



добычи нефти [Текст] / А.Ф. Кичигин, Д.А. Егер. – К.: Техніка, 2002. – 184 с.

4. Интенсификация припливу углеводнів у свердловину [Текст] / Ю.Д. Качмар, В.М. Світлицький, Б.Б. Синюк, Р.С. Яремійчук. – Львів: Центр Європи, 2005. – 414 с.

*Abstract: Low permeability of the collector due formation damage by small particles or reducing the productivity of the well are well-known phenomena, so the goal of this work is learning the using of impulse-wave methods due action on the near wellbore zone, as one of the methods of rejuvenation initial permeability. This technology allows to increase the productivity of production wells by using of impulse-wave action on the layer, it is one of perspective methods to the present time.*

*Keywords: productivity, well, influence, impulse-wave action.*

*References:*

1. Nagorny V.P. (2013). Tekhnolohiyi intensyfikatsiyi vydobutku vuhlevodniv [Technologies of the intensification of hydrocarbon's production] in NAN Ukrayiny, Instytut heofizyky im. S.I. Subbotina [National Academy of Sciences of Ukraine, SI. Subbotin's Institute of Geophysics], p. 268.

2. Boyko V.S. (2011). Tekhnolohiya vydobuvannya nafty [Technology of oil's extraction] in Ivano-Frankivs'k: Nova Zorya [Ivano-Frankivsk: Nova Zorya], p. 509.

3. Kichigin A.F. (2002). Kanonycheskye ansambly v protsesakh yntensyfykatsyy dobychy nefty [Canonical ensembles in the process of intensification of oil production], p. 184.

4. Yu.D. Kachmar, V.M. Svitlitskyi, B. B. Sinyuk, R.S. Yaremychuk. (2005). Intensyfikatsiya pryplyvu vuhlevodniv u sverdlovynu [Intensification of the flow of hydrocarbons in the well] in Tsentr Yevropy [ The center of Europe], p. 414.

Науковий керівник: доцент Гутак О. І.

Стаття відправлена: 7.11.2017р

© Слабий О.Р.

ЦИТ: ua317-068 DOI: 10.21893/2415-7538.2017-07-1-068

УДК 622.245.52

## ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ, СТВОРЮВАНОВОГО ГІДРОДИНАМІЧНИМ ПУЛЬСАТОРОМ, НА РЕОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ВИСОКОВ'ЯЗКОЇ НАФТИ

### THE INFLUENCE OF THE ULTRASONIC FIELD CREATED BY HYDRODINAMIC PULSATOR ON THE HIGH-OIL RECOLOGICAL PARAMETERS

к.т.н., доц. Якимечко Я. Я. / c.t.s., as.prof. Yakymechko Y.Y.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, 76019

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Ivano-Frankivsk, street. Carpathian, 15, 76019

*Анотація. Представлено експериментальні дослідження роботи гідродинамічного пульсатора та визначення інтенсивності ультразвукового поля, яке створюється цим пристроєм, та його вплив на параметри високов'язкої нафти Коханівського родовища. Розроблена вдосконалена конструкція гідродинамічного пульсатора, який застосовується в технологічній схемі при підніманні високов'язких нафт з свердловин на денну поверхню.*



*Ключові слова:* конструкція, стенд, пульсація, нафта, в'язкість, температура, видобуток.

**Вступ.** Геологічні ресурси високов'язких нафт і природних бітумів перевищують ресурси звичайної нафти. 75 % високов'язких нафт знаходяться на глибинах до 2000 м. 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.

**1. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Враховуючи результати проведених стендових випробувань [1], було зроблено висновок про те, що в якості генератора пульсаційних коливань краще використовувати гідродинамічний пульсатор. Такі пристрої мають мінімальні габарити і масу, просту конструкцію, що не містить жодної рухомої деталі, його проточна частина не піддається кавітаційному руйнуванню, легко монтується у струминний апарат.

Були розглянуті гідроакустичні генератори [2], принцип дії яких ґрунтується на зміні напрямку потоку або на взаємодії двох і більше закручених струменів між собою. Генерація коливань визначається нестійкістю обертового струменя, деформацією периферійного потоку з періодичною пульсацією, а також при зриванні обертового потоку із зрізу вихідного конусу. Струмін рідини подається через тангенціально розташований отвір (або декілька отворів) і приходить в обертовий рух у камері завихрення, виходячи з неї через звужений вихідний отвір, збільшує обертовий рух і зривається з гострої кромки вихідного отвору. При цьому виникають пульсації вихідного потоку. Для їх підсилення через центральний отвір подається струмінь, величину якого можна регулювати. Якщо центральний струмінь змістити з ексцентриситетом 0,5-1,5 мм, то інтенсифікується розвиток автоколивального процесу, збільшується амплітуда прецесії приосьового потоку, підвищується рівень пульсації тиску і швидкості в периферійному вихорі і відповідно росте потужність випромінюваного поля і к.к.д. генератора.

Виникнення хімічних реакцій у полі ультразвукових хвиль тісно пов'язане з явищем кавітації, яка сприяє утворенню порожнин в рідині з наступним їх лусканням і супроводжується інтенсивними гідравлічними ударами. Кавітаційна порожнина утворюється всередині рідини при умові, що тиск знижується до величини, яка є меншою за межу міцності цієї рідини [3–6].

**2. Виділення невирішених частин загальної проблеми.** В Україні видобування високов'язкої нафти здійснюється свердловинним методом. В роботах вчених І. М. Міщенко і О. Ф. Миронова [7] відмічається, що одними з



найбільш придатними для видобування ВВН є струминні насоси. В цих насосах відсутні рухомі деталі, у вставному варіанті вони можуть бути замінені без підйому на поверхню насосно-компресорних труб. Єдиною проблемою для струминних насосів є всмоктування ВВН.

Одним із шляхів зменшення негативного впливу високої в'язкості нафти на всмоктування її до вхідної лінії насосу, поєднавши роботу струминного насоса із пульсаційною дією на високов'язку нафту. Це позитивно вплине на роботу насосу при експлуатації пластів з ВВН, які знаходяться на глибинах до 2000 м.

**3. Формулювання цілей дослідження.** Ціллю дослідження є визначення інтенсивності генеруючого поля, яке створюється гідродинамічним пульсатором та його вплив на зниження в'язкості та збільшення температури високов'язких нафт.

Задачами, що вирішувались для досягнення цієї цілі, були:

- проаналізувавши позитивні та негативні сторони існуючих генераторів, створити удосконалену конструкції гідродинамічного пульсатора, який би створював інтенсивність поля великого значення;
- розробити схему і виготовити стенд для проведення експериментальних досліджень удосконаленої конструкції гідродинамічного пульсатора.

**4. Експериментальні дослідження роботи гідродинамічного пульсатора та визначення інтенсивності ультразвукового поля.** Для удосконалення конструкції гідродинамічного пульсатора використовуємо конусоподібну вихрову камеру з тангенціальними каналами і з внутрішньою поверхнею корпусу, виконаною у вигляді гвинтової поверхні для більшого завихрення потоку рідини. Щоб збільшити інтенсивність генеруючого поля та утворення періодично зривної кавітації з швидким лусканням кавітаційних каверн, було запропоновано дифузор із ступінчатими гострими кромками і кутом розкриття більше  $30^{\circ}$  (рис. 1).

Робоча рідина через патрубок 1 потрапляє у вхідні тангенціальні отвори 5 в кільцеву конусоподібну камеру завихрення 3, де потік рідини під дією центробіжної 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 неминує 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, почнеться холодне адіабатне кипіння рідини. Цей процес буде супроводжуватися утворенням бульбашок, в середині яких будуть знаходитися пари рідини. Нижній кінець центрального пружинного стержня 2, перебуваючи під одночасною дією перепадів швидкості закрученого струменя і прецесуючого вихрового ядра, буде здійснювати



поперечні коливальні рухи, створюючи ще більше завихрення та інтенсифікуючи утворення парогазових бульбашок або каверн. На виході з камери завихрення при проходженні рідини через ступінчатий дифузор 4, 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, 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, які подібні до кумулятивних струменів. В цей момент нагрівання рідини буде відбуватися за рахунок енергії, яка звільняється при гальмуванні струменя під час кавітаційних процесів, тобто за рахунок гідравлічного тертя.

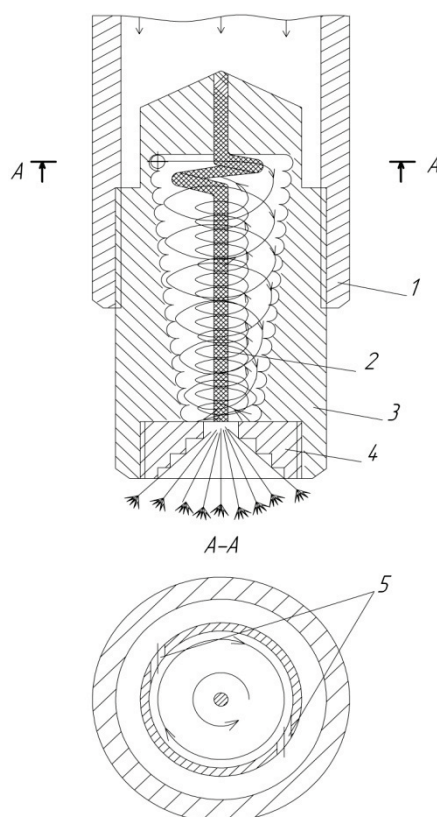
Одночасно збільшення тиску призведе до зворотного процесу – конденсації пари. Температура в центрі бульбашки, що луснула, в результаті стиснення буде значно перевищувати температуру робочої рідини. Це перевищення, на думку деяких дослідників, може досягати десятків і навіть сотень градусів. Для проведення досліджень було спроектовано стенд, який складається з таких основних частин: силового модуля, гідродинамічного пульсатора, камери, де б досліджувалися фізичні поля, первинних датчиків і вторинної вимірювальної апаратури, необхідної для визначення параметрів фізичних полів.

Схема лабораторного стенду зображена на рис. 2, 3.

Гідравлічну частину стенду зроблено з замкнутим циклом, наприклад: робоча рідина з технічної ємності через всмоктувальну лінію потрапляє в насос, звідти в нагнітальну лінію і через витратомір і фільтр подається в гідродинамічний пульсатор, який розташований в камері досліджень, заповненій рідиною, звідки через вихідну лінію відпрацьована рідина повертається в технічну ємність.

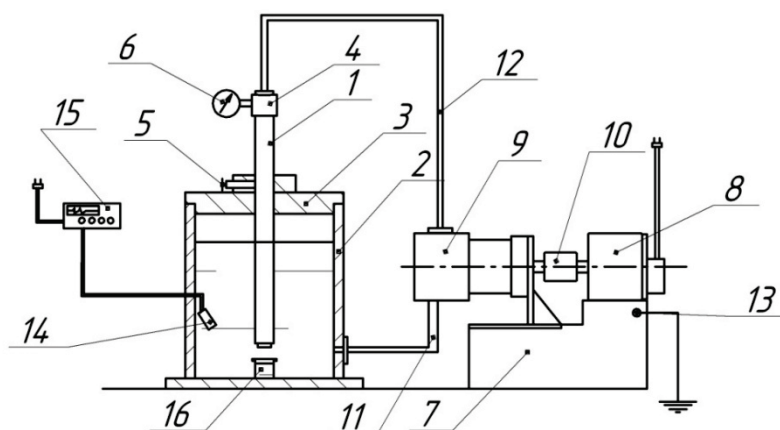
Дослідження на лабораторному стенді проводиться в два етапи. Перший – це визначення параметрів енергетичного поля, створюваного гідродинамічним пульсатором при різних початкових умовах, тобто при заданих тиску і витраті на вході в гідродинамічний пульсатор та вибір оптимальних режимів роботи пульсатора.

Другий етап – це вивчення впливу енергетичних полів, створюваних гідродинамічним пульсатором, на зниження в'язкості та збільшення температури асфальтеносмолопарафінової нафти при роботі пульсатора на оптимальних режимах.



1 – патрубок; 2 – пружинний стержень; 3 – конусоподібна камера завихрення; 4 – ступінчатий дифузор; 5 – тангенціальні входні канали; I, II – січення сопла

**Рис. 1** Схема гідродинамічного пульсатора



1 – гідродинамічний пульсатор; 2 – металева камера; 3 – кришка камери;  
4 – перехідник; 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

**Рис. 2** Схема лабораторного стенду для визначення інтенсивності енергетичного поля, створюваного гідродинамічним пульсатором

Під час кавітації в рідині виникають і ростуть парогазові бульбашки, які нелінійно пульсують і лускаються з утворенням ударних хвиль і кумулятивних струменів. Поширення потужного ультразвуку кінцевої амплітуди в рідині з



розвитком кавітаційних явищ супроводжується перебігом ряду фізико-хімічних процесів, які мають велике практичне значення – дегазації, емульгування, коагуляції, диспергування та ін.



**Рис. 3 Фотографія лабораторного стану для дослідження роботи гідродинамічного пульсатора**

На лабораторному стенді було проведено низку дослідів для визначення інтенсивності ультразвукового поля (рис. 2). Результати випробувань зведено в табл. 1.

**Таблиця 1**

**Результати лабораторних досліджень інтенсивності ультразвукового поля, створюваного гідродинамічним пульсатором**

Площа поперечного перерізу сопла, $\text{м}^2 \cdot 10^{-6}$	Тиск в нагнітальній лінії, $\text{Па} \cdot 10^6$	Об'єм рідини з сопла пульсатора, $\text{м}^3 \cdot 10^{-3}$	Час, за який витікає даний об'єм рідини, с	Інтенсивність ультразвукового поля, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot 10^3$
7,06	0,118	0,62	9	1,153
		0,67	10	1,120
		0,74	11	1,121
		0,69	10	1,153
		0,68	10	1,136
7,06	2,06	1,3	7	54,18
		1,6	9	51,64
		1,28	6	62,45
		1,38	7	57,49
4,15	6,81	0,86	6	234,26
		0,99	6	270,36
		0,96	6	262,87
		0,98	6	266,95



Високов'язка нафта Коханівського родовища поміщалася в контейнер і після цього піддавалася обробці гідроакустичним полем, створеним пульсатором. Внаслідок чого в'язкість нафти з 147 мПа·с знизилась до 18 мПа·с. В той самий час температура обробленої нафти підвищилась з 15 °С до 58 °С за півгодини.

**Висновки.** Лабораторними дослідженнями гідродинамічного пульсатора було встановлено характер витікання робочої рідини з пристрою. Потік, потрапляючи через тангенціальні отвори в камеру закручування, набуває відцентрового прискорення і, витікаючи з великою швидкістю через сопло пульсатора, створює гідроакустичне поле [9].

Оптимальний режим роботи гідродинамічного пульсатора (табл. 1) виникає при площі поперечного перерізу сопла  $4,15 \text{ м}^2 \cdot 10^{-6}$ , тиску в нагнітальній лінії 6,81 МПа та інтенсивності ультразвукового поля  $234,26\text{-}266,95 \text{ Вт/м}^2 \cdot 10^3$ . Тобто при меншому діаметрі сопла створюється більше значення інтенсивності поля.

В'язкість Коханівської нафти після оброблення гідроакустичним полем у порівнянні з початковим значенням з 147 мПа·с по завершенні досліджень знизилась до 18 мПа·с.

В той же час температура нафти за час проведення досліду збільшилась: початкове значення було 15 °С, а по завершенні досліджень воно становило 58 °С. Це свідчить про те, що частина енергії гідроакустичного поля трансформується у тепло. Під час роботи гідродинамічного пульсатора виникають швидкоплинні градієнти тиску і проходить руйнування механічної структури високов'язкої і відбувається перехід неньютонівської рідини в ньютонівську, що підтверджується результатами експериментів, які наведені у роботах [10,11].

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено можливість виникнення пульсацій і коливань тиску у потоці робочої рідини при її проходженні через гідродинамічний пульсатор.

За допомогою спроектованого і виготовленого стенду вдалося визначити інтенсивність гідроакустичного поля, величина якого є достатньою для зниження в'язкості високов'язкої нафти (з 147 мПа·с до 18 мПа·с), що дозволяє без проблем всмоктувати нафту у забірну лінію струминних насосів.

Найбільш значущим ефектом від роботи гідродинамічного пульсатора є перехід неньютонівської нафти в ньютонівську за рахунок руйнування механічної структури нафти, що призводить до збільшення температури нафти.

Сукупність цих факторів робить можливим застосування гідродинамічного пульсатора в технологічній схемі для піднімання високов'язких нафт із свердловин на денну поверхню шляхом зростання швидкості відкачування високов'язкої нафти на денну поверхню.

### Література

1. Якимечко Я. Я. Генератори коливань тиску та механізми виникнення імпульсно-хвильових процесів у свердловинних умовах і можливість їх практичного використання [Текст] / Я. Я. Якимечко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2014. - № 4(53). - С. 52-64.



2. Якимечко Я. Я. Стендові випробування гідродинамічного пристрою-пульсатора та його вплив на параметри товарної нафти [Текст] / Я. Я. Якимечко // Нафтова і газова промисловість. – 2009. – № 5-6. – С. 29–30.

3. Сургучов М. Л. Гидродинамическое, акустическое, тепловое циклические воздействия на нефтяные пласты [Текст] / М. Л. Сургучов, О. Л. Кузнецов, Э. М. Симкин. – М: Недра, 1975. – 185 с.

4. Якимечко Я. Я. Изменение параметров высоковязкой нефти под действием кавитации [Текст] / Я. Я. Якимечко // Oil&Gas Journal Russia. – 2014. - №3 (80). – С. 32-35.

5. Якимечко Я. Я. Дослідження пульсаційно-кавітаційних процесів, що виникають під час роботи гідродинамічного кавітатора [Текст] / Я. Я. Якимечко // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2014. - № 2(37). - С. 161-169.

6. Якимечко Я. Я. Експериментальні дослідження роботи гідродинамічного пульсатора та його вплив на параметри нафти [Текст] / Я. Я. Якимечко // Східно-Європейський журнал передових технологій. - 2014. - Т. 5, № 7(71). - С. 46-51. DOI :10.15587/1729-4061.2014.28002.

*Abstract. Experimental studies of hydrodynamic pulsator operation and determination of the intensity of ultrasound field created by this device and its influence on high-viscosity oil parameters of Kokhaniv deposit are presented. The advanced construction of hydrodynamic pulsator is developed, it is used in the technological scheme while raising high-viscosity oil from the wells to the ground surface.*

*Key words: construction, stand, pulsation, oil, viscosity, temperature, mining.*

1. Iakymechko I.I. (2014). Generatory kolyvan tysku ta mekhanizmy vynyknennya impulsno-khvylovykh protsesiv u sverdlovyynykh umovakh i mozhlyvist ikh praktychnoho vykorystannya [Oscillation pressure generators and the mechanisms of pulse wave processes occurrences in well conditions and the possibility of their practical use] in *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovysh* [Exploration and development of oil and gas deposits], No. 4(53), pp. 52-64.

2. Iakymechko I. I. (2009). Stendovi vyprobuvannya hidrodynamichnoho prystroyu-pulsatora ta yoho vplyv na parametry tovarnoi nafty [Instrument tray testing of a hydrodynamic pulsating device and its influence on stock-tank oil parameters] in *Naftova i hazova promyslovist* [Oil and gas industry], No. 5-6, pp. 29-30.

3. Surhuchov M.L. (1975). Gidrodinamicheskoe, akusticheskoe, teplovoe tsyklicheskiye vozdeystviya na neftyanye plasty [Hydrodynamic, acoustic, thermal and cyclic effects on oil reservoirs] in *M: Nedra*, p. 185

4. Iakymechko I. I. (2014). Izmenenie parametrov vysokovязkoy nefti pod deystviem kavitatsii [Parameters change of high-viscosity oil under cavitation] in *Oil&Gas Journal Russia*. No.3 (80), pp. 32-35.

5. Iakymechko I. I (2014). Doslidzhennya pulsatsiyno-kavitatsiynykh protsesiv, sho vynykayut pid chas roboty hidrodynamichnoho kavitatora [Analysis of pulsation and cavitation processes that arise during hydrodynamic cavitator operation] in *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu. [Scientific reporter of Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas]*No. 2(37), pp. 161-169.

6. Iakymechko I. I. (2014). Eksperymentalni doslidzhennya roboty hidrodynamichnoho pulsatora ta yoho vplyv na parametry nafty [Experimental researches of hydrodynamic pulsator operation and its influence on oil parameters] in *Shhidno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. [Eastern - European Journal of advanced technologies]. vol.5, No.7(71) pp. 46-51.

DOI :10.15587/1729-4061.2014.28002.

Стаття відправлена: 10.11.2017 г. © Якимечко Я.Я.