

# Визначення експлуатаційних параметрів пристрою для очищення вибою свердловини

© **О.В. Паневник**  
д-р. техн. наук  
gidro@nung.edu.ua

**І.Ф. Концур**

канд. техн. наук

**Д.О. Паневник**

Івано-Франківський  
національний технічний  
університет нафти і газу

*Запропоновано методикою розрахунку режимних параметрів струминного насоса пристрою для очищення вибою свердловини. На основі визначення тисків у характерних перерізах ежекційної системи отримано рівняння характеристики гідравлічної системи струминного насоса. У процесі спільного розв'язання рівнянь струминного насоса і його гідравлічної системи отримано параметри робочої точки насосної установки. Проведені дослідження дають змогу прогнозувати режим роботи пристрою для очищення вибою та границі його використання в нафтових свердловинах.*

**Ключові слова:** струминний насос, свердловина, очищення вибою, параметри експлуатації, режим роботи.

**УДК 622.24 + 621.694.2**

*Предложена методика расчёта режимных параметров струйного насоса устройства для очистки забоя бурящейся скважины. На основе определения давлений в характерных сечениях эжекционной системы получено уравнение характеристики гидравлической системы струйного насоса. В процессе совместного решения уравнений струйного насоса и его гидравлической системы определены параметры рабочей точки насосной установки. Проведенные исследования позволяют прогнозировать режим работы устройства для очистки скважины для заданных условий его эксплуатации.*

**Ключевые слова:** струйный насос, скважина, очистка забоя, параметры эксплуатации, режим работы.

*The methods of calculating operating parameters of the jet pump for cleaning the bottom hole are proposed. Based on the determination of pressures in typical cross sections of the ejection system, we have obtained the equation of jet pump hydraulic system specifications. In the process of joint solution of equations of the jet pump and its hydraulic system, we have obtained parameters the pumping unit operating point. The conducted studies allow to predict the device's operating mode for cleaning bottom holes and limits of its use in oil wells.*

**Key words:** jet pump, well, cleaning the bottom hole, parameters of use, operating mode.

**О**чищення вибою в процесі ліквідації аварій, освоєння або капітального ремонту – традиційна сфера застосування струминних насосів. Гідравлічні уловлювачі, основним елементом яких є струминний насос, використовують для видалення залишених на вибої предметів паралельно з такими технічними засобами, як павук, магнітний уловлювач, пристрій із зворотним місцевим промиванням [1].

Простота виготовлення гідравлічних уловлювачів призвела до появи в різних виробничих об'єднаннях колишнього СРСР власних конструкцій вибійних пристроїв. Зокрема, можемо відзначити конструкцію пристрою для очищення вибою, розроблену в об'єднанні «Укрзахіднафтогаз». За кордоном досить широко використовують ловильні пристрої фірм Боуен, Вілсон, VJ-Companу [2] та ін. Перспективність застосування струминних насосів пов'язана з можливістю створення в привибійній зоні свердловини місцевого зворотного промивання з витратою, що в 2,5–3 рази перевищує подачу поверхневого насосного агрегата. Незважаючи на чисельність конструкцій та широкий спектр застосування, ефективність гідравлічних уловлювачів не завжди відповідає вимогам, що пов'язано

передусім із неповнотою вивчення теоретичних питань використання струминних насосів. Унаслідок цього під час проектування струминних насосів переважно приймаються наближені значення конструкторських та експлуатаційних параметрів, які отримані, як правило, на основі практичного досвіду використання. Зважаючи на те, що точність прогнозування експлуатаційних параметрів гідравлічного уловлювача безпосередньо впливає на ефективність його використання, удосконалення моделі робочого процесу струминного насоса є актуальним завданням.

Існуючі гідравлічні моделі пристрою для очищення вибою під час ремонту [3] та буріння [4] свердловин передбачають поетапне визначення вигляду рівнянь напірної характеристики струминного насоса та характеристики його гідравлічної системи з подальшим їх спільним розв'язанням. Рівняння напірної характеристики може бути отримане з використанням рівняння збереження кількості руху рідини в камері змішування струминного насоса [5], а визначення характеристики гідравлічної системи ґрунтується на попередньому визначенні тисків робочого, змішаного та ін'єктованого потоків. При цьому не враховують

гідралічних втрат у всмоктувальній лінії струминного насоса, що суттєво впливає на достовірність визначення режимних параметрів ежекційної системи.

Метою роботи є підвищення точності прогнозування режиму роботи пристрою для очищення вибою свердловин на основі удосконалення гідралічної моделі робочого процесу струминного насоса, який реалізує місцеве зворотне промивання привибійної зони.

Пристрій для очищення вибою (рис. 1) складається з механізму переключення потоку у вигляді кульового клапана 1, струминного насоса 2, бункера 3 та механізму для утримування в бункері залишених на вибої об'єктів у вигляді пелюсткового пристрою 4.

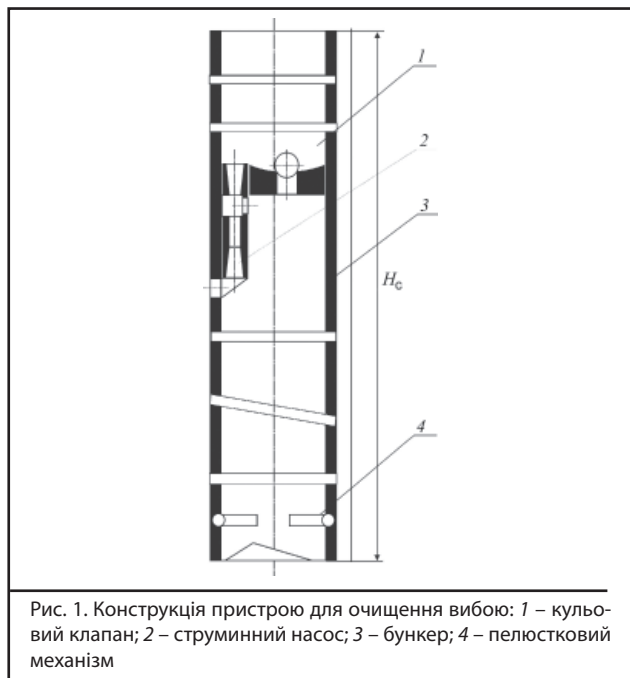


Рис. 1. Конструкція пристрою для очищення вибою: 1 – кульовий клапан; 2 – струминний насос; 3 – бункер; 4 – пелюстковий механізм

Механізм переключення потоку дає змогу здійснювати як пряме (за відсутності кульового клапана в порожнині уловлювача), так і зворотне (після скидання кулі клапана в бурильні труби) промивання. Висхідний потік бурового розчину, який створюється в бурильній колоні струминним насосом, забезпечує переміщення предметів із вибою свердловини в бункер уловлювача. Випадінню предметів із бункера уловлювача під час підняття бурильної колони запобігають «підпружинені» пелюстки пристрою для утримування залишених на вибої об'єктів.

Приведемо технічні характеристики типової конструкції пристрою для очищення вибою: витрата рідини через пристрій, л/с – 20–25; втрати тиску в пристрої, МПа (для  $Q=19$  л/с) – 6,0; діаметр прохідного перерізу робочої насадки, мм – 14; діаметр камери змішування струминного насоса, мм – 28; діаметр кулі, що скидається, мм – 38,1; максимальний діаметр предметів, що уловлюються, мм – 136; навантаження на пристрій під час очищення вибою, кН – 5–10; рекомендована частота обертів, не більше, об/хв – 100; діаметр, мм – 172 (195); довжина: без шламосбірників, мм – 1638, із шламосбірниками, мм – 12400; приєднувальна різьба – 3–147.

Проаналізуємо характер розподілу потоків у гідралічній системі струминного насоса. Робочий потік із витратою  $Q_n$  надходить по каналу бурильної колони

1, проходить робочу насадку і в точці «e» (приймальна камера) з'єднується з інжекттованим потоком, після чого в камері змішування відбувається вирівнювання швидкостей потоків. Після відновлення тиску в дифузори змішаний потік виходить у канал затрубного простору, в точці «d» відбувається поділ змішаного потоку. Частина потоку з витратою  $Q_i$  проходить робочу порожнину уловлювача і з'єднується з робочим потоком у приймальній камері струминного насоса, а частина з витратою  $Q_n$  формує висхідний потік і по каналу 3 прямує до устя свердловини.

Гідродинамічні тиски визначаємо в характерних перерізах ежекційної системи. У точці «a» (рис. 2) ви-

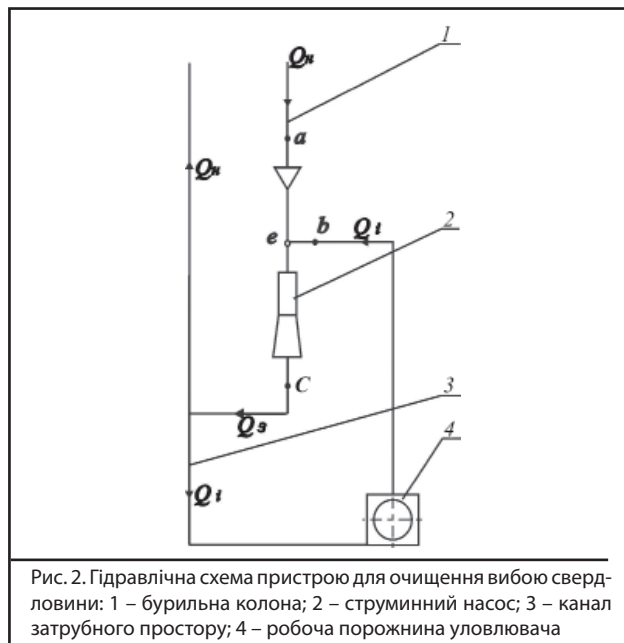


Рис. 2. Гідралічна схема пристрою для очищення вибою свердловини: 1 – бурильна колонна; 2 – струминний насос; 3 – канал затрубного простору; 4 – робоча порожнина уловлювача

значаємо тиск робочого  $P_p$ , «e» інжекттованого  $P_i$ , «c» – змішаного  $P_s$  потоків у гідралічній системі пристрою:

$$P_p = K_p Q_n^2 + \rho g H_c + K_s Q_n^2; \quad (1)$$

$$P_s = K_s Q_n^2 + \rho g H_c; \quad (2)$$

$$P_i = P_s - K_i Q_i^2 = K_s Q_n^2 + \rho g H_c - K_i Q_i^2, \quad (3)$$

де  $K_p$ ,  $K_s$ ,  $K_i$  – узагальнений гідралічний опір відповідно робочої насадки струминного насоса, каналу затрубного простору та робочої порожнини уловлювача;  $Q_n$ ,  $Q_i$  – витрата робочого та інжекттованого потоку;  $\rho$  – густина бурового розчину;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $H_c$  – глибина свердловини.

Складова  $\rho g H_c$  у рівняннях (1)–(3) визначає величину гідростатичного тиску в свердловині, а складова  $K_i Q_i^2$  – гідралічні втрати, пов'язані з обтіканням висхідним потоком об'єкта, який знаходиться у робочій порожнині уловлювача.

Співвідношення тисків робочого, змішаного та інжекттованого потоків відповідно до прийнятої термінології визначає відносний напір струминного насоса  $h$

$$h = \frac{P_s - P_i}{P_p - P_i} = \frac{K_s Q_n^2}{K_p Q_n^2 + K_i Q_i^2} = \frac{1}{1 + \frac{K_p}{K_s} \frac{1}{i^2}}, \quad (4)$$

де  $i$  – коефіцієнт інжекції струминного насоса ( $i=Q_i/Q_n$ ).

Узагальнені гідравлічні опори  $K_p, K_i$  у рівнянні (4) визначають за загальноприйнятими формулами [6] для визначення втрат напору в гідравлічних місцевих опорах, після використання яких рівняння характеристики гідравлічної системи струминного насоса набуває вигляду:

$$h = \frac{1}{1 + \frac{1}{\mu_{\text{рн}}^2 C} \left( \frac{d_o}{d_{\text{рн}}} \right)^4 \frac{1}{i^2}}, \quad (5)$$

де  $\mu_{\text{рн}}$  – коефіцієнт витрати робочої насадки струминного насоса;  $C$  – коефіцієнт гідравлічного опору під час обтікання об'єкта, що уловлюється стисненим потоком;  $d_o, d_{\text{рн}}$  – діаметр відповідно робочої порожнини уловлювача та робочої насадки струминного насоса.

Для визначення коефіцієнта гідравлічного опору  $C$  можна використовувати емпіричну формулу Є. Г. Леонова [7].

Спільне розв'язання рівняння напірної характеристики та рівняння (5) дає змогу визначити положення робочої точки на спільному графіку в координатах: відносний напір  $h$  – коефіцієнт інжекції  $i$  та режим роботи струминного насоса (рис. 3). Напірна



характеристика струминного насоса побудована з використанням рівняння збереження кількості руху рідини в камері змішування [5]. Рівняння характеристики гідравлічної системи побудовано для різних діаметрів об'єкта  $d$ , який уловлюється, представленого у відносній формі ( $q=d/d_o$ ). Точки  $A_1, A_2, A_3$  є робочими точками насосної установки (рис. 3) і визначають режимні параметри струминного насоса. Відповідно до приведених залежностей зростання відносного діаметра  $q$  об'єкта, який уловлюється, призводить до збільшення відносного напіру струминного насоса і зменшення величини коефіцієнта інжекції. Отримані значення коефіцієнта інжекції дають змогу за допомогою співвідношення  $Q_i=iQ_n$  визначити величину інжектованого (висхідного) потоку для заданої подачі бурового насоса  $Q_n$ . Порівняння величини отриманої висхідної витрати  $Q_i$  із необхідним для транспортування об'єкта значенням дає можливість прийняти необхідну для очищення вибою подачу бурового насоса.

Видалення об'єктів, які знаходяться на вибої, можливе лише у випадку, коли витрата висхідного потоку в порожнині уловлювача перевищує витрату, яка забезпечує знаходження тіла у зваженому нерухомому стані. Використовуючи рівняння балансу сил, що діють на тіло, яке нерухомо у зваженому стані знаходиться у висхідному потоці, необхідну витрату промивальної рідини можна визначити за формулою:

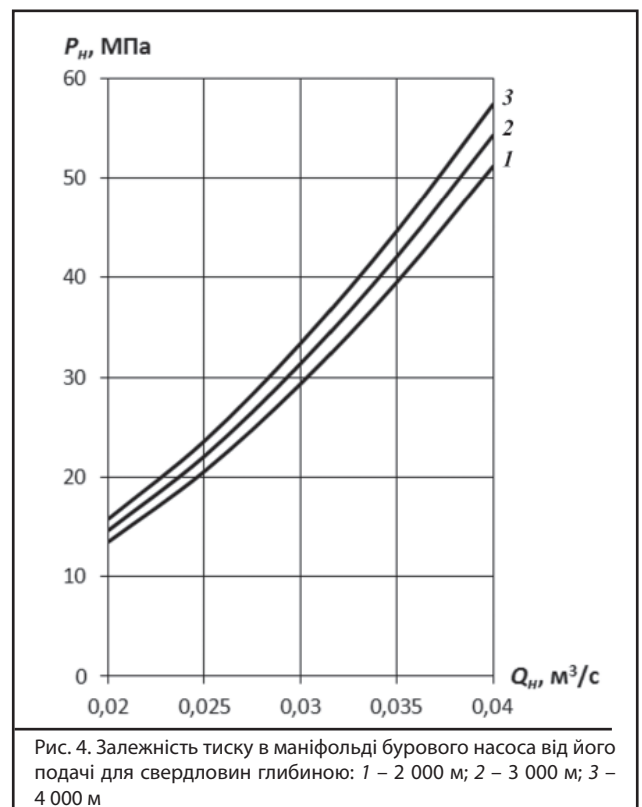
$$Q_B = \frac{\pi d_o^2}{4} \sqrt{\frac{4g(\rho_T - \rho)}{3C\rho}}, \quad (6)$$

де  $\rho_T$  – густина матеріалу, зваженого у висхідному потоці об'єкта.

Якщо витрата спрямованого вверх потоку перевищує витрату, яка забезпечує рівновагу об'єкта, то швидкість його переміщення стає відмінною від нуля і він починає рухатися у висхідному потоці. З практичного досвіду відомо, що стабільний рух тіла у висхідному потоці має місце тоді, коли фактична витрата потоку на 20–30 % перевищує витрату, яка забезпечує рівновагу об'єкта. Останнє співвідношення необхідно враховувати під час визначення необхідної умови очищення вибою.

Пристрій для очищення вибою створює додаткове гідравлічне навантаження на буровий насос. Із метою встановлення можливості застосування пристрою необхідно визначити величину тиску в напірному трубопроводі бурового насоса в процесі очищення вибою свердловини. Тиск, який створюється буровим насосом  $P_H$ , визначається величиною гідравлічних втрат у робочій насадці струминного насоса  $\Delta P_{\text{рн}}$ , у каналі бурової колони  $\Delta P_K$  та затрубного простору  $\Delta P_{\text{зн}}$ :

$$P_H = \Delta P_{\text{рн}} + \Delta P_K + \Delta P_{\text{зн}}. \quad (7)$$



Гідравлічні втрати в елементах насосно-циркуляційної системи визначають за відомими формулами [6]. У процесі обчислення лінійних втрат напору в каналі бурильної колони та затрубного простору послідовно визначаємо швидкість потоку, параметр Сен-Венана, число Рейнольдса та коефіцієнт лінійного гідравлічного опору. Залежність тиску в маніфольді бурового насоса визначаємо для різної витрати бурового розчину та глибини розміщення струминного насоса в свердловині (рис. 4). Аналіз отриманих результатів свідчить про нелінійний, прямо-пропорційний характер залежності тиску в маніфольді бурового насоса від його подачі.

## Висновок

Отже, розроблена методика розрахунку дає можливість підвищити ефективність вибору експлуатаційних параметрів процесу очищення вибою свердловини за допомогою вибійних струминних насосів. Отримані результати дають змогу оптимізувати енергетичні показники процесу будівництва свердловин і можуть бути використані як у ході проектування, так і експлуатації струминних насосів, призначених для очищення вибою.

Завдання подальших досліджень: дослідна перевірка розробленої методики прогнозування режиму роботи вибійного струминного насоса, який реалізує місцеве зворотне промивання привибійної зони свердловини.

## Список використаних джерел

1. **Пустовойтенко И.П.** Предупреждение и ликвидация аварий в бурении / И.П. Пустовойтенко. – М.: Недра, 1988. – 279 с.
2. **Елфимов В.С.** Освоение нефтяных скважин после гидравлического разрыва пласта с применением струйного насоса / В.С. Елфимов, Г.П. Зозуля, А.В. Кустышев / Нефтепромысловое дело. – 2007. – № 3. – С. 52–55.
3. **Яремійчук Р.С.** Пристрій для очищення вибою свердловини і визначення режиму його роботи / Р.С. Яремійчук, О.В. Паневник, О.Р. Твердушко / Нафт. і газова пром-сть. – 1996. – № 2. – С. 23–25.
4. **Чернобыльский А.Г.** Гидравлический расчет универсального ловителя шарошек / А.Г. Чернобыльский, А.В. Паневник // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ВНИИОЭНГ, 1994. – С. 26–28.
5. **Соколов Е.Я.** Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
6. **Кулінченко В.Р.** Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід / В.Р. Кулінченко. – К.: Інкос, Центр навчальної літератури, 2006. – 616 с.
7. **Леонов Е.Г.** Расчёт времени падения шара в нисходящем турбулентном потоке промывочной жидкости в колонне труб / Е.Г. Леонов, Б.С. Филатов, Б.Н. Хахаев // Нефтяное хозяйство. – 1972. – № 3. – С. 22–26.

## Відкриття великого газового родовища на шельфі Єгипту

**З**а повідомленням італійської компанії ENI, на глибоководній площі Zohr, що в Середземному морі, відкрито нове гігантське газове родовище. Воно знаходиться в межах морської економічної зони Єгипту на глибині моря 1450 м у блоці Shorouk. Родовище має площу близько 100 км<sup>2</sup>, запаси газу можуть становити 840 млрд м<sup>3</sup>, воно – найбільше серед відкритих в Єгипті та Середземному морі взагалі. Свердловина Zohr 1X NFW, пробурена на глибину 4131 м, відкрила нафтогазоносні породи міоцену потужністю 630 м із прекрасними колекторськими властивостями. Компанія ENI через свою дочірню компанію IEOC Production володіє 100 % правами на розвідання згаданого блока і є оператором концесії.

За матеріалами <http://www.lngworldnews.com/eni-discovers-huge-gas-field-off-egypt>

## Видобуток газу в світі у 2014 р. становив 3475 млрд м<sup>3</sup>

**З**а даними італійської компанії ENI, видобуток природного газу в світі у 2014 р. сягав 3474,46 млрд м<sup>3</sup>. Лідерство за обсягами видобування газу вже третій рік поспіль утримують США, що обумовлено значною мірою залученням ресурсів сланцевого газу. В Росії, яка за цим показником посідає друге місце в світі, в 2014 р. видобуток газу знизився на 6,1 %, відображаючи як зменшення обсягів його споживання в середині країни, так і зниження експорту. Падіння економіки, низькі світові ціни на нафту та міжнародні санкції серйозно вплинули на енергетичний сектор цієї країни.

У 2014 р. світове споживання газу знизилося проти рівня 2013 р. на 0,4 %, у той час як протягом 2000–2014 рр. мало місце його постійне зростання в середньому на 2,4 %. Погодні умови та послаблення економіки призвели до зниження обсягів використання газу в Європі та Росії. В країнах Близького Сходу та Тихоокеанського регіону споживання газу збільшилося, що було обумовлене економічним зростанням, зокрема в Ірані та Китаї. Доступність газу власного виробництва та низькі ціни на нього сприяли зростанню використання газу в США, підтверджуючи позицію цієї держави як найбільшого світового споживача блакитного палива.

За матеріалами <http://www.lngworldnews.com/bp-outlook-gas-will-be-the-fastest-growing-fossil-fuel...>