

УДК 622.24+621.694.2

## СИСТЕМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ СВЕРДЛОВИННИХ СТРУМИННИХ НАСОСІВ

Паневник Д.О.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

На основі узагальнення та систематизації конструкцій свердловинних ежекційних систем з врахуванням особливостей робочого процесу та досвіду їх практичного використання розроблена класифікаційна схема струминних насосів, які застосовують при розробці нафтогазових родовищ. Елементи запропонованої класифікаційної схеми розглянуті на прикладі реальних конструкцій ежекційного обладнання. Встановлено, що наявні конструкції свердловинних струминних насосів можна поділити на три групи, які реалізують всмоктувальне, напірне та напірно-всмоктувальне промивання вибою. Проаналізована ефективність основних схем застосування струминних насосів при бурінні свердловин. Показано, що максимальна ефективність процесу буріння має місце при використанні ежекційних систем нагнітально-всмоктувального типу. Систематизація конструкцій свердловинних струминних насосів дозволяє суттєво розширити галузь їх використання та визначити шляхи вдосконалення ежекційних технологій.

**Ключові слова:** свердловинні ежекційні системи, струминний насос, ежекційне обладнання, ежекційні технології, буріння свердловин.

**Постановка проблеми.** Потреба в забезпеченні України енергетичними ресурсами вимагає підвищення ефективності розробки покладів корисних копалин. Інтенсифікація експлуатації нафтогазових родовищ може бути досягнута використанням свердловинних струминних насосів під час реалізації процесів буріння [1], ліквідації аварій [2], освоєння [3], експлуатації [4] та ремонту [5] свердловин. Поширеність ежекційних технологій свідчить про їх універсальність та світове значення. Значна кількість технологічних операцій, які можуть бути реалізовані з використанням ежекційних технологій, зумовила розробку численних конструкцій свердловинних струминних насосів. Реалізація кожного виробничого процесу потребує використання окремих конструкцій свердловинних струминних насосів. Намагання підвищити ефективність експлуатації нафтогазових родовищ викликало появу численних модифікацій свердловинних ежекційних систем. Наявність великої кількості не пов'язаних між собою установ-проектантів і підприємств-виробників, відсутність єдиних стандартів, які регламентують типи і параметри окремих конструкцій свердловинних струминних насосів, та існування

широкого парку різноманітного ежекційного обладнання ускладнює процес його експлуатації та ремонту. Підвищення ефективності проектування та експлуатації свердловинних ежекційних систем може бути досягнуте шляхом систематизації структурних елементів, їх узагальнення та розробки універсального ряду стандартних уніфікованих блоків струминного насоса, поєднання яких в конструкції глибинної компоновки дало б змогу отримати необхідні для виконання заданого виробничого процесу характеристики.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Систематизація конструкцій передбачає встановлення класифікаційних ознак свердловинних ежекційних систем. На сьогоднішній день відомі схеми класифікації свердловинних ежекційних систем, відповідно до яких глибинні струминні насоси систематизовані за характером підведення робочої рідини [6], співвідношенням фаз змішуваних потоків [7], видом буріння, характером включення в систему циркуляції промивної рідини, способом буріння [8], регулювання режиму роботи струминного насоса. Відомий також комплексний метод побудови класифікаційних систем, який враховує декілька визначальних ознак, прийня-

тих для систематизації конструкцій струминних насосів [9]. Зокрема, найбільш повна схема класифікації струминних насосів, які використовуються для буріння свердловин [9] визначає конструктивне виконання (наддолотне та долотне) струминного насоса, схему включення в насосно-циркуляційну систему свердловини, особливості підведення робочого потоку та степінь гідралічного зв'язку напірної і всмоктувальної лінії.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на значний об'єм проведених досліджень, існуючі системи класифікації свердловинних струминних насосів не враховують такі важливі фактори, як їх призначення, спосіб переключення потоку в привибійній зоні, спосіб буріння та промивання вибою, конструктивне виконання окремих елементів ежекційних систем. Відсутність у відомих класифікаційних схемах вищезгаданих ознак обмежує шляхи подальшого удосконалення ежекційних систем.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є узагальнення та систематизація конструкцій свердловинних ежекційних систем з наступною розробкою їх розширеної класифікаційної схеми з врахуванням особливостей робочого процесу та практичного досвіду експлуатації струминних насосів.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження конструкції, особливостей робочого процесу та областей застосування дозволило розробити систему класифікації свердловинних ежекційних систем.

Свердловинні ежекційні системи можуть бути класифіковані за призначенням, способом переключення потоку, конструктивним виконанням, способом промивання вибою, способом буріння та ступенем зв'язку затрубного простору з привибійною зоною. Розглянемо окремі класифікаційні ознаки приведені на рис. 1. Відомо, що крім технологічних заходів зниження диференціального тиску на вибої, які полягають у зміні густини, в'язкості та вмісту твердої фази промивального розчину існують і технічні засоби, до складу яких входять свердловинні струминні насоси. Струминні насоси можуть використовуватись також для реалізації технологічних заходів зменшення гідростатичного тиску на вибій свердловини: зокрема їх застосовують для аерації промивального розчину.

Локального зниження тиску на вибої можна досягти шляхом застосування доліт з кавітаційними насадками та вакуумних капсул, але основним технічним засобом зниження диференціального тиску є струминний насос. Зниження диференціального тиску сприяє зростанню механічної швидкості поглиблення свердловини та проходженню долота. Зростання показників буріння пов'язане і з здатністю деяких конструкцій ежекційних систем інтенсифікувати промивання вибою. Зниження диференціального тиску дозволяє також зменшити небезпеку поглинання промивальної рідини при бурінні в пластах з аномально низькими тисками, а також попередити забруднення продуктивного горизонту та зберегти його проникність. В окремих конструкціях ежекційних систем створюється зворотне промивання привибійної зони, яке сприяє покращенню виходу керна. Ежекційна дія висхідних струменів запобігає накопиченню шламу та сальнікоутворенню в місцях різкої зміни діаметрів глибинного обладнання. Додаткова різниця тиску, що виникає при витіканні промивальної рідини через робочу насадку струминного насоса зумовлює підвищення гідралічного навантаження на осьову опору турбобура та стабілізацію моменту на долоті. Коливання крутного моменту на валі турбобура пов'язане з коливанням осьового навантаження на його опорі, що у свою чергу, викликає зміну питомого тиску на поверхні гумово-механічних деталей та коефіцієнта тертя. Створення додаткового зусилля на долото особливо актуальне в похило-скерованих свердловинах, де внаслідок підвищеного тертя бурильної колони зменшується осьове навантаження на породоруйнівний інструмент. Розміщення вище струминного насоса роз'єднувача бурильної колони у ви-

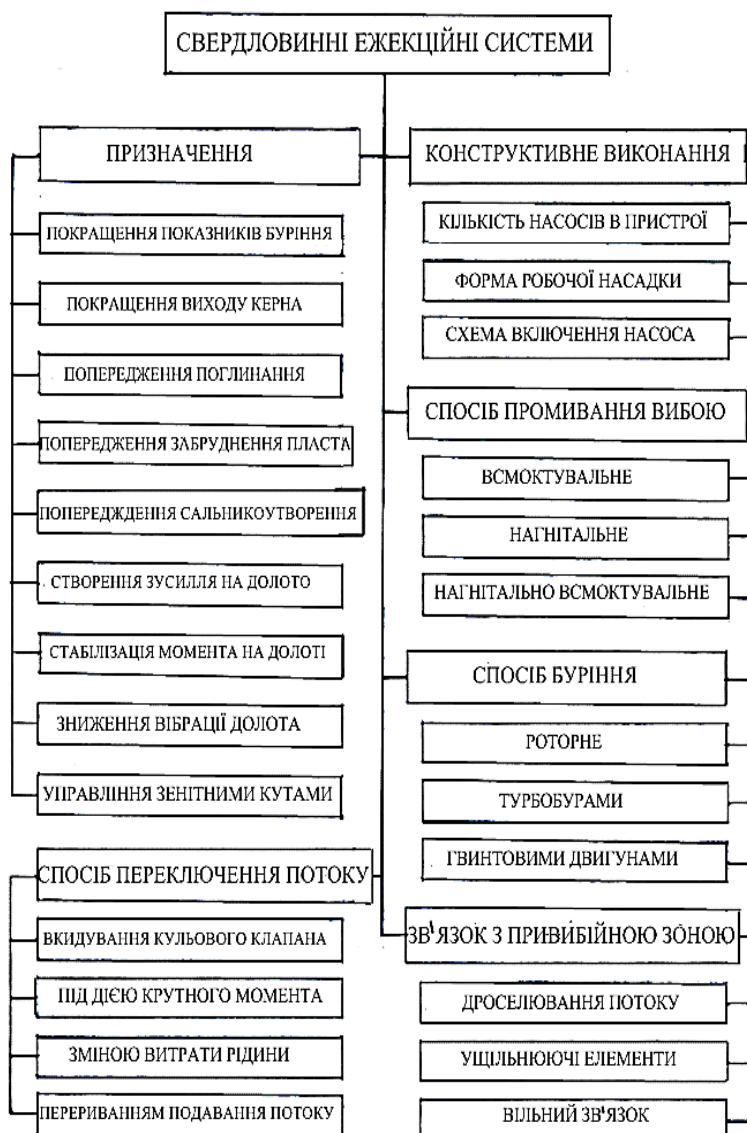


Рис. 1. Класифікація свердловинних ежекційних систем

гляді її телескопічного з'єднання усуває вібрацію долота і забезпечує його постійний контакт з вибоєм. Поєднання в єдиній антивібраційній компоновці струминного насоса та телескопічного з'єднання сприяє стабілізації зенітного кута свердловини (рис. 1).

За способом буріння ежекційні системи є достатньо універсальним глибинним обладнанням і можуть застосовуватись при роторному бурінні та при застосуванні турбобурів і вибійних двигунів. Досить широким є спектр застосування в комплекті з глибинними струминними насосами різнотипного породоруйнівного інструменту: в компоновках з ежекційними системами застосовують шоршкові, лопатеві та алмазні долота і бурові коронки.

Конструкція породоруйнівного інструмента визначається способом промивання вибою свердловини. Сучасні ежекційні системи дозволяють реалізувати всмоктувальне, нагнітальне та нагнітально-всмоктувальне промивання вибою свердловини. Сучасні ежекційні системи забезпечують місцеве промивання привибійної зони. Напрямки потоків у привибійній зоні та по стовбуру свердловини в загальному випадку можуть не співпадати. Спосіб промивання вибою визначається також способом буріння свердловини.

Значна кількість ежекційних пристроїв дозволяє змінювати режим промивання вибою з прямого на зворотний за допомогою механізму переключення потоку. Найбільш поширеною є конструкція, що містить кульовий клапан. Кулька клапану вкидується в бурильну колону за необхідності зміни режиму промивання вибою. Відомі також конструкції циркуляційних клапанів багаторазової дії, привід яких здійснюється зміною крутного моменту на долоті під час буріння, зміною продуктивності бурового насоса або короткочасним припиненням його роботи.

Конструктивне виконання пристрою визначається кількістю струминних насосів у вибійній компоновці, формою робочої насадки та схемою включення гідромашини. Сучасні ежекційні системи включають від одного до чотирьох струминних насосів. В свердловинних ежекційних системах можуть використовуватись робочі насадки кільцевого типу (наприклад, у струминному насосі конструкції УкрНДГРІ), але найбільш поширеними є сопла з центральним отвором. Схема включення струминного насоса – послідовна та паралельна – має найбільш суттєвий вплив на конструкцію свердловинного пристрою і визначає його призначення та спосіб промивання вибою.

Наступна класифікаційна ознака визначає характер зв'язку затрубного простору свердловини з привибійною зоною. Степінь гідралічного зв'язку з вибоєм безпосередньо визначає величину диференціального тиску в зоні руйнування гірської породи. В окремих конструкціях ежекційних пристроїв завдяки ущільнюючим елементам здійснюється герметизація привибійної зони. Подібні ежекційні системи забезпечують максимальне зниження тиску на вибої. Досить поширеними є, також, конструкції, які передбачають дроселювання низхідного потоку з наддолотної області у привибійну зону через вузьку кільцеву щілину, яка утворюється стінками свердловини та твердосплавними елементами, розміщеними на корпусі

пристрою. Вільний зв'язок наддолотної та привибійної зони відзначається мінімальним зниженням диференціального тиску, яке має місце за рахунок ежекційної дії висхідних струменів промивальної рідини при реалізації нагнітально-всмоктувального способу промивання свердловини.

Класифікацію свердловинних ежекційних систем розглянемо на прикладі окремих конструкцій струминних насосів (рис. 2).

На рис. 2 Іа показана класична схема пристрою, який використовується при пошуковому бурінні свердловин з відбором керна. Дифузор пристрою пов'язаний з затрубним простором свердловини, а приймальна камера – з промивальною системою долота. За рахунок використання струминного насоса в привибійній зоні свердловини створюється місцеве зворотне промивання вибою. Подавання промивальної рідини на робочу насадку струминного насоса може здійснюватись як по колоні бурильних труб, так і за допомогою подвійної колони. Приведена конструкція використовується, переважно, в комплекті з буровими коронками. Крім підвищення ефективності відбору керна пристрій дозволяє за рахунок зменшення диференціального тиску досягти збільшення механічної швидкості буріння. В процесі осушення шахтного поля в об'єднанні «Тулавутілля» використанню зворотного привибійного промивання дозволило підвищити механічну швидкість буріння на 9,1-39,4%. Використання ежекторного снаряда Іркутського політехнічного інституту з трьома струминними насосами показало зростання механічної швидкості на 8-12%. В Горловській експедиції при бурінні ежекторними снарядами ДЭС отримано підвищення механічної швидкості буріння на 10-41% [10].

Наявність в кільцевому зазорі між корпусом пристрою і стінками свердловини дроселюючих пристроїв дозволяє суттєво зменшити величину диференціального тиску на вибої (рис. 2 Іб). Дроселюючий пристрій може бути виготовлений у вигляді породоруйнівного інструмента, елементи якого створюють з стінками свердловини мінімальний зазор і при низхідному русі промивальної рідини зменшують величину диференціального тиску на вибої.

Типовим прикладом реалізації даної схеми є долото з декомпресією фірми «Крістенсен» та Французького інституту нафти [11]. Використання долота з декомпресією на родовищі Монлонг 1 дозволило підвищити механічну швидкість буріння на 15-50%. Відома також конструкція пристрою, в якій дроселюючий елемент виготовлений у вигляді перехідника з каліброваними осьовими каналами, діаметр якого дорівнює діаметру долота. Пристрій може використовуватись в комплекті з трьохшоршковим долотом, яке має центральний промивальний отвір. Пристрій УВС-215,9, розроблений ЦНДЛ об'єднання «Оренбургнафта», дозволяє збільшити механічну швидкість буріння на 15-40% та проходження на долото на 30-45% [12].

Відомий ряд пристроїв, до складу яких входить (рис. 2 Ів) механізм переключення прямого промивання свердловини на зворотне. Найбільш поширеним механізмом переключення режиму промивання привибійної зони є кульовий клапан. Наприклад, в Полтавському відділенні УкрНДГРІ розроблений свердловинний струминний

насос з кільцевим соплом, який дозволяє перемикати пряме промивання на зворотне шляхом скидування в бурильну колону спеціальної кульки. В СКБ «Геотехніка» розроблений ежекційний снаряд ГРЭС-59, в якому зміна режиму промивання здійснюється під дією крутного моменту, який сприймає пристрій під час буріння. В ежекторному снаряді ДЕКС-1 конструкції ВГО «ПівнічУкргеологія» зміна режиму промивання досягається шляхом збільшення на 50% продуктивності поверхневого бурового насоса. В ДАНГ ім. І. М. Губкіна (м. Москва) запропонований механізм переключення потоків, який спрацьовує після відключення та чергового включення поверхневого бурового насоса.

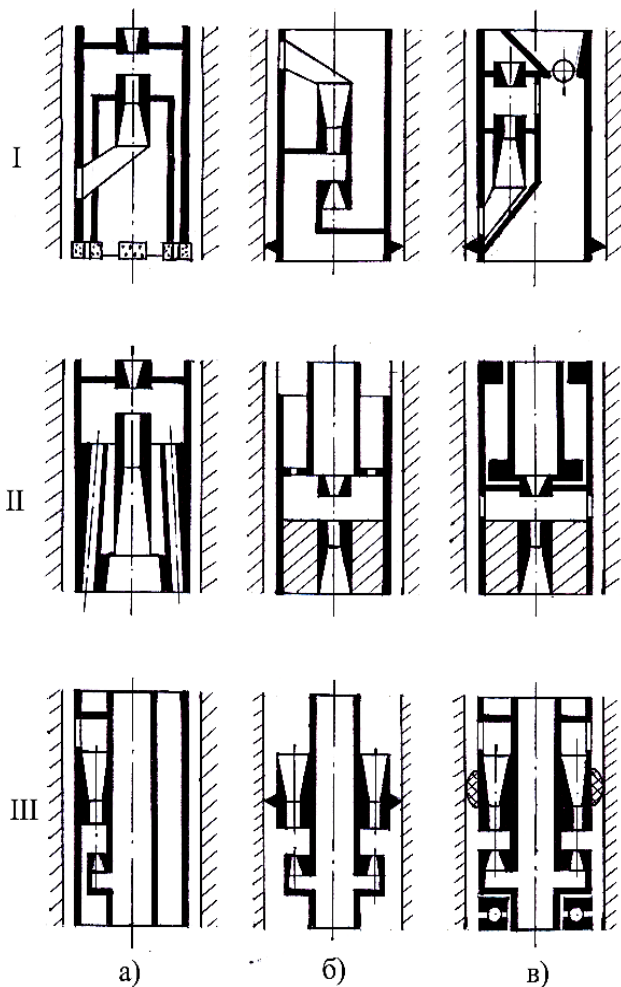


Рис. 2. Конструкції свердловинних ежекційних систем:

I – всмоктувальне промивання вибою: а) послідовне включення струминного насоса; б) дроселювання інжектованого потоку; в) механізм переключення потоку.

II – нагнітальне промивання вибою: пристрої з внутрішнім (а) та зовнішнім (б) шламонакопичувачем і з телескопічним з'єднанням (в).

III – нагнітально-всмоктувальне промивання: а) паралельне включення струминного насоса; б) дроселювання інжектованого потоку; в) ущільнення кільцевого простору.

В Житомирській ГРЕ розроблений ежекторний снаряд КГК-100, який дозволяє зберегти проникність продуктивного горизонту та попередити поглинання промивальної рідини при бурін-

ні в умовах аномально низьких пластових тисків. Використання пристрою дозволяє збільшити механічну швидкість буріння на 5% та проходження долота – на 31% [13].

Розглянемо пристрої, що реалізують нагнітальне промивання вибою (рис. 2 II).

Наддолотний струминний насос НСН конструкції Уфимського нафтового університету (рис. 2 IIа) призначений для стабілізації моменту і переведення режиму роботи турбобура в зону підвищення осевих навантажень на долото, а також покращення очищення вибою свердловини від шламу. В корпусі пристрою розміщений струминний насос та внутрішній шламонакопичувач, в якому скупчується механічний скрап. НСН розміщують на валу турбобура над долотом. Промивальна рідина з високою швидкістю витікає з робочої насадки в дифузор, створюючи розрідження у приймальній камері і включається в загальну систему циркуляції. Таким чином, об'єм рідини, що попадає на вибій більше ніж той, що подається поверхневим насосом. Додаткова різниця тиску, що виникає внаслідок витікання рідини через насадку струминного насоса зумовлює підвищене гідравлічне навантаження на осьову опору турбобура. Використання пристрою НСН при бурінні експлуатаційних свердловин в об'єднанні «Татнафта» показало збільшення проходження на долото на 20-30% та зростання механічної швидкості буріння до 10% [14]. Для подрібнення великих уламків шламу до складу пристрою можуть входити рухомі елементи – щелепи, а на вході в приймальну камеру струминного насоса встановлюють турбулізатори.

Наддолотний струминний насос може мати (рис. 2 IIб) зовнішній шламонакопичувач наповнений спеціальними кульками, вібрація яких сприяє подрібненню шламу.

Наддолотний струминний насос може використовуватись в комплексі з роз'єднувачем бурильної колони (рис. 2 IIв), виконаним у вигляді телескопічного з'єднання, яке дозволяє здійснювати автономне навантаження на долото. Демпфер ДГ-195 (Уфимський нафтовий університет) дозволяє поряд з інтенсифікацією промивання вибою зменшувати високочастотні коливання бурильного інструмента, що сприяє покращенню показників буріння. В процесі досліду буріння на родовищах об'єднання «Башнафта» з використанням турбобурів було встановлено, що антивібраційна компоновка додатково дозволяє управляти зенітним кутом свердловини. Порівняно з сусідніми свердловинами отримане зростання проходження на долото на 50,5% та збільшення механічної швидкості буріння до 4,7%. Поєднання струминного насоса та телескопічного з'єднання бурильної колони реалізовано також в конструкції гідравлічного демпфера ДГМ-172. Використання демпфера в об'єднанні «Татнафта» при бурінні гвинтовими двигунами та турбобурами показало зростання механічної швидкості буріння на 16,4-18,7% та проходження на долото – на 37,1-50,8% [14].

Приклади виконання конструкцій, що реалізують нагнітально-всмоктувальне промивання вибою приведені на рис. 2 III.

Пристрій компанії «Інройл» [15] складається з декількох (від одного до трьох) розміщених

в одному корпусі струминних насосів (рис. 2 IIIа), які створюють в наддолотній області та кільцевому просторі між насосом та свердловиною висхідний асиметричний потік промивальної рідини та забезпечують повне видалення шламу з вибою. Ежекційна дія висхідних струменів сприяє зменшенню диференціального тиску в свердловині, виключає утворення «сальників» на долоті, дозволяє уникати додаткових проробок ствола. За рахунок застосування наддолотного струминного насоса діаметр ствола свердловини наближається до номінального. Стійкий режим роботи пристрою (тобто збільшення показників буріння на 25-30%) має місце вже при різниці тиску на ньому починаючи з величини 3 МПа. Подальше зростання різниці тиску викликає практично лінійний приріст механічної швидкості буріння. Виключення явища рециркуляції шламу в зоні роботи долота зменшує темпи зношування його озброєння та призводить до зростання проходження.

При роторному бурінні (за даними ВАТ «Іннотал») можливе зростання механічної швидкості буріння і проходження на долото до 300%.

При бурінні гвинтовими вибійними двигунами можливе зростання механічної швидкості буріння до 120%. При бурінні турбобурами можливе зростання механічної швидкості буріння в верхніх інтервалах (долото діаметром 295,3 мм) – до 70%, а в нижніх – 30-50%. Аналогічна конструкція пристрою ВЕСР-195 (розроблена в МІНГ ім. І. М. Губкіна, м. Москва) досліджувалась в Приволзькому УБР АТ «Бургазгеотерм». За результатами роторного буріння отримане зростання механічної швидкості буріння становило 35-61%, а проходження на долото зросло на 33% [10].

На рис. 2 IIIб приведена конструкція ежекційної системи, в якій за рахунок дроселювання потоку в кільцевому просторі між пристроєм та свердловиною досягається зниження диференціального тиску в привибійній зоні. Наддолотний гідроелеватор НГ-3 Уфимського нафтового технічного університету використовувався на родовищах Татарії, Башкортостану та Західного Сибіру і складається з чотирьох струминних насосів [16].

Робочі насадки закріплені на корпусі за допомогою зварювання, а дифузори – в круглій плиті,

Таблиця 1

## Ефективність використання струминних насосів при бурінні

Тип промивання вибою	Назва пристрою	Розробник пристрою	Призначення пристрою	Зростання показників, %	
				Механічна швидкість	Проходження на долото
Всмоктувальне	Пристрій для буріння	ВО «Тулавугілля»	Попередження поглинання промивальної рідини	9,1-39,4	
	Ежекційний снаряд	Іркутський політехнічний інститут	Підвищення ефективності виходу керна	8-12	
	Ежекційний снаряд ДЕС	ЦНД ГРІ		10-41	
	Долото з декомпресією	Французький інститут нафти	Зниження диференціального тиску на вибої та створення додаткового зусилля на долото	15-50	
	Пристрій УБС-215,9	ЦНДЛ ВО «Оренбургнафта»		15-40	30-45
	Ежекторний снаряд КГК-100	Житомирська ГРЕ	Попередження кольматції та забруднення продуктивного горизонту та поглинання промивальної рідини	5	31
Нагнітальне	Наддолотний струминний насос	Уфимський нафтовий інститут	Стабілізація моменту на долоті	10	20-30
	Гідравлічний демпфер ДГ-195		Управління зенітними кутами свердловини	4,7	50,5
	Гідравлічний демпфер ДГМ-172		Зниження вібрації долота	16,4-18,7	37,1-50,8
Нагнітально-всмоктувальне	Пристрій для буріння	ВАТ «Іннотал»	Попередження сальникоутворення	Роторне буріння	
				До 300	До 300
				Гвинтові двигуни	
				До 120	
	Буріння турбобуром				
	30-70				
	Віброежекційний снаряд ВЕСР-195	ДАНГ ім. І. М. Губкіна	Попередження сальникоутворення	35-61	33
Наддолотний гідроелеватор НГ-3	Уфимський нафтовий інститут	Покращення колекторських властивостей пластів	15,4-44	6-90	
Пристрій для буріння	Заволзька ГРЕ	Попередження поглинання промивальної рідини	23		
Долото з ежекційною насадкою	Французький інститут нафти	Зниження диференціального тиску на вибої	20	30	
Комбіновано-струминне долото	Petroleum Drilling Techniques		40		

Джерело: розроблено автором за даними [10-19]

діаметр якої наближається до діаметра свердловини. Плита з дифузорами армована по периметру твердосплавними елементами. В процесі буріння третина рідини надходить до долота, а дві третини – на робочі насадки струминних насосів. Робота струминного насоса створює зону низького тиску в наддолотній області, що дозволяє зберегти колекторські властивості пластів під час розкриття продуктивного горизонту. Підвищення якості очищення вибою покращує показники відробки доліт. За результатами досліджень проведених в Бавлінському та Нефтекамському УБР механічна швидкість буріння зростає на 15,4-44%, а проходження на долото – на 6-90%. Наддолотний гідроелеватор може містити також розміщені в наддолотній області лопатеві турбулізатори.

Ежекційні системи з паралельним під'єднанням струминного насоса можуть мати ущільнюючі елементи в кільцевому просторі між пристроєм та стінками свердловини (рис. 2 ПІВ).

Пристрій для зменшення гідродинамічного тиску в свердловині УУГД розроблений Ухтинським технічним університетом на замовлення компанії «Північгазпром». Пристрій призначений для повного відновлення циркуляції при розкритті зон катастрофічного поглинання та дозволяє зменшити диференціальний тиск на вибої не менше, ніж на 3-4 МПа без зниження густини бурового розчину. В похило-орієнтованих та горизонтальних свердловинах гідравлічна сила, що виникає на пристрої і зосереджена в місці його встановлення може використовуватись для подолання сил опору руху колони з боку стінок свердловини. При встановленні пристрою безпосередньо біля долота, наприклад, в горизонтальній свердловині, гідравлічна сила буде «тягнути» бурильну колону по стволу та забезпечити навантаження на породоруйнівний інструмент. Це дозволить скоротити довжину ОБТ. Від попередніх конструкцій пристрій УУГД відрізняється наявністю самоущільнювального пакера, який відокремлює наддолотну область від затрубного простору. Відома також конструкція пристрою Московського інституту нафти і газу ім. І. М. Губкіна, яка для створення пульсуючого зменшеного диференціального тиску містить розміщений в центральному каналі переривач потоку. Схема з самоущільнювальним пакером використана також в пристрої конструкції Заволзького геологорозвідувального треста [17], до складу якої входять 3-4 струминних насоса. На робочі насадки пристрою подається 10-15% від загальної кількості промивальної рідини, яка надходить від бурових насосів. Загальна продуктивність бурових насосів становить 55-60 л/с. Використання пристрою дозволило збільшити механічну швидкість буріння на 23%.

Недоліком пристрою для буріння з паралельною схемою підключення струминного насоса є зменшення кількості промивальної рідини, що подається на вибій, що безумовно впливає на якість його очищення. В різних конструкціях пристрою величина витрати на вибої становить від 30 до 90% продуктивності бурового насоса. Це призводить до необхідності збільшувати продуктивність бурового насоса, або проводити процес буріння з двома одночасно працюючими насосами.

При використанні долота з ежекційною насадкою (конструкції Французького інституту нафти) на родовищі АВU Dhabi-zakum field (Zakum Development Company, United Arab Emirates) встановлено, що порівняно з стандартним інструментом механічна швидкість буріння та проходження долота зростають відповідно на 20% та 30% [18].

Компанія Petroleum Drilling Techniques розробила комбіновано-струминне долото з двома ежекційними насадками, яке дозволяє збільшити механічну швидкість буріння на 40% [19].

Ефективність застосування окремих ежекційних систем, що реалізують різні типи промивання вибою приведена в табл. 1.

**Висновки і пропозиції.** В процесі узагальнення та класифікації основних схем використання свердловинних ежекційних систем систематизовані структурні елементи конструкцій струминних насосів призначених для реалізації низки технологічних процесів спрямованих на розробку нафтогазових родовищ. В процесі співставлення прийнятих класифікаційних ознак елементів конструкцій струминних насосів встановлено взаємозв'язок між характером взаємодії структурних складових свердловинних ежекційних систем та їх здатністю здійснювати заданий виробничий процес. Характер гідравлічних зв'язків елементів ежекційної системи визначає схему використання струминного насоса в свердловині. Встановлено, що визначальною класифікаційною ознакою свердловинної ежекційної системи, яка характеризує її призначення, конструкцію, спосіб буріння та степінь гідравлічного зв'язку з привибійною зоною є спосіб промивання вибою свердловини. Зважаючи на визначальний вплив даної класифікаційної ознаки на призначення та конструктивне виконання струминних насосів сукупність схем свердловинних ежекційних систем може бути представлена у вигляді трьох груп обладнання. Відповідно до розробленої класифікаційної схеми існуючі конструкції свердловинних ежекційних систем дозволяють здійснювати всмоктувальне, напірне та напірно-всмоктувальне промивання привибійної зони в процесі буріння. Порівняльним аналізом техніко-економічних показників буріння встановлено, що найбільшу ефективність процесу забезпечує використання свердловинних ежекційних систем, які реалізують напірно-всмоктувальне промивання привибійної зони свердловини. Конструкціям свердловинних ежекційних систем, які забезпечують напірно-всмоктувальне промивання привибійної зони необхідно віддавати перевагу при плануванні бурових робіт із використанням вибійних струминних насосів.

Завдання подальших досліджень полягає у використанні отриманих результатів для розробки конструкцій уніфікованих стандартних елементів, які сполучають проточну частину струминного насоса з системою циркуляції свердловини. Розробка варіантів комбінацій-сполучень струминного насоса з уніфікованими стандартними елементами дозволяє комп'ютеризувати проектування свердловинних ежекційних систем незалежно від призначення та умов використання.

**Список літератури:**

1. Huang Y. Study on Structure parameters of reverse circulation drill bit secondary injector device based on injector coefficient / Y. Huang, L. Zhu, D. Zou, H. Liao, I. Wang, I. Yan, Y. Zhou: IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference, Singapore, 22-24 august 2016. – Singapore, 2016. – IADC/SPE-180539-MS. – 9 p.
2. Haughton D.B. Reliable and effective Downhole Cleaning system for debris and junk removal / D.B. Haughton, P. Connel: SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Adelaide, Australia, 11-13 september 2006. – Adelaide, 2006. – SPE101727. – 9 p.
3. Елфимов В.С. Освоение нефтяных скважин после гидравлического разрыва пласта с применением струйного насоса / В.С. Елфимов, А.В. Кустышев // Нефтепромысловое дело. – 2007. – № 3. – С. 52-55.
4. Khelifa B. Subsea hydraulic jet pump optimizes well development offshore Tunisia / B. Khelifa, K. Fraser, T. Pugh // World Oil. – 2015. – no 11. – P. 77-82.
5. Shaiek S. Sand management in subsea produced water separation unit-review of technologies and tests / S. Shaiek, S. Anres, T. Valdenaire: 12th Offshore Mediterranean Conference and Exhibition, Ravenna, Italy, March 25-27, 2015. – Ravenna, 2015. – 13 p.
6. Дурасов А.А. Повышение эффективности жидкостных струйных насосов при реализации возможностей нестационарной эжекции: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.04.13 «Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты» / Дурасов Алексей Анатольевич; Южно-Уральский государственный университет. – Омск, 2009. – 19 с.
7. Сазонов Ю.А. Разработка методологических основ конструирования насосно-эжекторных установок для условий нефтегазовой промышленности: автореф. дис. на соискание ученой степени докт техн. наук: спец. 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы (нефтегазовая промышленность)» / Сазонов Юрий Апполоньевич; Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина. – М., 2010. – 43 с.
8. Онацко Р.Г. Обґрунтування раціональних режимів роботи свердловинних струминних насосів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12 / Онацко Роман Георгійович. – Івано-Франківськ, 2006. – 172 с.
9. Паневник О.В. Теоретичні основи побудови узагальнених гідравлічних моделей свердловинних струминних насосів: дис. ... докт. техн. наук: 05.05.12 / Паневник Олександр Васильович. – Івано-Франківськ, 2000. – 359 с.
10. Дерусов В.П. Обратная промывка при бурении геологоразведочных скважин / В.П. Дерусов. – М.: Недра, 1984. – 184 с.
11. Декомпрессионный бурильный инструмент // Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1982. – № 1. – С. 7-11.
12. Коснырев Б.А. Повышение показателей работы долота за счет снижения гидравлического давления на забой скважин: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.10 / Коснырев Борис Анатольевич. – Уфа, 1983. – 190 с.
13. Вдовиченко А.И. Эжекторный снаряд для бурения комплексом КГК-100 / А.И. Вдовиченко // Разведка и охрана недр. – 1992. – № 3. – С. 20-21.
14. Султанов Б.З. Управление устойчивостью и динамикой бурильной колонны / Б.З. Султанов. – М.: Недра, 1991. – 208 с.
15. Евстифеев С.В. Применение наддолотного эжекторного гидронасоса / С.В. Евстифеев // Бурение и нефть. – 2003. – № 1. – С. 23.
16. Мавлютов М.Р. Эффективность регулирования дифференциального давления эжектированием / М.Р. Мавлютов, Ю.П. Скворцов, В.П. Логунов, Ю.С. Кузнецов, С.В. Родионова, С.А. Сергеев // Нефтяное хозяйство. – 1998. – № 5. – С. 39-40.
17. Глебов В.А. Использование струйных насосов при вскрытии зон поглощения / В.А. Глебов, В.Ф. Антонов // Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1968. – № 3. – С. 25-27.
18. Cholet H. Improved Hydraulics for rock bits / Henri Cholet // 53 rd Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers of AIME, Houston (USA, Texas), oct. 1-3, 1978. – SPE7576. – 8 p.
19. Zhu H.V. Reducing the bottom-hole differential pressure by vortex and hydraulic jet methods / H.Y. Zhu, O.Y. Liu, T. Wang // Journal of Vibroengineering. – 2014. – no 8. – 2224-2249 p.

**Паневник Д.А.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**СИСТЕМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ СКВАЖИННИХ СТРУЙНИХ НАСОСІВ****Анотація**

На основі обобщення і систематизації конструкцій скважинних ежекційних систем з урахуванням особливостей робочого процесу і опыта їх практичного застосування розроблена схема класифікації струйних насосів, використовуваних при розробці нафтогазових родовищ. Елементи запропонованої класифікаційної схеми розглянуті на прикладі реальних конструкцій ежекційного обладнання. Установлено, що існуючі конструкції скважинних струйних насосів можна розділити на три групи, що реалізують всасуючу, нагнетальну і нагнетально-всасуючу промивку забою. Проаналізована ефективність основних схем використання струйних насосів при бурінні скважин. Показано, що максимальна ефективність процесу буріння відповідає використанню ежекційних систем нагнетально-всасуючого типу. Систематизація конструкцій скважинних струйних насосів дозволяє суттєво розширити область їх застосування і визначити шляхи удосконалення ежекційних технологій.

**Ключові слова:** скважинні ежекційні системи, струйний насос, ежекційне обладнання, ежекційні технології, буріння скважин.

**Panevnyk D.A.**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

## **SYSTEMATIZATION OF WELL EJECTOR PUMPS CONSTRUCTIONS**

### **Summary**

On the basis of generalization and systematization of well ejection systems constructions, taking into consideration peculiarities of operation and experience of their practical application, has been worked out classification scheme of ejector pumps, which are used during oil-and-gas field development. Elements of suggested classification scheme have been considered by example of real constructions of ejection equipment. It has been established, that existing well ejector pumps constructions can be divided into three groups, which fulfill sucking, forcing, forcing and sucking washing of the well bottom. Efficiency of the main schemes of ejector pumps application while well drilling has been analyzed. It has been showed that maximum efficiency of the process occurs while using ejection systems of forcing and sucking type. Systematization of well ejector pumps constructions allows to widen considerably sphere of their application and to determine the ways of ejection technologies improvement.

**Keywords:** bore hole ejection system; jet pump, ejection technology, drilling.