

622.245.53.054(043)  
Я45

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

**ЯКИМЕЧКО ЯРОСЛАВ ЯРЕМОВИЧ**

*Яр. Якимечко*

(043)  
УДК 622.276.53.054.23:621.694

Я45

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУВАННЯ ВИСОКОВ'ЯЗКИХ  
НАФТ СТРУМИННИМИ НАСОСАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ  
ПУЛЬСУЮЧИХ ПОТОКІВ**

05.15.06 – Розробка нафтових та газових родовищ

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2013



Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор  
**Яремійчук Роман Семенович**,  
радник Голови правління  
ПАТ «Державне акціонерне товариство  
«Чорноморнафтогаз»

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Зезекало Іван Гаврилович**,  
голова ГО «Спілка наукових та інженерно-  
технічних фахівців «Прометей»

кандидат технічних наук,  
**Рудий Мирослав Іванович**,  
начальник відділу нафтовіддачі та інтенсифікації  
видобутку нафти Науково-дослідного і проектного  
інституту ПАТ «Укрнафта»

Захист відбудеться «04» квітня 2013 р. о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий «01» березня 2013 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

**I.M. Ковбасюк**



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Проблема пошуку ефективних технологій видобування високов'язкої нафти із свердловин сьогодні є актуальною у всіх нафтовидобувних країнах світу, у тому числі і в Україні.

На сьогоднішній день в Україні відкрито низку родовищ високов'язких нафт, серед яких найбільш відомі Коханівське, Бугруватівське, Яблунівське, Чечвинське, Семенівське, Актаське та інші. Глибини залягання пластів з високов'язкою нафтою на цих родовищах коливаються від 200-300 м до 3000-4000 м. 75 % високов'язких нафт знаходяться на глибинах до 2000 м. В пластових умовах в'язкість цих нафт складає від 20 мПа·с до 100 мПа·с і більше. На сьогоднішній день на більшості родовищ горизонти високов'язкої нафти експлуатуються неефективно через відсутність відповідного до умов залягання глибинно-насосного обладнання. На свердловинах, які експлуатуються насосним способом, їх дебіти складають 1-5 м<sup>3</sup>/д. В цілому лише по двох родовищах таких нафт (Бугруватівському та Коханівському) пробурено та підготовлено до експлуатації близько сотні свердловин.

Основні ускладнення під час експлуатації горизонтів з високов'язкими нафтами (ВВН) пов'язані з фізико-хімічними властивостями самих нафт. Збільшення їх в'язкості і зниження температури при підніманні на поверхню та значний вміст асфальтеносмолопарафінових речовин призводить до відчутних втрат тиску у привибійній зоні пласта, стовбурі свердловини, інтенсивного відкладання густих вуглеводнів на стінках насосно-компресорних труб і, як наслідок, погіршення видобувних можливостей свердловин і збільшення загальних витрат на експлуатацію таких свердловин. Усунення цих недоліків дало б змогу збільшити видобуток високов'язкої нафти на родовищах України. Для цього необхідно вирішити низку задач, які до сьогоднішнього дня практично не вирішені.

Однією із таких задач є удосконалення технології видобування та високоєфективного насосного обладнання для піднімання високов'язкої нафти із свердловин, вирішення якої є досить актуальним на сучасному етапі нафтовилучення. Сьогодні у всіх країнах світу ведеться інтенсивний пошук нових технологій і технічних засобів, які базуються на нових фізичних явищах і ефектах.

До таких фізичних явищ відноситься і кавітація. Використання кавітаційно-пульсаційної технології для зниження в'язкості важких нафт в свердловинних умовах на родовищах з високов'язкими вуглеводнями може забезпечити істотне збільшення дебіту свердловин та зниження витрат на їх експлуатацію. Тому проблема більш ефективної експлуатації свердловин, що продукують високов'язкі нафти, за умов існування дефіциту енергоносіїв є актуальною і потребує подальшого вивчення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності до програм науково-дослідних робіт за договорами: НДР № 101/95 «Розробка та вдосконалення комплексу обладнання для видобутку високов'язких нафт» (реєстр. №0195U023683); Д-2-01-Ф МОН України «Удосконалення методу підвищення ефективності будівництва свердловин у складних гірничо-геологічних умовах» (реєстр. №0101U001662) у науково-дослідному інституті нафтогазових технологій Івано-Франківського національного

технічного університету нафти і газу.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є удосконалення технологічного процесу видобування високов'язких нафт шляхом поєднання одночасної роботи струминного насоса і гідродинамічного кавітатора.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення таких задач:

1. Теоретичне обґрунтування динаміки пульсуючих потоків робочої рідини та встановлення впливу витрати рідини на ступінь її кручення в гідродинамічному кавітаторі.

2. Визначення впливу ступеня кручення робочої рідини на процес виникнення кавітаційних явищ.

3. Експериментальне дослідження впливу частоти і амплітуди коливань, які створюються гідродинамічним кавітатором, на зміну в'язкості нафти у свердловинних умовах.

4. Оцінка динаміки зміни в'язкості нафти при її обробленні гідродинамічним кавітатором.

5. Розроблення удосконаленої технології видобування високов'язкої нафти із свердловин за допомогою поєднання одночасної роботи модернізованого струминного насоса і гідродинамічного кавітатора.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес видобування високов'язкої нафти з використанням струминного насоса з розділеними робочими потоками і гідродинамічного кавітатора.

*Предмет дослідження* – вплив коливань тиску, які створюються гідродинамічним кавітатором, на зниження в'язкості високов'язкої нафти.

**Методи дослідження.** При вирішенні сформульованих завдань в дисертаційній роботі використано методи математичного і комп'ютерного моделювання, аналітичні, фізичні, гідродинамічні, експериментальні дослідження в лабораторних і промислових умовах за розробленими автором методиками.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Одержано уточнену аналітичну залежність ступеня кручення потоку робочої рідини в кавітаторі від її витрати, а також від частоти коливань вихрового ядра, які сприяють виникненню кавітаційно-пульсаційних коливань - основних чинників зниження в'язкості нафти.

2. Вперше встановлено залежність зміни показника політропи нафти від часу її обробки гідродинамічним кавітатором в межах температур від 16 °С до 34 °С, яка показала, що після 30 °С настає стабілізація цієї залежності. Це свідчить про те, що подальша обробка нафти призведе до зниження її в'язкості, але при значно менших темпах.

3. Вперше виявлено, що зниження в'язкості високов'язкої нафти відбувається з перших секунд внаслідок штучного створення кавітаційних явищ, які, генеруючи знакозмінні коливання тиску, руйнують механічну структуру високов'язкої нафти і призводять до збільшення швидкості її відпомповування із свердловини.

**Практичне значення одержаних результатів.**

1. Вперше поєднано одночасну роботу струминного насоса і гідродинамічного кавітатора. Результати досліджень використані для удосконалення технології і

конструкції струминного апарата, який використовується для видобування високов'язкої нафти.

2. Удосконалено конструкцію гідродинамічного кавітатора, який дозволяє знижувати в'язкість нафти у свердловині, в результаті чого збільшується швидкість підняття високов'язкої нафти на денну поверхню у 2,3 рази.

3. Розроблено стандарт підприємства СТП 320.00135390.016-98 «Технологія видобування високов'язких нафт за допомогою вставного струминного апарату з розділеними робочими потоками», який затверджено ВАТ «Укрнафта». Стандарт введено в дію вперше.

4. Вперше, як робочу рідину для струминного насоса, запропоновано використовувати видобуту нафту, яка обробляється кавітаційним пристроєм на поверхні, це дає можливість знизити її в'язкість перед подачею у свердловину.

5. Результати наукових досліджень використовуються у навчальному процесі кафедрою морських нафтогазових технологій ІФНТУНГ при вивченні дисципліни «Основи інтенсифікації припливу вуглеводнів».

**Особистий внесок здобувача.** Постановка задач за темою дисертації належить науковому керівнику д.т.н., професору Яремійчуку Р.С. [ 2, 8]

Особисто автором проведено огляд літературних джерел, проаналізовано стан інтенсифікації видобування та причини виникнення ускладнень при свердловинних методах експлуатації пластів з високов'язкими нафтами. Здійснено теоретичні [9], експериментальні [1, 6-8, 11] дослідження та промислові випробування [3-5, 10, 11].

Внесено вклад у розробку стандарту підприємства СТП 320.00135390.016-98 «Технологія видобування високов'язких нафт за допомогою вставного струминного апарату з розділеними робочими потоками», який затверджено і надано чинності наказом Голови правління ВАТ «Укрнафта» «Про впровадження стандарту підприємства» від 01.03.1999 р. Стандарт підприємства СТП 320.00135390.016-98 введений у дію вперше.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи представлено та обговорено на:

- науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ “Секція ГНПФ та ФНГП” (м. Івано-Франківськ, 1999 р.);

- міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ 2000” (м. Івано-Франківськ, 2000 р.);

- міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика – 2011” (м. Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011 р.);

- наукових семінарах кафедри морських нафтогазових технологій та кафедри розробки і експлуатації нафтових і газових родовищ Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 2010-2012 рр.).

**Публікації.** За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 9 наукових праць у фахових виданнях, в тому числі 3 самостійно та отримано два патенти України на винахід.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Матеріал викладено на 187 сторінках машинописного тексту; робота містить 67 рисунків, 7 таблиць, 109 назв бібліографічних джерел.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, відображено наукове та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведений аналіз факторів, які впливають на ефективність експлуатації свердловин, що продукують високов'язку нафту, та здійснено критичний огляд сучасних методів розв'язання вказаної проблеми.

Загально визнано, що важкі нафти і бітуми будуть одним із важливих джерел вуглеводнів у XXI столітті. Тому проблема більш ефективної експлуатації свердловин, що продукують високов'язкі нафти, за умов існування дефіциту енергоносіїв є надзвичайно актуальною.

Найбільш широке застосування отримали свердловинні методи розробки важких вуглеводнів. В першу чергу це відноситься до родовищ важких нафт, але застосовуються вони і на деяких родовищах бітумів, які залягають на порівняно великих глибинах, недоступних для кар'єрної розробки.

При будь-якому методі свердловинної розробки важких вуглеводнів при зниженні їх температури під час підняття на поверхню і транспортуванні виникають суттєві ускладнення внаслідок збільшення в'язкості.

Вибір засобів розробки таких родовищ визначається фізико-хімічними властивостями вуглеводнів (в першу чергу їх в'язкістю); умовами залягання і характером продуктивних пластів (їх глибиною і товщиною); величиною заданого кінцевого коефіцієнта видобування із пластів; економічними показниками видобування вуглеводнів.

Струминні насоси в даний час широко застосовують в багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні. Їх можна застосовувати при підніманні звичайної легкої і високов'язкої важкої нафти, вони мають дуже гнучку характеристику. В цих насосах відсутні рухомі деталі, тому вони відрізняються досить великою надійністю, мають значний моторесурс (6000 годин), у вставному варіанті можуть бути замінені без підйому насосно-компресорних труб.

Застосування глибинних струминних насосів для експлуатації нафтових свердловин зумовлено такими їх особливостями:

- необхідний тиск робочої рідини біля входу у сопло струминного насосу створюється не тільки наземним силовим насосом, але і напором стовпа робочої рідини у міжтрубному просторі або колоні НКТ;

- тиск на виході струминного насосу, який необхідний для підйому рідини на поверхню, суттєво зменшується завдяки газліфтному ефекту, який виникає при виділенні вільного газу з нафти в колоні НКТ;

- менша чутливість до наявності вільного газу і піску в рідині у порівнянні з поршневи́ми насосами;

- простота конструкції і порівняно малі габарити насосів.

Поєднання роботи струминного насоса із дією на високов'язку нафту імпульсно-кавітаційними технологіями позитивно вплине на інтенсифікацію видобування високов'язких вуглеводнів із свердловин. Удосконалення технології і модернізація струминних апаратів для видобування високов'язких нафт є на даний

час актуальними і перспективними в контексті збільшення дебітів свердловин вуглеводневих енергоносіїв.

У другому розділі наведено теоретичні дослідження закрученого потоку робочої рідини під час проходження її через гідродинамічний кавітатор. Існування прецесуючого вихрового ядра (ПВЯ) (тобто джерела кавітації – відсутності суцільності середовища) в потоці робочої рідини передбачається при певних числах Рейнольдса.

Проведений аналіз теоретичних даних і дослідження чинників, що впливають на стійкість вихрових структур дозволили виявити, що у міру руху відбувається збільшення вихрового ядра за розмірами з подальшим його руйнуванням. У той же час відомо, що мінімальна кругова швидкість власного обертання твердого тіла, необхідна для стійкого його руху визначається рівністю, наведеній у довіднику Яейрського Б.М.:

$$\omega_{min} = \frac{2}{I} \cdot \sqrt{P \cdot a \cdot A} , \quad (1)$$

де  $P$  - сила Коріоліса;

$a$  - відстань від точки опори тіла, що обертається, до центру обертання, м;

$A$  - момент інерції відносно осі, перпендикулярної до осі власного обертання;

$I$  — полярний момент інерції відносно центральної осі.

Враховуючи, що обертання вихрового ядра описується як обертання твердого тіла, а основні параметри ПВЯ визначені у роботі Гупта А.К. і містять коефіцієнт кручення, об'ємну витрату рідини, пов'язані з частотою коливань вихрового ядра:

$$\frac{f \cdot D_e^3}{Q} \text{ — приведена частота;}$$

$$\frac{G_\theta \cdot D_e}{\rho \cdot Q^2} \text{ — приведений момент кількості руху;}$$

$$\frac{\Delta P \cdot D_e^3}{G_\theta} \text{ — приведена інтенсивність пульсацій тиску.}$$

То тоді можна отримати функцію ступеня закручення потоку в залежності від витрати і частоти коливань ПВЯ за умови стійкості потоку, що сам обертається.

Приймаючи точку опори за центр струменя і визначаючи момент інерції як момент інерції ПВЯ відносно осі, яка перпендикулярна осі його обертання і підставляючи значення  $P$ ,  $a$ ,  $A$ ,  $I$  в рівняння (1) з урахуванням виразів для основних параметрів ПВЯ, отримаємо:

$$\omega_{min} = \frac{2 \cdot a^2 \cdot f}{\sqrt{R \cdot L}} . \quad (2)$$

Потік моменту кількості руху в осьовому напрямку в закрученому потоці визначається виразом, наведеним у роботі Гупта А.К.:

$$G_\theta = \frac{\pi}{2} \cdot \rho \cdot u_{mo} \cdot \omega_{mo} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3 . \quad (3)$$

Ступінь кручення потоку, згідно з Гупта А.К. :

$$S = \frac{\pi \cdot G_{\theta} \cdot d}{2 \cdot \rho \cdot Q^2} \quad (4)$$

Тоді, прирівнюючи (2) до  $\omega_{mo}$  у (3) і підставляючи у вираз (4) отримаємо уточнену залежність ступеня кручення потоку від масової витрати і частоти прецесії вихрового ядра в області стійкої рівноваги закрученого струменя:

$$S = \frac{\pi^2}{8} \cdot \frac{d^4 \cdot f \cdot u_{mo} \cdot a^2}{Q^2 \cdot \sqrt{R \cdot L}} \quad (5)$$

де  $u_{mo}$  - максимальна осьова швидкість потоку, м/с;

$f$  - частота пульсацій, с<sup>-1</sup>;

$d$  - діаметр вихідного отвору вихрової камери, м;

$a$  - відстань від центру струменя до даного перерізу ПВЯ, м;

$R$  - відстань за радіусом до центру ПВЯ, м;

$L$  - довжина вихрової камери, м;

$Q$  - витрата робочої рідини, м<sup>3</sup>/с.

Аналіз отриманої залежності показав, що ступінь кручення потоку прямо пропорційний частоті коливань прецесуючого вихрового ядра і обернено пропорційна квадрату об'ємної витрати рідини, тобто забезпечення стійкості закрученого потоку при варіюванні витрати вимагає відповідної зміни ступеню кручення (рис. 1) або зміни частоти коливань ПВЯ.

Результати виконаних досліджень дають можливість на практиці застосувати явища кавітації в закручених потоках і можуть бути використані при розробці, дослідженні і впровадженні імпульсно-хвильових технологій і підвищення ефективності роботи пульсуючих пристроїв, зокрема, на основі використання закономірностей явища кавітації.

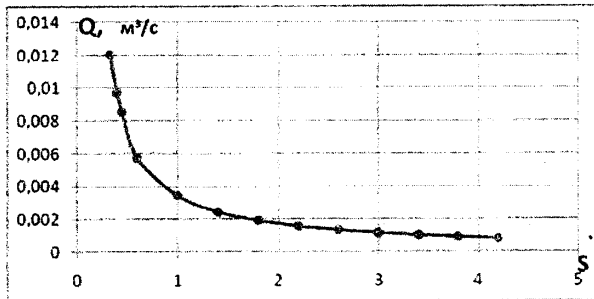
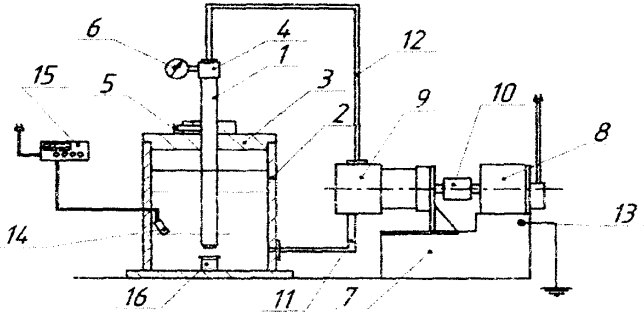


Рисунок 1 - Залежність витрати від ступеня кручення рідини



У третьому розділі наведено експериментальні дослідження кавітаційно-пульсаційних процесів, що виникають в процесі роботи гідродинамічного кавітатора. Для цього було спроектовано і виготовлено лабораторний стенд, за допомогою якого можна досліджувати вплив кавітаційно-пульсаційних коливань, створюваних гідродинамічним кавітатором, на зниження в'язкості високов'язких нафт. На рис. 2 зображено схему лабораторного стенду.



1 – гідродинамічний кавітатор; 2 – металева камера (технічна ємність); 3 – кришка камери; 4 – перешийник; 5 – гвинт стопорний; 6 – манометр; 7 – рама; 8 – електродвигун; 9 – поршневий насос; 10 – муфта; 11 – всмоктувальна лінія; 12 – нагнітальна лінія; 13 – клемма заземлення; 14 – магнітострикційний датчик; 15 – осцилограф; 16 – капсула з високов'язкою нафтою

Рисунок 2 – Схема лабораторного стенду для визначення інтенсивності ультразвукового поля, створюваного гідродинамічним кавітатором

В якості піддослідної нафти використовувалася високов'язка нафта з Коханівського родовища. Вона поміщалася в контейнер і піддавалася обробці гідроакустичним кавітатором. Внаслідок чого в'язкість нафти з 147 мПа·с знизилась до 18 мПа·с.

Проаналізувавши результати лабораторних досліджень, нами було зроблено висновок, що необхідно удосконалити конструкцію гідродинамічного кавітатора. Нами була розроблена така конструкція і отримано патент 36439А України.

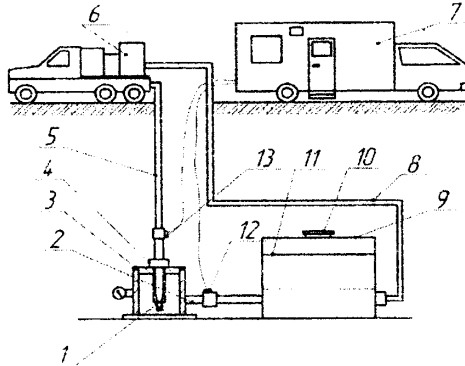
Для дослідження роботи гідродинамічного кавітатора удосконаленої конструкції та його вплив на підготовлену товарну нафту (ПТН) на базі нафтогазовидобувного управління «Долина нафтогаз» за розробленою програмою та методикою було проведено експериментальні випробування з метою визначення:

- впливу пульсацій тиску, які створюються в результаті роботи гідродинамічного кавітатора, на процес зниження в'язкості нафти;
- частоти і амплітуди пульсацій тиску на виході з гідродинамічного кавітатора.

Виходячи з поставленої мети експериментальних досліджень щодо створення пульсацій тиску в робочій рідині за допомогою гідродинамічного кавітатора, було задіяно стендову експериментальну установку, схема обв'язки якої представлена на рис. 3.

Підготовлена товарна нафта 11 подається через шток 2 від насосного агрегату 6 типу 4АН-700, проходить через гідродинамічний кавітатор 1 і спрямовується у ємність 9. Із ємності нафта прямує у викидну лінію 8 і знову повертається у насос.

Тиск на вході і на виході в установку фіксується в автономному режимі через датчики тисків 13, 12 із записом їх показників на комп'ютері станції контролю і керування ЕС-22-ACD 7. З інтервалом через 10 хв. зупиняли роботу насоса, відбирали проби нафти і проводили вимірювання її показників: температури, густини, в'язкості і СНЗ.



- 1 – гідродинамічний кавітатор; 2 – шток; 3 – корпус експериментальної установки;  
 4 – контргайка; 5 – нагнітальна лінія; 6 – насосний агрегат; 7 – станція контролю і керування ЕС-22-ACD; 8 – викидна лінія; 9 – ємність для нафти; 10 – горловина ємності; 11 – нафта;  
 12 – контрольний датчик тиску на виході з установки; 13 – контрольний датчик тиску на вході в установку

**Рисунок 3 -** Схема обв'язки стендової експериментальної установки при проведенні досліджень роботи гідродинамічного кавітатора удосконаленої конструкції

В результаті проведених експериментальних досліджень були отримані такі результати (табл. 1). Необхідно відзначити, що під час прокачування нафти упродовж 10 хвилин без встановлення у шток дослідної установки гідродинамічного кавітатора температура нафти знизилась на 2 °С, а густина і кінематична в'язкість відповідно збільшились і становили  $\rho=854 \text{ кг/м}^3$  і  $\nu=28,946 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Пульсацій на виході з установки не спостерігалось. Після встановлення кавітатора у шток установки і відновлення прокачування нафти згідно з наведеною схемою температура нафти почала зростати на 4 – 5 °С через кожні 10 хвилин, а густина знижуватися відповідно на 4-8 одиниць. Необхідно підкреслити, що після першого прокачування через кавітатор кінематична в'язкість знизилась більше ніж на 20 одиниць. Статична напруга зсуву через 1 хв. зменшилась на 1,5 дПа, а через 10 хв. – на 2,5 дПа і становила 1 дПа і залишалася стабільною до кінця проведення експерименту.

Частота коливань під час роботи гідродинамічного кавітатора як видно з рис.4 становила 10-12 Гц, а амплітуда коливань при роботі з комбінованим соплом діаметром 8 мм складала на вході в установку 4,6-7,0 МПа, а на виході 0,21-0,24 МПа, а з комбінованим соплом діаметром 6 мм відповідно 2,1-8,3 МПа і 0,21-0,28 МПа. Діаметри комбінованих сопел кавітатора вибрані з умови рівності діаметрам робочих насадок струминного насоса (8 і 6 мм). Це забезпечить стабільну роботу пари струминний насос – гідродинамічний кавітатор.

Таблиця 1 - Результати досліджень впливу роботи гідродинамічного кавітатора на параметри підготовленої товарної нафти

Тип пристрою	Тиск на вході в установку $P_{вх}$ , МПа	Тиск на виході з установки $P_{вих}$ , МПа	Час нагнітання робочої рідини, хв.	Параметри нафти			
				$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\nu$ , $\times 10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с	$t$ , °С	СНЗ, 1/10 хв. дПа
Без кавітатора	4,0-5,3	0,01	10	854	28,946	12	2,5/3,5
Кавітатор з діаметром комбінованого сопла 8 мм	4,6-7,0	0,21-0,24	10	846	8,23	16	1,0/1,0
				839	7,65	20	1,0/1,0
Кавітатор з діаметром комбінованого сопла 6 мм	2,1-8,3	0,21-0,28	10	835	7,44	25	1,0/1,0
				830	7,23	29	1,0/1,0
				824	6,95	34	1,0/1,0

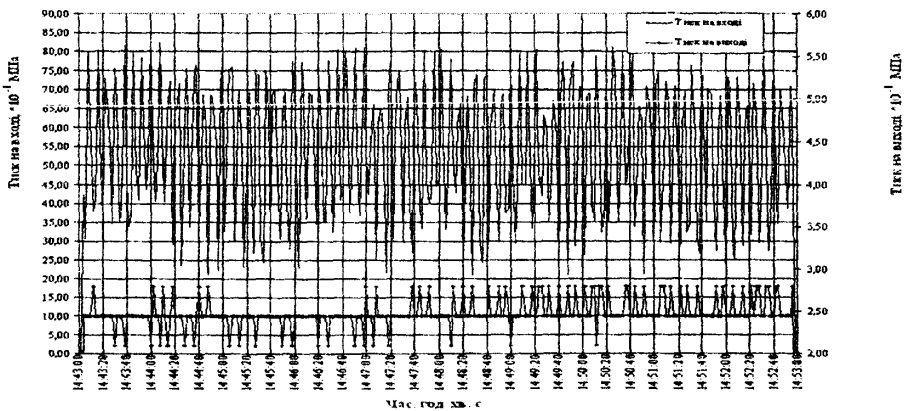


Рисунок 4 - Графічна інтерпретація результатів дослідження гідродинамічного кавітатора з діаметром комбінованого сопла 6 мм при прокачуванні нафти

На рис. 5 відображена динаміка зміни в'язкості нафти Долинського родовища при її нагріванні до фіксованих температур. Слід відмітити, що нафта, оброблена кавітатором, уже при 16 °С має таку ж в'язкість, як нафти, які нагріті до 34 °С. Це свідчить про те, що створені кавітатором знакозмінні коливання тиску руйнують просторову структуру ВВН з перших секунд її обробки. Це призводить до зниження в'язкості нафти.

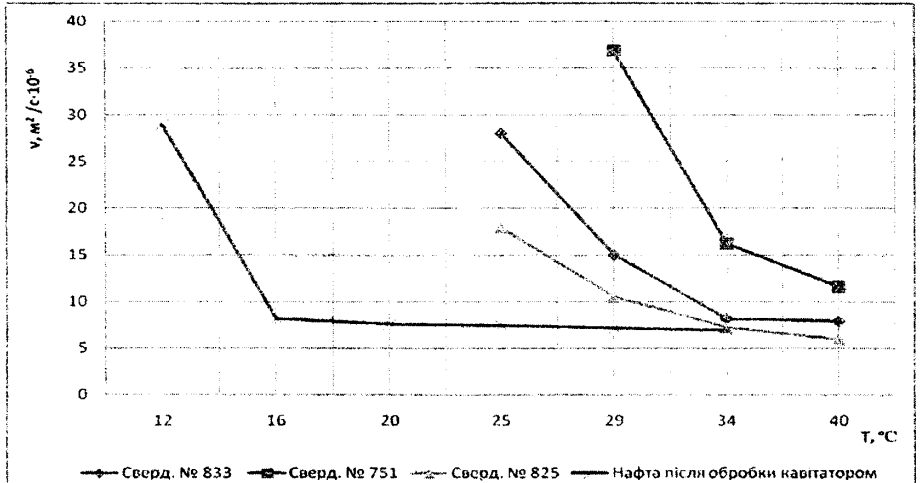


Рисунок 5 - Динаміка зміни в'язкості при нагріванні нафт Долинського родовища

В результаті проведення стендових випробувань було зафіксовано залежність політропи нафти від температури (рис. 6). Необхідно відмітити, що найбільш інтенсивне збільшення показника політропи нафти від часу її обробки гідродинамічним кавітатором відбувалося в межах температур від 16 °С до 34 °С. А після 30 °С настає стабілізація цієї залежності. Тобто, це свідчить про те, що подальша обробка нафти після 30 °С буде малоєфективною.

На рис. 7 показана залежність в'язкості нафти від часу обробки її гідродинамічним кавітатором. Найбільш інтенсивне зниження кінематичної в'язкості спостерігається упродовж перших 180-200 секунд обробки нафти гідродинамічним кавітатором, тобто це той інтервал часу, за який прокачується весь об'єм нафти через пристрій. Далі в'язкість зменшується уже не так інтенсивно, але стабільно. За час роботи кавітатора в'язкість нафти зменшилась більше ніж в 4 рази (див. табл. 1).

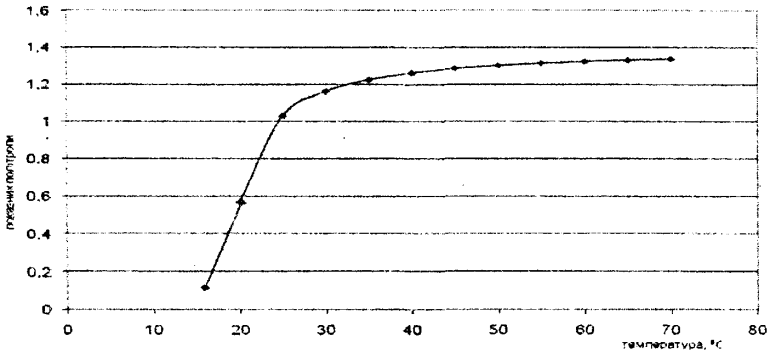


Рисунок 6 - Залежність показника політропи нафти від температури

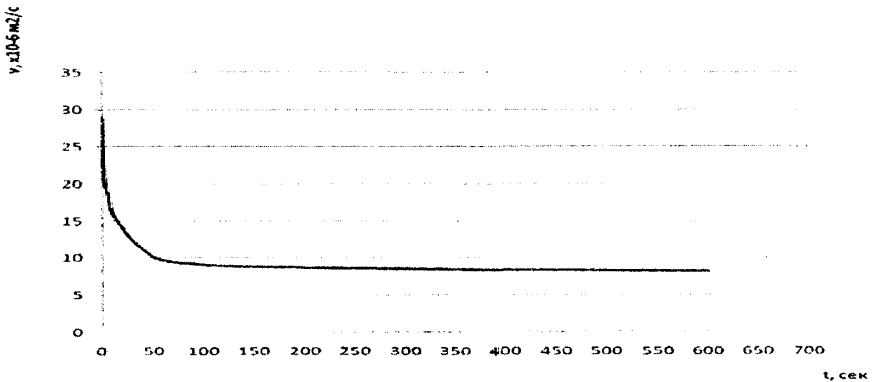


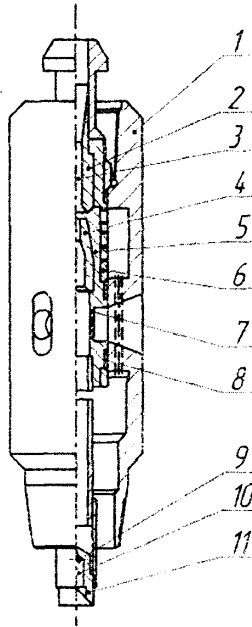
Рисунок 7 - Залежність кінематичної в'язкості нафти від часу обробки гідродинамічним кавітатором

Результати експериментальних досліджень використано для удосконалення технології видобування високов'язких нафт за допомогою струминних насосів зі свердловин глибиною до 2000 м.

У четвертому розділі наведено промислові випробування комплексу обладнання для видобування високов'язких нафт. При проектуванні комплексу обладнання для видобування високов'язких нафт була взята за основу уже відома і випробувана конструкція струминного апарату типу ПЕОС. Нами запропоновано струминний апарат, схему якого зображено на рис. 8.

В струминних апаратах типу ПЕОС робоча рідина подається по трубах НКТ, а за технологією видобування високов'язких нафт робоча рідина подається по затрубному просторі, тому ми його конструктивно змінили. Він складається з корпусу, в якому вгвинчені сопло і змішувач. В нижній частині струминного насосу

є різьбова частина, до якої можна приєднувати клапан гідродинамічних досліджень або гідродинамічний кавітатор ( рис. 9).

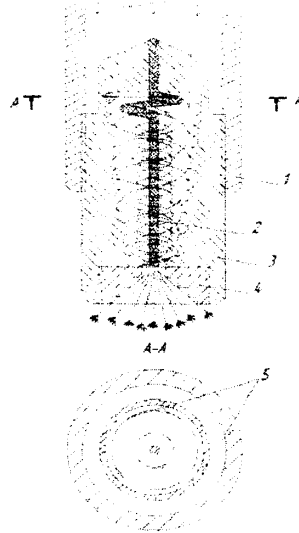


1 – корпус пристрою; 2 – дифузор; 3 – камера змішування; 4 – сопло; 5 – сідло; 6 – струминний насос; 7 – фільтраційні отвори; 8 – ущільнюючі кільця; 9 – тангенціальні вхідні отвори кавітатора; 10 – вихрова камера; 11 – корпус гідродинамічного кавітатора

**Рисунок 8 - Струминний апарат для видобування високов'язких нафт**

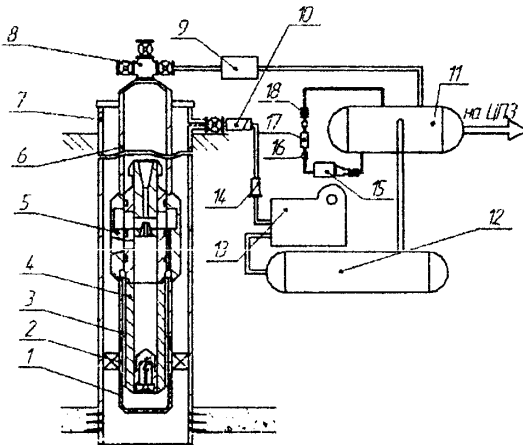
Технологічна схема обв'язки обладнання для видобування нафти за допомогою струминного насоса з розділеними робочими потоками зображена на рис. 10. Спосіб роботи насосно-ежекторної свердловинної струминної установки з гідродинамічним кавітатором для видобування високов'язких нафт захищений патентом України 57331. В основу роботи обладнання поставлено задачу вдосконалити технологічний процес роботи насосно-ежекторної установки для видобування ВВН таким чином, щоб збільшити продуктивність свердловини і при цьому зменшити енерговитрати за рахунок зменшення в'язкості нафти, яка видобується.

Технологічний процес здійснюється таким чином. В свердловину, обсадженою обсадною колоною, на насосно-компресорних трубах спускають струминний апарат, який складається із струминного насоса і гідродинамічного кавітатора для кавітаційно-пульсаційної обробки високов'язкої нафти. На розрахованій глибині в свердловині встановлюють пакер.



- 1 – патрубок; 2 – пружинний стержень; 3 – циліндричний корпус;  
4 – ступінчастий дифузор; 5 – тангенціальні вхідні канали

Рисунок 9 - Гідродинамічний кавітатор



- 1 – фільтр-кінцевик; 2 – пакер; 3, 6 – НКТ; 4 – гідродинамічний кавітатор; 5 – струминний насос;  
7 – експлуатаційна колона; 8 – фонтанна арматура; 9 – витратомір; 10 – зворотний клапан;  
11 – резервуар для видобутої нафти; 12 – резервуар з легкою нафтою; 13 – насосна установка;  
14 – фільтр; 15 – поршневий насос; 16 – швидкороз'ємне з'єднання; 17 – кавітаційний пристрій;  
18 – засувка

Рисунок 10 - Технологічна схема обв'язки обладнання для видобування нафти за допомогою струминного насоса з розділеними робочими потоками

Включають в роботу наземний гідропривід і робоча рідина під заданим тиском подається по нагнітальній лінії через фільтр і зворотний клапан в затрубний простір до апарату. Потрапивши в корпус апарату, робоча рідина розділяється на дві частини. Одна частина робочої рідини потрапляє через вхідні тангенціальні отвори в кільцеву конусоподібну камеру завихрення гідродинамічного кавітатора, де потік рідини під дією відцентрової сили сильно закручується та ініціює виникнення прецесуючого вихрового ядра, яке скручується по довжині струменю. Рухаючись по стінках кругової конусоподібної камери від перерізу з більшим діаметром до перерізу з меншим діаметром, закручений струмінь збільшує свою швидкість руху. Збільшення швидкості руху означає збільшення кінетичної енергії струменя. За законом збереження енергії зростання кінетичної енергії неминуче викличе падіння потенційної енергії, а роль потенційної енергії в потоці робочої рідини виконує тиск. Таким чином, чим меншим буде діаметр, тим вищою в ньому буде швидкість руху закрученого струменю і тим нижче впаде тиск. Як тільки тиск у своєму падінні наблизиться за величиною до тиску насичених парів почнеться бурхливе пароутворення. Тобто, буде відбуватися холодне адіабатне кипіння рідини. Цей процес буде супроводжуватися утворенням бульбашок, в середині яких будуть знаходитися пари робочої рідини. Нижній кінець центрального пружинного стержня, перебуваючи під одночасною дією перепаду тиску в закрученому струмені і прецесуючого вихрового ядра, буде здійснювати поперечні коливальні рухи, створюючи ще більше завихрення та інтенсифікуючи утворення парогазових бульбашок і каверн. На виході з камери завихрення при проходженні рідини через ступінчатий дифузор, діаметр якого поступово буде збільшуватися і відповідно швидкість руху рідини буде зменшуватися, а тиск відповідно збільшуватиметься. Стінки парових бульбашок, в середині яких тиск буде нижчий за атмосферний ( $P_{вс} < 0,1$  МПа), почнуть стрімко рухатися назустріч один одному. Чим більшим буде зовнішній тиск, тим більшим буде сила, яка діє на стінки, тим більшим буде їх прискорення. Незначна частина пари в об'ємі бульбашки буде завжди присутня. Кількість її мала, і тому більшу частину процесу лускання пара не здійснює суттєвого спротиву зближенню стінок бульбашки. І лише в кінці, коли об'єм бульбашки складає відсотки або долі відсотка від її максимального об'єму, їх тиск за величиною наближається до зовнішнього тиску на стінки бульбашки. Але оскільки стінки вже набрали швидкість та інерцію, тому зупинити їх неможливо. У результаті швидкісний напір стінок продовжує стискати бульбашку і вона лускає з виникненням потужних мікропотоків. В цей момент нагрівання рідини буде відбуватися за рахунок енергії, яка звільняється при гальмуванні струменя під час кавітаційних процесів, тобто за рахунок гідравлічного тертя.

Одночасно збільшення тиску призведе до зворотного процесу – конденсації пари. Температура в центрі бульбашки, яка луснула, в результаті стиснення буде значно перевищувати температуру робочої рідини.

Час існування парогазових каверн визначається швидкісним напором рідини на виході з кавітатора. При високій швидкості обертання потік рідини спочатку закручується, потім звужується. В процесі звуження потоку значно зростає колова складова швидкості, виникають відцентрові сили, які створюють у вихідному каналі



насадки тонку плівку кільцевої форми перерізу. Дана плівка, виходячи з комбінованого сопла, розпадається на дрібні краплини.

Таким чином, потік високов'язкої нафти, яка рухається з підпакерного простору в область пониженого тиску струминного насосу, потрапляє в зону дії кавітації, де завдяки виникненню високих знакозмінних тисків відбувається руйнування її механічної структури, що призводить до зниження в'язкості нафти. Це дає можливість збільшити швидкість відпомповування нафти у 2,3 рази і підвищити коефіцієнт продуктивності свердловини у 4 рази (згідно з розрахунками на основі даних акту про проведення приймальних промислових випробувань).

Друга частина робочої суміші спрямовується в сопло насоса, звідки витікаючи з великою швидкістю, утворює зону зниженого тиску, внаслідок чого робоча рідина і нафта із підпакерного простору потрапляє в камеру змішування дифузора насоса. Далі ця суміш по насосно-компресорним трубам піднімається на поверхню.

При дебіті свердловини, наприклад, 10 м<sup>3</sup>/добу за одну секунду струминним насосом буде всмоктуватися 115 грам нафти. Як видно з рис. 4 частота коливань на виході з гідродинамічного кавітатора становила 10-12 Гц. Таким чином, нафта об'ємом 115 мл буде піддаватися впливу кавітаційних коливань від 10 до 12 разів за одну секунду.

З метою визначення працездатності дослідного зразка комплексу обладнання для видобування високов'язких нафт на свердловині № 95 Бугруватівського родовища були проведені промислові приймальні випробування.

Для проведення приймальних випробувань дослідного зразка комплексу обладнання наказом ВАТ «Укрнафта» була призначена комісія.

Після проведення приймальних промислових випробувань комісією був складений акт і зроблені висновки і рекомендації:

1. Комплект обладнання для видобутку високов'язких нафт роботоздатний.
2. Рекомендується впровадити на нафтовидобувних підприємствах України, розробивши типову технологію видобування високов'язких нафт.

На основі акту про проведення промислових випробувань нами були розроблено стандарт підприємства СТП 320.00135390.01-98 «Технологія видобування високов'язких нафт за допомогою вставного струминного апарату з розділеними робочими потоками», який було затверджено і надано чинності першим заступником голови правління акціонерного товариства «Укрнафта», наказ № 35 від 01.03.1999 р. Стандарт підприємства введено в дію вперше.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій, на підставі результатів теоретичних, експериментальних досліджень і промислових випробувань, розв'язано актуальну задачу з вдосконалення технології видобування високов'язких нафт струминними насосами з використанням енергії пульсуючих потоків. Одержано наступні основні висновки.

1. Теоретичні дослідження руху закрученого струменю робочої рідини при умові існування прецесуючого вихрового ядра і оцінки його впливу на ефект кавітації дозволили отримати уточнену аналітичну залежність ступеня кручення потоку робочої рідини в кавітаторі від її

витрати, а також від частоти коливань вихрового ядра, які сприяють виникненню кавітаційно-пульсаційних коливань - основних чинників зниження в'язкості нафти.

2. Вперше встановлено залежність зміни показника політропи нафти від часу її обробки гідродинамічним кавітатором в межах температур від 16 °С до 34 °С, яка показала, що після 30 °С настає стабілізація цієї залежності. Це свідчить про те, що подальша обробка нафти призведе до зниження її в'язкості, але при значно менших темпах.

3. Вперше виявлено, що зниження в'язкості високов'язкої нафти відбувається з перших секунд внаслідок штучного створення кавітаційних явищ, які, генеруючи знакозмінні коливання тиску, руйнують механічну структуру високов'язкої нафти і призводять до збільшення швидкості її відпомповування із свердловин.

4. Розроблено удосконалену конструкцію гідродинамічного кавітатора, який вміщує у собі конусну вихрову камеру з тангенціальними вхідними каналами і з внутрішньою поверхнею вихрової камери, виконаною у вигляді гвинтової направляючої для більшого закручування потоку рідини. Конструкцію гідродинамічного кавітатора захищено патентом України № 36439 А.

5. Вперше в якості робочої рідини для струминного насоса запропоновано використовувати видобуту високов'язку нафту, яка попередньо обробляється за допомогою розробленого кавітаційного пристрою, який змонтований на прийнятній ємності, що дає можливість знизити в'язкість нафти перед подачею її у свердловину або перед транспортуванням її на збірний пункт.

6. Експериментально встановлено характер пульсацій потоку робочої рідини, який полягає у зменшенні величин тиску на виході з гідродинамічного кавітатора з амплітудою від 0,21 до 0,28 МПа і частотою від 10 до 12 Гц.

7. Вперше поєднано одночасну роботу струминного насоса і гідродинамічного кавітатора. Удосконалено технологію видобування високов'язких нафт за допомогою вставного струминного насоса з розділеними робочими потоками, в який для зниження в'язкості високов'язкої нафти вмонтовано гідродинамічний кавітатор, що сприяє збільшенню швидкості відпомповування нафти із свердловини у 2,3 рази.

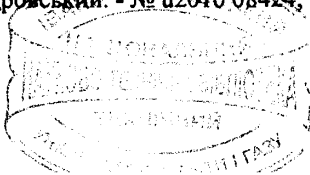
8. Розроблено і введено в дію стандарт підприємства СТП 320.00135390.016-98 «Технологія видобування високов'язких нафт за допомогою вставного струминного апарату з розділеними робочими потоками». Стандарт введено в дію вперше.

Спосіб роботи насосно-ежекторної свердловинної струминної установки з гідродинамічним кавітатором для видобування високов'язких нафт захищений патентом України № 57331.

Результати наукових досліджень використовуються у навчальному процесі кафедрою морських нафтогазових технологій ІФНТУНГ при вивченні дисципліни «Основи інтенсифікації припливу вуглеводнів».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шандровський Т.Р. До проблеми створення насосів для підймання із свердловин високов'язкихнафт / Т.Р. Шандровський, Я.Я. Якимечко // Нафтова і газова промисловість. - 1999. - № 2. - С. 41-44.
2. Якимечко Я.Я. Концепції видобування високов'язких вуглеводнів / Я.Я. Якимечко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – Вип. 36. - Т. 3. – 1999. – С. 200 – 206.
3. Яремійчук Р.С. Руйнування гірських порід при кавітаційному бурінні свердловин / Р.С. Яремійчук, Я.М. Фем'як, Я.Я. Якимечко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – Вип. 36. - Т. 2. – 2000. – С. 33 – 37.
4. Фем'як Я.М. Підвищення ефективності руйнування гірських порід / Я.М. Фем'як, Р.С. Яремійчук, Я.Я. Якимечко // Нафтова і газова промисловість. – 2001. - №2. – С. 16 – 17.
5. Якимечко Я.Я. Інтенсифікація видобування важких нафт зниженням їх в'язкості за допомогою гідродинамічного кавітатора / Я.Я. Якимечко, Р.С. Яремійчук, Т.Р. Шандровський, О.Ю. Витязь, Я.М. Фем'як // Нафтова і газова промисловість. - 2005. - № 6. – С. 24-26.
6. Якимечко Я.Я. Стендові випробування гідродинамічного пристрою-пульсатора та його вплив на параметри товарної нафти / Я.Я. Якимечко // Нафтова і газова промисловість. – 2009. - № 5-6. – С. 29 – 30.
7. Яремійчук Р.С. Руйнування гірських порід при кавітаційному бурінні свердловин / Р.С. Яремійчук, Я.М. Фем'як, Я.Я. Якимечко // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ “Секція ГНПФ та ФНГП”. – Івано-Франківськ. – 1999. – С. 111–112.
8. Якимечко Я.Я. Деякі концепції видобування високов'язких вуглеводнів / Я.Я. Якимечко // Нафта і газ України-2000: матеріали 6-ої міжнар. наук.-практ. конф., 31 жовтня-3 листопада 2000 р. – Івано-Франківськ, 2000. – Т.2. - С. 212-213.
9. Якимечко Я.Я. ІФНТУНГ – Нафтогазова енергетика – 2011 / Я.Я. Якимечко, Я.М. Фем'як, С.О. Овецький та інш. // Вплив пульсацій тиску, створених гідродинамічним кавітатором, на параметри нафти: Міжнар. наук.-техн. конф., Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011 р. : тези допов. і повідомл. – Івано-Франківськ, 2011. – С. 48.
10. Патент 36439А Україна, МКП В06В1/20. Гідродинамічний кавітатор / Р.С. Яремійчук, Т.Р. Шандровський, Я.Я. Якимечко; заявники і патентовласники: Р.С. Яремійчук, Т.Р. Шандровський, Я.Я. Якимечко. - № 99126895; заявл. 17.12.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3.
11. Патент 57331 Україна, МПК F04F 5/00 E21В 37/00. Спосіб роботи насосно-ежекторної свердловинної струминної установки з гідродинамічним пульсатором для видобування високов'язких нафт / Р.С. Яремійчук, Я.Я. Якимечко, Т.Р. Шандровський; заявники і патентовласники Р.С. Яремійчук, Я.Я. Якимечко, Т.Р. Шандровський. - № u2010 08424; заявл. 05.07.2010; опубл. 25.02.2011. Бюл. № 4.



## АНОТАЦІЯ

**Якимечко Я. Я.** Удосконалення технології видобування високов'язких нафт струминними насосами з використанням енергії пульсуючих потоків. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.06. – Розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2012 р.

Дисертація присвячена проблемі удосконалення технології видобування високов'язких нафт струминними насосами з розділеними робочими потоками з використанням енергії пульсуючих потоків із свердловин глибиною до 2000 м.

В дисертації проведено теоретичні дослідження пульсаційно-хвильових явищ, зокрема кавітації, яку штучно створюють в потоці робочої рідини при проходженні нею через гідродинамічний кавітатор.

Експериментально визначено характер пульсацій потоку робочої рідини, який полягає у зменшенні величин тиску на виході з вихрової камери з амплітудою від 0,21 до 0,28 МПа і частотою від 10 до 12 Гц. Встановлено, що виникнення кавітації на виході з гідродинамічного кавітатора спричиняє руйнування просторової структури високов'язкої нафти, розривання її полімолекулярних ланцюгів і призводить до зниження її в'язкості.

Результати проведених лабораторних і стендових досліджень та промислових випробувань використані при розробці стандарту підприємства ВАТ «Укрнафта» СТП 320.00135390.016-98 «Технологія видобування високов'язких нафт за допомогою вставного струминного апарату з розділеними робочими потоками». Стандарт введено в дію вперше.

Ключові слова: видобування високов'язкої нафти, струминний насос, кавітаційно-пульсаційні коливання, руйнування механічної структури високов'язкої нафти, зниження в'язкості нафти, збільшення дебіту.

## АННОТАЦИЯ

**Якимечко Я. Я.** Усовершенствование технологии добычи высоковязких нефтей струйными насосами с использованием энергии пульсирующих потоков. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.06 – разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2012 г.

Диссертация посвящена проблеме совершенствования технологии добычи высоковязких нефтей струйными насосами с разделенными рабочими потоками с использованием энергии пульсирующих потоков из скважин глубиной до 2000 м.

В диссертации приведены теоретические исследования импульсно-волновых явлений, в частности кавитации, которая искусственно создается в потоке рабочей жидкости при прохождении через гидродинамический кавитатор.

Экспериментально определено характер пульсаций потока рабочей жидкости, который заключается в уменьшении величины давления на выходе из вихревой камеры с амплитудой от 0,21 до 0,28 МПа и частотой от 10 до 12 Гц.

Установлено, что создание искусственной кавитации на выходе из гидродинамического кавитатора приводит к возникновению знакопеременных давлений, благодаря которым разрушается механическая структура высоковязкой нефти, что способствует снижению вязкости высоковязкой нефти. Во время стендовых экспериментальных исследований наиболее интенсивное снижение кинематической вязкости в 4 раза (с  $28,946 \cdot 10^{-6}$  до  $6,95 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с) наблюдалось на протяжении первых 120-200 секунд обработки нефти гидродинамическим кавитатором, что соответствует интервалу времени, за которое прокачивается весь объем нефти через устройство. В последующем вязкость уменьшается уже не так интенсивно, но стабильно.

Необходимо отметить, что во время прокачивания нефти на протяжении 10 минут без установления в штотк опытной установки гидродинамического кавитатора температура нефти снизилась на 2 °С, а кинематическая вязкость и статическое напряжение сдвига (СНС 1/10 мин.) увеличились и соответственно составляли  $\nu = 28,946 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с и СНС – 2,5/3,5 дПа (при исходных параметрах нефти: температура – 14°С; плотность  $\rho = 849$  кг/м<sup>3</sup>; кинематическая вязкость  $\nu = 18,52 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, СНС – 2,0/2,5 дПа).

При дебите скважины, например, 10 м<sup>3</sup>/сут за одну секунду струйным насосом будет всасываться 115 мл нефти. Частота колебаний на выходе из гидродинамического кавитатора составляла 10-12 Гц. Таким образом, нефть объемом 115 мл будет поддаваться воздействию квантиционных колебаний от 10 до 12 раз за одну секунду.

С целью определения работоспособности опытного образца комплекта оборудования для добычи высоковязких нефтей на скважине № 95 Бугруватовского месторождения были проведены промышленные приемные испытания.

После проведения промышленных испытаний комиссией был составлен акт и сделаны выводы и рекомендации:

1. Комплект оборудования для добычи высоковязких нефтей работоспособен.

2. Рекомендуется внедрить на нефтедобывающих предприятиях Украины, разработав типичную технологию добычи высоковязких нефтей.

Результаты проведенных лабораторных и стендовых исследований, а также промышленных испытаний использованы при разработке стандарта предприятия ОАО «Укрнефть» СТП 320.00135390.016-98 «Технология добычи высоковязких нефтей с помощью вставного струйного аппарата с разделенными рабочими потоками». Стандарт введен впервые.

Ключевые слова: добыча высоковязкой нефти, струйный насос, кавитационно-импульсные колебания, кавитация, разрушение механической структуры высоковязких нефтей, снижение вязкости, повышение дебита.

## ABSTRACT

**Yakymchko Y. Y. Improvement of the Technology of production of high-viscosity oils with the help of jet pumps using energy of fluctuating flows. — Manuscript.**

A thesis for the scholarly degree of the Candidate of Technical Sciences in speciality 05.15.06 – Development of oil and gas fields. – Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk, 2012.

The thesis deals with the improvement of technology of production of high-viscosity oils with the help of split flow jet pumps using energy of fluctuating flows from the up to 2000 m deep oil wells. The thesis carries out theoretical investigation of pulse-wave phenomena, particularly of cavitation, which is artificially created in the stream of operating fluid during its passage through the hydrodynamical pulsator (cavitator). The hydrodynamic analysis of the process of cavitation in the swirling flow was held, which has indicated that one part of kinetic energy that is supplied to the jet device is used for the work of the pump and for the overcoming of friction, and another one – for the incrementation of internal heat of oil.

The nature of operating fluid flow fluctuation is determined. It lies in the reduction of pulse chamber outlet pressure with the amplitude of 0,21 to 0,28 MPa and the frequency of 10 to 12 Hz. It is determined that the beginning of cavitation at the outlet of the cavitator causes heating of oil and reduction of its viscosity.

The results of the laboratory research and bench test, as well as industrial test were used during the preparation of the standard of the OJSC “Ukrnafta” (Company Specification 320.00135390.016-98 “Technology of Production of High-Viscosity Oils with the Help of Insert Split Flow Jet Device”). The standard is implemented for the first time.

**Keywords:** production of high-viscosity oil, jet pump, pulse-wave fluctuation, cavitation, reduction of viscosity, capacity.