УДК 622.276.6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВОЇ ДІЇ НА НАФТОНОСНИЙ ПЛАСТ

М.В. Худін, О.М. Карпаш, С.П. Ващишак, О.І. Гутак

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42430,
e-mail: kh.red@mail.ru, karpash@nung.edu.ua

Технологія впливу на продуктивний пласт імпульсами тиску й надалі залишається однією з перспективних. Розроблення нових пристроїв для збільшення видобування нафти та дослідження їхньої роботи є надзвичайно актуальним питанням в наш час. В даній статті обґрунтовано необхідність створення та розроблено дослідну установку для визначення параметрів роботи удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії. Проведено моделювання процесу роботи гідравлічного генератора як джерела акустичних коливань, температурного поля та гідродинамічних пульсацій. Розроблено методику проведення досліджень удосконаленого гідравлічного генератора на дослідній установці. Спектральні складові акустичних сигналів від гідравлічного генератора мають частоти від 25 Гц до 8 кГц. При цьому їхня амплітуда залежить від наявності резонансу в конструкції. Наводяться результати дослідження ефективності впливу удосконаленого генератора на процеси фільтрації рідини на насипній моделі пласта.

Ключові слова: пружні коливання, ефективність роботи, амплітуда коливань, температура.

Технология воздействия на продуктивный пласт импульсами давления по прежнему остается одной из самых перспективных. Разработка новых устройств для увеличения добычи нефти и исследование их работы является чрезвычайно актуальным вопросом в наше время. В данной статье обоснована необходимость создания и разработана опытная установка для определения параметров работы усовершенствованного гидравлического генератора импульсно-волнового воздействия. Проведено моделирование процесса работы гидравлического генератора как источника акустических колебаний, температурного поля и гидродинамических пульсаций. Разработана методика проведения исследований усовершенствованного гидравлического генератора на опытной установке. Спектральные составляющие акустических сигналов от гидравлического генератора имеют частоты от 25 Гц до 8 кГц. При этом их амплитуда зависит от наличия резонанса в конструкции. Приводятся результаты исследования эффективности воздействия усовершенствованного генератора на процессы фильтрации жидкости на насыпной модели пласта.

Ключевые слова: упругие колебания, эффективность работы, амплитуда колебаний, температура.

The technology of reservoir stimulation pulse pressure remains one of the most perspective. The development of new devices to increase oil production and study of their work is an extremely important issue of our time. In this article the need to build and pilot plant designed to determine the parameters of the improved hydraulic generator pulse-wave action. The simulation of the process of the hydraulic generator as a source of acoustic waves, temperature field and hydrodynamic fluctuations. The technique of research improved hydraulic generator in the pilot plant. The spectral components of the acoustic signals from the hydraulic generator have frequencies from 25 Hz to 8 kHz. Thus their amplitude depends on the presence in the resonance structure. The results of the study the impact of the improved efficiency of the generator on the filtration process in the bulk liquid reservoir model.

Key words: elastic vibrations, performance, the amplitude of oscillation, temperature.

Методи імпульсно-хвильового впливу на пласти з допомогою глибинних генераторів різної конструкції, які встановлюються у свердловинному середовищі в зоні продуктивного пласта, є суттєво ефективнішими для підвищення нафтовилучення у зв'язку із можливістю створення більшої інтенсивності пружних коливань на вході у пласт без спотворення форми коливань під час проходження їх у трубних колонах [1-3].

Аналіз сучасного стану методів і засобів імпульсно-хвильових дій на пластове середовище свідчить про їх велику різноманітність із застосуванням різних способів збудження пружних хвиль у пласті з великим діапазоном частот (0,25…10^6 Гц) та інтенсивностей (0,1 Вт/см²…125 кВт/см²), значною кількістю конструктивних рішень глибинного, гирлового та наземного обладнання [4]. Вказане свідчить про інтенсивний розвиток даного науково-технічного напрямку і його перспективність, у першу чергу, для підвищення нафтогазовилучення із пластів без застосування хімічних реагентів і нагрівачів, зважаючи на зменшення видобувних запасів вуглеводнів у світі. Перевагою вказаних методів і засобів є їх екологічна чистота, ефективність, відносно низька вартість, низька енергомісткість.

Незважаючи на позитивні результати [1-6], під час використання існуючих методів та обладнання для інтенсифікації нафтовидобутку, проведений аналіз дає можливість виявити багато невирішених задач:

1) невелика потужність і довговічність роботи генераторів;

2) низький коефіцієнт корисної дії генераторів;

3) відсутність генераторів з необхідними частотними характеристиками для різночастот-

ного впливу на привибійну і міжсвердловинну зони пласта;

4) складність виготовлення генераторів та незручність в користуванні ними;

5) недовговічність генераторів при роботі з рідинами, які містять абразивні забруднювачі;

6) неможливість роботи одного генератора як в рідинному, так і в газовому середовищах.

В напрямку імпульсно-хвильового впливу на пласти невирішеними залишаються наступні науково-технічні проблеми:

- теоретичне та експериментальне обґрунтування фізико-хімічних процесів у поровому середовищі нафтогазонасиченого пласта під впливом імпульсно-хвильових дій;

- визначення впливу пружних коливань різних частот та інтенсивностей на зміну швидкості і напрямку фільтраційних потоків у поровому середовищі міжсвердловинної зони пласта для різних режимів розробки нафтових і газових родовищ;

- розроблення ефективних свердловинних генераторів пружних коливань для одночасного різночастотного впливу на привибійну та міжсвердловинну зони пласта;

- створення генераторів для роботи з використанням як рідкого, так і газового носія енергії.

Враховуючи наведене вище, метою роботи є дослідження удосконаленого генератора імпульсно-хвильової дії на пласт, який має підвищені потужність і коефіцієнт корисної дії, можливість працювати в широкому діапазоні частот та інтенсивностей акустичних і гідравлічних коливань та може використовуватись для роботи як в рідкому, так і в газоподібному середовищі.

Удосконалення генератора полягає в зміні конструкції генератора, яка дала змогу максимально використати енергію потоку робочого середовища для створення акустичних та гідравлічних коливань в зоні продуктивного пласта.

Найпростішим способом переходу енергії потоку в енергію коливань є закриття та відкриття клапану на вибої під час прокачування через нього робочої рідини або газу. Для розширення спектру коливань створено механізм, що дає змогу відкривати і закривати клапан при більшому перепаді тиску, завдяки чому збільшилась енергія гармонік високочастотних складових спектру коливань. Саме конструкція перекидного клапану може бути приведена в дію як потоком рідини, так і потоком газу.

Нами розроблено удосконалену конструкцію гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії клапанного типу [7], яку зображено на рис. 1. Гідравлічний генератор імпульсно-хвильової дії складається з клапанної коробки 1, яка виконана у вигляді циліндричної втулки з каналом 2 прямокутного перерізу. Всередині каналу 2 на вісі 3 встановлений шатун 4 з перекидним клапаном 5. Вісь 3 закріплена на двох протилежних стінках клапанної коробки 1. Шатун 4 та перекидний клапан 5 з'єднані між собою за допомогою рухомої вісі 6. Загострена частина перекидного клапану 5 направлена проти потоку рідини (газу), а загострена частина шатуна 4 – вздовж. Шатун 4 має можливість коливатися на вісі 3 в обидва боки. Завдяки каналу 2 прямокутного перерізу спрощується конструкція генератора та зменшуються витрати рідини, коли перекидний клапан 5 повністю перекриває канал 2. На двох стінках клапанної коробки 1, перпендикулярних до напряму коливного руху шатуна 4 з перекидним клапаном 5, встановлено три пари магнітів 7, 8, 9. Можливий варіант, коли клапанна коробка 1 виконана видовженою, заглушеною вкінці і має бокові щілини для виходу за її межі потоків рідини (газу). Перекидний клапан 5 з шатуном 4 розділяють канал 2 на три ізольовані одна від одної порожнини 10, 11, 12 змінного поперечного перерізу, розташовані по різні боки від шатуна 4 та перекидного клапану 5. В положенні шатуна 4 та перекидного клапану 5, коли їхні центральні осі співпадають з віссю основного каналу 2, всі три порожнини 10, 11, 12, утворені стінками клапанної коробки 1 і шатуном 4 з перекидним клапаном 5, з'єднуються в єдиний канал 2. Напрям руху потоку рідини (газу) через пристрій показано стрілками.

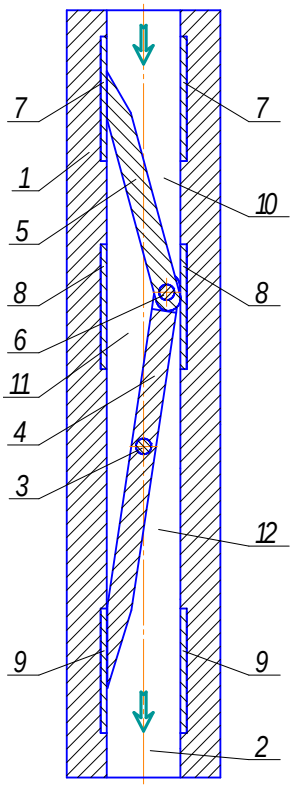
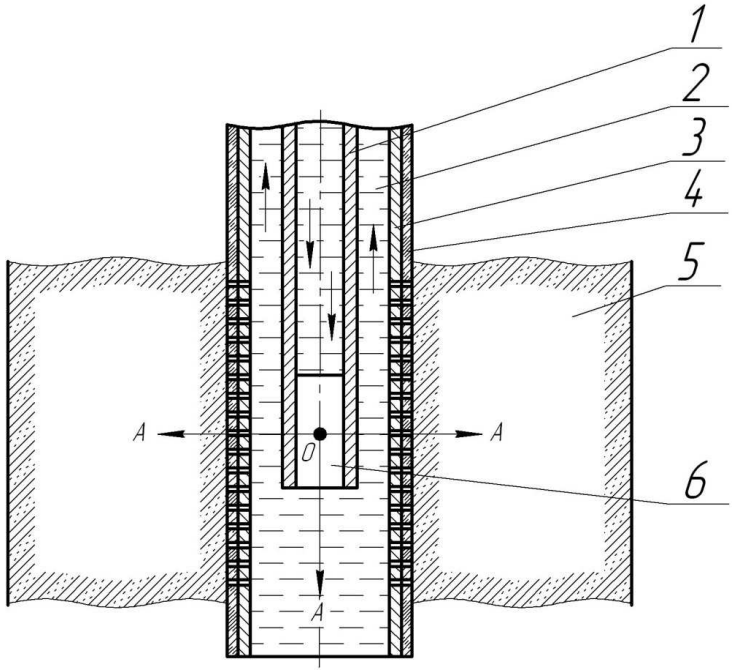


Рисунок 1 – Удосконалена конструкція гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії клапанного типу

Удосконалений гідравлічний генератор імпульсно-хвильової дії працює наступним чином. У вихідному положенні (рис. 1) перекидний клапан 5 перекриває канал 2 прямокутного перерізу клапанної коробки 1. При подачі рідини (газу) через канал 2 під дією перепаду тиску шатун 4 і перекидний клапан 5 займають вертикальне положення відповідно до законів гід-



1 – колона насосно-компресорних труб; 2 – затрубний (кільцевий) простір; 3 – експлуатаційна (обсадна) колона; 4 – цементне кільце; 5 – продуктивний пласт; 6 – гідравлічний генератор імпульсно-хвильової дії

Рисунок 2 – Схема розміщення удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії в свердловині

ростатики. В подальшому за інерцією шатун 4 (його нижня загострена частина) переміщається в крайнє праве положення, тягнучи за собою перекидний клапан 5. В результаті канал 2 клапанної коробки 1 буде знову перекритий з утворенням порожнин 10, 11, 12. Створюється перепад тиску на верхній частині клапанної коробки 1. В результаті дії тиску рідини (газу) в порожнині 10 перекидний клапан 5 та шатун 4 знову займуть вертикальне положення. Далі за інерцією перекидний клапан 5 та кривошип 4 стають у вихідне положення і цикл знову повторюється. У місцях контакту перекидного клапану 5 та шатуна 4 з магнітами 7, 8, 9 зусилля відриву перекидного клапану 5 та шатуна 4 від клапанної коробки 1 буде значно більшим, ніж у випадку відсутності магнітів. Таким чином, створюються періодичні імпульси тиску.

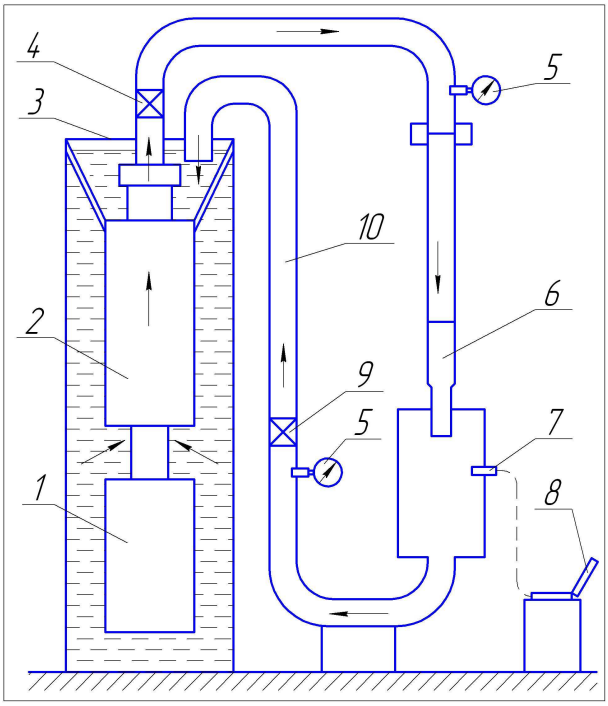
На рис. 2 зображено розміщення удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії, розміщений в свердловині. При цьому на нього діє тиск $p_{пряме}$, який створюється насосним агрегатом на поверхні. В результаті роботи гідравлічного генератора створюються гідродинамічні коливання, а рідина, що пройшла через генератор, по затрубному простору піднімається на поверхню, маючи тиск $p_{звор}$. Енергія потоку рідини перетворюється частково в механічні коливання, а частково, внаслідок тертя – в тепло. Механічні коливання, в свою чергу, перетворюються в гідравлічні та акустичні, які поширюються від генератора в пласт.

Генератори, подібні за конструкцією до розробленого, описані в [8, 9], мають ряд недоліків. У наддолотному маятниковому вібраторі представлено тільки один сегмент робочого елементу, а вібратор з перекидним клапаном надто складний та має іншу конструкцію генератора. Практично у всіх відомих генераторів імпульсної дії відсутній розрахунок частоти – одного з головних параметрів роботи генераторів даного типу.

Враховуючи, що розрахувати частоту роботи генератора, зображеного на рис. 1, досить складно, то її вирішено дослідити експериментально. Для визначення поведінки клапана генератора при різних витратах рідини було створено дослідну установку, яка розміщена в корпусі №6 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Для проведення досліджень було розроблено 3 види робочих елементів генератора (клапанів), в яких змінювалися габаритні розміри та маса. Різні види клапанів необхідні для визначення впливу на різні частини продуктивного пласта. Дослідна установка представляє собою гідравлічну систему з можливістю роботи у замкнутому циклі (рис. 3, 4).

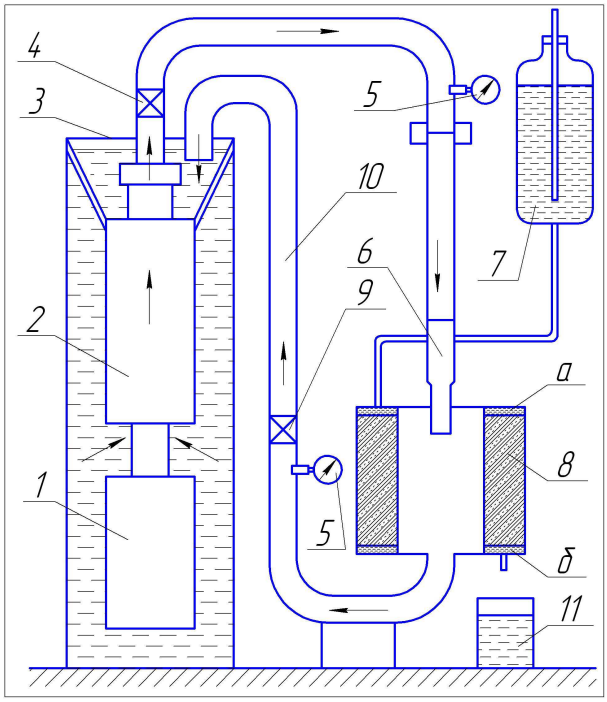
Дослідна установка містить:

- ємність об'ємом 0,15 м^3 з робочою рідиною;
- глибинний відцентровий насос ЭЦВ6-16-110 (подача $Q = 16$ *м*^{3}*/год*, напір $H = 110$ *м*);
- електричний двигун (частота двигуна $f=3000$ *об/хв (50* c^{-1}*)*; потужність $N=5$ *кВт*);
- гідравлічну лінію з посадочними місцями для гідравлічного генератора та давача;
- крани для регулювання роботи насоса;
- манометри;
- п'єзокерамічний акустичний давач;
- зйомну частину – насипну модель пласта з системою фільтрації рідини.



1 – електродвигун; 2 – відцентровий насос; 3 – ємність з робочою рідиною; 4 – кран; 5 – манометр; 6 – удосконалений гідравлічний генератор імпульсно-хвильової дії; 7 – п'єзокерамічний акустичний давач; 8 – комп'ютер; 9 – кран; 10 – гідравлічна лінія

Рисунок 3 – Схема дослідної установки для дослідження гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії (робота генератора)



1 – електродвигун; 2 – відцентровий насос; 3 – ємність з робочою рідиною; 4 – кран; 5 – манометр; 6 – удосконалений гідравлічний генератор імпульсно-хвильової дії; 7 – ємність для подачі фільтрувальної рідини; 8 – насипна модель пласта; 9 – кран; 10 – гідравлічна лінія; 11 – ємність для збору фільтрувальної рідини

Рисунок 4 – Схема дослідної установки для дослідження гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії (робота генератора + фільтрація рідини)

При підготовці та проведенні досліджень необхідно дотримуватися правил техніки безпеки, керуючись вказівками, які наведені в документах з охорони праці та техніки безпеки в лабораторіях.

Удосконалений гідравлічний генератор імпульсно-хвильової дії досліджувався при таких режимах:

– робота насоса при проходженні рідини через трубу без генератора;

– робота насоса при проходженні рідини через корпус генератора без робочих елементів;

– робота насоса при проходженні рідини через генератор в робочому стані;

– витрата максимальна;

– витрата 1/3 від максимальної;

– витрата 2/3 від максимальної;

– зміна висоти стовпа рідини.

При цьому на дослідній установці вимірювалися наступні параметри:

– зміна температури робочої рідини (термометр FLUKE 54 II (рис. 5));

– акустичний відгук (вібрація) зовнішньої поверхні робочої камери, в якій знаходився робочий елемент гідравлічного генератора (цифровий диктофон OLYMPUS VN-480PC (рис. 5));

– перепад тиску на робочій камері (механічний манометр класу точності 1,5);

– витрата робочої рідини контролювалася методом змінного перепаду тиску на гідравлічному генераторі;

– коливання тиску рідини в трубопроводі після робочої камери (інтегральний давач тиску ИДТ-8).

Крім того, в часі знімалася загальна теплова картина дослідної установки за допомогою тепловізора FLUKE-TI-25 (рис. 6).

Для проведення досліджень удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії було розроблено вимірювальну схему, яка зображена на рис. 7. До складу схеми входять: електродвигун М з системою фазоімпульсного управління обертами, термореле NS та кнопкою ввімкнення S1. Тиск на вході та на виході гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії вимірювався пружинними манометрами Р1 та Р2. Крім того, гідродинамічні пульсації тиску вимірювались інтегральним давачем тиску ИДТ-8, частота збудження якого встановлювалась генератором сигналів і передавалась на цей давач через підсилювач потужності та трансформаторний блок. Акустичний відгук та вібрація корпусу гідравлічного генератора вимірювались цифровим диктофоном з

реєстрацією даних GE – GR та п'єзомікрофоном GT. Температура в робочій зоні гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії вимірювалась термометром FLUKE 54 з контактною термопарою TE – GR. Дані з п'єзомікрофона та давача тиску ИДТ-8 подавались на програмно керований мультиплексор, який по черзі під'єднував їх до ПЕОМ з високою швидкістю.

Рисунок 5 – Вимірювання процесу поширення температури та акустичних хвиль удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії за допомогою термометра FLUKE 54 II та диктофона OLYMPUS VN-480PC

Для вимірювання акустичного відгуку (вібрації) зовнішньої поверхні робочої камери гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії використовувався електретний мікрофон цифрового диктофона та п'єзомікрофон, які приєднувались безпосередньо до його поверхні. Отримані дані з мікрофонів, для вилучення корисних даних, оброблялись за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Перетворення Фур'є відіграє важливу роль у моделюванні систем з лінійними параметрами та практичній реалізації електронних блоків чи програмних компонентів у процесах обробки інформації. При аналізі акустичних сигналів перетворення Фур'є дає змогу визначати амплітуди і фази усіх гармонійних складових спектру сигналу. При виконанні перетворення Фур'є необхідно проводити інтегрування неперервних функцій. Завдяки тому, що обчислення проводяться на ЕОМ, які працюють з дискретизованими фукціями, а інтегрування виконують шляхом наближення з застосуванням числових методів, доцільно використати дискретне перетворення Фур'є, при реалізації якого обробляються дискретизовані значення сигналів в межах спектру і замість інтегрування функції застосовується сумування її дискретних значень.

Однак дискретне перетворення Фур'є, яке виконується у відповідності до свого визначення, вимагає великих обчислювальних затрат. Цей алгоритм має складність O^2, оскільки у ньому необхідно обчислювати $2N$ коефіцієнтів, кожний із яких отримується сумуванням $2N$ бінарних добутків. Алгоритм згортки двох лінійних послідовностей також має складність O^2 (MN, де M і N – довжини послідовностей згорток), що не дає ніяких переваг у заміні лінійної послідовності згортки секціонованою.

Найчастіше для усього обчислення швидкого перетворення Фур'є використовуються

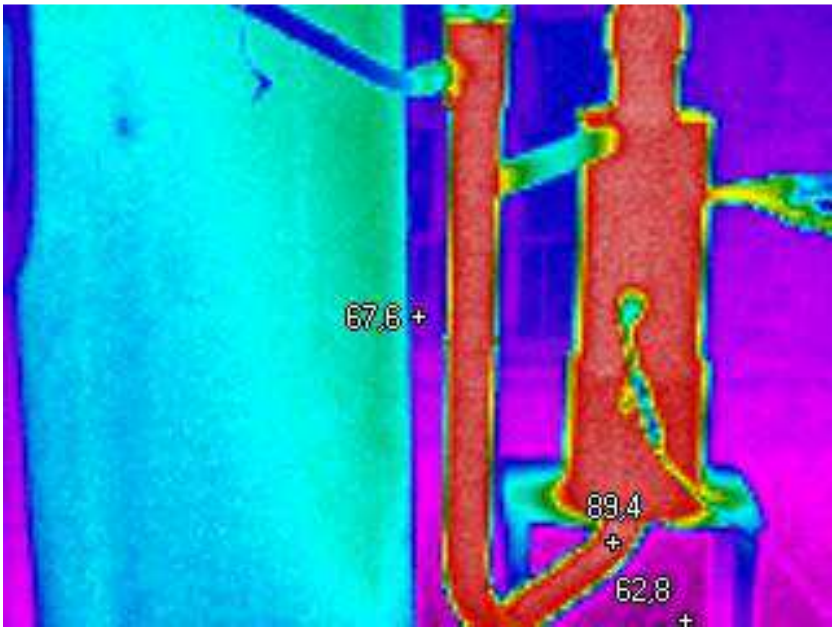


Рисунок 6 – Термограма гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії, знята тепловізором FLUKE-TI-25

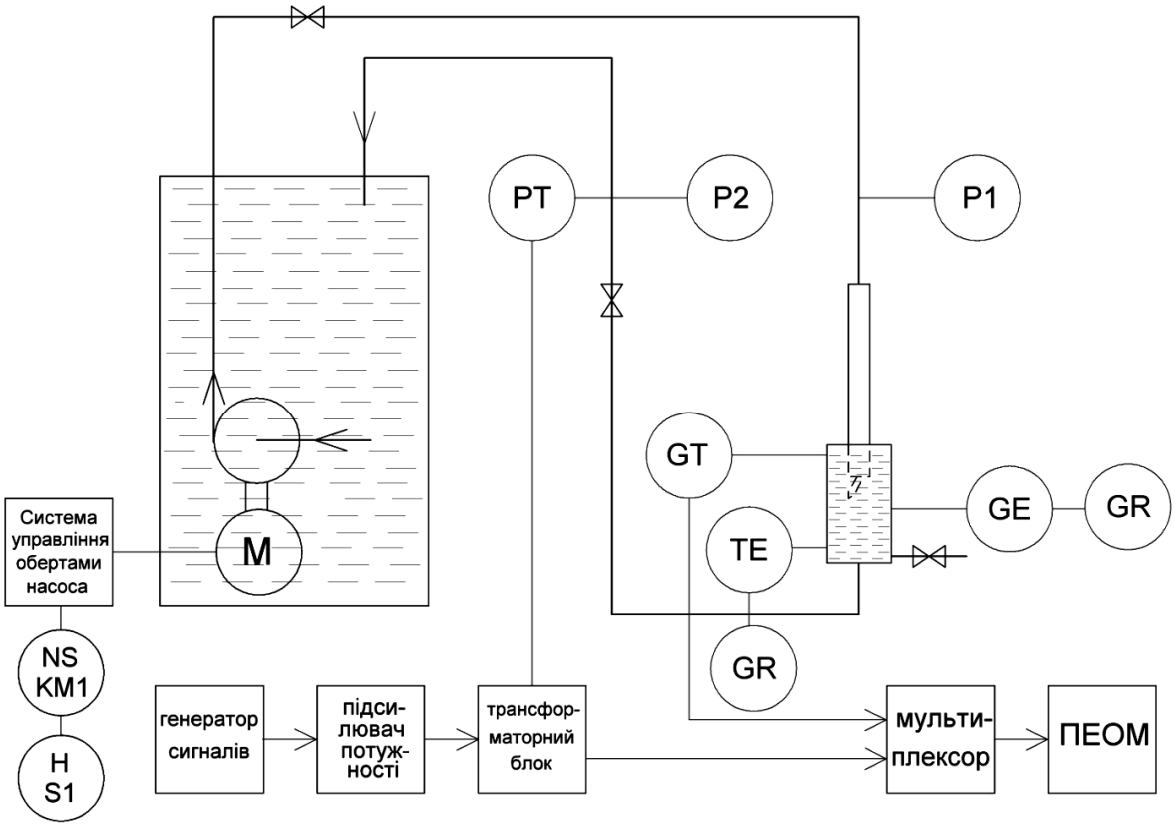


Рисунок 7 – Вимірювальна схема дослідної установки для дослідження удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії

алгоритми за основою 2 з проріджуванням за часом чи за частотою. Існують і інші алгоритми, що володіють приблизно такою ж кількістю операцій додавання, але кількість операцій множення у них становить тільки 20% у порівнянні з алгоритмом Кулі-Тьюкі. Крім цього, цей алгоритм дає можливість перетворювати послідовності, довжина яких не співпадає з цілим ступенем числа 2. При цьому складність алгоритму для опису значно вища.

Для того, щоб зменшити кількість обчислювальних операцій в сучасних програмних пакетах для обробки сигналів на ЕОМ застосовується швидке перетворення Фур'є.

За описаним вище алгоритмом проводилось дослідження характеристик акустичних сигналів гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії у програмних пакетах SPECTRA PLUS та Sound Forge 5.0 (рис. 8, 9).

Оскільки особливістю удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії є робота в різних частотних діапазонах у залежності від витрати робочої рідини, то завданням вимірювань була необхідність встановити ці діапазони. Як видно з рис. 8 і 9 спектральні складові акустичних сигналів від гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії мають частоти від 25 Гц до 8 кГц. При цьому їхня амплітуда залежить від наявних резонансів у конструкції і знаходиться з виразу:

$$R_{\Sigma} = 20\lg\frac{\omega m}{2\rho c} - 10\lg\sum_{n}\frac{f_1 f_n}{f_n^2 + f_0^2}, \qquad (1)$$

де R_{Σ} – сумарний звуковий опір конструкції;

ω – кутова частота коливань;

m – погонна маса стінок конструкції;

ρ – густина шару між стінками конструкції;

c – швидкість звуку в шарі між стінками конструкції;

f_1 , f_n – перша та n-на резонансні частоти шарів з рідиною;

f_0 – резонансна частота конструкції з двома стінками.

В результаті вимірювання температури робочої рідини було отримано набори значень, які знімалися через кожні 10 с протягом 25 хв. З наборів значень побудовано графіки в середовищі Microsoft Exell. Далі графіки апроксимовано в середовищі CurveExpert 1.4 за допомогою лінійних і квадратичних функцій та поліномів четвертого порядку:

- лінійна залежність: $y=a+bx$;
- квадратична залежність: $y=a+bx+cx^2$;
- поліноміальна залежність:

$$y=a+bx+cx^2+dx^3+ex^4.$$

В результаті обробки виявлено, що похибка S та коефіцієнт кореляції (подібності) r для лінійної, квадратичної та поліноміальної залежностей становлять для максимальної витрати робочої рідини при розміщенні гідравлічного генератора в трубопроводі, коли генератор містить робочі елементи і є в робочому стані:

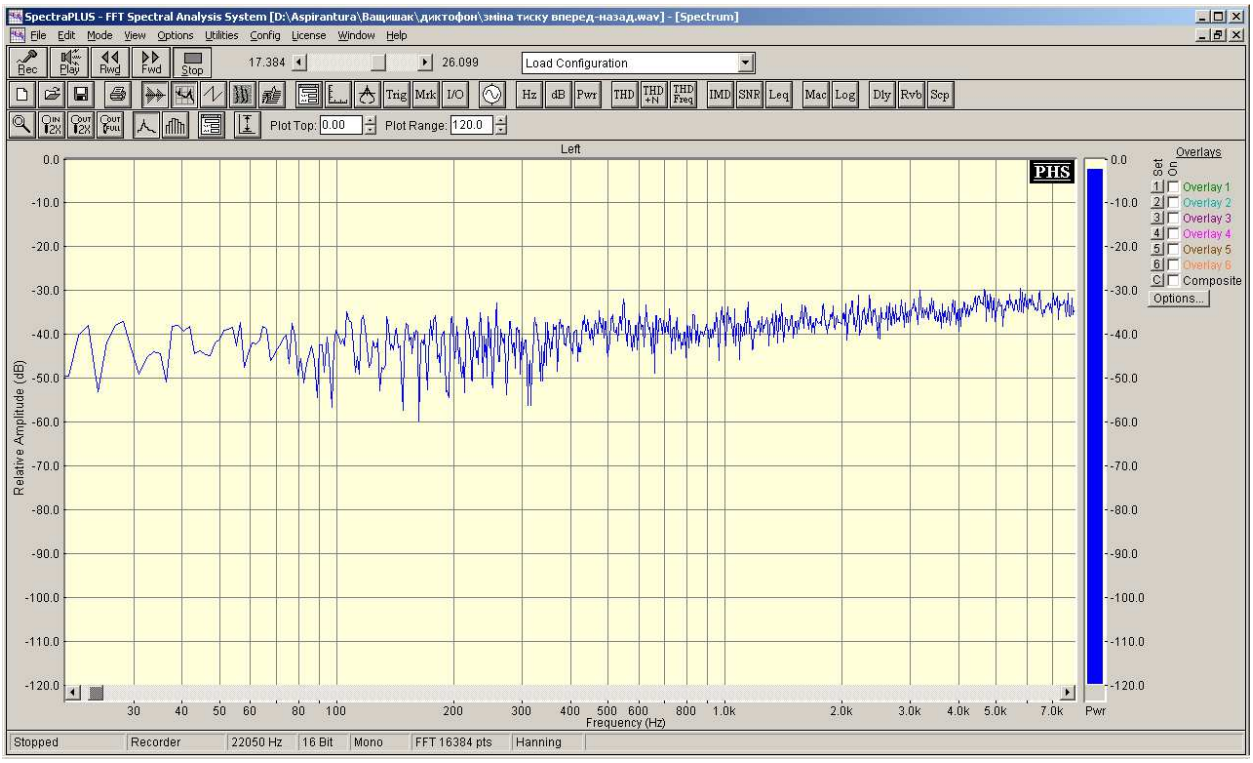


Рисунок 8 – Складові спектра акустичного сигналу при максимальній витраті, отримані в програмному пакеті SPECTRA PLUS

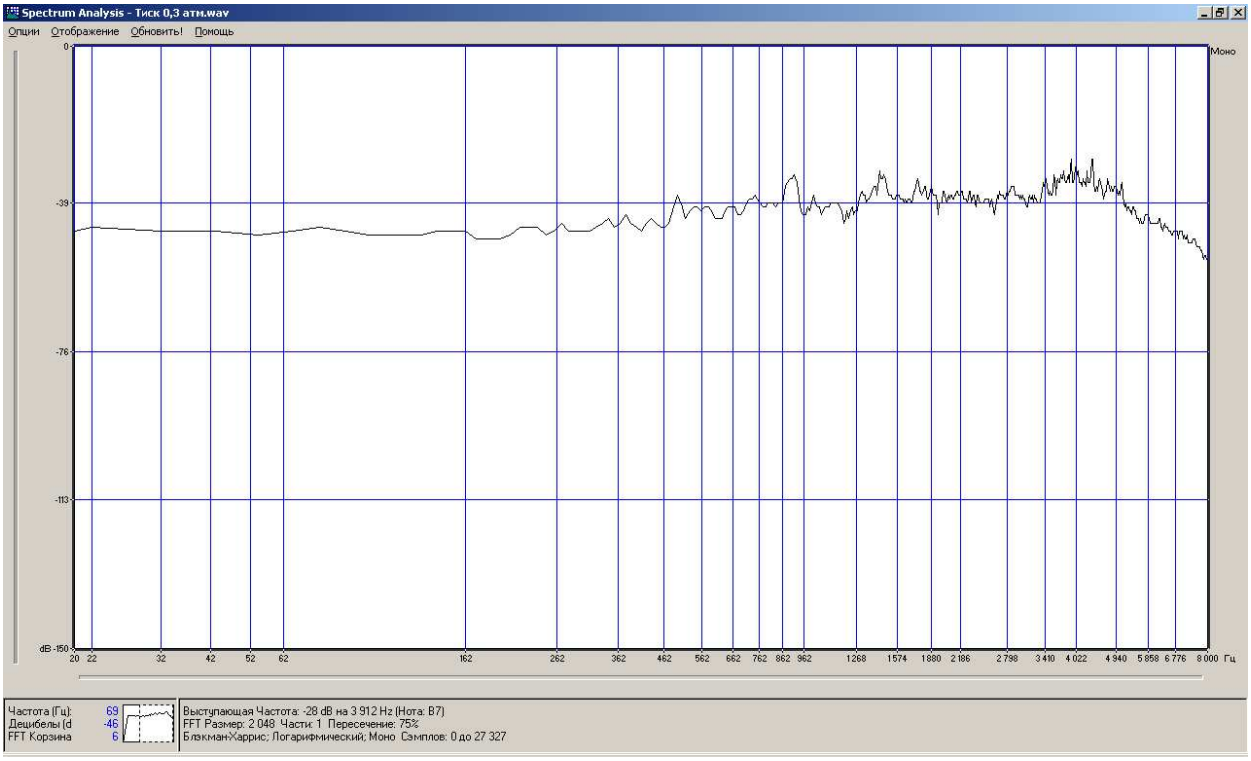
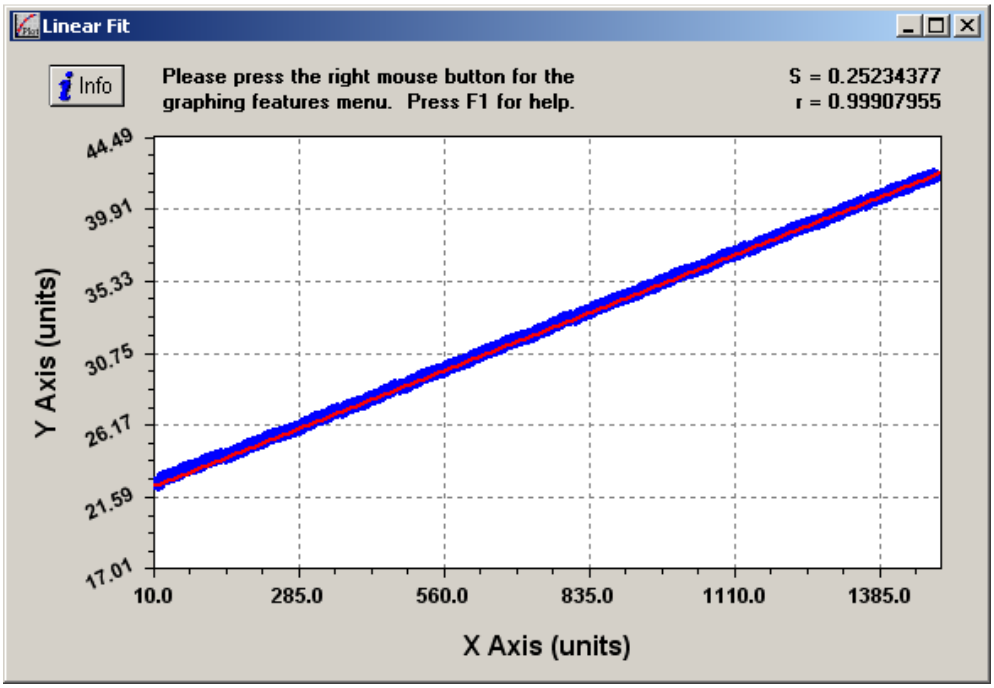


Рисунок 9 – Складові спектра акустичного сигналу при максимальній витраті, отримані в програмному пакеті Sound Forge 5.0

S_{131}=0.2523, r_{131}=0.99908 (рис. 10);
S_{132}=0.2470, r_{132}=0.99912;
S_{133}=0.2364, r_{133}=0.99921.

Проаналізувавши лінійну та квадратичну залежності й поліному четвертого ступеня, видно, що різниця у похибках та коефіцієнтах кореляції становить не більше 0,5% та 0,001 відповідно. Тому з метою спрощення роботи для подальшого аналізу використано лінійні залежності.



$y=a+bx$
a = 22.138045
b = 0.013393865

Рисунок 10 – Лінійна залежність зміни температури робочої рідини при проходженні рідини через генератор в зборі

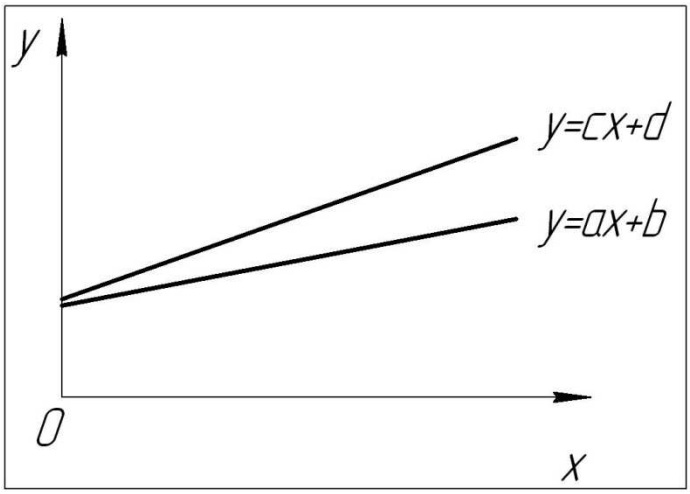


Рисунок 11 – Графічні залежності зміни температур для розрахунку ефективності гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії

З аналізу зміни температури визначено ефективність гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії при нагріванні рідини. За нульовий рівень ефективності гідравлічного генератора вибрано температуру при русі рідини без розміщення генератора в трубопроводі. За максимальну ефективність можна прийняти стрибкоподібний підйом температури від початкової до максимальної при часі, близькому до 0 (початок координат). Виходячи з цього та з проведених експериментів видно, що температура, яка виникає при роботі гідравлічного генератора є вищою за температуру тертя рідини об стінки трубопроводу при його відсутності (рис. 11). На рис. 11 зображено дві лінійні залежності, що описують ці явища. Нехай температура тертя рідини об стінки трубопроводу при відсутності гідравлічного генератора у трубопроводі описується виразом:

$$y = ax + b,$$

де x – часова шкала.

Температура, яка виникає при роботі гідравлічного генератора описується виразом:

$$y = cx + d.$$

Тоді реальна ефективність гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії становитиме різницю між цими залежностями або різницю інтегралів під функціями.

Розв'язок рівняння по температурній ефективності гідравлічного генератора матиме вигляд:

$$A = \int_0^x (cx + d)dx - \int_0^x (ax + b)dx = \\ = \frac{x}{2}(cx + 2d - ax - 2b); \quad (2)$$

за умови, що $d=b$, отримаємо:

$$A = \frac{x^2}{2}(c - a). \quad (3)$$

Вирази (2) та (3) можна застосовувати як в динамічному, так і в стаціонарному режимах роботи гідравлічного генератора.

Для оцінки гідродинамічних пульсацій використано давач тиску ИДТ-8. Давач тиску працює в комплекті з генератором сигналів (синусоїдального типу), підсилювачем потужності та трансформаторним блоком, який узгоджує вхідний опір давача та вихідний опір підсилювача. Гідродинамічні пульсації також на чисто якісному рівні фіксувались двома пружинними манометрами Р1 та Р2. При зміні витрати частотний спектр гідродинамічних пульсацій генератора становив від 25 до 100 Гц. При цьому амплітуди певних складових спектра значно виділялись (рис. 12, 13).

Для дослідження впливу на роботу генератора геометричних розмірів та ваги його робочих елементів було взято дві моделі генератора: ГКП-56 та ГКП-38.

Вага деталей, які змінювалися:

1) для генератора ГКП-38:
– клапан масою 76 г (100% довжини)
– клапан масою 58 г (80% довжини)
– клапан масою 49 г (70% довжини)
– клапан масою 40 г (60% довжини)
– клапан масою 31 г (50% довжини)
– кривошип масою 120 г
– обважнення кривошипу $Б_1$ масою 555 г
– обважнення кривошипу $Б_2$ масою 975 г

2) для генератора ГКП-56:
– клапан масою 135 г (100% довжини)
– клапан масою 80 г (60% довжини)
– кривошип масою 630 г
– обважнення кривошипу $М_1$ масою 408 г
– обважнення кривошипу $М_2$ масою 608 г

Генератори випробовувалися в двох станах: ненавантаженому та навантаженому.

При зменшенні довжини клапану частота імпульсів знижується, амплітуда зростає (рис. 14). Це пояснюється зменшенням робочого кута та збільшенням зусилля потоку рідини для перекидання клапану. Для створення більшого зусилля при незмінній подачі насосу необхідно більше часу, й відповідно частота перекидання клапану зменшується. Проте у випадках, коли генератор не обважнений і менше притиснутий в сідлі, це правило не виконується.

Дослідження ефективності впливу удосконаленого генератора на процеси фільтрації рідини через насипну модель пласта (рис. 4). Для цих експериментів було відібрано генератор моделі ГКП-38, який працював у навантаженому стані з обважненням кривошипу масою 555 г. Вага деталей, які змінювалися:

– клапан масою 31 г (50% довжини)
– клапан масою 49 г (70% довжини)
– клапан масою 76 г (100% довжини)

Як фільтрувальну рідину використовували промислові зразки нафти, трансформаторного масла та пластової води, відповідно з коефіцієнтом динамічної в'язкості 10, 5 та 1 мПа·с.

Для дослідів як модель пористого середовища приймався пісок із фракціями 0,015-0,05 мм. Пісок попередньо просіювався, промивався розчином соляної кислоти, а потім дистильованою водою. Для отримання правдивих результатів дослідна система попередньо стабілізувалась, кількість замірів приймалась рівною 10 для кожного типорозміру генератора. Підтримування постійного тиску в системі досягалось використанням посудин Маріотта.

Модель пласта 8 (рис. 4) виготовлено у вигляді металевого циліндра, який попередньо одягається на імітацію обсадної колони та заповнюється підготовленим піском. Конструкція циліндра передбачає дві порожнини а і б, які не заповнюються піском. Ці порожнини відділяються від піску густою сіткою, яка пропускає рідину, але не пропускає пісок. В порожнину а подається фільтрувальна рідина з ємності 7, що знаходиться на певній висоті (залежно від фільтрувальної рідини), для моделювання стабільного гірничого тиску. Тиск контролюється за допомогою манометра 12.

З метою створення усталеного режиму фільтрації рідини і стабілізації незмінного тиску під час процесу фільтрації ємність 7 з рідиною виконано як посудину Маріотта. Відфільтрована рідина збиралася в ємність 11.

Експериментальні дослідження дії механічних імпульсів тиску на фільтрацію рідини у насипному керні проводились у такій послідовності:

1. В дослідну установку закладається генератор ГКП-38 з клапаном масою 31 г (50% довжини). Ємність 7 наповнюється нафтою та з'єднується з моделлю пласта 8. Через деякий час (5..6 год.) відбувалася стабілізація процесу фільтрації нафти.

2. Вимірюється об'єм нафти в мірній ємності 11, який набирався протягом 1 хв. Проводиться 10 вимірювань до встановлення стабілізації процесу.

3. Запускається насос, який приводить в дію гідравлічний генератор 6, і через рівні проміжки часу (5 хв.) вимірюється об'єм нафти, який набирався протягом 1 хв.

4. Для підвищення достовірності експериментів кількість вимірювань становить 10. Для наглядного представлення результатів досліджень побудовано залежність об'єму нафти в мірній ємності, який набирався протягом 1 хв. (рис. 15).

5. Повторюється пп.1-4 з трансформаторним маслом та пластовою водою.

6. В дослідну установку закладається генератор ГКП-38 з клапаном масою 49 г (70% довжини) та 31 г (50% довжини) і повторюється пп.1-5.

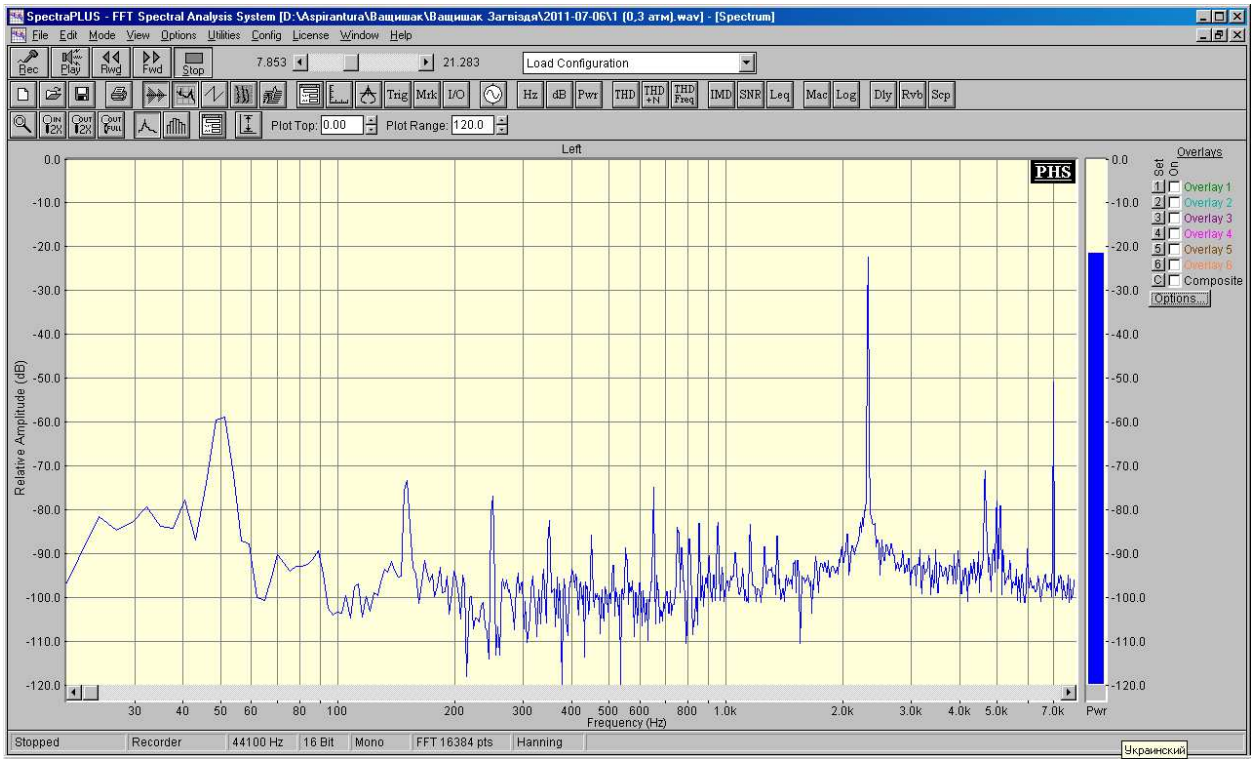


Рисунок 12 – Складові спектра сигналу давача тиску при максимальній витраті, отримані в програмному пакеті SPECTRA PLUS

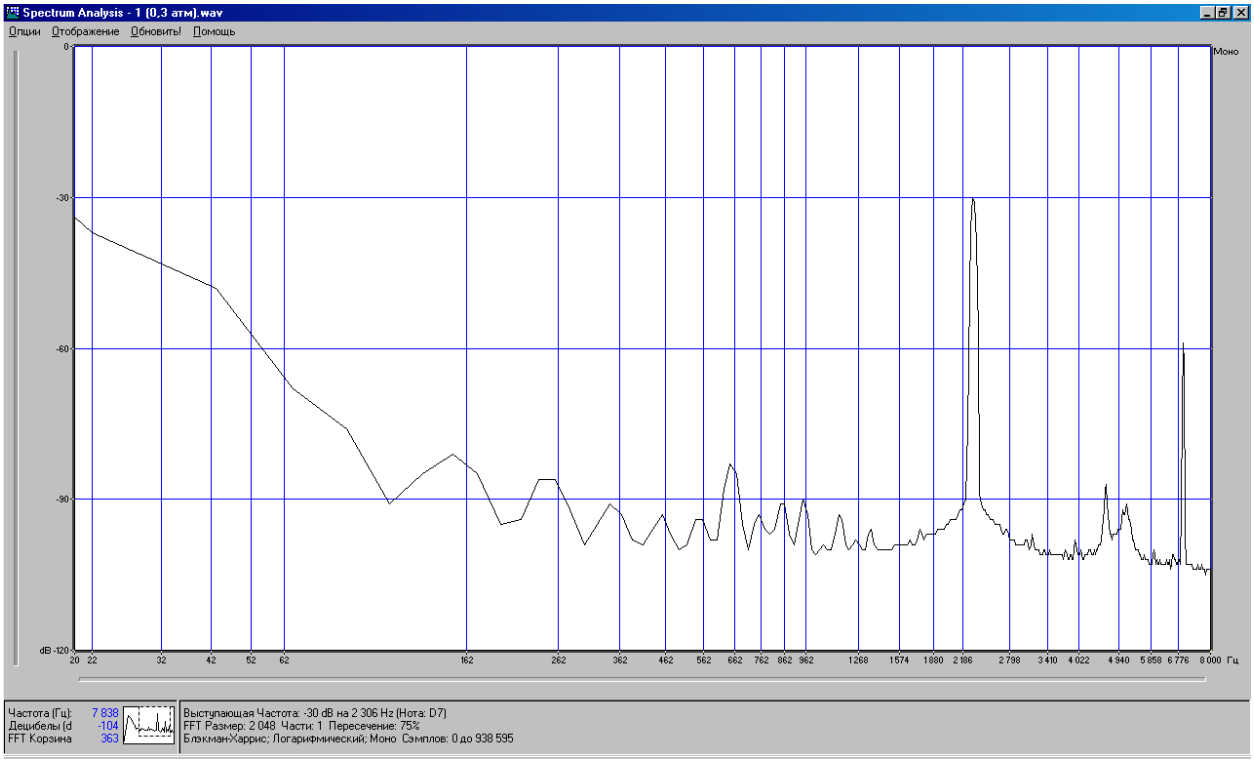
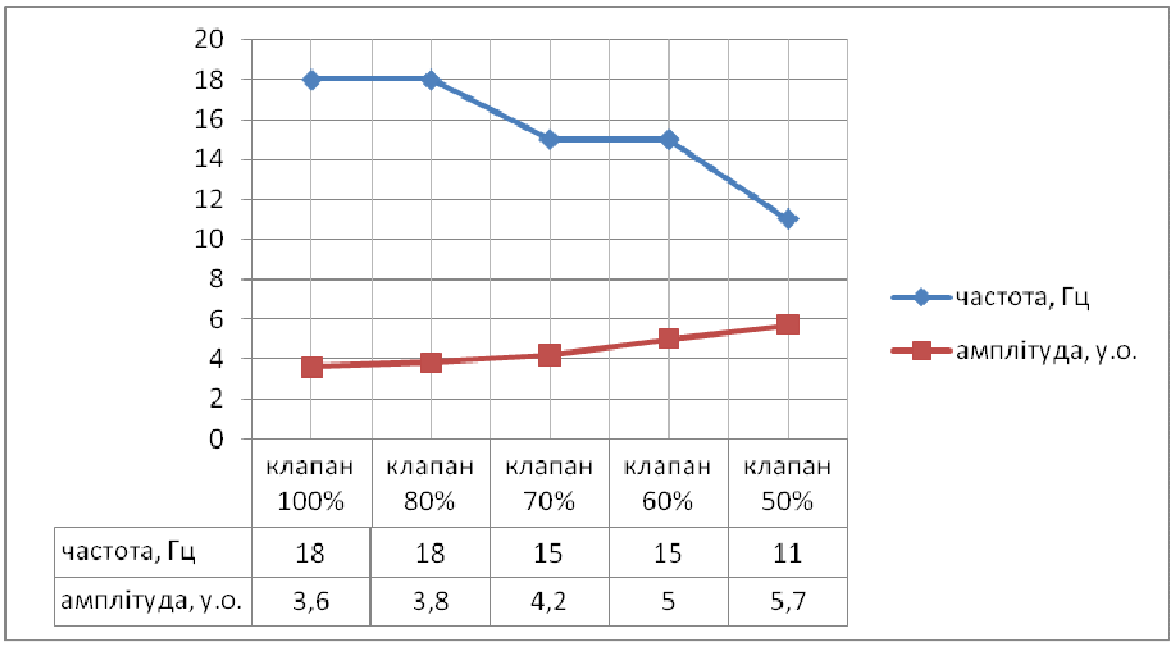
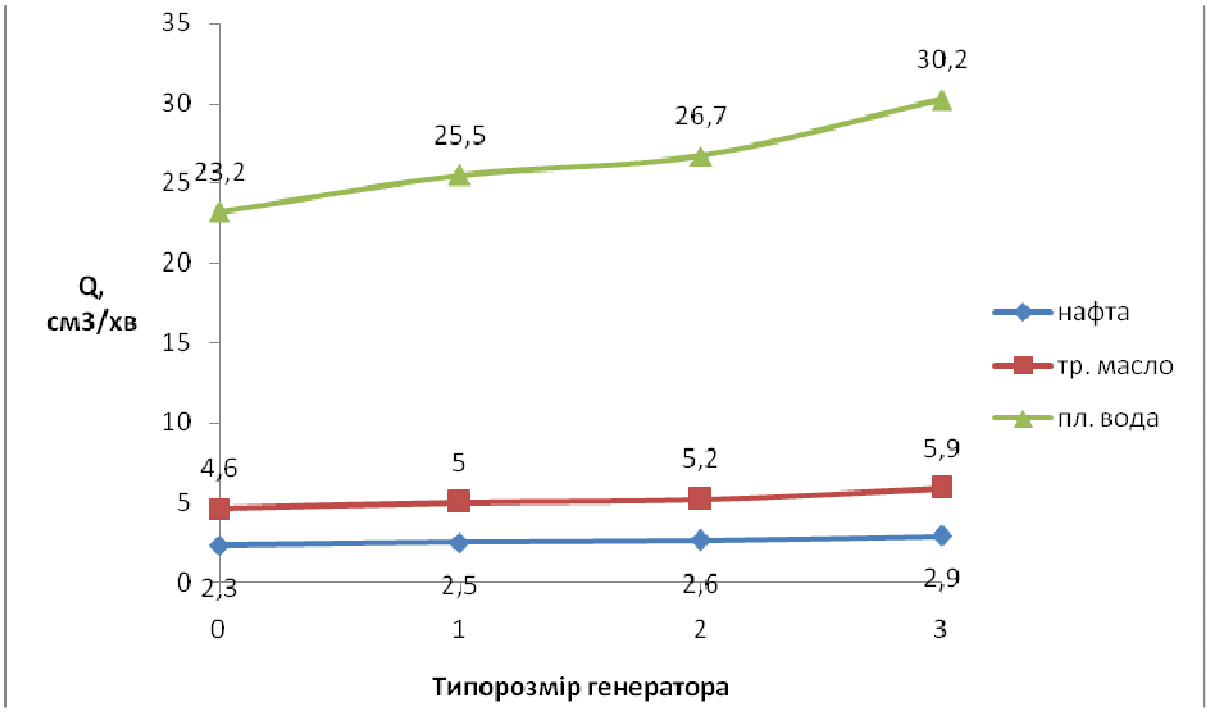


Рисунок 13 – Складові спектра сигналу давача тиску при максимальній витраті, отримані в програмному пакеті Sound Forge 5.0



	клапан 100%	клапан 80%	клапан 70%	клапан 60%	клапан 50%
частота, Гц	18	18	15	15	11
амплітуда, у.о.	3,6	3,8	4,2	5	5,7

Рисунок 14 – Залежність частоти та амплітуди від довжини клапану для генератора ГКП-38 з обважненням $Б_2$



0 – фільтрація рідини без генератора, 1 – фільтрація рідини при роботі клапану довжиною 50%, 2 – фільтрація рідини при роботі клапану довжиною 70%, 3 – фільтрація рідини при роботі клапану довжиною 100%

Рисунок 15 – Графічні залежності зміни кількості відфільтрованої рідини при роботі удосконаленого генератора ГКП-38

Аналізуючи проведені досліди та побудовані графіки на рис. 15, можна зробити такі висновки:

– процеси фільтрації нафти у насипній моделі пласта стабілізуються протягом 5..6 год., трансформаторного масла – протягом 4..5 год., пластової води – протягом 2..3 год.;

– імпульсно-хвильова дія на модель пласта удосконаленим генератором ГКП-38 призводить до збільшення об'єму проби рідини, яка фільтрується за однакові проміжки часу, на 25-30 %.

Однак, оскільки дослідна установка не забезпечує 100% відтворення роботи генератора в свердловині, то вимагається підтвердження отриманих даних при роботі удосконаленого генератора імпульсно-хвильової дії на реальних об'єктах.

Література

1 Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия [Текст] / В.П. Дыбленко, Р.Н. Камалов, Р.Я. Шарифуллин, И.А. Туфанов. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. – 381 с.

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

3 Кузнецов О.Л. Применение ультразвука в нефтяной промышленности [Текст] / О.Л. Кузнецов, С.А. Ефимова. – М.: Недра, 1983. – 192 с.

4 Кудинов В.И. Методы повышения производительности скважин [Текст] / В.И. Кудинов, Б.М. Сучков. – Самара, 1996. – 414 с.

5 Браммер Ю.А. Импульсная техника [Текст] / Ю.А. Браммер, И.Н. Пащук. – М.: Высшая школа, 1965. – 284 с.

6 Бажалук Я.М. Використання технологій гідроімпульсної дії на пласт для освоєння свердловин [Текст] / Я.М. Бажалук // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №4. – С.35-38.

7 Пат.45496 Україна, МПК G 10 K 7/00, E 21 B 43/00. Пристрій для створення періодичних імпульсів тиску [Текст] / Бажалук Я.М., Карпаш О.М., Климишин Я.Д., Бажалук В.Я., Гутак О.І., Худін М.В.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу – № 200906132; заявл. 15.06.09; опуб. 10.11.09, Бюл. № 21.

8 Хузина Л.Б. Наддолотный маятниковый вибратор [Текст] / Л.Б. Хузина, М.С. Габдрахимов // Нефтегазовое дело. – 2005. – http://www.ogbus.ru.

9 Султанов Б.З. Техника управления динамикой бурильного инструмента при проводке глубоких скважин [Текст] / Б.З. Султанов. – М.: Недра, 1997. – 89 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 30.04.13
Рекомендована до друку професором ***Заміховським Л.М.*** *(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) д-ром техн. наук* ***Говдяком Р.М.*** *(Інжинірингова компанія «Машекспорт», м. Київ)*