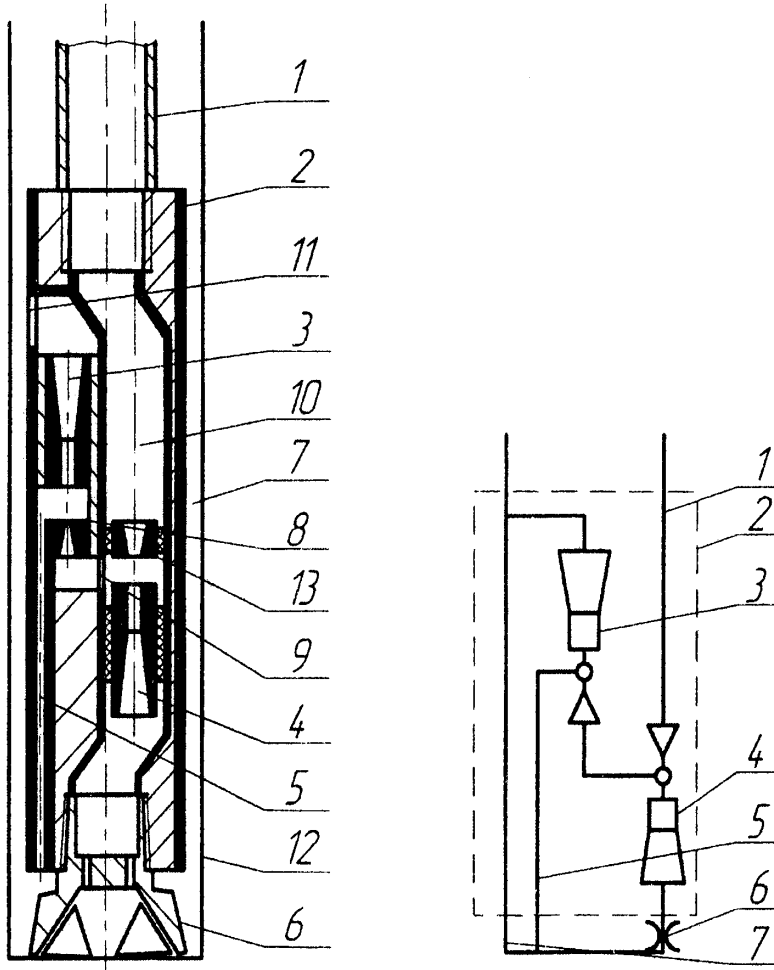
Використання свердловинних струминних насосів дозволяє підвищити механічну швидкість буріння, проходження на долото, ефективність виходу керна, стабілізувати вибійну компоновку, здійснювати процес буріння в умовах поглинання бурового розгину, зберегти проникність привибійної зони в процесі первинного розкриття продуктивних горизонтів. Широкий спектр застосування свердловинних ежекційних систем зумовлює актуальність робіт, спрямованих на підвищення ефективності струминних насосів.

В процесі використання ежекційних систем під час буріння нафтових і газових свердловин реалізується пряме [1] або комбіноване [2] промивання вибою. Недоліком конструкцій, що реалізують пряме промивання є значна залежність витрати на вибої свердловини від ступеня його зашламування. Причому система не має схильності до самовідновлення: зростання об'єму шламу на вибої зменшує витрату промивальної рідини, в той час як відновлення нормальної циркуляції вимагає посилення її інжективності. В системах із комбінованим промиванням всмоктувальне промивання вибою дозволяє зменшити небезпеку накопичення шламу в наддолотній зоні, проте погіршується безпосереднє очищення вибою, оскільки витрата промивальної рідини, що виходить з насадок долота, суттєво менша від продуктивності бурового насоса. Виходячи з вищезгаданого, завданням подальших досліджень є створення ежекційних систем, конструкція яких поєднувала б позитивні якості пристроїв, що реалізують як пряме, так і комбіноване промивання вибою.

На рис. 1 показаний пристрій для буріння свердловин та його гідравлічна схема. Пристрій складається з розміщеного в нижній частині колони бурильних труб 1 наддолотного перехідника 2 з допоміжним 3 та основним 4 струминним насосом і шламовими каналами 5. Нижня частина перехідника 2 з'єднується з долотом 6. Видалення шламу та транспортування його на поверхню здійснюється по кільцевому каналу 7. Сопло 8 допоміжного струминного насоса 3, призначене для видалення шламу з наддолотної ділянки, сполучається з радіальним каналом 9 промивального патрубку, дифузор за допомогою радіального каналу 11 з'єднується з кільцевим каналом 7, утвореним корпусом перехідника 2 та стінкою свердловини 12, а приймальна камера сполучається з шламовими каналами 5 та наддолотним простором. Основний струминний насос 4 розміщений у промивальному патрубку 10 таким чином, що його сопло 13 сполучається з каналом для підведення промивальної рідини бурильної колони 1, дифузор – з промивальним каналом долота 6, а камера змішування – з радіальним каналом 9 промивального патрубку 10 та соплом 8 струминного насоса 3.

Промивальна рідина через канал бурильної колони 1 та промивальний патрубку 10 надходить на сопло 13 основного струминного насоса 4, проходить камеру змішування з дифузором та промивальну систему долота 6. В приймальній камері струминного насоса 4 створюється розрідження, і за рахунок цього здійснюється підсмоктування додаткової кількості промивальної рідини. Частина додаткової промивальної рідини надходить в приймальну камеру насоса 4 та радіальний отвір 9 через шламові канали 5, а частина – через радіальний отвір 11, камеру змішування з дифузором насоса 3 та сопло 8. Витрата інжектованого потоку зменшується при зростанні ступеня зашламування вибою та збільшенні гідравлічного опору на виході струминного насоса 4. Після досягнення критичної величини гідравлічного опору струминний насос 4 припиняє підсмоктування промивальної рідини. В приймальній камері насоса 4 відбувається поділ основного потоку промивальної рідини. Частина потоку проходить через камеру змішування з дифузором, промивальну систему долота 6 та виходить в наддолотний простір, а частина надходить на сопло 8 через радіальний отвір 9, проходить через камеру змішування з дифузором струминного насоса 3 і через радіальний отвір 11 виходить у канал затрубного простору 7.





а) 1 – колона бурильних труб, 2 – наддолотний перехідник, 3, 4 – основний та допоміжний струминні насоси, 5 – шламові канали, 6 – долото, 7 – кільцевий канал, 8 – сопло допоміжного струминного насоса, 9, 11 – радіальний канал, 10 – промивальний патрубок, 12 – стінка свердловини, 13 – сопло основного струминного насоса.

б)

Рисунок 1. Пристрій для буріння свердловин: а) конструкція, б) гідравлічна схема

Підсмоктування рідини струминним насосом 3 здійснюється через шламовий канал 5. При цьому на зашламованій ділянці вибою створюється різниця гідродинамічних тисків та виникають умови для розмивання шламової пробки.

Робочий процес пристрою для буріння свердловин описується системою рівнянь:

$$h_1' = f_1'(i, K_{сн}, \varphi_k, \varphi_p, \varphi_{вн}, \beta_{диф}), \quad (1)$$

$$h_2' = f_2'(i, K_{сн}, \varphi_k, \varphi_p, \varphi_{вн}, \beta_{диф}), \quad (2)$$

$$\varphi_e = \begin{cases} const; & i \geq 0, \\ f(i); & i < 0, \end{cases} \quad (3)$$

$$P_p' = \rho \cdot g \cdot H_c + K_p' \cdot Q_H^2 + K_3' \cdot Q_H^2 + A \cdot Q_H^2 \cdot (1+i')^2, \quad A = \begin{cases} (K_a + \hat{E}_a); & i > -1, \\ K_p'' & i = -1, \end{cases} \quad (4)$$

$$P_3' = \rho \cdot g \cdot H_c + K_3' \cdot Q_H^2 + (K_d + K_e) \cdot Q_H^2 \cdot (1+i')^2, \quad (5)$$

$$P'_i = \rho \cdot g \cdot H_c + K'_3 \cdot Q_H^2 + B \cdot K_p'' \cdot Q_H^2 \cdot i^2, \quad B = \begin{cases} -1; & i > 0, \\ 1; & i < 0, \\ 0; & i = 0, \end{cases} \quad (5)$$

$$h' = \left\{ 1 + K_p' \cdot \left[ K_3 + (K_\delta + K_B) \cdot (1+i)^2 + K_p'' \cdot i^2 \right] \right\}^{-1}, \quad (6)$$

$$P_3'' = \rho \cdot g \cdot H_c + K_3 \cdot Q_H^2, \quad (7)$$

$$P_p' = \rho \cdot g \cdot H_c + K_3' \cdot Q_H^2 + K_p'' \cdot Q_H^2 \cdot i^2, \quad (8)$$

$$P_i' = \rho \cdot g \cdot H_c + K_3' \cdot Q_H^2, \quad (9)$$

$$h'' = \frac{P_3'' - P_i''}{P_p'' - P_i''} = 0, \quad (10)$$

$$f' = (i, K_{CH}, \varphi_k, \varphi_p, \varphi_{ax}, \beta_{diff}) = 0, \quad (11)$$

де  $h'$ ,  $h''$  – відносний напір відповідно основного та допоміжного струминного насосів;

$P_3'$ ,  $P_p'$ ,  $P_i'$ ,  $P_3''$ ,  $P_p''$ ,  $P_i''$  – значення тисків змішаного, робочого та інжектваного потоків відповідно для основного та допоміжного струминного насосів;

$K_3'$ ,  $K_3''$  – коефіцієнти гідравлічного опору відповідно для основного та допоміжного струминного насосів;

$i'$  – коефіцієнт інжекції основного струминного насоса;

$K_{ni}$  – геометричний параметр струминного насоса;

$\varphi_\delta$ ,  $\varphi_\delta$ ,  $\varphi_{\delta i}$ ,  $\beta_{\delta \delta 0}$  – коефіцієнт швидкостей проточної частини струминного насоса;

$K_3$ ,  $K_a$ ,  $\hat{E}_a$  – коефіцієнт опору каналу затрубного простору, промивальної системи долота, вибою свердловини;

$\rho$  – густина промивального режиму;

$H_c$  – глибина свердловини;

$Q_H$  – продуктивність бурового насоса.

Рівняння (1)–(11) отримані з використанням теорії робочого процесу струминного насоса [4] та особливостей руху рідини в гідравлічній системі свердловини [5]. Розв'язок системи рівнянь (1)–(11) дозволяє визначити режими роботи струминного насоса для будь-яких умов його використання в свердловині.

Залежність величини коефіцієнта інжекції основного струминного насоса від діаметра насадок долота наведена на рис. 2. Гідравлічна система основного струминного насоса є замкненою і величина коефіцієнта інжекції не залежить від глибини розміщення пристрою в свердловині та продуктивності силового насоса. Залежність режиму роботи струминного насоса від діаметра насадок долота зумовлена впливом конструкції долота на гідравлічний опір та тиск змішаного потоку. Наведена на рис. 2 характеристика має нелінійний прямо пропорційний характер. У процесі аналізу характеристик ежекційної системи необхідно враховувати, що наявність струминного насоса дозволяє збільшити швидкість витікання промивальної рідини з насадок долота за рахунок залучення до циркуляції додаткової кількості рідини. Аналіз результатів проведених розрахунків дозволяє рекомендувати до використання в конструкції пристрою струминних насосів, які мають геометричний параметр  $K_{CH}$  в межах від 1,75 до 2,75.

Ефективність роботи допоміжного струминного насоса визначається характером розподілу в його гідравлічній системі. Залежно від співвідношення значень змішаного потоку основного насоса  $Q_3'$  та інжектваного потоку допоміжного насоса  $Q_i''$  можливі такі варіанти розподілу потоків.

1.  $Q_3' > Q_i''$ . Для цього випадку на виході з насадок долота потоку  $Q_3'$  відбувається його поділ. Частина потоку рухається по всмоктувальній лінії допоміжного струминного насоса (позиція 5 на рис. 1, а), а частина надходить у кільцевий канал, утворений корпусом пристрою та свердловиною (позиція 7 на рис. 1, а).

2.  $Q_3' < Q_i''$ . У випадку перевищення витрати інжектваного потоку кількості рідини, що надходить з вибою свердловини в кільцевому каналі 7 (рис. 1, а) утворюється низхідний потік, який разом з потоком  $Q_3'$  надходить у всмоктувальну лінію 5 (рис. 1, а) допоміжного струминного насоса.



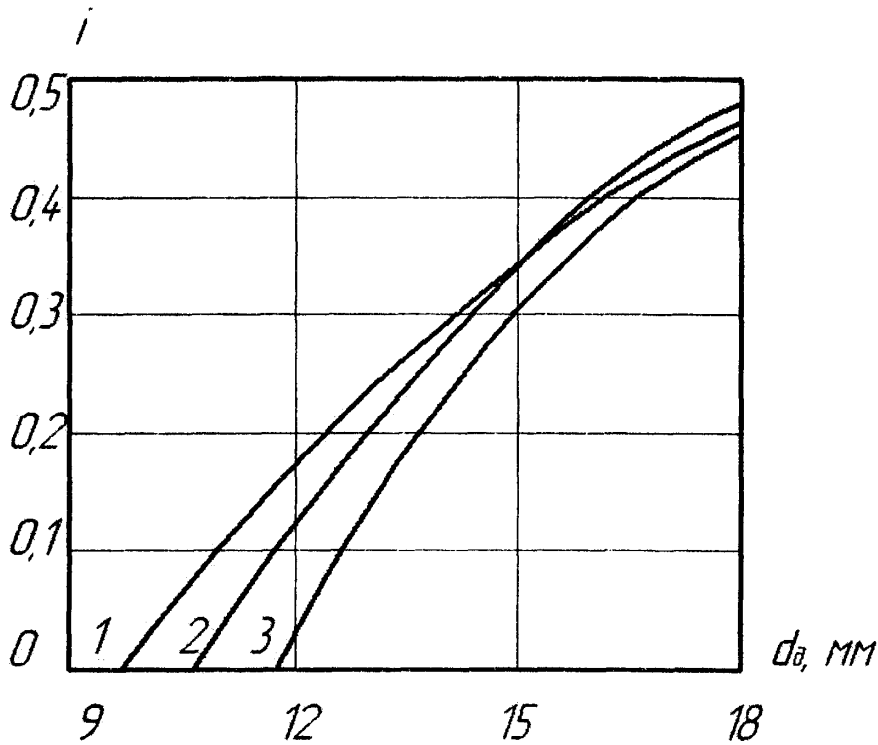


Рисунок 2. Визначення коефіцієнта інжекції основного струминного насоса для різних значень геометричного параметра  $K_{CH}$ : 1 – 1,75; 2 – 2,25; 3 – 2,75

3.  $Q'_3 = Q''_i$ . Цей випадок відповідає нульовій витраті потоку в кільцевому каналі 7.

Аналіз співвідношень величини  $Q'_3$ ,  $Q''_i$  свідчить, що найбільша ефективність очищення вибою досягається при реалізації другого випадку, коли швидкість промивального розчину в каналі 5 (рис. 1, а) є максимальною. Ця умова може бути записана так:

$$Q_H \cdot (1 - i') < Q_H \cdot i' \cdot i'' \quad (12)$$

або після відповідних перетворень отримаємо граничну величину коефіцієнта інжекції струминного насоса, що забезпечує виконання умови  $Q'_3 < Q''_i$ :

$$i'_{2p} > \frac{1}{1 + i''} \quad (13)$$

Раніше було показано, що допоміжний струминний насос працює в режимі нульового напору  $i'' = i_0$ . Гранична величина коефіцієнта інжекції основного струминного насоса визначається величиною геометричного параметра  $K_{CH}$ . Ця залежність (рис. 3) має екстремальний характер і дозволяє визначити найбільш сприятливі умови винесення шламу з наддолотної ділянки при використанні розробленого пристрою.

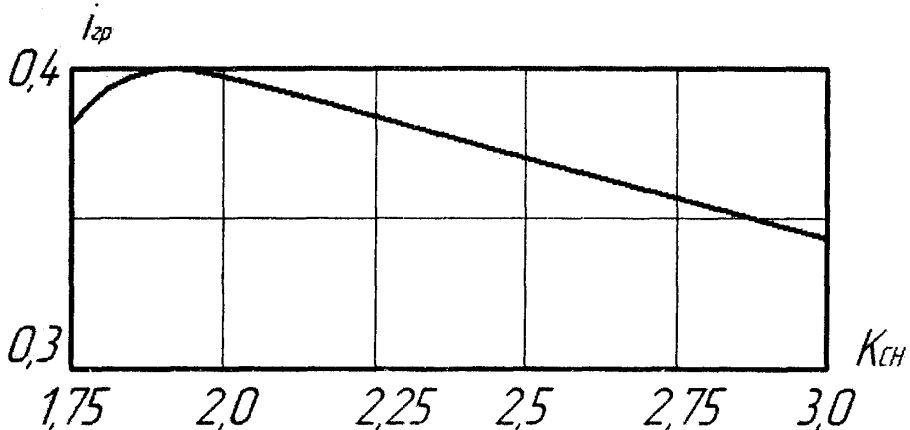


Рисунок 3. Гранична величина інжекції струминного насоса



Для визначення техніко-економічної ефективності розробленого пристрою використаємо класичні емпіричні залежності, отримані В. С. Федоровим, які зв'язують механічну швидкість буріння та проходку на долото з витратою промивальної рідини на вибої та швидкістю її витікання з насадок долота. Порівняльний аналіз параметрів буріння з базовими компоновками та розробленим пристроєм дозволяє стверджувати, що очікувана техніко-економічна ефективність від впровадження розробленого пристрою становить:

- зростання механічної швидкості буріння – до 26,7%;
- зростання проходження на долото – до 24,04%.

*Література*

1. Султанов Б. З. Управление устойчивостью и динамикой бурильной колонны. – М.: Недра, 1991. – 208 с.
2. Мавлютов М. Р. и др. Эффективность регулирования дифференциального давления эжектированием // Нефтяное хозяйство. – 1998. – №5. – С. 39–40.
3. Евстифеев С. В. Применение наддолотного эжекторного гидронасоса // Бурение и нефть. – 2002. – № 1. – С. 23.
4. Соколов Е. Я., Зингар Н. М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат., 1989. – 352 с.
5. Рабинович Н. Р. Инженерные задачи механики сплошной среды в бурении. – М.: Недра, 1989. – 270 с.

