

## ВІДГУК

Офіційного опонента Якіма Романа Степановича  
на дисертаційну роботу Дубей Ольги Ярославівни  
«Підвищення ефективності установок свердловинних штангових насосів  
шляхом застосування нафтогазових ежекторів», подану на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.05.12 – Машини нафтової та газової промисловості

### **1. Актуальність теми дисертаційної роботи**

Переважна більшість нафтових свердловин в Україні на сьогодні експлуатується із застосуванням устаткування свердловинних штангових насосів (УСШН). Таке устаткування добре себе зарекомендувало у світовій практиці завдяки високій надійності й простоті конструкції. Тим не менше складні умови експлуатації є однією з причин низької ефективності УСШН. Зокрема, поміж можливих ускладнень, що знижують ефективність УСШН частими є:

- погіршення роботи плунжерного насоса, зумовлене наявністю значної кількості вільного нафтового газу на його вході, що може спричинити повне припинення роботи нафтової свердловини;
- постійна небезпека зриву подачі штангового насоса через виникнення значного тиску на вході у колекторну лінію та невисокого пластового тиску;
- пониження динамічного рівня у свердловині, що спричинено збільшенням тиску нафтового газу в її затрубному просторі, через відсутність його стравлювання у колекторну лінію.

Уникнути всіх таких небажаних ситуацій при експлуатації УСШН можна, якщо відбирати нафтовий газ із затрубного простору свердловин у колону насосно-компресорних труб (НКТ), використовуючи при цьому нафтогазові ежектори, встановлені вище динамічного рівня свердловин. Крім того, це дає можливість корисно використати потенціальну енергію затрубного нафтового газу, забезпечивши полегшений підйом продукції свердловини до її устя, зменшити навантаження на колону штанг, а, отже, і витрату електроенергії на процес видобування нафти. Отже, зважаючи на те, що ефективність та надійність роботи УСШН безпосередньо впливає на об'єми видобування та собівартість нафти, забезпечення ефективної та надійної роботи УСШН є актуальною проблемою й має важливе практичне значення для нафтовидобувного комплексу України. Відтак дисертаційні дослідження, які спрямовані на вивчення роботи УСШН і нафтогазового ежектора як окремо, так і сумісно з метою підвищення ефективності УСШН, що унеможливить виникнення вищезгаданих ускладнень у нафтових свердловинах, а також знизить навантаження на колону штанг, підвищить довговічність їх роботи та зменшить витрату електроенергії на процес видобування нафти, є актуальними.

### **2. Ступінь обґрунтованості наукових досліджень, висновків, рекомендацій та їх достовірність**

Обґрунтованість й достовірність наукових положень і висновків дисертації Дубей О.Я. ґрунтується на коректності постановки задач досліджень та на широкому використанні при виконанні досліджень процесів у нафтових сверд-

ловинах, в ежекторах, а також при дослідженні сумісної роботи СШН та ежектора у нафтових свердловинах методів: гідромеханіки, термодинаміки, прикладної математики, технології видобування нафти, а також обчислювальної техніки та результатів досліджень низки авторів, що відомі із літературних джерел, результатів власних експериментальних лабораторних досліджень.

### **3. Повнота висвітлення результатів в опублікованих працях, апробація роботи**

Теоретичні та практичні результати виконаних досліджень та отримані нові наукові положення достатньо повно представлені в опублікованих наукових працях і апробовані на міжнародних конференціях.

За темою дисертації опубліковано 14 друкованих праць, із них 7 – у фахових виданнях, 2 – у наукометричних журналах з індексом цитування, 2 патенти на винаходи, 1 – на корисну модель, 3 одноосібні статті та 2 тез доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях.

Внесок дисертанта у публікації, написані у співавторстві, є визначальним, результати роботи не суперечать загальноприйнятим та відомим твердженням інших науковців.

### **4. Оцінка структури та змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Дубей О.Я. складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який містить 139 найменувань і додатків. Основна частина дисертаційної роботи викладена на 152 сторінках комп'ютерного набору і містить 53 рисунки і 6 таблиць. Повний обсяг дисертації складає 218 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі досліджень, наведена наукова новизна роботи та практичне значення отриманих результатів. Крім того, вказаний особистий внесок здобувача, положення, що виносяться на захист та апробація основних результатів досліджень.

У першому розділі виконано дослідження областей застосування ежекційних технологій у нафтогазовидобувній галузі. Це стосується розробки, експлуатації, збору та інтенсифікації видобування нафти і газу. Застосування ежекційних технологій при цьому забезпечило вищу якість технологічних процесів, пов'язаних з видобуванням нафти і газу.

Ежекційні технології уможливили покращити процес промивки піщаних пробок у нафтових свердловинах, продовжити термін експлуатації нафтових, газових та газоконденсатних свердловин, забезпечили можливість експлуатації свердловин в ускладнених умовах.

Застосування при видобуванні нафти тандемних устаткувань електровідцентрового насосу – струминний насос (тандем ЕВН – СН) забезпечило стабілізацію роботи ЕВН, корисне використання енергії вільного нафтового газу і навіть деяке збільшення дебіту свердловин. А у деяких випадках (низький пластовий тиск та високий устевий тиск, негерметичність експлуатаційної колони) додаткове застосування струминних апаратів забезпечило єдино можливий спосіб експлуатації нафтових свердловин.

На основі виконаного дослідження областей застосування ежекційних технологій у нафтогазовій області дисертантка вказує на те, що до останнього часу струминні апарати не застосовуються при штангово-насосному способі видобування нафти. Запропоновано у нафтових свердловинах, що експлуатуються УСШН, додатково застосовувати ежектори, які слід встановлювати у свердловинах вище їхнього динамічного рівня для відбору нафтового газу із затрубного простору. На основі цієї пропозиції сформульовано основні задачі дослідження, які необхідно вирішити при виконанні дисертаційної роботи.

У другому розділі виконані теоретичні дослідження всіх параметрів нафтової свердловини, які для ежектора, встановленого у свердловині вище її динамічного рівня, є параметрами його робочого потоку. До таких параметрів відносяться: тиск, температура, густина газоводонафтового потоку, його витратний газовміст, густина вільного нафтового газу, швидкість руху свердловинного потоку залежно як від глибини розміщення перерізів свердловини, так і від кута повороту верстата-гойдалки. Крім того, отримані рівняння нафтогазових ежекторів.

У першу чергу знаходиться закон руху точки підвісу штанг верстата-гойдалки. Із розв'язання другої задачі динаміки для машинного агрегату, яким є УСШН, визначено кутову швидкість і кутове прискорення кривошипа верстата-гойдалки. Доведено, що кутове прискорення кривошипа у незначній мірі впливає на швидкість точки підвісу штанг. Тобто, швидкість точки підвісу штанг можна знаходити користуючись середньою кутовою швидкістю кривошипа, розв'язуючи задачу кінематичного аналізу.

При визначенні розподілу тиску і температури вздовж стовбура свердловини використано широко відомі методи Поеттмана-Карпендера та Баксендела, але застосована інша методика розв'язання нелінійних рівнянь цих методів, яка передбачає незалежність температури від тиску в свердловині, в той час як у традиційній методиці прийнята лінійна залежність між тиском і температурою, що є джерелом неточностей. Застосована методика уможливила отримати кращу точність розподілу тиску та температури у нафтових свердловинах. Швидкість руху газоводонафтового потоку в довільному перерізі свердловини знаходиться використанням швидкості руху плунжера штангового насоса та закону збереження маси потоку.

Для отримання рівнянь нафтогазових ежекторів здійснено низку допущень, поміж яких одним із головних є гомогенність робочого та змішаного потоків у ежекторі. Тобто газоводонафтовий потік в ежекторі розглядається як однорідне стискуване середовище. В дисертації розроблена методика використання одержаних рівнянь для практичних обчислень. У кінці розділу отримані рівняння порівнюються з рівняннями водоповітряного ежектора у випадку, коли коефіцієнт інжекції  $u = 0$ . Показано, що вони дають однаковий результат, який добре співпадає з результатами експериментів.

У третьому розділі розглядаються лабораторні експериментальні дослідження роботи ежекторів. Описано експерименти які виконувалися на двох лабораторних устаткуваннях, в яких робочим потоком була вода, а ежектованим потоком на одній – повітря, а на другій – вуглекислий газ.

Здійснені дослідження підтвердили результати, отримані у другому розділі. Встановлювалася можливість роботи ежекторів з «підпором», тобто за наявності різниці тисків між тиском ежектованого газу перед ежектором і тиском у його приймальній камері, у певному зв'язку між тисками на вході та виході ежектора.

Встановлено, що збільшення тиску ежектованого газу перед ежектором збільшує коефіцієнт інжекції, збільшує тиск робочого потоку перед ежектором. При певному значенні тиску інжектованого газу перед ежектором існує максимум для коефіцієнта інжекції.

Порівняння результатів експериментальних досліджень різних ежектованих газів (повітря і вуглекислого газу) вказує на однакову їх якісну картину. Різниця полягає тільки в тому, що для цих двох газів при однаковому коефіцієнті інжекції відносний перепад тиску більший у випадку вуглекислого газу, а при однаковому відносному перепаду тиску коефіцієнт інжекції більший знову ж таки у випадку вуглекислого газу. Ці результати пояснюються значною розчинністю вуглекислого газу у воді у порівнянні з повітрям.

В дисертаційній роботі наголошується, що отримані результати не можна безпосередньо перенести на випадок ежектора, встановленого у нафтовій свердловині в силу низки причин. Але вони дають чітку якісну картину, яка матиме місце і у нафтовій свердловині.

Порівнянням результатів значень відносного перепаду тиску для випадку водоповітряного ежектора, отриманих експериментально і обчислених згідно рівняння високонапірного ежектора, що виведене у розділі 2, встановлено (за умов однакових значень тиску ежектованого газу перед ежектором і тиску на виході ежектора та врахування характеристики електровідцентрового насоса експериментального устаткування) задовільно близькі значення.

У четвертому розділі досліджувалася можливість застосування запропонованого тандему свердловинний штанговий насос – ежектор (тандем СШН – ежектор) у нафтових свердловинах на прикладі свердловини 753-Д НГВУ «Долина нафтогаз».

Доцільність застосування тандему СШН – ежектор обумовлюється такими двома чинниками:

- відбір ежектором всього нафтового газу, який поступає у затрубний простір свердловини;
- місце розташування ежектора у свердловині та його геометричні параметри повинні бути такими, щоб забезпечити якомога менше навантаження на колону штанг.

З метою виконання першої умови знаходився об'єм нафтового газу, який повинен проходити через ежектор, його густина, а для ежектора розраховувався тиск у його приймальній камері, який забезпечить потрібний відбір нафтового газу із затрубного простору свердловини. Для встановлення місця розташування ежектора у нафтовій свердловині використовувалися комп'ютерні програми, які включали в себе метод Баксендела і рівняння ежекторів. Дослідженнями, за використання цих програм, було встановлено, що зменшення навантаження на колону штанг залежить від двох чинників, а саме, від зменшення відношення площ отворів камери змішування і сопла ежектора та збільшення глибини його

розташування у свердловині. Вплив другого чинника у порівнянні з першим є незначний.

Для свердловини 753-Д НГВУ «Долинанафтогаз» отримано геометричні параметри ежектора і встановлено місце його розміщення у свердловині, що забезпечить відбір всього нафтового газу, який надходить у затрубний простір свердловини, і суттєво зменшить навантаження на колону штанг.

В кінці розділу наведено перспективні конструктивні схеми нафтогазових ежекторів. На дві з них отримано патенти на винахід, а на третю – патент на корисну модель.

Дисертація закінчується підсумковими висновками, списком використаних джерел та додатками. У Додатку А наведено 4 комп'ютерні програми, які використовувалися при виконанні дисертаційної роботи. Результати експериментальних досліджень водоповітряних та водогазових ежекторів з використанням  $\text{CO}_2$  на лабораторних устаткуваннях представлено у Додатку Б. У Додатку В міститься 2 титульні аркуші затверджених методик для розрахунку робочих параметрів нафтогазових ежекторів та визначення їх раціонального місця розташування у нафтових свердловинах, а Додаток Г – це акт про передачу на впровадження розробок автора дисертаційної роботи. У Додатку Д дано розрахунок робочих параметрів нафтової свердловини 753-Д НГВУ «Долинанафтогаз», визначення добового об'єму нафтового газу в її затрубному просторі та необхідного тиску в приймальній камері ежектора.

### **5. Наукова новизна дисертаційної роботи**

Наукова новизна даної роботи характеризується тим, що:

1. Вперше запропоновано конструкцію тандемного устаткування, що включає в себе СШН та нафтогазовий ежектор, встановлений вище динамічного рівня у нафтовій свердловині.

2. Удосконалено методику розв'язання диференціальних рівнянь методів Поеттмана-Карпентера та Баксендела завдяки використанню числового методу Адамса-Крилова, що уможливило підвищити точність розрахунку розподілу тиску і температури вздовж стовбура нафтової свердловини.

3. Вперше встановлено розподіл швидкості руху газорідної суміші як вздовж стовбура нафтової свердловини, так і протягом одного циклу роботи штангового насоса.

4. Вперше одержано аналітичні залежності, які пов'язують між собою геометрію нафтогазових ежекторів, які встановлюються вище динамічного рівня у нафтовій свердловині, з параметрами свердловини на вході в ежектори та на виході з них.

5. Вперше розроблено методику, яка уможливорює встановити раціональне місце розташування ежектора у нафтовій свердловині, що експлуатується СШН, для забезпечення найменшого навантаження на колону штанг.

### **6. Практична цінність дисертаційної роботи**

Практична цінність даної роботи, за отриманими результатами, полягає в тому, що:

– розроблена методика визначення раціонального місця розташування нафтогазового ежектора у нафтових свердловинах, яка затверджена НДПІ ПАТ «Укрнафта»;

– впроваджена в НГВУ «Долинанaftогаз» методика розрахунку робочих параметрів свердловинної ежекційної системи;

– основні геометричні параметри конструкції ежектора, запропонованої тандемного устаткування для свердловини 753-Д НГВУ «Долинанaftогаз», та місця його розташування у свердловині, отримані при виконанні дисертаційної роботи, передані на впровадження.

## 7. Зауваження по дисертаційній роботі

1. П. 2.2 присвячено теоретичному визначенню руху точки підвісу штанг верстатів-гойдалок, тим не менше з тексту не зрозуміло як враховується вплив характеристик наземного та глибинного обладнання на режим роботи верстата-гойдалки, а також як можна вирішувати проблему компенсації впливу динамічних похибок важільного механізму верстата-гойдалки на деформацію й переміщення його ланок.

2. З тексту дисертації не зовсім зрозуміло чому при виконанні практичних розрахунків, пов'язаних як з рівнянням високонапірного, так і низьконапірного ежекторів, взято досить вузький інтервал зміни витратного газовмісту потоку  $\beta_p = 0 \dots 0,3$ .

3. При обчисленнях, пов'язаних з рівняннями ежекторів у підрозділі 2.5, за незалежні змінні було взято тиск на виході ежектора  $p_c$ , коефіцієнт інжекції  $u_2$  і об'ємний витратний газовмісту потоку  $\beta_p$ . З тексту не зрозуміло у яких випадках необхідно брати вказані величини за незалежні змінні а коли ні? Які величини взято за незалежні змінні у комп'ютерних програмах при визначенні місця розташування ежекторів у свердловинах?

4. Не зовсім зрозуміло як враховувався, при конструюванні параметрів запропонованих в роботі ежекторів, безрозмірний протитиск, а також які умови для досягнення ефективної роботи розроблених ежекторів.

5. У деяких місцях дисертації два сусідні слова надруковано без пробілу. Наприклад, «щовони» (с. 12), «завдякибільш» (с. 27), «уприймальній камерізадовольняє» (с. 87). Зустрічаються окремі русизми, також слід вживати терміни «передатне число», «механізм передавальний». У деяких схемах (наприклад рис. 3.1 і 3.3) є незначні відхилення у розмірах умовних познач елементів. В списку літературних джерел під позицією 85 є посилання на автореферат дисертації, а під 86 – на дисертацію одного й того самого автора. У тексті роботи трапляються окремі невдалі звороти, є незначні описки.

В той же час необхідно зауважити, що зазначені зауваження не мають принципового характеру, не знижують високого наукового рівня дисертації, а спрямовані тільки на її покращання і доповнення.

## 8. Висновок по дисертаційній роботі в цілому

Дисертація Дубей О. Я. «Підвищення ефективності установок свердловинних штангових насосів шляхом застосування нафтогазових ежекторів» є

завершеною науковою працею. Матеріал викладено українською мовою, робота добре ілюстрована та оформлена відповідно до вимог Державного стандарту України та вимог атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України.

Тема та зміст дисертаційної роботи цілком відповідає спеціальності 05.05.12 – Машини нафтової та газової промисловості, за якою вона подана до захисту.

Автореферат дисертації адекватно відображає основний зміст, положення, висновки, та рекомендації дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Дубей О.Я. є науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, що в сукупності вирішують актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності устаткування свердловинних штангових насосів при одночасному застосуванні нафтогазових ежекторів у нафтових свердловинах, що забезпечить відбір всього нафтового газу, який поступає у затрубний простір свердловини, та значне зниження навантаження на колону штанг.

Вважаю, що дисертаційна робота "Підвищення ефективності установок свердловинних штангових насосів шляхом застосування нафтогазових ежекторів" за актуальністю, науковим рівнем розробки та її практичним втіленням, необхідною кількістю публікацій та апробацій повністю відповідає вимогам п.11 Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника, а її автор Дубей Ольга Ярославівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості.

Офіційний опонент, професор кафедри  
машинознавства та основ технологій  
Дрогобицького державного педагогічного  
університету ім. Івана Франка,  
доктор технічних наук, професор

Яким Р. С.



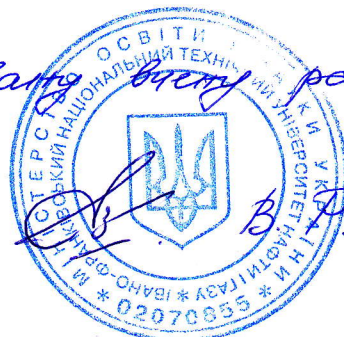
06.02.2017

Відгук надійшов у спеціалізовану вчену раду

Д 20.052.04

16.02.17р.

Учений секретар ІФНТУНТ



В.Р. Крочук.