

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СТРУМИННОГО НАСОСА ПРИ ЙОГО АСИМЕТРИЧНОМУ ОБЕРТАННІ В СВЕРДЛОВИНІ

Паневник Д.О.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

Анотація. Структура рівнянь напірно-витратної характеристики високонапірного струминного насоса доповнена складовою, що визначає додатковий напір викликаний впливом вихрових потоків при асиметричному обертанні ежекційної системи навколо осі свердловини. На основі спільного розв'язку рівнянь Бернуллі, збереження суцільності рухомого середовища, імпульсу та моменту кількості руху змішуваних потоків отримано співвідношення для аналітичного визначення додаткового динамічного напору, створюваного обертанням ексцентрично розміщеного струминного насоса в свердловині. В процесі дослідження отриманого рівняння встановлено екстремальний характер зростання напірно-витратної та енергетичної характеристики наддолотної ежекційної системи. Збільшення тиску та ККД, зумовлене асиметричним обертанням наддолотної ежекційної системи, обернено пропорційне значенню основного геометричного параметра струминного насоса.

Ключові слова: струминний насос, ежекційна система, відносний напір, коефіцієнт інжекції, напірна та енергетична характеристика, відносний обертаний рух.

Буріння нафтогазових експлуатаційних свердловин супроводжується наявністю значного (до 40–50 МПа та вище) гідростатичного тиску, який створюється промивальним розчином на вибої свердловини, що ускладнює процес його очищення та видалення вибуреного шламу з наддолотної області [1]. Одним із технічних засобів, які дозволяють знизити величину тиску в процесі буріння є наддолотний струминний насос [2]. Враховуючи, що ефективність застосування наддолотних ежекційних компоновок визначається точністю прогнозування режиму експлуатації струминного насоса [3], удосконалення математичних моделей його робочого процесу є актуальною задачею. Сучасні методи розрахунку наддолотних ежекційних систем не враховують [4] наявність їх обертання в свердловині. Виникнення відцентрових сил при відносному русі елементів ежекційної системи змінює характер розподілу гідродинамічних параметрів в проточній частині струминного

насоса та має безпосередній вплив на його характеристики [5]. Асиметричне обертання струминного насоса, викликане його ексцентричним розміщенням в наддолотній компоновці, підвищує вплив відцентрових сил на точність прогнозування режиму роботи ежекційної системи.

Метою досліджень є моделювання робочого процесу високонапірного струминного насоса із врахуванням можливості його обертання в свердловині для умов ексцентричного розміщення у складі наддолотної компоновки.

Наддолотні компоновки з ексцентричним розміщенням ежекційної системи відносно осі свердловини, зазвичай, складаються з паралельно-послідовного з'єднання декількох струминних насосів.

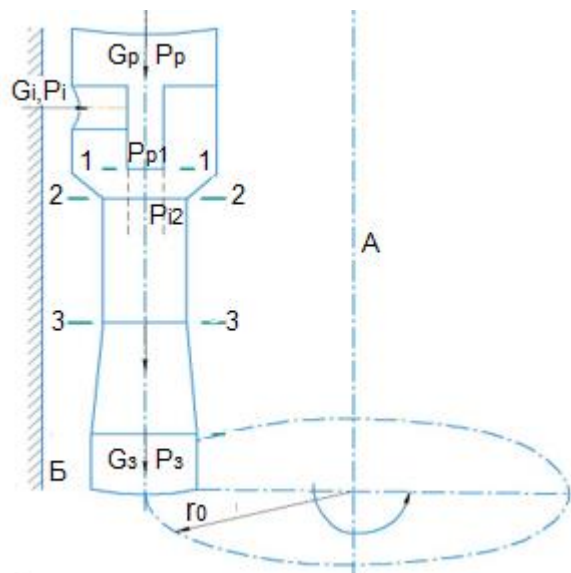


Рисунок 1 – Гідравлічна схема ежекційної системи з асиметрично розміщеним струминним насосом: А – вісь свердловини; Б – стінка свердловини

G_p, G_j, G_3 – масові витрати робочого, інжектваного та змішаного потоків;

P_p, P_i, P_3 – значення тиску робочого, інжектваного та змішаного потоків;

r_0 – ексцентриситет розміщення струминного насоса в свердловині;

1-1 – вихідний переріз робочої насадки;

2-2 – вхідний переріз камери змішування; 3-3 – вихідний переріз камери змішування

Використовуючи рівняння збереження імпульсу та моменту кількості руху рідини, закон неперервності потоку і збереження енергії у вигляді рівняння Бернуллі отримаємо характеристику додаткового напору h_0 для високонапірного струминного насоса за умови його ексцентричного обертання в свердловині

$$h_{\partial} = \frac{\varphi_1^2 G_3^2}{K_{сн}^2} (1+i)^2 + \frac{2\varphi_1^2 \varphi_{2i} \omega^2 r_o^2 f_{p1}^2 \rho^2}{G_p^2 (1+1/i)} - \frac{\Delta P_{\kappa}}{\Delta P_p} \quad (1)$$

де φ_1 , φ_{2i} – коефіцієнти швидкостей у вихідному перерізі робочої насадки та інжектованого потоку у вхідному перерізі камери змішування;

$K_{сн}$ – основний геометричний параметр струминного насоса;

i – коефіцієнт інжекції;

ω – кутова швидкість обертання струминного насоса;

ρ – густина потоку;

f_{p1} – площа перерізу робочого потоку на виході з робочої насадки;

ΔP_{κ} – зниження тиску інжектованого потоку на вхідній ділянці камери змішування;

ΔP_p – різниця тисків робочого та інжектованого потоків.

Величина відносних гідравлічними втратами $\Delta P_{\kappa} / \Delta P_p$ в рівнянні (1) визначена методом послідовних наближень з використанням програми РТС Mathcad.

Визначення співвідношень відносного напору та коефіцієнта інжекції дозволяє розрахувати енергетичну характеристику струминного насоса.

$$\eta = \frac{hi}{1-h} \quad (2)$$

де η – коефіцієнт корисної дії струминного насоса.

В процесі виведення рівнянь (1), (2) використано формулу для визначення коефіцієнта інжекції i струминного насоса у вигляді співвідношення витрат інжектованого Q_i та робочого Q_p потоків $i = Q_i / Q_p$.

Побудовані з використанням рівнянь (1), (2) залежності зростання напору та ККД струминного насоса, зумовлені його асиметричним обертанням в свердловині, відзначаються чітко визначеним екстремумом (рисунок 2).

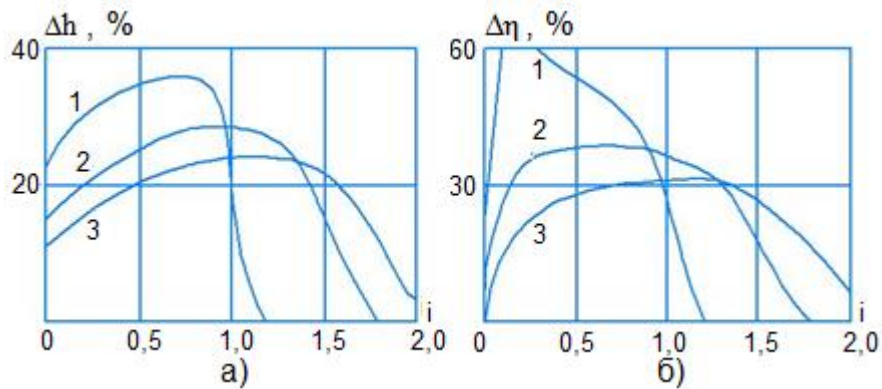


Рисунок 2 – Залежність зростання напору (а) та коефіцієнта корисної дії (б) від коефіцієнта інжекції струминного насоса для різних значень основного геометричного параметра:

$$1 - K_{ch} = 2,0; 2 - K_{ch} = 3,0; 3 - K_{ch} = 4,0$$

Необхідно відзначити що зростання напору та ККД приймає максимальні значення для струминного насоса з основним геометричним параметром $K_{ch} = 2$ та зменшується при зростанні величини K_{ch} . Значення коефіцієнта інжекції, які відповідають екстремумам кривих $\Delta h = f(i)$, $\Delta \eta = f(i)$ зростають при збільшенні величини геометричного параметра K_{ch} .

Отримані результати дають змогу підвищити ефективність проектування конструкцій свердловинних ежекційних систем та раціональних режимів їх експлуатації при реалізації процесів розробки нафтогазових родовищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Yong H., Lihong Z., Deyong Z., Hualin L., Jinying W., Jinshen Y., Yugang Z., Zhibin W. Study on structure parameters of reverse circulation drill bit secondary injector device based on injector coefficient. IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference, Singapore. 22–24. –2016. P. 22–24. <https://doi.10.2118/180539-MS>.
2. Zhu H. Y., Liu Q.Y. Pressure drawdown mechanism and design principle of jet pump bit. Scientia Iranica B. – 2015. № 22(3). P. 792–803.
3. Panevnyk D.A. Simulation of a downhole jet-vortex pump's working process. Nafta-Gaz. –2021. No. 9. P. 579–586. <https://doi.org/10.18668/NG.2021.09.02>.
4. Qian Y., Wang Y., Fang Z., Chen X., Miedema S.A. Numerical Investigation of the Flow Field and Mass Transfer Characteristics in a Jet Slurry Pump. Processes. – 2021. № 9(11). 17 p. <https://doi.org/10.3390/pr9112053>.
5. Zhu H.Y., Liu Q.Y., Wang T. Reducing the bottom-hole differential pressure by vortex and hydraulic jet methods. Journal of Vibroengineering. – 2014. № 8. P. 2224–2249.

SIMULATION OF THE JET PUMP WORKING PROCESS WITH ITS ASYMMETRIC ROTATION IN THE WELL

Panevnyk Denys

Abstract. *The structure of the equations of the pressure-flow characteristics of the high-pressure jet pump is supplemented with a component that determines the additional pressure caused by the influence of eddy currents during the asymmetric rotation of the ejection system around the axis of the well. On the basis of the joint solution of the Bernoulli equations, the preservation of the integrity of the moving medium, the momentum and moment of movement of the mixed flows, a relationship was obtained for the analytical determination of the additional dynamic pressure created by the rotation of an eccentrically placed jet pump in the well. In the process of researching the resulting equation, the extreme nature of the growth of the pressure-flow and energy characteristics of the overbite ejection system was established. The increase in pressure and efficiency caused by the asymmetric rotation of the over-chisel ejection system is inversely proportional to the value of the main geometric parameter of the jet pump.*

Keywords: *jet pump, ejection system, relative pressure, injection coefficient, pressure and energy characteristic, relative rotational motion.*

REFERENCES

1. Yong H., Lihong Z., Deyong Z., Hualin L., Jinying W., Jinshen Y., Yugang Z., Zhibin W. Study on structure parameters of reverse circulation drill bit secondary injector device based on injector coefficient. IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference, Singapore. 22–24. –2016. 22–24. <https://doi.10.2118/180539-MS>.
2. Zhu H. Y., Liu Q.Y. Pressure drawdown mechanism and design principle of jet pump bit. Scientia Iranica B. – 2015. № 22(3). P. 792–803.
3. Panevnyk D.A. Simulation of a downhole jet-vortex pump's working process. Nafta-Gaz. –2021. No. 9. P. 579–586. <https://doi.org/10.18668/NG.2021.09.02>.
4. Qian Y., Wang Y., Fang Z., Chen X., Miedema S.A. Numerical Investigation of the Flow Field and Mass Transfer Characteristics in a Jet Slurry Pump. Processes. – 2021. № 9(11). 17 p. <https://doi.org/10.3390/pr9112053>.
5. Zhu H.Y., Liu Q.Y., Wang T. Reducing the bottom-hole differential pressure by vortex and hydraulic jet methods. Journal of Vibroengineering. – 2014. № 8. P. 2224–2249.