

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СТРУМИННИХ НАСОСІВ У ПРОЦЕСІ БУРІННЯ

**О. П. Мельников**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
тел. +380 (3422) 4-00-98; e-mail: gidro@nung.edu.ua*

*В статті розглянуто основне призначення струминних насосів у процесі спорудження нафтогазових свердловин, а саме, підвищення механічної швидкості буріння. Відзначено, що основний недолік існуючих ежекційних систем пов'язаний зі значними гідравлічними втратами в робочій насадці струминного насоса. На базі проведеного аналізу запропоновано конструкцію пристрою для буріння свердловин, яка дозволяє зменшити навантаження на бурові насоси при його використанні, а також передбачає можливість спільної роботи з гідромоніторними долотами.*

**Ключові слова:** струминний насос, ежектор, відносний напір, коефіцієнт інжекції.

Висока ефективність ежекційних технологій зумовлює широку географію їх застосування. В Україні роботи з розробки та поширення ежекційних технологій на сьогоднішній день зосереджені в Івано-Франківському національному університеті нафти і газу та ВАТ «Геотест» (м. Івано-Франківськ). Ежекційні технології широко використовуються в Росії, Венесуелі, Канаді, Сполучених Штатах Америки, Французьким інститутом нафти.

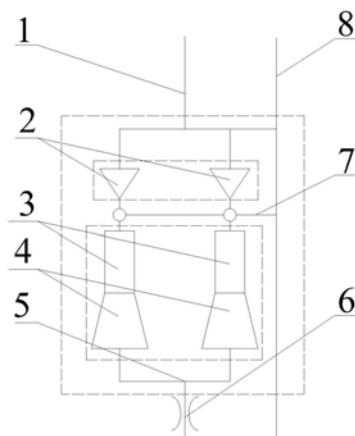
Поширеність застосування ежекційних технологій свідчить про їх світове значення.

Відомі наукові праці присвячені ежекційним технологіям таких авторів, як Сазонов Ю.А. [1], Онацко Р.Г. [2], Каменева П.Н. [3], Кіріловського Ю.Л. [4], Соколова Е.А. [5] та інших.

Відомі схеми з використанням струминних насосів, які зменшують диференціальний тиск на вибої свердловини, що робить їх незамінними при бурінні в зонах поглинання бурового розчину. Дана обставина поряд з можливістю струминного насоса інтенсифікувати процес промивання свердловини призвело до використання ежекційних систем в похило орієнтованому і, зокрема, горизонтальному бурінні.

До недоліків відомих конструкцій [6] відноситься значний додатковий гідравлічний опір, який створює робоча насадка струминного насоса, у зв'язку з чим, виникають труднощі при експлуатації гідромоніторних доліт внаслідок перевантаження бурових насосів.

Метою даних досліджень є вдосконалення конструкції ежекційної системи, яка реалізує пряме промивання привибійної зони в процесі буріння. На кафедрі нафтогазової гідромеханіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу було сформульовано завдання задача забезпечення можливості ефективного використання струминних насосів у компоновці з гідромоніторними долотами шляхом зниження гідравлічних втрат в гідравлічній системі аналогічного за своїм призначенням пристрою. Поставлену задачу вдалося вирішити використанням паралельного з'єднання струминних насосів. Гідравлічна схема розробленого пристрою зображена на рисунку 1.



1 – канал бурильних труб; 2 – робочі насадки; 3 – камера змішування; 4 – дифузори; 5 – напірна камера; 6 – долото; 7 – канал інжекції; 8 – кільцевий канал свердловини

Рис.1. Гідравлічна схема наддолотного пристрою для буріння свердловин

Пристрій, гідравлічна схема якого зображена на рисунку 1, працює наступним чином. Промивальна рідина через бурильну колону 1, робочі насадки 2, камери змішування 3 та дифузори 4 до напірної камери 5, далі до гідромоніторного долота 6 на вибій свердловини. Робочий потік з робочих насадок 2 створює розрідження, яке інжектує рідину з кільцевого каналу свердловини 8 через радіальні канали, за рахунок чого інтенсифікується промивання вибою свердловини.

Для аналізу ефективності методу зниження величини гідравлічних втрат внаслідок використання струминних насосів у процесі буріння нафтогазових свердловин, необхідно визначити необхідні вихідні дані. Для порівняння приймаємо дві свердловини однакової конструкції, котрі споруджуються методом роторного буріння. Для одного з етапів буріння використовується гідромоніторне долото діаметром  $D$ . Діаметр насадок гідромоніторного долота  $d_H$  в кількості  $n$  штук. Обидві свердловини споруджуються з використанням струминних насосів, діаметр робочої насадки котрих –  $d_{PH}$ , основне геометричне співвідношення

струминних насосів –  $K_{\text{СН}}$ . На першій свердловині використовується пристрій, конструкція якого описана в роботі Султанова Б.З. [6], а на другій свердловині – гідравлічна схема зображена на рисунку 1.

Для порівняльного аналізу різних схем компоновок свердловинних струминних насосів раціонально використовувати графоаналітичний метод. Характеристика циркуляційної системи бурової установки в компоновці з свердловинним струминним насосом можна отримати, скориставшись рівнянням:

$$h = \frac{P_3 - P_1}{P_p - P_1}, \quad (1)$$

де  $P_p$  - тиск робочого потоку рідини, який подається буровим насосом на робочу насадку струминного насоса;

$P_3$  - тиск змішаного потоку рідини на виході з дифузора струминного насоса;

$P_1$  - тиск потоку рідини, інжектваного свердловинним насосом із затрубного простору бурильної колони.

Тиск робочого потоку рідини, який подається буровим насосом на робочу насадку струминного насоса:

$$P_p = \rho g L + \Delta p_{\text{КП}} + \Delta p_{\text{Д}} + \Delta p_{\text{РН}}, \quad (2)$$

де  $\rho$  - густина промивальної рідини;

$L$  – кінцева глибина фази буріння;

$g$  - прискорення вільного падіння;

$\Delta p_{\text{КП}}$  - гідравлічні втрати в затрубному просторі бурильної колони;

$\Delta p_{\text{Д}}$  - гідравлічні втрати на вибої свердловини;

$\Delta p_{\text{РН}}$  - гідравлічні втрати на робочій насадці струминного насоса.

Тиск змішаного потоку рідини на виході з дифузора струминного насоса:

$$P_3 = \rho g L + \Delta p_{\text{КП}} + \Delta p_{\text{Д}}. \quad (3)$$

Тиск потоку рідини, інжектваного свердловинним насосом із затрубного простору бурильної колони:

$$P_1 = \rho g L + \Delta p_{\text{КП}}. \quad (4)$$

Рівняння (4) не враховує гідравлічних втрат у всмоктувальній лінії, оскільки для прийнятої конструкції струминного насоса вони є незначними.

З метою спрощення отриманих рівнянь введемо позначення:

$$K_{\text{РН}} = \frac{\rho}{2\mu_{\text{Н}}^2 \cdot f_{\text{РН}}^2}, \quad (5)$$

$$K_{\text{Д}} = \frac{\rho}{2\mu_{\text{Н}}^2 \cdot n \cdot f_{\text{Н}}^2}, \quad (6)$$

$$K_3 = \frac{8\lambda_3 \cdot \rho \cdot L}{\pi^2 (D - d_{K3})^3 \cdot (D + d_{K3})^2}, \quad (7)$$

де  $\mu_H = 0,95$  - коефіцієнт втрати робочої насадки;

$f_{PH}$  - площа поперечного перерізу робочої насадки струминного насоса;

$f_H$  - площа поперечного перерізу робочої насадки гідромоніторного долота;

$d_{K3}$  - зовнішній діаметр бурильної колони.

Коефіцієнт опору робочої насадки  $K_{PH}$  та робочих насадок гідромоніторного долота  $K_D$  отримано за формулою Бордо, а опору каналу затрубного простору  $K_3$  – за формулою Дарсі-Вейсбаха.

З урахуванням прийнятих позначень, а також формули для визначення гідростатичного тиску систему рівнянь (2)-(4) перепишемо у вигляді

$$P_P = K_{PH} \cdot Q_{PH}^2 + K_D \cdot Q_3^2 + K_3 \cdot Q_H^2 + \rho g L; \quad (8)$$

$$P_3 = K_D \cdot Q_3^2 + K_3 \cdot Q_H^2 + \rho g L; \quad (9)$$

$$P_i = K_3 \cdot Q_H^2 + \rho g L. \quad (10)$$

де  $Q_{PH} = Q_H$  - витрата рідини на робочій насадці струминного насоса для гідравлічної схеми, описаної в роботі Султанова Б.З. [6];

$Q_{PH} = \frac{1}{2} Q_H$  - витрата рідини на робочій насадці струминного насоса для гідравлічної схеми, зображеної на рисунку 1.

$Q_3 = Q_H(1+i)$  - витрата рідини змішаного потоку рідини, де  $i$  – коефіцієнт інжекції.

Врахувавши вище згадані співвідношення, та підставивши рівняння (8)-(10) в рівняння (1), отримаємо:

- для гідравлічної схеми, описаної в роботі Султанова Б.З. [6]:

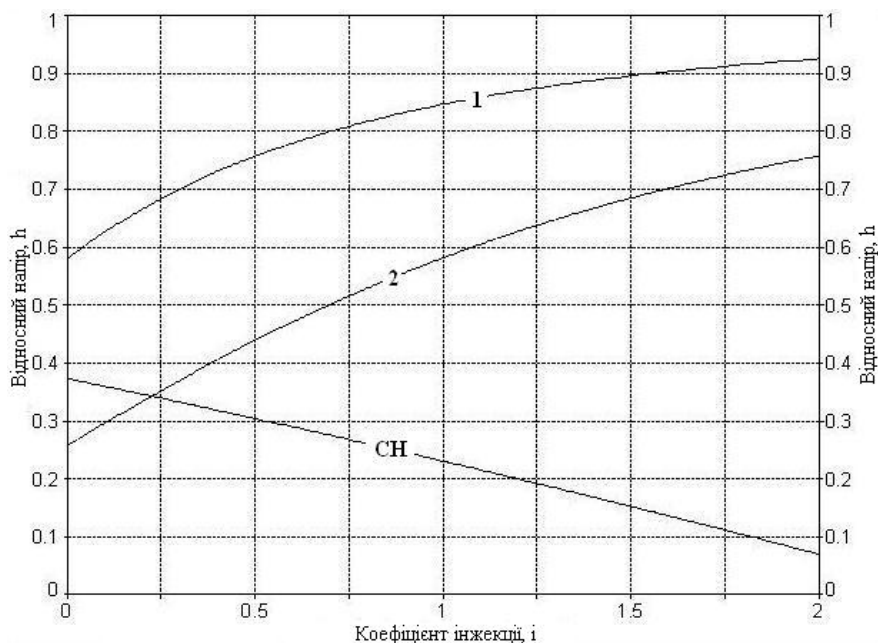
$$h = \left( 1 + \frac{K_{PH}}{K_D} \cdot (1+i)^{-2} \right)^{-1}; \quad (11)$$

- для гідравлічної схеми, зображеної на рисунку 1:

$$h = \left( 1 + 4 \frac{K_{PH}}{K_D} \cdot (1+i)^{-2} \right)^{-1}. \quad (12)$$

Для графічної інтерпретації записаних математичних виразів, задамо вихідні дані:  $K_{CH}=4$ ;  $d_{PH}=21$ мм,  $d_H=10,3$ мм,  $n=3$ . Підставивши відомі в рівняння (11) та (12) з урахуванням (5) та (6), а також рівняння характеристики струминного насоса [5], отримаємо суміщену характеристику струминного насоса та гідравлічних систем з послідовним та паралельним з'єднанням струминних насосів, які зображено на рисунку 2.

Як видно з рисунку 2, характеристика струминного насоса не перетинається з характеристикою гідравлічної системи для схеми, описаної в роботі Султанова Б.З. [6] в діапазоні позитивних значень коефіцієнта інжекції, це означає, що струминний насос за таких умов не може виконувати свої функції, і його використання не допустиме. Але при використанні паралельного з'єднання струминних насосів даний недолік усувається, що є очевидним з рисунку 2, так як характеристика струминного насоса перетинається з характеристикою гідравлічної системи з паралельним з'єднанням двох струминних насосів (див.рис.2) в діапазоні додатних значень коефіцієнта інжекції, вказуючи робочу точку даної системи. З сказаного вище можна зробити висновок, що використання паралельного з'єднання двох струминних насосів призводить до зниження гідравлічних втрат в системі, а саме затрат енергії на її роботу, навантаження на бурові насоси, і, як наслідок, підвищення коефіцієнта корисної дії.



*СН – характеристика струминного насоса; 1 – для гідравлічної схеми, описаної в роботі Султанова Б.З. [6]; 2 – характеристика гідравлічної системи з паралельним з'єднанням струминних насосів*

Рис.2. Суміщені характеристики струминного насоса та гідравлічних систем з послідовним та паралельним з'єднанням струминних насосів

Розроблена гідравлічна схема пристрою для буріння свердловин буде вельми корисна, оскільки дозволяє спільне використання з гідромоніторинними долотами, чого не можна було сказати про більшість відомих аналогів. Крім того, використання паралельного з'єднання струминних насосів призводить до зниження гідравлічних втрат на робочих

насадках, що пов'язано з поділом робочого потоку рідини на потоки, число яких рівне кількості паралельно з'єднаних струминних насосів в розробленій гідравлічній системі.

Слід зазначити, що кількість паралельно з'єднаних струминних насосів обмежується лише поперечними габаритами пристрою (діаметром свердловини) та мінімальною величиною витрати робочої рідини на виході робочої насадки для забезпечення інжекції рідини з кільцевого каналу свердловини. Питання оптимально кількості паралельних струминних насосів в пристрої поряд з розробкою конструкції його прототипу буде розглянуто в подальших дослідженнях.

### *Література*

1. Сазонов Ю.А. Разработка устройства, снижающего дифференциальное давление на забое скважины и повышающего скорость бурения: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ю.А.Сазонов. - Москва, МИНГ им. И.М. Губкина, 1989. - 176с.
2. Онацко Р.Г. Обґрунтування раціональних режимів роботи свердловинних струминних насосів: дис.канд.техн.наук: 05.05.12. / Р.Г.Онацко. - Івано-Франківськ. - 172с.
3. Каменев П.Н. Гидроэлеваторы в строительстве / П.Н.Каменев. - М., Стройиздат, 1970. - 416с.
4. Кириловский Ю.Л. Рабочий процесс и основы расчета струйных насосов / Ю.Л.Кириловский, Л.Г.Подвидз // Труды ВИГМ. – М., 1960. – С. 96-135.
5. Соколов Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я.Соколов, Н.М.Зингер. - М., Энергия, 1970. - 288 с.
6. Султанов Б.З. Управление устойчивостью и динамикой бурильной колонны / Б.З.Султанов. – М.: Недра, 1991. – 208 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 20.12.2012 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., професором **Копєєв Б.В.**,  
д.т.н., професором **Яремійчуком Р.С.**(м. Сімферополь)*

## INCREASING THE EFFICIENCY OF JET PUMPS DRILLING

**A. P. Melnikov**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;  
76019, Ivano-Frankivsk, Carpatska str., 15;  
ph. +380 (3422) 4-00-98, e-mail: [gidro@nung.edu.ua](mailto:gidro@nung.edu.ua)*

*The article considers the main purpose of jet pumps in the construction of oil and gas wells, namely, the increase in ROP. It is noted that the main drawback of the existing ejection systems associated with significant hydraulic losses in the working nozzle jet pump. On the basis of the analysis proposed device is designed for drilling wells, which reduces the load on the mud pumps in use, and also provides an opportunity to work with jetting bits.*

**Key words:** jet pump, ejector, head ratio, flow ratio.