

УДК 622.24+621.694.2

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ЕЖЕКЦІЙНИХ НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Крижанівський Є.І., Паневник Д.О.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Проаналізовані етапи розвитку струминних насосів, які використовують при бурінні, експлуатації та ремонті нафтових і газових свердловин. Встановлена лінійна залежність між допустимою глибиною розміщення струминного насоса в свердловині та величиною тиску, який створює силовий наземний привід. Показана можливість підвищення ефективності експлуатації свердловинних ежекційних систем шляхом спільного конструювання струминного насоса та електровідцентрової, плунжерної, гвинтової та газліфтної установки. На основі використання методів математичної статистики проаналізована динаміка зростання міжремонтного періоду свердловинних струминних насосів. Визначений розподіл ежекційних технологій за окремими технологічними процесами, які можуть здійснюватись із використанням свердловинних струминних насосів.

Ключові слова: свердловинний струминний насос, ежекційна система, ежекційні технології, буріння та експлуатація свердловин.

Постановка проблеми. Застосування свердловинних струминних насосів дозволяє суттєво підвищити продуктивність свердловин та подовжити термін експлуатації старіючих нафтогазових родовищ. Проста та недорога конструкція, відсутність рухомих частин і можливість використання у віддалених важкодоступних районах зумовили поширення ежекційних технологій на більшість виробничих процесів буріння та експлуатації нафтових і газових свердловин. Розробка родовищ нафти і газу супроводжується зростанням глибини пробурених експлуатаційних свердловин та збільшенням величини пластових тисків. Зростання світового споживання нафтопродуктів вимагає залучення до експлуатації родовищ важкодоступних вуглеводнів. Зважаючи на ускладнення умов нафтовидобутку, удосконалення існуючих та розробка нових технологій, розробки покладів вуглеводнів є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Удосконалення ежекційних технологій супроводжувалось вибором найбільш ефективних варіантів розробки покладів вуглеводнів, заснованих на використанні сучасного рівня розвитку бурового та нафтогазопромислового обладнання. Відхилені раніше альтернативні варіанти розвитку ежекційних технологій можуть виявитись успішними після оновлення сучасних уявлень про процеси розробки нафтогазових родовищ, удосконалення робочого процесу свердловинного струминного насоса та появи нових конструкційних матеріалів. Пошук нових шляхів удосконалення ежекційних технологій вимагає аналізу основних етапів та тенденцій розвитку свердловинних струминних насосів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз етапів розвитку свердловинних ежекційних систем, зазвичай, обмежується розглядом особливостей удосконалення конструкцій призначених для реалізації окремих видів технологічних процесів, зокрема, при бурінні [1; 2], експлуатації [3] та очищенні [4] свердловин. Відокремлений розгляд окремих напрямків формування ежекційних технологій не дозволяє виділити спільні риси конструкцій свердловинних струминних насосів та сформулювати принципи прогнозування їх характеристик. Узагальнення конструкцій свердловинних ежекційних систем

дозволяє визначити визначальні експлуатаційні фактори, які характеризують розвиток технології використання струминних насосів. Аналіз порівняльної ефективності застосування свердловинних струминних насосів дає змогу визначити перспективні напрямки їх розвитку. Необхідність економічного обґрунтування використання окремих способів нафтовидобутку потребує проведення статистичного оцінювання показників експлуатаційної надійності ежекційних систем. Поширення ежекційних технологій на реалізацію значної кількості процесів розробки нафтогазових родовищ зумовлює необхідність визначення розподілу ежекційних технологій за видами робіт при бурінні, експлуатації та ремонті свердловин.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є аналіз етапів розвитку свердловинних насосів, узагальнення їх конструкцій, аналіз порівняльної ефективності застосування, економічне обґрунтування доцільності використання та визначення розподілу ежекційних технологій за окремими видами робіт.

Виклад основного матеріалу. Поширення свердловинних струминних насосів тривалий час стримувалось недостатньою потужністю наявних силових приводів: висота підйому інжектованого потоку становить 15-35% від напору, що створюється силовим приводом. Поступове зростання глибини розміщення струминного насоса в свердловині пов'язане з розробкою нових потужних насосних агрегатів об'ємної дії. Для прикладу, за сорокарічний період з 1945 по 1985 рік тиск бурових насосів, які виготовлялись в Росії збільшився від 10 до 40 МПа. Визначальний вплив конструкції силового приводу ілюструється проведенням автором аналізом дослідних співвідношень глибин розміщення струминного насоса та тисків робочого потоку (рис. 1).

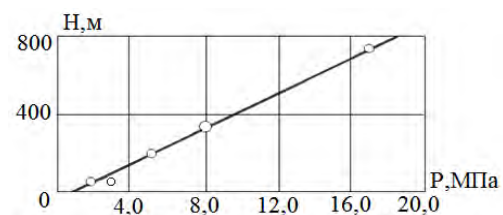


Рис. 1. Вплив тиску силового приводу на глибину розміщення струминного насоса

Приведені на рис. 1 результати свідчать про лінійний зв'язок вищезгаданих параметрів для малих глибин розміщення струминного насоса. Динаміка зміни глибин розміщення струминного насоса в свердловині (рис. 2), таким чином, корелюється з вдосконаленням силових приводів ежекційних систем.

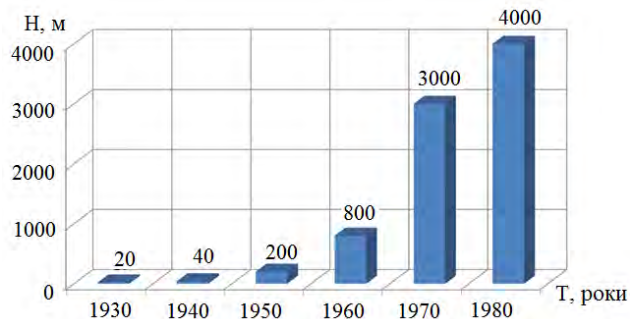


Рис. 2. Динаміка зміни глибини розміщення струминного насоса в свердловині

Наступний етап розвитку свердловинних струминних насосів пов'язаний з появою ежекційних систем з додатковим привибійним контуром циркуляції інжектваного потоку. Враховуючи, що в даній схемі включення струминного насоса приєднаний потік циркулює виключно у привибійній зоні свердловини усувається необхідність використання потужності силового приводу і енергії робочого потоку на підйом інжектваного потоку на поверхню та подолання пов'язаних з його рухом гідравлічних втрат. Це дозволило суттєво зменшити необхідну потужність силового приводу і надало поштовх розвитку конструкцій струминних насосів призначених для буріння свердловин. Ежекційна система з додатковим привибійним контуром циркуляції в 60-х роках почала використовуватись в конструкції свердловинного гідравлічного уловлювача американських фірм-виробників Боуен та Вілсон. Аналогічні конструкції розроблені також в Україні, Росії та Білорусії.

Наявність додаткового контура привибійної циркуляції промивної рідини в конструкціях ежекційних систем, призначених для буріння [5] та очищення вибою свердловини [6] вимагає використання для їх розрахунку теорії кільцевих мереж і, зокрема, методу електроаналогій.

В 70-х роках одночасно в США, Франції та Росії з'явилися конструкції свердловинних струминних насосів вмонтованих в породоруйнівний інструмент. Недосконалість та складність конструкцій струминних насосів долотного виконання призвели до їх низької ефективності, що стало перешкодою для їх широкого використання.

Поширення свердловинних ежекційних систем безпосередньо пов'язане з розвитком технології буріння. Відомо, що визначальні якісні зміни в технології буріння пов'язують з початком використання трьохшоршкочових доліт із зміщеними осями шоршок у 1935 році та введенням гідромоніторного промивання вибою у 1947 році. Третій етап розвитку технології буріння поєднують з використанням заходів і засобів зниження диференціального тиску на вибої, розробка яких розпочата у зв'язку з класичними досліда-

ми Мерфі наприкінці шістдесятих років стосовно дослідження впливу диференціального тиску на механічну швидкість буріння. Вищезгадані тенденції розвитку технології буріння знайшли своє відображення в конструкції пристрою, розробленого фірмою Крістенсен (США) спільно з Французьким інститутом нафти наприкінці сімдесятих років. Сьогодні струминні насоси використовують для роторного буріння та буріння турбобурами і вибійними двигунами.

Зростання попиту сприяло збільшенню цін на нафту і газ і необхідності забезпечення більш простою і надійною системою видобування пластового флюїду. Використання струминних насосів для нафтовидобування у промисловому масштабі розпочато у США в сімдесятих роках. Застосування струминних насосів пов'язане з зниженням працездатності штангових глибинних насосів при наявності ускладнень, що визначаються присутністю в продукції свердловини води, механічних та агресивних домішок та високого газового фактора. Зусиллями фірм-виробників Kobe, National, Giberson Supply пакерними струминними установками для видобування нафти обладнано 125 свердловин глибиною від 470 до 4400 м. В Росії гідропакерний спосіб експлуатації був використаний у 1969 році на 10 свердловинах Західного Сибіру. До 1974 року струминний насос використовувався на 20 свердловинах. Глибина спуску насоса складала від 600 до 3000 м. У більшості випадків застосовувалась однотрубна схема зануреного обладнання з серійним пакером.

Добуток нафти по експлуатаційній колоні при гідроструминній пакерній експлуатації свердловин викликає додаткові ускладнення пов'язані з корозією, зношуванням колони, випадінням парафіну та солей, неможливістю визначення динамічного рівня рідини і вибору оптимального режиму роботи струминних насосів. Враховуючи вищезгадані недоліки в другій половині вісімдесятих років в Росії та в США була розроблена технологія спільного використання в свердловині електровідцентрового та струминного насосів, а в 2000 році запатентована схема безпакерного розміщення гідроструминного насоса з дворядним ліфтом у вигляді подвійної колони НКТ.

Перша згадка про спільне компонування зануреного електровідцентрового та струминного насосів для експлуатації нафтових свердловин датована 1966 роком (Росія). Така компоновка дозволяє підвищити дебіт свердловини, зменшити глибину спуску електровідцентрового насоса, здійснювати його експлуатацію в оптимальному режимі, підсилити здатність адаптуватись до різко змінюваних умов роботи, полегшити виведення свердловини на режим експлуатації після глушіння при поточному ремонті. З точки зору габаритних розмірів струминний насос з зануреним приводом є більш придатним для умов роботи в свердловині. Разом з тим застосування поверхневого силового обладнання дозволяє здійснювати регулювання тиску і витрати робочої рідини та подавати в свердловину ПАР, деемульгатори та інші домішки.

Позитивний досвід спільного використання електровідцентрового та струминних насосів викликав появу низки дослідних гібридних ежек-

ційних компоновок. Гібридна компоновка струминного насоса та газліфтною установки дозволяє порівняно з використанням електровідцентрових і гвинтових насосів зберегти кошти на обслуговування свердловин [7]. Спільне використання струминного та плунжерного насоса дозволяє зменшити навантаження на привід штангового глибинного насоса [8] та здійснювати видобування високов'язкої нафти [9]. Відоме, також, використання струминного насоса для підвищення ефективності експлуатації свердловин гвинтовими насосами. Аналіз використання гібридних ежекційних технологій свідчить про перспективність даного напрямку розвитку нафтогазовидобувного обладнання.

Наступні роки відзначаються існуванням двох тенденцій розвитку свердловинних струминних насосів і в середині 90-х років сформувався дві основні схеми їх застосування в нафтових свердловинах: в США струминні насоси використовують з наземним, а в Росії – з зануреним силовим приводом. З 1988 по 2003 рік технологія використання зануреного силового приводу реалізована більше як у 600 свердловинах Росії та Білорусії.

Наприкінці сімдесятих років в Західній Україні була розроблена технологія виклику припливу з продуктивних горизонтів за рахунок створення глибоких депресій на пласт при використанні свердловинних струминних апаратів. Починаючи з 1979 року і до початку 90-х років дана технологія була реалізована більше ніж на 3 тисячах свердловин України, Удмуртії, Західного Сибіру, Північної Європи та в інших регіонах колишнього СРСР.

В другій половині 80-х років одночасно в Україні та в Росії були розроблені технології використання ежекційних систем для ліквідації прихоплень бурильної колони. Свердловинний насос використовувався для створення примусової циркуляції на прихопленій ділянці бурильної колони (Національний університет нафти і газу, Україна), а також для приводу гідравлічного ударного пристрою (Державна академія нафти і газу ім. І.М. Губкіна, м. Москва).

Швидкі темпи зростання вартості природного газу дали поштовх розвитку енергозберігаючих технологій. Враховуючи, що більше як 12 млрд. м³ нафтового газу щорічно спалюється у нафтових факелах у другій половині 70-х років в Україні була запропонована технологія збору низьконапірного нафтового газу з установок товарної підготовки нафти та затрубного газу з глибинонасосних свердловин.

Розроблені технології застосування струминних насосів при проведенні геофізичних досліджень, в системах видобування води та підтримування пластового тиску та для інших процесів інтенсифікації нафтовилучення, збору та підготовки нафти.

Широке поширення ежекційних технологій пояснюється низькою металоємкістю та високою надійністю свердловинних струминних насосів. На основі практичного досвіду використання ежекційних технологій на нафтових родовищах України, США та Росії нами проаналізована динаміка зростання міжремонтного періоду свердловинних струминних насосів в часі.

Таблиця 1

Динаміка зростання міжремонтного періоду нафтових свердловинних струминних насосів

N	1975	1982	1985	1994	1995	2002	2003	2009
T, діб	365	240	548	437	809	1100	2983	2371

Джерело: розроблено автором

З використанням програми Table curve отримано рівняння регресії для міжремонтного періоду T свердловинних струминних насосів

$$T^{0.5} = a + bN^{0.5}, \quad (1)$$

де N – рік використання нафтового струминного насоса.

Коефіцієнти рівняння регресії становлять

$$a = -4748,6497; b = 107,1066,$$

а коефіцієнт регресії $r^2 = 0,6554$.

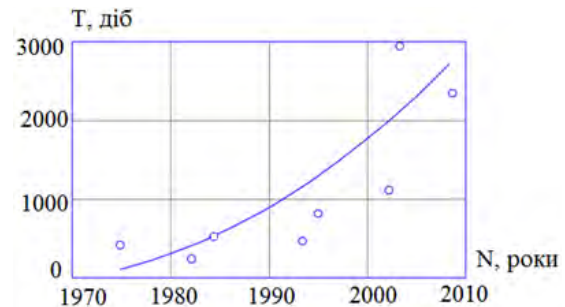


Рис. 3. Зміна величини міжремонтного періоду нафтового струминного насоса в часі

Низьке значення коефіцієнта кореляції пояснюється значним діапазоном зміни умов використання струминних насосів, а також недостатньою кількістю статистичних даних стосовно промислового досвіду застосування ежекційних технологій. Отримана залежність (рис. 3) відображає тенденцію зростання міжремонтного періоду застосування струминних насосів в часі. Це пояснюється удосконаленням конструкції свердловинних ежекційних систем. За даними АО "Самотлорнафтогаз" середня наробка на відмову по гідроструминному фонду свердловин становить 2371 діб, а по свердловинах, обладнаних плунжерними насосами – 356 діб. Значна розбіжність міжремонтних періодів зумовлює економічну ефективність гідроструминного способу експлуатації нафтових свердловин. Наведені середні показники тривалості міжремонтної експлуатації струминних насосів в нафтовидобувних свердловинах за останні 50 років, отримані в процесі аналізу науково-технічної інформації.

Співвідношення об'ємів технологічних процесів з використанням свердловинних струминних насосів відображає історію розвитку ежекційних технологій. На рис. 4 приведені обсяги застосування свердловинних струминних насосів в процесі реалізації основних технологічних операцій буріння та експлуатації свердловин. Аналіз структури застосування свердловинних ежекційних систем проведений автором за період з початку використання струминних насосів і до теперішнього часу.

Аналіз обсягів буріння (19,9% від загального об'єму) свідчить, що 13% припадає на експлуатаційне і 87% – на пошукове буріння. Під час експлуатації свердловин (12% від загального об'єму згідно рис. 4) області застосування струминних



Рис. 4. Співвідношення об'ємів технологічних процесів з використанням свердловинних струминних насосів

насосів мають наступну структуру: гідроструминні пакерні установки – 32%, установки з дворядним ліфтом – 0,2%; спільне компонування струминного та відцентрового (ЕВН) насосів – 67,8%.

Висновки і пропозиції.

1. Свердловинні струминні насоси дозволяють здійснювати як допоміжні, так і основні виробничі процеси розробки нафтогазових родовищ. Інтенсивний розвиток ежекційних технологій зумовлений високою ефективністю їх застосування. Поширеність використання ежекційних нафтогазових технологій свідчить про їх універсальність та світове значення.

2. Встановлено лінійний характер залежності допустимої глибини розміщення струминного насоса в свердловині від тиску в маніфольді силового наземного приводу.

3. Перспективним напрямком удосконалення свердловинних ежекційних систем є використання гібридних технологій на основі спільного компонування струминного насоса та електровідцентрової, плунжерної, гвинтової та газліфтної установки.

4. На основі практичного досвіду використання ежекційних технологій вперше проаналізована динаміка зростання міжремонтного періоду свердловинних струминних насосів та отримана емпірична залежність для визначення їх ресурсу.

5. Переважна більшість схем використання струминного насоса в свердловині незважаючи на їх призначення може бути віднесена до однієї з двох груп конструкцій: ежекційні системи з додатковим привибійним контуром циркуляції та насосно-циркуляційні системи у вигляді розгалужених гідравлічних каналів. Зважаючи на конструктивне виконання при математичному моделюванні робочого процесу струминного насоса необхідно додатково використовувати теорію розподілу потоків в кільцевих мережах або в системі розгалужених гідравлічних каналів.

6. Вперше визначена частка використання свердловинних струминних насосів при реалізації окремих процесів розробки нафтогазових родовищ.

Завдання подальших досліджень полягає в удосконаленні методів розрахунку струминних насосів на основі використання особливостей визначення характеру розподілу потоків в кільцевих та розгалужених гідравлічних системах, а також в розробці теоретичних основ використання гібридних ежекційних технологій.

Список літератури:

1. Zhu H.Y. Reducing the bottom-hole differential pressure by vortex and hydraulic jet methods / H.Y. Zhu, Q.Y. Liu, T. Wang // *Journal of Vibroengineering*. – 2014. – № 8. – P. 2224-2249.
2. Zhu H.Y. Pressure drawdown mechanism and design principle of jet pump bit / H.Y. Zhu, Q.Y. Liu // *Scientia Iranica*. – 2015. – № 6. – P. 792-803.
3. Liknes F. Jet Pump / Fredric Liknes. – Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2013. – 99 p.
4. Li I. Sand cleanout with coiled tubing: choice of process, tools, or fluids? / I. Li, I.G. Misselbrook, I. Seal // *SPE/EAGE Annual Conference and Exhibition, Rome, Italy, 9-12 June 2008*. – SPE 113267. – 27 p.
5. Chen X. A method for optimizing jet-mill-bit hydraulics in horizontal drilling / X. Chen, D. Gao, B. Guo // *SPE Journal*. – 2016. – № 4. – P. 416-422.
6. Coll B. Specialized Tools for wellbore debris recovery / B. Coll, G. Laws, J. Jeanpert, M. Sportelli, C. Svoboda, M. Trimble // *Oilfield Review*. – Winter 2012/2013. – Vol. 24. – P. 46-57.
7. Nunez O.A. Gas lift jet pump hybrid completion reduces non-productive time during unconventional well production / O.A. Nunez, T.S. Pough, I. Hubbard // *SPE Argentina Exploration and Production of Unconventional Resources Symposium, Buenos Aires, Argentina, 1-3 June 2016*. – SPE – 180958 – MS. – 9 p.
8. Дубей О.Я. Підвищення ефективності установок свердловинних штангових насосів шляхом застосування нафтогазових ежекторів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12 / Дубей Ольга Ярославівна. – Івано-Франківськ, 2017. – 217 с.
9. Shen I. Application of composite jet-rod pumping system in a deep heavy-oil field in Tarim China / I. Shen, X. Wu, I. Wang // *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Florence, Italy, 19-22 September 2010*. – SPE 134068. – 8 p.

Крыжанивский Е.И., Паневник Д.А.

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ЭЖЕКЦИОННЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация

Проанализированы этапы развития струйных насосов, используемых при бурении, эксплуатации и ремонте нефтяных и газовых скважин. Установлена линейная зависимость между допустимой глубиной установки струйного насоса в скважине и величиной давления, создаваемого силовым наземным приводом. Показана возможность повышения эффективности эксплуатации скважинных эжекционных систем путем совместной компоновки струйного насоса и электроцентробежной, плунжерной, винтовой и газлифтной установки. На основе использования методов математической статистики проанализирована динамика увеличения межремонтного периода скважинных струйных насосов. Определено распределение эжекционных технологий по отдельным технологическим процессам, которые могут осуществляться с использованием скважинных струйных насосов.

Ключевые слова: скважинный струйный насос, эжекционная система, эжекционные технологии, бурение и эксплуатация скважин.

Kryzhanivskyy E.I., Panevnyk D.A.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

ANALYSIS OF TENDENCIES OF EJECTION OIL AND GAS TECHNOLOGIES DEVELOPMENT

Summary

Stages of development of ejector pumps, which are used while drilling, operation and repair of oil and gas wells have been analyzed. Linear dependence between admissible depth of ejector pump placement in a well and amount of pressure, created by surface power drive has been established. Possibility of increasing operational efficiency of well ejection systems by means of joint arrangement of ejector pump, electrical and centrifugal, piston, screw and gaslift units has been shown. On the basis of using the methods of mathematical statistics has been analyzed dynamics of increasing the period between well ejector pumps repairs. Distribution of ejection technologies by particular technological processes, which can be accomplished by means of using well ejector pumps, has been determined.

Keywords: well ejector pump, ejection system, ejection technologies, well drilling and operation.