

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

На правах рукопису

ХУДІН МИКОЛА ВАЛЕНТИНОВИЧ

УДК 622.276.53

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВОЇ ДІЇ НА  
НАФТОГАЗОНОСНІ ПЛАСТИ

05.05.12 – Машини нафтової та газової промисловості

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

*Всі примірники дисертації надані  
за звітності  
Вченої комісії спеціалізованій  
раді у складі: [підпис] / [підпис] / [підпис]*

08.07.2013р.

Науковий керівник  
Карпаш Олег Михайлович  
доктор техн. наук, професор



Івано-Франківськ – 2013

d 489

## ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН.....	10
1.1 Аналіз існуючих методів підвищення продуктивності свердловин.....	10
1.2 Аналіз методів і засобів підвищення продуктивності нафтогазових свердловин імпульсно-хвильовою дією на пласт .....	21
1.3 Вибір та обґрунтування напрямку досліджень.....	38
Висновки до першого розділу.....	43
РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВОЇ ДІЇ НА НАФТОГАЗОНОСНИЙ ПЛАСТ.....	44
2.1 Дослідження причин зниження продуктивності свердловин.....	44
2.2 Обґрунтування та розробка удосконаленої конструкції гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти .....	49
2.3 Опис роботи гідравлічного генератора як джерела акустичних коливань.....	53
2.4 Температурні процеси, що виникають при роботі гідравлічного генератора...64	
2.5 Опис гідродинамічних коливань, що створюються гідравлічним генератором імпульсно-хвильової дії .....	65
Висновки до другого розділу.....	67
РОЗДІЛ 3	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВОЇ ДІЇ НА НАФТОГАЗОНОСНИЙ ПЛАСТ.....	68
3.1 Розробка експериментальної установки для досліджень розробленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії .....	68
3.2 Розробка методики проведення досліджень розробленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії .....	70
3.2.1. Підготовчий етап.....	71

3.2.2 Експериментальне дослідження роботи генератора.....	72
3.3 Встановлення залежностей робочих характеристик генератора від зміни його фізичних параметрів.....	98
Висновки до третього розділу.....	103
РОЗДІЛ 4	
ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВОЇ ДІЇ НА НАФТОГАЗОНОСНИЙ ПЛАСТ .....	105
4.1 Загальні відомості про застосування удосконаленого гідравлічного генератора на свердловині.....	105
4.2 Результати промислових випробувань удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти .....	118
Висновки до четвертого розділу.....	126
ВИСНОВКИ.....	127
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	129
ДОДАТКИ.....	143

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

**ГГК** – генератори гідравлічних коливань;

**ГРП** – гідравлічний розрив пласта;

**К** – компресор;

**ККД** – коефіцієнт корисної дії;

**КР** – кислотний розчин;

**МЗП** – міжсвердловинна зона пласта;

**НКТ** – насосно-компресорні труби;

**ПАР** – поверхнево-активна речовина;

**ПЛР** – полімерно-лужні розчини;

**ПУ** – підігрівальна установка;

**ПЗП** – привибійна зона пласта.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Практика розробки нафтогазових родовищ в Україні засвідчує, що 30-65% початкових запасів нафти залишаються невилученими. Дефіцит паливно-енергетичних ресурсів в країні постійно збільшується. Однією з причин зниження продуктивності нафтогазових свердловин є забруднення привибійної зони під час розкриття пластів та їх експлуатації. Існуючі технології, які широко використовуються для підвищення продуктивності нафтогазових свердловин, не забезпечують належних показників економічності та технологічності нафтогазовилучення. Тому актуальним і важливим залишається питання розробки нових вискоелективних засобів для інтенсифікації нафтогазовидобутку.

Метод інтенсифікації видобутку нафти імпульсно-хвильовою дією на продуктивний пласт є одним із найбільш перспективних. Вперше метод обробки привибійних зон нагнітальних і видобувних свердловин, що використовує імпульсно-хвильову дію, був випробуваний на нафтогазових промислах ще в 60-х роках ХХ ст., і відразу ж було отримано достатньо обнадійливі дані про його технологічну ефективність. Проте подальший досвід застосування методу вказав на необхідність проведення ряду теоретичних та лабораторно-промислових досліджень. Тому розроблення нових засобів імпульсно-хвильової дії на продуктивні пласти є актуальним завданням. Ця технологія не потребує дорогого обладнання та дорогих хімічних сполук, виконується за допомогою штатного нафтогазопромислового обладнання. При цьому не відбувається забруднення навколишнього середовища, а тому не потрібно витратити кошти на відновлення екологічної рівноваги після завершення робіт.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота є складовою частиною робіт, що виконувалися в Науково-дослідному інституті нафтогазової енергетики і екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за темами ДЗ/369-2007 "Розроблення технології та пристрою імпульсно-хвильової дії для збільшення

продуктивності нафтогазових свердловин” (№0107U009110) і Д-6-10-П “Нові технології видобування вуглеводнів із родовищ з важковилучуваними запасами” (№0110U000116). Робота виконувалася в рамках науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, що проводяться в Науково-виробничій фірмі «Інтекс», в сфері розроблення нових технологій підвищення продуктивності нафтогазових свердловин. Ці роботи виконувались за безпосередньою участю автора як виконавця окремих розділів.

**Мета і задачі дослідження.** *Метою дослідження є розроблення спеціального технологічного обладнання для здійснення імпульсно-хвильової дії на приви́бійну і міжсвердловинну зони нафтогазоносних пластів.*

Відповідно до цієї мети необхідно вирішити наступні *задачі*:

1. Здійснити аналіз сучасного стану методів і засобів імпульсно-хвильової дії на приви́бійну і міжсвердловинну зони нафтогазоносних пластів.

2. Провести теоретичні дослідження та розробити нову конструкцію пристрою для здійснення імпульсно-хвильової дії з регульованими робочими характеристиками.

3. Провести експериментальні дослідження для підтвердження адекватності отриманих залежностей зміни робочих характеристик розробленого пристрою імпульсно-хвильової дії при різних значеннях фізичних параметрів.

4. Виготовити, випробувати та здійснити промислову апробацію пристрою імпульсно-хвильової дії нової конструкції.

*Об'єктом дослідження є процес імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти.*

*Предметом дослідження є нові технічні засоби та технології для здійснення імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти.*

**Методи дослідження.** При розробленні конструкції гідравлічного генератора використовувалися методи синтезу та аналізу машин з використанням законів теоретичної механіки, фізики, гідравліки, гідродинаміки та основ теорій розрахунку та конструювання нафтогазопромислових машин. При проведенні експериментальних досліджень використовувалися методи планування

експерименту та математичної статистики. Обробка результатів експериментальних досліджень проводилася на основі математичного аналізу з використанням сучасних методів оброблення інформації як для статистичного аналізу, так і для апроксимації експериментальних даних.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Вперше розроблено динамічну модель високоефективного гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії, що дало змогу в широкому спектрі імпульсів змінювати амплітуду низьких та високих частот.

2. Вперше на основі експериментальних досліджень одержано залежності зміни амплітудно-частотної характеристики гідравлічного генератора від його фізичних параметрів, що дало можливість зробити керованим процес імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносний пласт.

3. Удосконалено наукові принципи експлуатації гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії.

4. Отримала подальший розвиток методологія створення технічних засобів наземної та підземної дії на нафтогазоносний пласт пружними коливаннями.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено високоефективний пристрій для підвищення продуктивності свердловин. Створена можливість використання гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії в експлуатаційних та нагнітальних нафтових і газових свердловинах. Розроблено патентозахищену технологію для інтенсифікації видобутку вуглеводнів. Отримано позитивні відгуки після впровадження наукових розробок на свердловинах ТОВ “Капітал Ойл Україна”, Калуської НГРЕ, ТОВ “Західенергобуд”, Zaklad Robot Gorniczych Krosno.

### **Положення, що виносяться на захист.**

1. Динамічна модель гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти.

2. Залежності зміни амплітудно-частотної характеристики гідравлічного генератора при різних значеннях фізичних параметрів його робочих елементів.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Зокрема, в опублікованих роботах автором здійснено проектування та виготовлення дослідно-експериментальної установки із плоскою моделлю нафтового пласта [104], проведено проектування та виготовлення ударного вузла установки імпульсно-хвильової дії на пласт ПГУ-3, статистичний аналіз даних [114]; здійснено розрахунок необхідної та фактичної потужності гідравлічного генератора ГКП-56 [100, 115]; проведено оцінку інтенсивності коливань в свердловині [116]; проаналізовано відомі сучасні методи та засоби підвищення продуктивності нафтогазових свердловин [93-95, 117, 118]; здійснено обробку результатів стендових випробувань дослідних взірців гідравлічних генераторів, проведено статистичний аналіз отриманих даних [101, 102].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на VI міжнародній науково-практичній конференції "Економічне відродження України" (м. Київ, 22 травня 2009 р.); на міжнародній науково-технічній конференції "Нафтогазова енергетика – 2011" (м. Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011 р.); на міжнародній науково-технічній конференції "Інноваційні технології буріння свердловин, видобування нафти і газу та підготовки фахівців нафтогазової галузі" (м. Івано-Франківськ, 3-6 жовтня 2012 р.).

Дисертаційна робота доповідалась й обговорювалась на наукових семінарах кафедри нафтогазового обладнання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (2009-2013 рр.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації опублікований в 12 наукових працях, з яких 6 статей – у фахових виданнях (в т.ч. 2 статті в закордонних виданнях), 3 патентах та 3 тезах доповідей.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Матеріали дисертації викладено на 128 сторінках. Робота містить 7 таблиць, 55 рисунків, список використаних джерел із 118 найменувань.

Автор висловлює щирю подяку за допомогу під час виконання роботи науковому керівнику д.т.н., професору Олегу Михайловичу Карпашу, а також працівникам ІФНТУНГ та НВФ “Інтекс” за підтримку та допомогу при проведенні лабораторних та промислових досліджень.

## РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ  
ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

## 1.1 Аналіз існуючих методів підвищення продуктивності свердловин

Залежно від способів інтенсифікації притоку нафти основні технологічні методи підвищення продуктивності свердловин можна класифікувати на хімічні, фізичні і механічні. Вибір методу визначається геолого-фізичною характеристикою пласта і причинами зниження продуктивності свердловин. Останніми роками почало застосовуватися комплексне поєднання різних методів [1].

До хімічних методів відносяться технології очищення кислотними розчинами безпосередньо ПЗП і зон більшого радіусу. Основним реагентом є соляна кислота. Хімічні методи впливу на привибійну зону пласта з метою інтенсифікації припливу базуються на властивості гірських порід вступати у взаємодію з деякими хімічними речовинами, а також на властивості деяких хімічних речовин впливати на поверхневі і молекулярно-капілярні зв'язки твердих і рідких фаз в породах.

Найбільш поширеними методами хімічного впливу на пласт є:

- 1) солянокислотна обробка пласта;
- 2) обробка пластів плавиковою (фтороводневою) кислотою;
- 3) обробка пластів розчинами ПАР;
- 4) обробка пластів з використанням сумішей перерахованих вище речовин;
- 5) обробка пластів вуглекислотою, сульфаміною, сірчаною і іншими

кислотами і солянокислотними обробками із застосуванням інгібіторів гідратуутворення.

Методи хімічного впливу на пласт дозволяють:

- очистити і розширити канали для руху флюїду із пласта до свердловини;

- утворити нові канали за рахунок розчинення мінералів, які входять до складу породи;
- змінити фазову проникність пласта.

Широке застосування методів хімічного впливу в промисловій практиці різних районів привело до появи різних технологічних схем здійснення цих процесів. Схеми відрізняються в основному темпами і об'ємами закачування кислоти, тисками нагнітання, використанням пристосувань і добавок.

В останні роки розширився асортимент реагентів, які використовуються при хімічних обробках пластів. Збільшилось число поверхнево-активних речовин. Використання суміші різних хімічних речовин (розчинників, поверхнево-активних речовин, електролітів) дозволяє покращити умови припливу флюїдів з пласта в свердловину, що збільшує нафтогазовіддачу пластів. Міцелові дисперсії, які є сумішшю вуглеводневої рідини з водою, в присутності ПАР і електроліту, теж застосовуються для збільшення нафтогазовилучення із пластів.

Основу фізичних методів підвищення продуктивності і приймальності свердловин складають дія на ПЗП фізичними і тепловими полями від різного виду джерел і обробка розчинниками.

Дія фізичними полями пружних коливань. Фізичні основи методів дії із застосуванням пружних коливань були створені на початку 70-х рр. ХХ ст. фундаментальними дослідженнями, проведеними у ВНИИнефти і ВНИИгеосистем. Великий внесок до їх створення внесли роботи О.Л. Кузнєцова, М.Л. Сургучова, Е.М. Сімкіна [2].

Механізм пружних коливань. Для підвищення продуктивності нафтогазових свердловин використовуються відомі природні явища і фізичні ефекти, пов'язані з тим, що процеси тепло- і масопереносу в капілярно-пористих середовищах інтенсифікуються під впливом високих і низьких частот. Дія високо амплітудних низькочастотних коливань тиску необоротно збільшує абсолютну проникність насичених пористих середовищ. За рахунок переорієнтації зерен, що складають середовище, особливо за наявності глинистості, утворюються нові фільтраційні канали, розкриваються тріщини. Особливої уваги заслуговують специфічні

«фільтраційні ефекти»: у полі коливань інтенсивністю 1,9 кВт і частотою 17-26 кГц швидкість фільтрації полярних і неполярних рідин збільшується до 10 разів, а швидкість фільтрації дистильованої води через керн гірських порід збільшується майже на два порядки.

Під дією пружних коливань відбувається зменшення міцності кольматуючого матеріалу і очищення порових каналів колектора, усувається блокуючий вплив залишкових фаз газу, нафти і води [3].

Накладення пружних коливань деформує і руйнує структуру неньютонівських нафт, змінює їхні в'язкопружні властивості і характер руху в пористому середовищі. Механізм дії фізичних полів пружних коливань на поведінку реології високов'язких нафт, що заповнюють пори, у багатьох випадках обумовлений моделлю, запропонованою М.А. Біо. Зниження в'язкості неньютонівських рідин відбувається при частотах, які більші за так звану характеристичну частоту:

$$f_c = \pi \nu / (4d), \quad (1.1)$$

де  $\nu$  – кінематична в'язкість;

$d$  – розмір пор.

Під дією пружних коливань зменшується кінематичний гістерезис змочування, відбувається глибоке проникнення рідини в щілини і капіляри, інтенсифікуються процеси просочення, зростає ступінь витіснення нафти з пористого середовища, змінюється фазова проникність середовища для нафти і води. Технологія віброхвильової дії екологічно чиста, і витрати на її застосування істотно нижчі, ніж при тепловому і хімічному методах.

Метод дії на ПЗП фізичними полями пружних коливань на нафтогазових промислах почав застосовуватися з 60-х рр. ХХ ст. і виявився достатньо ефективним.

Дія на ПЗП тепловими полями. Суть теплового оброблення полягає в прогріванні привибійної зони пласта і стовбура свердловини з метою розтоплення і вилучення парафіно-смолистих відкладів, розігрівання високов'язкої нафти для збільшення її рухливості [4].

Теплоту можна внести в пласт двома способами:

- 1) теплопередачею в пласт через скелет породи і рідину, яка його насичує, від джерела теплоти, розміщеного у свердловині;
- 2) конвективним тепломасоперенесенням за рахунок нагнітання у свердловину і в пласт теплоносіїв.

Суть методу теплового оброблення з використанням електронагрівача полягає в наступному. Для стаціонарного кондуктивного прогрівання (стаціонарного електротеплового оброблення) у свердловині, в інтервалі продуктивного пласта, разом з підземним обладнанням встановлюють електронагрівач, який працює безперервно або періодично за заданим режимом у процесі відбирання нафти.

Для періодичного кондуктивного прогрівання (періодичного електротеплового оброблення) експлуатацію свердловин зупиняють, піднімають підземне обладнання і на кабелі-тросі в інтервал продуктивного пласта опускають свердловинний електронагрівач, яким прогривають пласт протягом 3..7 діб, а відтак піднімають електронагрівач, опускають свердловинне обладнання і відновлюють експлуатацію свердловини.

Дослідні дані засвідчують, що через 3..7 діб безперервного прогрівання температура на вибої свердловини стабілізується. Вздовж стовбура свердловини нагріта зона поширюється на 20..50 м вгору і на 10..20 м вниз від джерела нагрівання. Внаслідок малої теплопровідності порід вдається прогріти пласт вище температури топлення парафіну і асфальтени-смолистих відкладів на невелику глибину (до 1м). Вибійна температура знижується після піднімання нагрівача з швидкістю 3..50С/год. Тому пускати свердловину в роботу потрібно без зволікань.

Застосування вуглеводневих розчинників. Абсолютно повне вилучення нафти можливе тільки при технології її розчинення витісняючим агентом.

Російські науковці Е.Л. Чекалюк, К.А. Оганов і В.П. Онопрієнко в 1960 р. експериментально встановили, що вода при певних температурах і тисках може розчиняти нафту. Вода в тих умовах, в яких вона здатна розчиняти нафту, названа

терморозчинником і може бути використана як агент для підвищення нафтогазовіддачі пластів.

Термогазохімічні методи дії на ПЗП. Метод термогазохімічної дії заснований на горінні твердих порохів у рідині. Швидкість горіння може регулюватися в певних межах характером займання, конструкцією порохового заряду і залежить від тиску. Як запальник застосовується спіраль розжарювання, що розміщується в тілі згораючого порохового елемента.

Іонно-плазмова дія на ПЗП. Метод розроблений М.С. Ягудіним, Р.Г. Касимовим, М.К. Ісаєвим, А.Н. Шакіровим і заснований на одночасній іонно-плазмовій електрохімічній, електролітичній і термічній дії на ПЗП, в якій електролітом служить мінералізована вода свердловини.

Випромінювання плазми призводить до створення активних частинок та ініціювання плазмохімічних реакцій. Для отримання плазми в спеціальному генераторі необхідні зовнішні джерела енергії, частина якої ще повинна витрачатися на ініціювання хімічних процесів.

Технології механічних дій на ПЗП. До технологій механічної дії на ПЗП з метою відновлення або поліпшення фільтраційних властивостей порід умовно можна віднести обробку депресіями-репресіями і гідравлічний розрив пласта.

Депресійно-репресійний метод. Метод розроблений в Івано-Франківському інституті нафти і газу і полягає в тому, що за допомогою високонапірних струменевих апаратів під пакером в ПЗП створюється задане зниження тиску на пласт протягом певного часу, а репресія на пласт забезпечується відновленням гідростатичного тиску при припиненні циркуляції протягом планованого часу. При депресії здійснюється притік флюїдів в свердловину з великою швидкістю і інтенсифікується винесення твердих частинок; при репресії рідина рухається із стовбура свердловини в пласт, і тверді частинки сприймають протилежно направлені навантаження.

При повторенні керованих циклів знакозмінні поля коливання тиску спричиняють за собою зміну коливання градієнтів тиску по радіусу, що значно перевищують градієнти тиску при одноразовому його скиданні, завдяки чому

створюються умови для винесення кольматуючих твердих частинок з ПЗП. Високий рівень знакозмінних тангенціальних напружень сприяє розвитку або утворенню нових тріщинних каналів, що обумовлює залучення до розробки раніше не працюючих ділянок пласта і збільшення інтервалу продуктивності. Для здійснення методу депресії-репресії, окрім основного устаткування (насосні агрегати, НКТ, пакери) нафтогазопромислу, необхідні спеціальні струменеві апарати. Ефективність технології можна підвищити, суміщаючи її з іншими видами дії, включаючи соляно-кислотні, грязекислотні та інші види обробки пласта.

Гідравлічний розрив пласта. Гідророзрив пласта є одним з найдієвіших методів збільшення проникності ПЗП видобувних і нагнітальних свердловин, які розкривають щільні пласти, представлені твердими породами (вапняками або пісковиками). Теоретичне обґрунтування гідравлічного розриву як методу збільшення продуктивності свердловин було виконано в 1948 р. Ж. Кларком. Надалі М. Хуберт і Д. Віліс досліджували механіку тріщиноутворення в продуктивних відкладеннях [2].

Гідравлічний розрив пласта (ГРП) - це метод утворення в пласті нових або розширення і розвиток деяких існуючих тріщин при нагнітанні в свердловину рідини або піни при високому тиску. Для того, щоб новоутворені тріщини були добрими провідниками флюїдів і мали велику проникність, вони заповнюються закріплюючим агентом, наприклад, кварцовим піском. Під дією гірничого тиску заповнені кварцовим (або штучним) піском тріщини повністю не зникають, завдяки чому збільшується фільтраційна поверхня свердловини. Іноді включаються в роботу зони пласта з кращою проникністю.

ГРП застосовуються в будь-яких породах, за виключенням пластичних сланців та глин. Цей метод служить не для відновлення природної проникності порід, а до їх значного збільшення. Сучасні, найбільш освоєнні в Україні, технології ГРП передбачають звичайно заповнення тріщин піском вагою більше 10 т і застосовуються для збільшення поточного дебіту нафтових, газових або приймальності нафтогазових свердловин в низькопроникних ( $k < 0,05$  мкм<sup>2</sup>) пластах не менше товщиною п'яти метрів, які залягають на глибинах до 3500 м, а

також в пластах з дещо більшою проникністю, але які попередньо забруднені в привибійній зоні під час спорудження або в процесі експлуатації свердловин. При збільшенні піску, який подається в тріщину, до 20 т здійснюється глибопроникний ГРП, який забезпечує різке збільшення фільтраційної поверхні, зміну характеру впливу рідини від радіального до лінійного з підключенням нових зон пласта, ізольованих від свердловини внаслідок макронеоднорідності. Тріщини такого ГРП досягають 100...150 м довжини при їх ширині 10...20 м.

Для здійснення ГРП із свердловини підіймають НКТ і інше глибинне устаткування (насосне, газліфтне), шаблонується експлуатаційну колону, спускають НКТ разом з пакером. Після встановлення пакера здійснюють опресування НКТ і пакера. Процес ГРП розпочинається з перевірки прийнятності свердловини при найменшій витраті рідини розриву з поступовим її збільшенням, наприклад, 225, 450, 950 та 1500 м<sup>3</sup>/добу) і аж до значення, при якому забезпечується закріплення тріщин. Далі закачується пісконосій з піском при постійній або зростаючій витраті рідини і при концентрації піску  $K_{\text{піску}} = 40...250 \text{ кг/м}^3$ , яка залежить від в'язкості рідини, її фільтрівності в пласт і величини витрати. На стадії завершення ГРП потрібно витіснити суміш рідини з піском із свердловини в пласт продавлювальною рідиною і закрити НКТ для зниження тиску до атмосферного. Опісля піднімають НКТ з пакером і спускають глибинне устаткування для експлуатації свердловини. Для ГРП на свердловину завозять необхідну кількість закріплюючого агента (кварцового піску) (наприклад,  $C = 10...20 \text{ т}$ ) з фракціями 0,6...1,0 мм або 1,0...1,6 мм, рідину розриву пласта, рідину-пісконосій, рідину для продавлювання в пласт пісконосія в об'ємі тієї частини свердловини, по якій її закачують. Рідина розриву пласта повинна бути сумісною з пластовими флюїдами, добре фільтруватися в низькопроникну породу і, не зменшуючи її проникності, не горіти, бути доступною, недорогою, а тому в її ролі найчастіше застосовуються водні розчини ПАР.

Рідина-пісконосій повинна бути сумісною з пластовими флюїдами, мати здатність утримувати пісок, погано фільтруватися через поверхню тріщин, не

горіти, бути доступною і недорогою. Для звичайних ГРП найкраще застосовувати водні розчини ПАВ (0,1...0,3%) і полімерів (ПАА, КМЦ, ССБ).

Утворення нових тріщин або розкриття існуючих можливе при умові, що створений в пласті тиск при нагнітанні рідини з поверхні повинен бути більшим від гірського тиску, а для створення нових тріщин - ще й міцності порід. При утворенні нових тріщин спостерігається різке зменшення тиску на гирлі свердловини (на 3-7 МПа), якого, правда, інколи можна і не помітити.

Розкриття існуючих тріщин відбувається при незмінному тиску або при його незначному збільшенні. В обох випадках спостерігається ріст коефіцієнта прийнятності свердловини  $K_{пр}$ , який після ГРП повинен збільшитися не менше, ніж в 3-4 рази, що вважається критерієм можливості закріплення тріщин піском.

Тріщини ГРП в неглибоких свердловинах (до 900 м) мають горизонтальну орієнтацію, а в глибоких - вертикальну або похилу, близьку до вертикальної. Розвиток тріщин відбувається в такій площині, де є найменші сили опору або де є найменший гірський тиск.

Вібросейсмічна дія на пласт. Спостереження за підвищенням дебітів нафтогазових свердловин і тиску пластів в час і після землетрусів послужили основою дослідження впливу вібраційно-сейсмічних процесів на нафтогазові поклади. Наприклад, землетрус в Південній Каліфорнії в 1952 р. викликав підвищення тиску на гирлі фонтануючих свердловин у декілька разів. Землетрус в Дагестані в 1970 р. призвів до того, що в радіусі більше 200 км від епіцентру підвищився видобуток нафти. Роботи по дослідженню направленої сейсмічної дії з поверхні на нафтогазові поклади для інтенсифікації видобутку проводяться в Інституті фізики Землі РАН, ВНИИНефти, ВНИИЯГГе та ін. [2].

В даний час розроблені невибухові поверхневі віброджерела – віброплатформи, які працюють в діапазоні частот від 5 до 100 Гц.

Дія на пласт здійснюється генеруючими пружними коливаннями низької частоти. У сейсмічному полі процес гравітаційного розділення в обводненому нафтогазовому пласті може бути прискорений на 2-3 порядки. При цьому змінюються фазова проникність і градієнт капілярного тиску. Збільшення

нафтогазовіддачі пластів відбувається за рахунок істотного зниження в'язкості нафти, збільшення її рухливості і залучення до розробки капілярно-зв'язної нафти, а також ізольованих скупчень нафти, що містить важкі фракції, не охоплених розробкою, і в результаті інтенсифікації акумуляції розсіяних крапель нафти в обводнених зонах в більшій і рухливішій з'єднання.

Джерела, що генерують пружні коливання, розташовують як на поверхні, так і в свердловинах. Фахівцями ВНИИНефти розроблена технологія ударно-хвильової дії, в якій джерелом збудження коливань великої потужності служить верстат ударно-канатного буріння УГБ-ЗУК. Ударно-силові дії заданої частоти передаються бойком на оголовок по узгодженій компоновці на випромінювач, зацементований в свердловині в інтервалі продуктивного пласта. Енергія ударної хвилі, що формується в нижній частині узгодженої компоновки затухає поступово при віддаленні від збуджуючої свердловини. Метод рекомендований до промислового освоєння на родовищах Башкортостану.

Вибійне низькочастотне джерело пружних коливань типу «падаючий вантаж» використовується як складові елементи промислових генераторів, розроблених фахівцями Інституту фізики Землі РАН, ВНИИГеосистем та іншими організаціями.

Метод майданчикової віброейсмичної дії низькочастотними хвилями, що розповсюджуються по гірській породі на великі відстані від джерела коливань, забезпечує високі коефіцієнти обхвату і може стати основою ефективної технології дорозробки обводнених нафтогазових родовищ.

На рисунках 1.1 та 1.2 наведено класифікацію методів та засобів підвищення продуктивності свердловин.

## Підвищення гідродинамічного взаємозв'язку свердловини з пластом

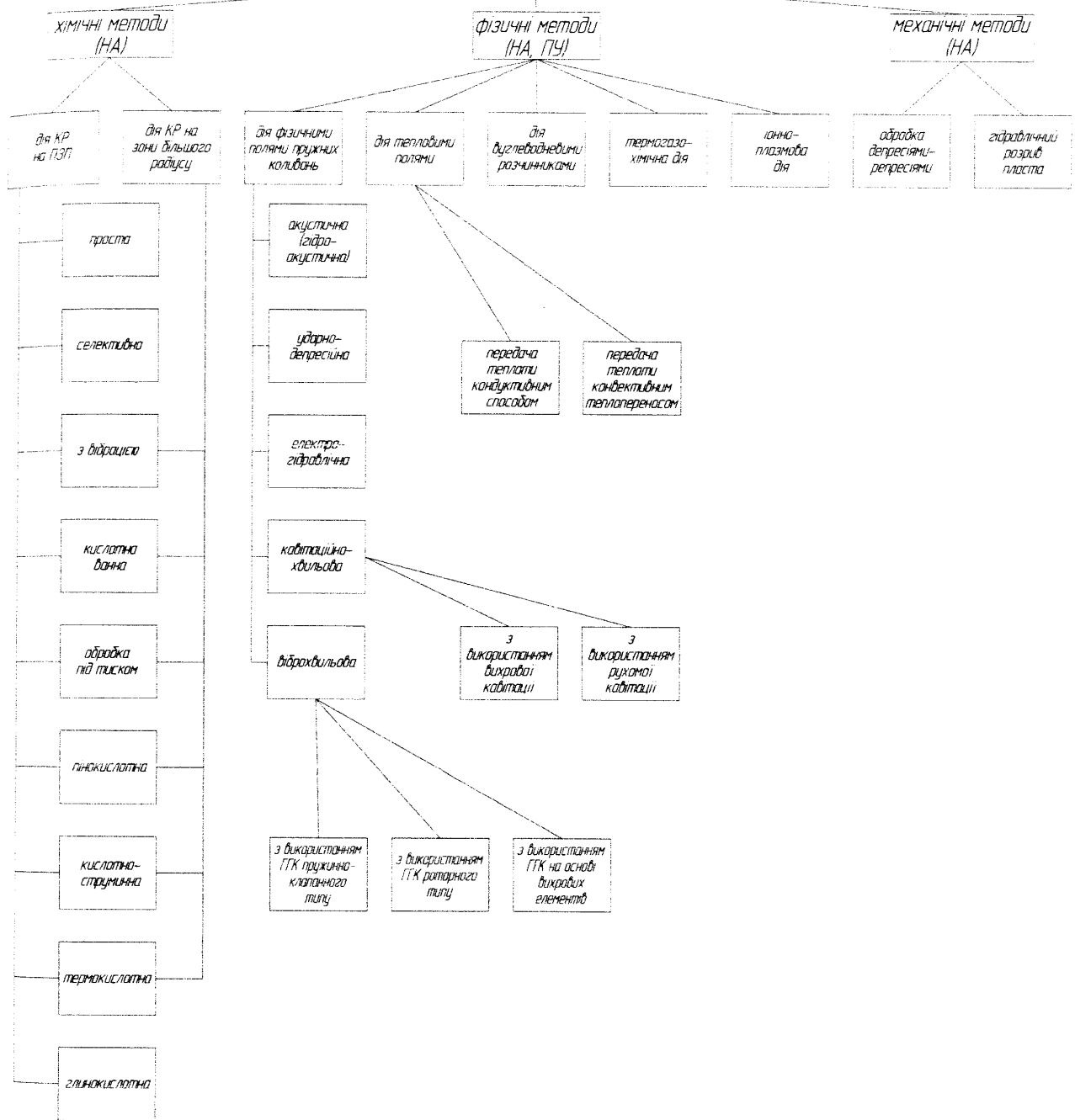


Рисунок 1.1 - Класифікація методів та засобів підвищення продуктивності свердловин (підвищення гідродинамічного взаємозв'язку свердловини з пластом)



## 1.2 Аналіз методів і засобів підвищення продуктивності нафтогазових свердловин імпульсно-хвильовою дією на пласт

Спосіб інтенсифікації видобутку нафти імпульсно-хвильовою дією на продуктивний пласт є одним із перспективних. Дана технологія не потребує високовартісних обладнання та хімічних сполук, виконується за допомогою штатного нафтогазопромислового обладнання. Не відбувається забруднення навколишнього середовища. Вперше метод обробки привибійних зон нагнітальних і видобувних свердловин, що використовує імпульсно-хвильову дію, був випробуваний на нафтогазових промислах ще в 60-х роках, і відразу ж були отримані достатньо обнадійливі дані щодо його технологічної ефективності. Проте подальший досвід показав, що для досягнення високої успішності і рентабельності методу, у разі його застосування в ускладнених геолого-промислових умовах експлуатації свердловин необхідне проведення цілого ряду теоретичних, лабораторних і промислових досліджень, конструкторських і технологічних розробок.

Розглянемо загальний принцип здійснення імпульсно-хвильової дії на пласт. Суть його полягає в створенні пружних коливань у привибійній і в міжсвердловинній зоні пласта. Для цього необхідно передати енергію з поверхні до опущеного обладнання, або створити коливання необхідної потужності на поверхні та забезпечити їх передачу до пласта. Для реалізації цих процесів різні групи науковців підходили по-різному. Великий внесок у вивчення даного питання зробили як українські, так і закордонні вчені [5-19]: Бойко В.С., Василюк Ю.М., Векерик В.І., Возний В.Р., Гадиєв С.М., Гошовський С.В., Давиденко О.М., Дибленко В.П., Дорошенко В.М., Єгер Д.О., Зарипов Р.К., Зарубін Ю.О., Зезекало І.Г., Камалов Р.Н., Карпаш О.М., Кічігін А.Ф., Климишин Я.Д., Кондрат Р.М., Кузнєцов О.Л., Кучернюк А.В., Мирзаджанзаде А.Х., Мислюк М.А., Нагорний В.П., Світлицький В.М., Симкин Э.М., Сургучев М.Л., Тарко Я.Б., Токарев В.С., Чекалюк Е.Б., Чернов Б.О., Яремійчук Р.С. та ін.

Розглянемо процеси дії пружними коливаннями на привибійну зону пласта з метою підвищення продуктивності нафтогазових свердловин із залученням понять градієнтів тиску. Градієнти тиску у привибійній зоні пласта створюються свердловинними, або наземними гідравлічними генераторами пружних коливань.

Аналіз процесів дії пружними коливаннями на привибійну зону пласта із залученням понять градієнтів тиску є правомірним у зв'язку з тим, що розглядаються процеси, які проходять у свердловині і в зонах пласта з лінійними розмірами, що не перевищують довжин хвиль пружних коливань з частотами від одиниць до кількох тисяч герц. Так, наприклад, за [20-22] різке зниження проникності пласта у пристовбурній зоні спостерігається на відстанях від декількох сантиметрів до 1,5-2,0 м.

У даному дослідженні розглядаємо імпульсний режим роботи гідравлічного генератора, при якому у рідинному середовищі свердловини створюються імпульси тиску.

Гідроімпульси тиску, діючи з певною частотою повторення на оточуюче свердловинне шарувате середовище (вода-сталь-цемент-пласт), збуджують у пласті хвильові пакети пружних загасаючих коливань певної тривалості.

Параметри хвильових пакетів (максимальна амплітуда коливань у пакеті, тривалість пакету) визначаються як акустичними характеристиками пласта (добротність, швидкість розповсюдження і коефіцієнт поглинання пружних коливань, акустичний опір), так і параметрами послідовності гідроімпульсів тиску (амплітуда, частота повторення імпульсів). Зі збільшенням частоти повторення пакетів шпаруватість послідовності пакетів (відношення періоду повторення до тривалості пакету) буде зменшуватися [23].

Так, результати досліджень представлені у [24] показують, що при діях на пісковик механічними імпульсами тиску інтенсивністю  $90 \text{ Вт/см}^2$  у пласті створюються хвильові пакети у спектральному розкладі яких переважають гармонічні складові у діапазоні частот 20-1000 Гц, а тривалість пакетів у середньому становить 0,1 с. Таким чином, при частоті повторення пакетів 10 Гц, шпаруватість даної послідовності пакетів буде дорівнювати одиниці.

Виходячи із наведених значень спектрів частот, швидкостей акустичних хвиль у середовищах свердловинного простору і продуктивного пласта, а, звідси, і довжин акустичних хвиль у цих середовищах, характерних геометричних розмірів середовищ, де нас цікавить вплив пружних коливань на пласт, можна, як це відмічено у [21], використати нехвильові методи аналізу, засновані на понятті градієнта тиску  $gradp$ :

$$gradp = \frac{dp}{dl} \approx \frac{\Delta p}{\Delta l}, \quad (1.2)$$

де  $\Delta p$  – перепад (зміна) тиску між двома одиничними ділянками середовища (ізотропного і однорідного у прийнятому напрямі), взаємновіддаленими на відстань  $\Delta l$ .

У ході експлуатації свердловини, у процесі фільтрації внаслідок привнесення у привибійну зону пласта різного типу кольматуючих частинок пластовий флюїд перетворюється в привибійній зоні пласта на колоїдно-дисперсну структуру, що є неньютонівською рідиною [21, 25,26]. Вказана рідина створює значний гідравлічний опір під час руху флюїду, що спричинює падіння дебіту свердловини. Для початку руху неньютонівської рідини у порах пласта граничний градієнт тиску можна оцінити з допомогою наступної нерівності [21, 25]:

$$gradp > \frac{\tau_0}{K_{np}^{1/2}}, \quad (1.3)$$

де:  $\tau_0$  – гранична напруга зсуву, яка відповідає мінімальному перепаду статичного тиску, що викликає руйнування просторової сітки колоїдно-дисперсної системи;

$K_{np}$  – коефіцієнт проникності пласта.

У нашому випадку, тиск змінюється у часі. Ця зміна тиску (так само як і фронт тиску) переміщується у середовищі зі швидкістю  $Cn$  розповсюдження акустичних хвиль у цьому середовищі (фізика цих явищ одна і та ж). За час  $\Delta t$  фронт тиску пружної хвилі  $\Delta p$  пройде відстань  $\Delta l$  із швидкістю  $Cn$ , звідси отримуємо:

$$gradp = \frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{\Delta p}{Cn \cdot \Delta t} = \frac{\frac{\Delta p}{\Delta t}}{Cn} \quad (1.4)$$

Швидкість розповсюдження пружних коливань  $Cn$  у середовищі є величиною постійною, яка визначається фізичними параметрами середовища (у нашому випадку продуктивного пласта). Чисельник виразу (1.4) дорівнює швидкості зміни тиску у часі. Як відомо з теорії гармонічного аналізу [27-29], чим коротші фронти імпульсних процесів, тим більші амплітуди вищих гармонічних складових, на які розкладаються імпульсні процеси. Звідси випливає, що з врахуванням (1.4) ми можемо отримати одні і ті ж градієнти тисків як за високочастотних дій, так і за низькочастотних, але достатньо великих за амплітудою (по перепадах тисків).

Як було сказано вище, наявність малопроникної зони продуктивного пласта, яка оточує перфоровану зону свердловини, обумовлена утворенням в пласті колоїдно-дисперсної системи, яка являє собою “корок” з розмірами стінки по товщині не більше 1,5-2,0 м. При таких геометричних розмірах “корка” коефіцієнт проходження пружної енергії знаходиться на рівні 0,6 [20]. Тому у близькій зоні пласта – на відстанях до кількох метрів від стінки свердловини – форми акустичних імпульсів тиску (хвильових пакетів), які утворюються від дії на пласт гідроімпульсів тиску, змінюються мало.

Якщо, згідно з (1.3), створити по всій товщині “корка” колоїдно-дисперсної системи крутизну переднього фронту хвильового пакету  $\frac{dp}{dl} \approx \frac{\Delta p}{\Delta l}$  достатню для створення  $gradp$ , який викликає руйнування структури колоїдно-дисперсної системи, то неньютонівська рідина у привибійній зоні пласта стає більш плинною і може бути витіснена у свердловинний простір. Витиснути зруйновану структуру колоїдно-дисперсної системи з пласта необхідно тому, що вона здатна самовідновлюватись [21, 26]. З цієї точки зору, доцільним є поєднання імпульсних акустичних дій з одночасною депресією на пласт.

Виходячи із вище наведеного, можна зробити висновок, що аналіз процесів механічних дій на привибійну зону пласта із застосуванням понять градієнтів

тиску дає змогу зв'язати фізико-механічні характеристики системи "пласт-колектор-пластовий флюїд" з необхідними значеннями градієнтів тиску у пласті, створюваних з метою зміни характеристик вказаної системи.

Дійсно, вираз (1.3) визначає величину градієнта тиску, необхідну для зміни фізико-механічних характеристик системи пласт-флюїд. Знаючи радіус зони зміненої проникності і градієнт тиску, який повинен діяти в цій зоні, можна визначити технічні параметри свердловинного генератора імпульсів тиску для конкретних свердловин.

Для забезпечення дії градієнту тиску по всій довжині радіуса зони зміненої проникності розраховане значення  $\Delta l$  повинно бути більшим фактичного значення радіуса зони зміненої проникності  $R$ . Значення  $\Delta l$  залежатиме від амплітуди і тривалості переднього фронту імпульсів тиску, а також від значення  $Cn$ .

Величина  $gradp$ , необхідна для розриву зв'язків між коагулюючими частинками кольматанту, визначається за виразом (1.3) для конкретного пласта, виходячи із величини граничної напруги зсуву пластового флюїду  $\tau_0$  і коефіцієнта проникності пласта  $K_{np}$ . Згідно з виразом (1.4) необхідну амплітуду імпульсів тиску у поровому середовищі пласта можна визначити зі встановленого для конкретного пласта значення  $gradp$ , тривалості переднього фронту хвильових пакетів  $\Delta t$ , а також величини радіуса зони зміненої проникності  $R$ . У першому наближенні тривалість переднього фронту хвильових пакетів можна прийняти як час наростання амплітуди коливань у пакеті від мінімального до максимального значень який з достатньою для практичних розрахунків точністю відповідає передньому фронту гідроімпульсів тиску, створюваних гідрогенератором у свердловинному середовищі. Вказане диктується потребою у простому інженерному розрахунку параметрів послідовності гідроімпульсів тиску, які діють із свердловини на пласт. Час наростання тиску у свердловині (тривалість переднього фронту імпульсу тиску) можна визначити з допомогою швидкодійного електронного манометра.

Значення  $R$  обчислюють за результатами гідродинамічних досліджень пласта на основі стандартних методик, а тривалість переднього фронту імпульсу

тиску для конкретного імпульсного генератора встановлюють не меншою відношення  $R/Cn$ .

Після імпульсно-хвильової дії створюється оптимальна для конкретних геолого-технічних умов депресія на пласт з допомогою стандартних технологій та обладнання з метою видалення кольматанту із привибійної зони пласта.

Затримки зі створенням депресії на пласт призводять до повторної коагуляції частинок кольматанту (самовідновлення коагуляційних структур) і тим самим до повторного блокування привибійної зони пласта. У зв'язку з цим для створення депресій доцільним є використання струминних насосів, які дозволяють в широких межах плавно змінювати вибійний тиск. Конструктивне поєднання гідравлічного генератора імпульсів тиску і струминного насосу дає змогу ефективно очищувати від кольматуючих речовин привибійну зону пласта. Після імпульсно-хвильової дії на пласт з допомогою струминного насоса проводиться вибір оптимального значення депресії, за якої кількість кольматуючих речовин в пробах рідини, що беруться на викиді циркуляційної системи, через рівні проміжки часу буде мінімальною, а приплив рідини з пласта буде стабільним.

Найбільш розповсюдженими у даний час є технічні засоби і методи імпульсно-хвильової дії на пласти із використанням глибинного обладнання встановленого на вибої свердловини [30-48].

Методи та обладнання для імпульсно-хвильової дії на продуктивні пласти можна поділити на групи (рис. 1.3).

До першої групи можна віднести:

- комплексну технологію гідроімпульсно-реагентного впливу з використанням струминних пристроїв стаціонарного або вставного типу (УКОП-1М, НСВ-2) разом із генераторами хвильових коливань [49];

- технології та обладнання для дії на закольматований пласт гідравлічними імпульсами тиску регульованої амплітуди з використанням гідроударних пристроїв: у пласті створюються знакозмінні градієнти тиску – до 1,5 МПа/м; амплітуда імпульсів тиску – 5 МПа [50];

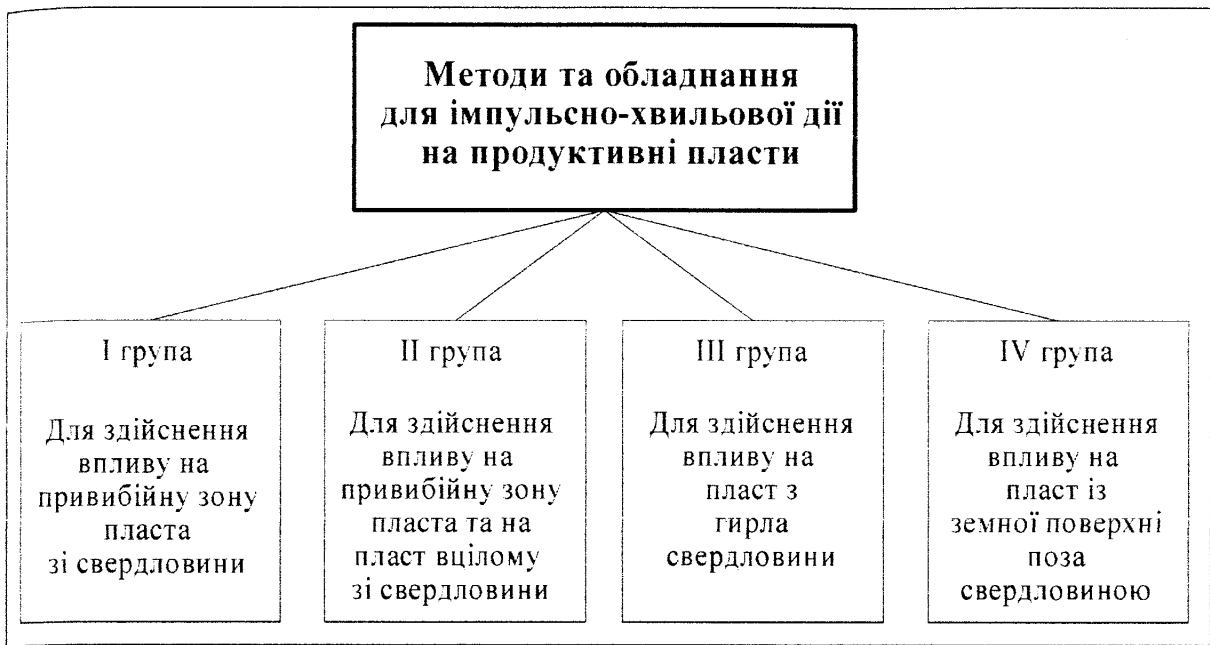
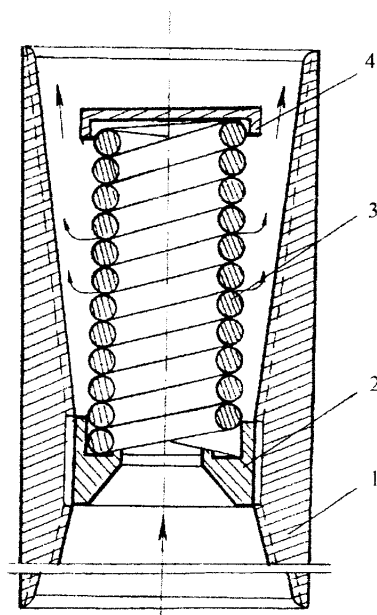


Рисунок 1.3 – Класифікація методів та обладнання для імпульсно-хвильової дії на продуктивні пласти

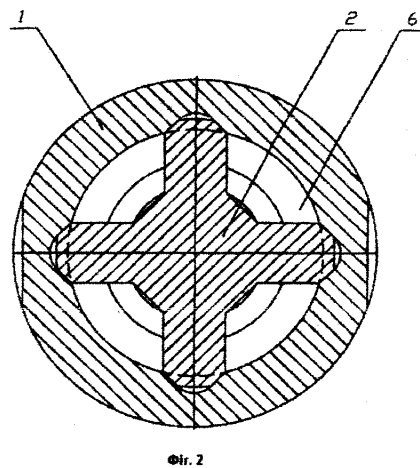
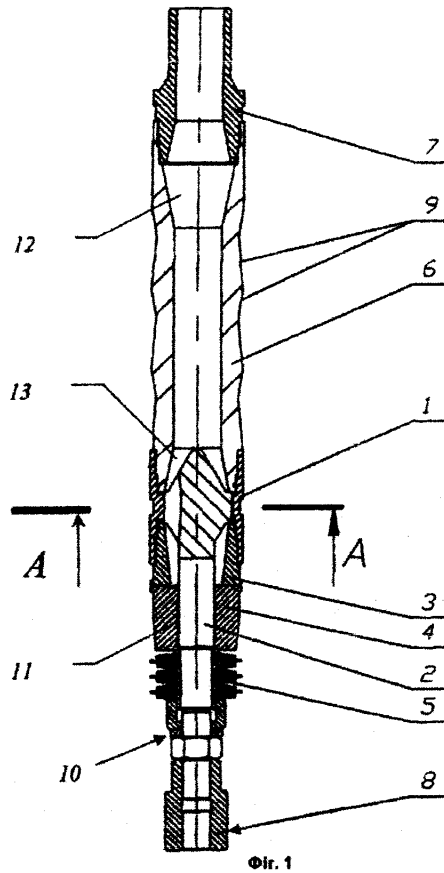
- гідравлічний вібратор пружинного типу (рис. 1.4): максимальна амплітуда гідроудару – 1,8-2,5 МПа, оптимальна витрата рідини – 6-8 л/с [51];



1 – корпус, 2 – втулка, 3 – пружина розтягу, 4 - заглушка

Рисунок 1.4 – Гідравлічний вібратор пружинного типу

- пристрій для очищення привибійної зони свердловини (рис. 1.5) з використанням генератора імпульсів (передввімкнений та основний кавітатор) та зістикованого з ним молекулярно-хвильового кавітатора [52];

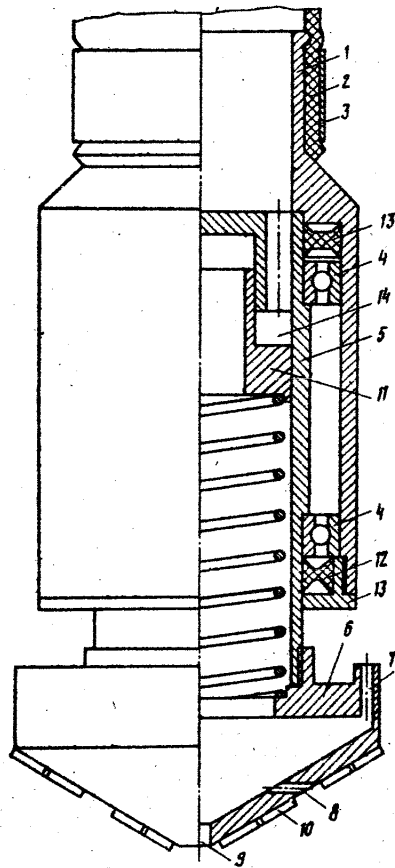


1 – корпус, 2 – напрямна, 3 – втулка, 4 – заглушка, 5 – пружини, 6 – втулка, 7 – перехідник, 8 – хвостовик, 9 – кільцеві виточки, 10 – фіксатор, 11 – ущільнюючі кільця, 12 – конус звужений, 13 – конус розширений

Рисунок 1.5 – Пристрій для очищення привибійної зони свердловини

- прилад для ультразвукового впливу на пласт з випромінювачем ультразвуку, виконаний з можливістю випромінювання не менше двох частот ультразвукових коливань [53];

- роторний пристрій для очищення свердловин від піщаних пробок (рис. 1.6), в якому втулка та пружина вставлена в порожнистий вал, є пульсатором [54];

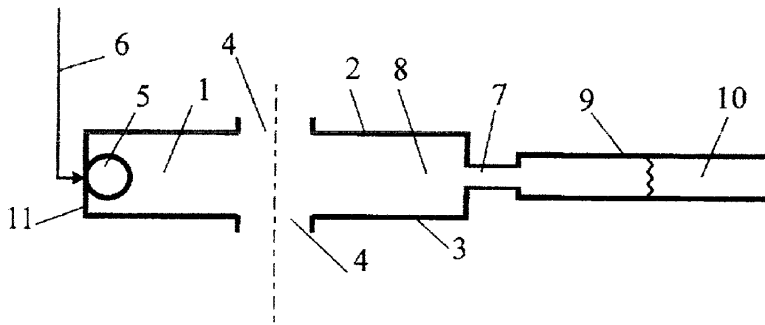


1 – корпус, 2 – рукав, 3 – замок, 4 – підшипники, 5 – вал, 6 – головка, 7 – отвори зворотньо-осьові, 8 – отвори тенденційні, 9 – отвори осьові, 10 – зубці, 11 – втулка, 12 – сальники, 13 – кришка, 14 – камера

Рисунок 1.6 – Роторний пристрій для очищення свердловин

- імпульсний пристрій з генератором пружних коливань [55];

- гідродинамічний генератор коливань вихрового типу [56] (рис. 1.7);



1 – камера закручування, 2, 3 – торці, 4 – сопло, 5 – канали закручування,  
6 – напірна магістраль, 7 – канал, 8 – вхід, 9 – магістраль, 10 – пружна камера,  
11 – направляючі

Рисунок 1.7 – Гідродинамічний генератор коливань вихрового типу

- генератори пружинно-клапанного та клапанно-ударного типу (пульсатор вставний ПВ-54, клапанно-ударний вібратор КУВ-100, генератор клапанний ГК-2 (рис. 1.8, 1.9): амплітуда коливань – 0,04...0,15 МПа, частоти коливань – 10... 6000 Гц [3];

- гідравлічні перетворювачі-«свистки» (генератори ГАП, ГД108-УНИ, свердловинні генератори СГГК) [3];

- газоструминні акустичні випромінювачі, випромінюючою потужністю до 0,5 кВт [57-61].

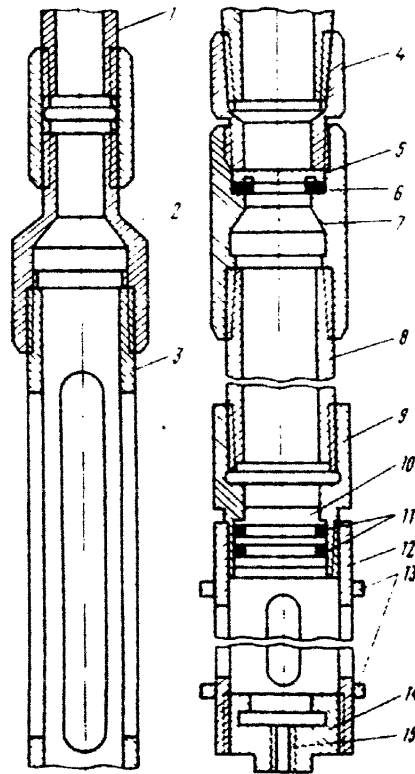
- гідравлічні роторні перетворювачі-«сирени» (гідравлічний вібратор золотникового типу ГВЗ-108 (рис. 1.10): амплітуда коливань – 0,06...0,47 МПа, частоти коливань – 50... 4700 Гц [3];

- вихровий акустичний випромінювач розроблений ІФІНГ [62]

- гідродинамічні генератори на основі вихрових підсилювальних відцентрових форсунок (ГЖ-2, ГЖ-11, ГД2В-3, ГД2В-6): амплітуда коливань – 0,5... 2,1 МПа, частоти коливань – 20... 250 Гц [3];

- генератори імпульсного типу [63] (рис. 1.8);

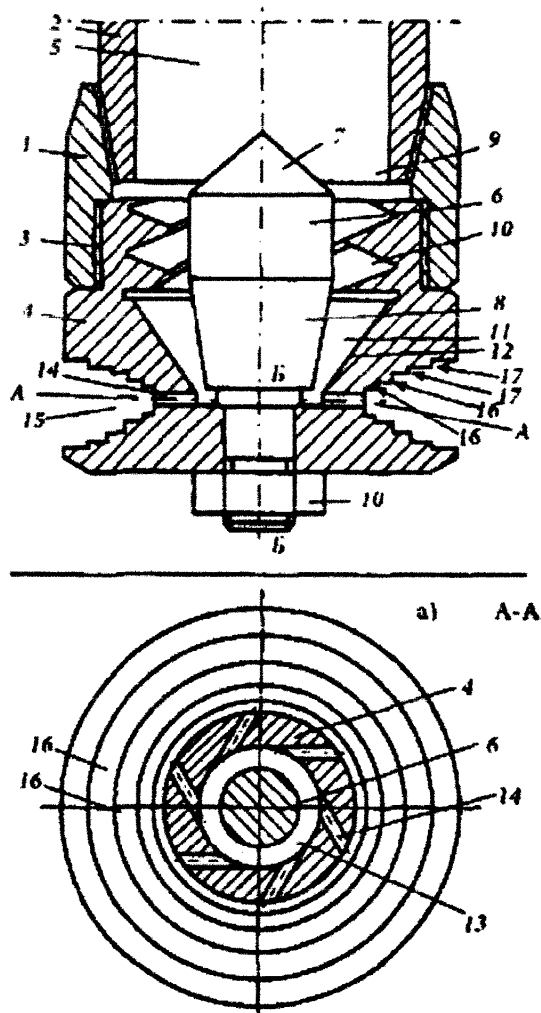
- пристрій для проведення гідроударів на привибійну зону пласта на базі струминного насосу [64];



1 - НКТ, 2,9 - перевідники, 3 - направляючий патрубкок, 4 - перехідник,  
 5 - мембрана-заглушка, 6 - прокладка, 7 - спецмуфта, 8 - корпус,  
 10 - плунжер, 11 - ущільнюючі кільця, 12 - пастка, 13 - концентратори  
 тиску, 14 - гайка з запобіжним кільцем, 15 - отвори для крешерного приладу

Рисунок 1.8 – Генератор імплзійного типу

- комплекс свабування для дії на привибійну зону пласта гідродинамічними віброударними полями [3];
- гідроакустичний випромінювач: діапазон частот – 100...10000 Гц, граничний звуковий тиск – до 1...2 МПа, інтенсивність – до 50 кВт/м<sup>2</sup> [65];
- саморухомий золотниковий вібратор: діапазон частот – 100...500 Гц, імпульсний тиск – до 15 МПа [65];
- п'єзокерамічний випромінювач: діапазон частот – 1...100000 Гц, інтенсивність – до 50 кВт/м<sup>2</sup>, електроакустичний коефіцієнт корисної дії – до 50...60% [65];
- кавітаційно-пульсаційний вплив на привибійну зону пласта [66] (рис. 1.9).



- 1 – перехідник, 2 – колона НКТ, 3 – різьба, 4 – корпус пристрою, 5 – осьовий канал, 6 – обтічник, 7 – прямий конус, 8 – зворотний усічений конус, 9 – кільцевий канал, 10 – гвинтові тризахідні канали трикутного перерізу, 11 – конічний конфузоз, 12 – конусна поверхня корпусу, 13 – кільцева вихрова камера, 14 – критичні отвори, 15 – канал, що розширюється у вигляді кільця, 16 – кільцеві виточення, 17 – вершини кільцевих виточень, 18 – контргайка, 19 - хвостовик

Рисунок 1.9 – Схема однокаскадного пристрою (пульсатора)

Результати досліджень різних гідродинамічних генераторів коливань тиску зведені до таблиці 1.1. На рисунках 1.10-1.12 показані спектрограми і осцилограми сигналів із датчиків коливань тиску під час роботи генераторів різних типів.

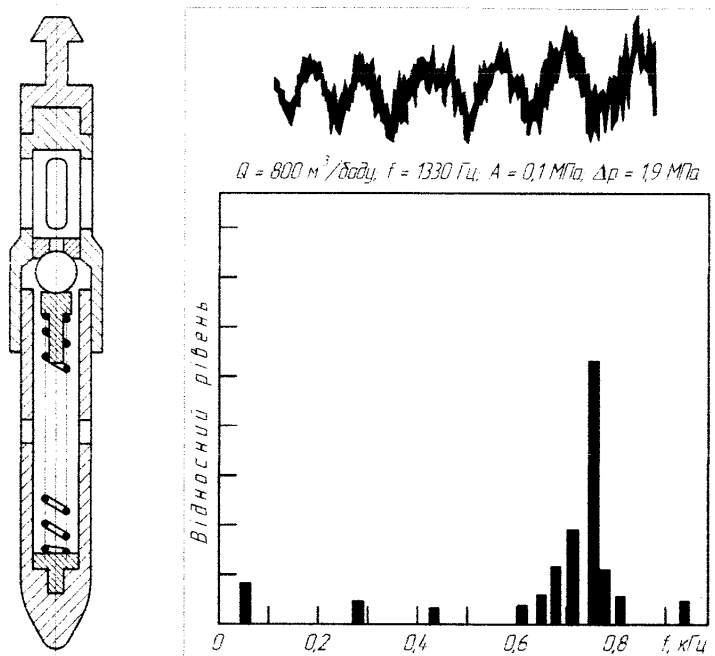


Рисунок 1.10 – Осцилограма і спектрограма сигналів із давачів під час роботи генератора коливань тиску пружинно-клапанного типу ПВ-54

До другої групи можна віднести:

- пристрої генерування електромеханічних коливань ( електрогідравлічні, п'єзокерамічні та магнітострикційні випромінювачі) [67-73].
- технологію акустичної реабілітації свердловин і пластів з використанням свердловинних п'єзокерамічних випромінювачів [74];
- технологію вібросейсмохімічної дії на пласт, яка містить генератор сейсмічних хвиль та пружинно-клапанний пульсатор, в якому частота дії сейсмічними хвилями становить 0,25...0,5 Гц, частота гідравлічних імпульсів тиску – 5...25 Гц [75];
- пристрої, які генерують механічні коливання із використанням енергії вибуху [76-81];

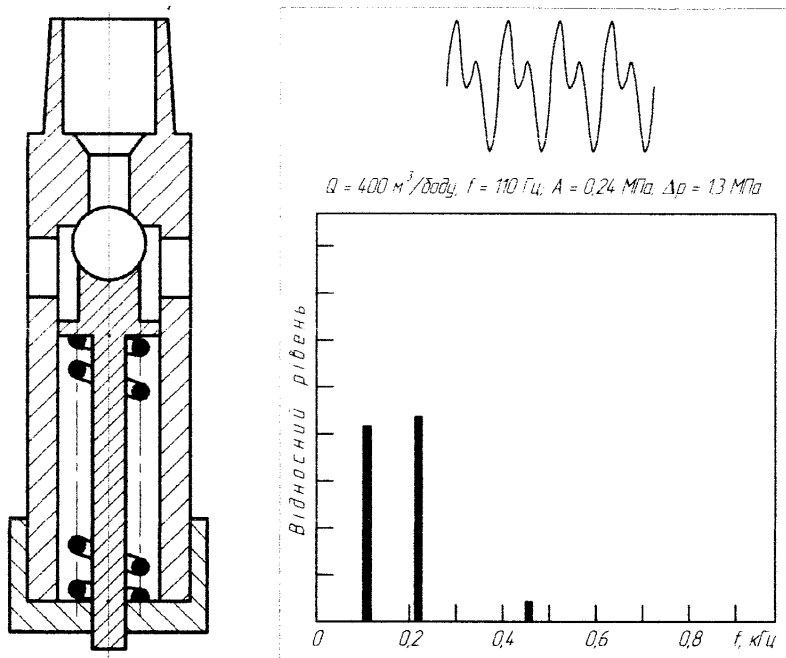


Рисунок 1.11 – Осцилограма і спектрограма сигналів із датчиків під час роботи генератора коливань тиску пружинно-клапанного типу ГК

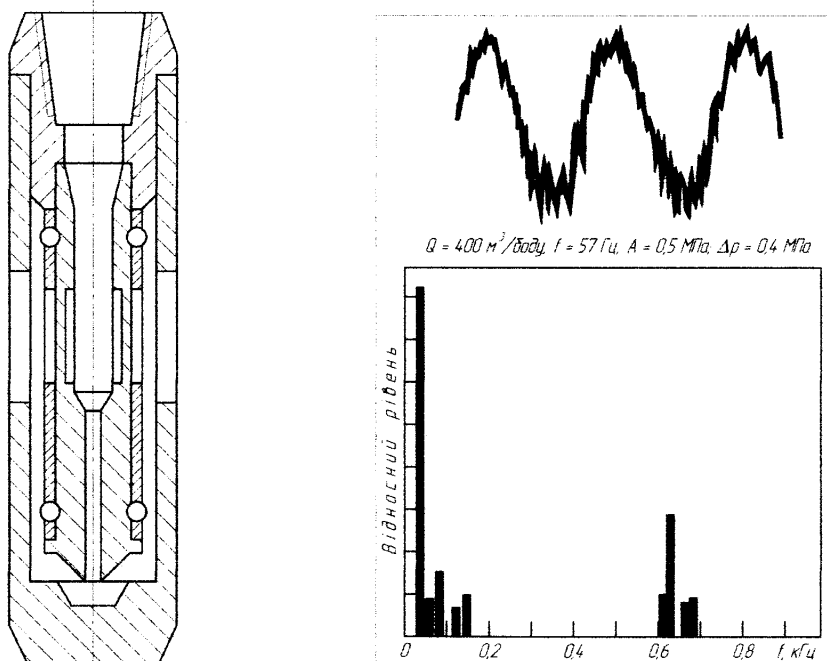


Рисунок 1.12 – Осцилограма і спектрограма сигналів з датчиків при роботі генератора коливань тиску золотниково-роторного типу ГВЗ-108

- метод ударно-хвильової дії з використанням переобладнаного свердловинного штангового насоса [2];

- технологія ударно-хвильової дії, в якій джерелом коливань є верстат ударно-канатного буріння УГБ-ЗУК [2];

- електрогідравлічні методи дії на пласт, в яких для створення імпульсів тиску використовується ефект від електричного пробою свердловинної рідини між електродами [2];

- електрогідравлічну дію [82];

- магнітострикційний випромінювач з характеристиками: діапазон частот – 1...150000 Гц, гранична інтенсивність – до 50 кВт/м<sup>2</sup>, електроакустичний коефіцієнт корисної дії – до 40% [65];

- комплекс “Лотос”, який містить крім іншого п'єзокерамічний випромінювач з робочою частотою – 8000 Гц [65];

- акустичні установки АКУ з характеристиками: акустична потужність – 0,6...1,2 кВт, радіус дії в пласті – 25...50 м [65];

- спосіб віброхвильового витіснення нафти з продуктивного пласта під час внутрішньоконтурного заводнення [83];

- електророзрядні та акустичні свердловинні пристрої ударно-хвильової дії [84].

До третьої групи можна віднести:

- кавітаційно-імпульсний хвильовий трансформатор енергії, параметри якого: потужність взаємодії хвиль коливань – 20 Вт/см<sup>2</sup>; тиск робочої рідини – 35...45 МПа; частоту коливань – 105...106 Гц; інтенсивність випромінювання енергії – 1,25 МВт/м<sup>2</sup> [85, 86]

- гирловий пульсатор [87].

До четвертої групи можна віднести:

- віброплатформу, яка представляє собою платформу, що встановлена на невелику ґрунтову основу глибиною до одного метра; на платформі монтується дебалансний віброзбудник коливань з приводом від електродвигуна постійного струму та вантажі [88];

- пересувний вібратор підвищеної потужності з параметрами: робочий діапазон частот – 5-100 Гц, амплітуда сили на штампі – 20 т, принцип дії – гідравлічний з електроприводом, реактивна маса – 5 т, під час роботи в «середніх» ґрунтових умовах, на осадових породах, вібратор створює на глибині 1 км сейсмічні коливання, що характеризуються швидкістю руху частинок середовища – 102 мм/с, відносними деформаціями –  $10^{-7}$ , густиною потоку енергії –  $0,01 \text{ Вт/м}^2$  [89];

- невибухові поверхневі віброджерела – віброплатформи, що працюють у діапазоні частот – 5... 100 Гц [2].

Також застосовуються комплексні установки гирлової та глибинної дії на продуктивний пласт:

- комплекс «Імпульс-7S» з параметрами: частота імпульсів – 1,2... 30 Гц; тиск – 25 МПа; енергія імпульсу – 1,2 кДж [86];

- акустична випромінювальна система, що містить у собі набір свердловинних п'єзокерамічних випромінювачів і наземних генераторів акустичної дії: у свердловині створюються акустичні потужності – понад  $5 \text{ Вт/см}^2$ , діапазон частот – 11-45 кГц [90].

«НПП Ойл-Інжиниринг» розроблено комплекс хвильових технологій, які успішно впроваджуються АНК «Башнефть», ВАТ «Татнефть», БК «Євразія» та іншими підприємствами при освоєнні свердловин:

- технологія освоєння та підвищення продуктивності свердловин з використанням комплексу віброхвильової, депресійної та фізико-хімічної дії;

- технологія комплексної віброхвильової та пінної обробки привибійної зони пласта;

- технологія гідровіброфрак;

- технологія глибокої реагентно-хвильової обробки продуктивних пластів;

- технологія термо-газо-депресійно-хвильової обробки;

- колтубінгові хвильові технології [91].

Таблиця 1.1 – Результати стендових досліджень гідродинамічних генераторів різних типів

Тип генератора, організація-розробник	Витрата рідини через генератор, м <sup>3</sup> /добу	Тиск нагнітання робочої рідини, МПа	Втрати напору (перепад тиску) на генераторі, МПа	Середньо-квадратичне значення амплітуди коливань, МПа	Розмах коливань тиску, МПа	Домінуючі частоти коливань, Гц
<i>Генератори пружинно-клапанного типу</i>						
Пульсатор вставний ПВ-54, ТатНИПИнефть	550	14,2	1,2	0,04	0,1	10; 1200; 3000; 6000
Клапанно-ударний вібратор КУВ-100	160	1,0	0,4	-	1,0	28; 110; 650
	200	1,1	0,4	-	1,2	28; 90; 410
	300	1,4	0,7	-	1,8	32; 100; 410
	400	1,6	1,0	-	3,0	38; 100; 420
	500	2,0	1,4	-	3,6	40; 100; 420
	700	8,5	7,7	-	4,2	48; 100; 600
Генератор клапанний ГК-2, БашНИПИнефть	100	5,3	0,5	0,15	0,4	100; 200
	350	6,2	1,0	0,10	0,3	100; 200
<i>Гідравлічні роторні перетворювачі-“сирени”</i>						
Гідравлічний вібратор золотникового типу ГВЗ-108, б. МИНГ і ГП	100	4,7	0,2	0,07	0,3	50; 4500
	200	5,2	0,5	0,06	0,2	62; 4700
	400	5,1	0,7	0,10	0,4	75; 4500
	600	4,8	1,2	0,25	0,8	94; 4200
	800	6,7	2,4	0,47	1,7	130; 800
<i>Гідродинамічні, на основі вихрових підсилювальних відцентрових форсунок</i>						
З одним напірним вихровим ступенем:						
	ГЖ-2	370	10,5	9,5	0,50	2,5 (4,0)
ГЖ-11	400	10,5	9,5	0,60	3,0 (5,0)	25; 75; 150
З двома напірними вихровими ступенями протилежного закручування:						
	ГД2В-3	240	8,0	7,5	0,90	4,8 (6,4)
ГД2В-6	500	8,0	7,0	2,10	8,0 (9,6)	33; 250

Хузіна Л.Б. та Габдрахімов М.С. наводять теоретичні основи роботи маятникового вузла свердловинного наддолотного вібратора [92].

У довіднику [82] наводиться аналіз роботи і розрахунок гідравлічного золотникового вібратора типу ГВЗ, а також описується електрогідравлічна дія на привибійну зону пласта.

З аналізу наведеної інформації за методами третьої і четвертої груп видно, що потужні наземні джерела пружних коливань, якими є віброплатформи, генерують коливання низьких частот (до 10 Гц) з довжиною хвилі, набагато більшою від розмірів віброплатформ. Це означає, що такі джерела коливань випромінюють сферичні хвилі. Тиск у таких хвилях падає з віддаленням від джерела на величину  $r$  за законом  $1/r$ , а інтенсивність випромінювання зменшується за законом  $1/r^2$ . Якщо, наприклад, на віддалі 1 м від джерела маємо тиск 1000 атм., то на віддалі 1000 м він буде рівний 1 атм., а потужність (інтенсивність) відповідно в  $(1000)^2=10^6$  раз меншою. Як наведено в [20], для одержання технологічного ефекту в процесі дії на продуктивний пласт інтенсивність коливань повинна бути не меншою ніж  $0,1 \text{ Вт/см}^2 = 1 \text{ кВт/м}^2$ . Значить, для одержання інтенсивності  $0,1 \text{ Вт/см}^2$  на глибині 1000 м необхідно мати джерело пружних коливань на поверхні з інтенсивністю випромінювання  $1 \text{ кВт/м}^2 \cdot 10^6$ . Створення таких інтенсивностей у пластовому середовищі є складним технічним завданням.

Методи імпульсно-хвильового впливу на пласти з допомогою глибинних генераторів різної конструкції, встановлюваних у свердловинному середовищі в зоні продуктивного пласта, є більш ефективними 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 Вибір та обґрунтування напрямку досліджень

Інтенсифікація видобутку нафти імпульсно-хвильовою дією на продуктивний пласт є однією з найперспективніших. Дана технологія не потребує дорогого обладнання та дорогих хімічних сполук, виконується за допомогою штатного нафтогазопромислового обладнання (насосні агрегати, пристрої для

промивання свердловин, струминні насоси). При цьому не відбувається забруднення навколишнього середовища. Тому не потрібно витратити кошти на відновлення екологічної рівноваги після завершення робіт.

З іншого боку, штатне нафтогазопромислове обладнання, що є на даний час є в переважній більшості підприємств галузі з часом зношується й потребує заміни. Купувати таке саме обладнання, щоб здійснювати імпульсно-хвильову дію на продуктивний пласт, є не розумно. Це пов'язано з тим, що для виконання імпульсно-хвильової дії на пласт достатньо менш потужного обладнання ніж штатне нафтогазопромислове. Отже, для даної технології необхідно проектувати та виготовляти простіше та дешевше обладнання.

Аналіз сучасного стану методів та засобів імпульсно-хвильових дій на пластове середовище показує їх велику різноманітність із застосуванням різних способів збудження пружних хвиль у пласті, великим діапазоном частот ( $0,25 \dots 10^6$  Гц) та інтенсивностей ( $0,1 \text{ Вт/см}^2 \dots 125 \text{ кВт/см}^2$ ), значною кількістю конструктивних рішень глибинного, гирлового та наземного обладнання для дій на пласти. Вказане свідчить про інтенсивний розвиток даного науково-технічного напрямку і його перспективність, в першу чергу, з точки зору підвищення нафтогазовилучення із пластів без застосування хімічних реагентів та нагрівачів, зважаючи на зменшення видобувних запасів вуглеводнів у світі. Перевагою вказаних методів і засобів є їхня екологічна чистота, ефективність, відносно низька вартість, низька енергоємність.

Незважаючи на позитивні результати, при використанні вище наведених методів та обладнання виявилось багато невирішених питань:

- 1) невелика потужність і довговічність роботи генераторів;
- 2) низький ККД генераторів;
- 3) створення генератора з необхідними частотними характеристиками для різночастотного впливу на привибійну і між свердловинну зони пласта;
- 4) складність виготовлення генераторів та незручні в користуванні;
- 5) недовговічність генераторів при роботі з рідинами, які містять абразивні забруднювачі;

б) неможливість роботи одного генератора як в рідинному так і в газовому середовищі.

Серед різноманіття пристроїв генерування пружних коливань найкращими для здійснення імпульсно-хвильових обробок привибійної зони пласта вважаються свердловинні гідродинамічні генератори пружних коливань, робота яких заснована на використанні енергії потоку рідини або газу. Режимні напірно-витратні параметри штатного нафтогазопромислового обладнання, особливо призначеного для завдань гідророзриву пластів, вельми великі, що дозволяє при достатньо високому коефіцієнті корисної дії гідродинамічного генератора створювати на вибої свердловини істотну енергонапруженість пружного коливального поля. Крім того, досить важливо, що свердловинні обробки з використанням гідродинамічних генераторів пружних коливань органічно поєднуються з штатними промисловими операціями підземного і капітального ремонту свердловин і з операціями більшості традиційних методів обробок ПЗП і пласта.

До теперішнього часу відомо досить багато конструкцій гідродинамічних свердловинних генераторів коливань тиску, розроблених різними організаціями і у зв'язку з проблемами нафтогазовидобутку, і для використання в інших галузях промисловості. Проте, в більшості випадків у відомих конструкцій генераторів відсутні обґрунтовані параметри коливань тиску. Найчастіше випробування розробленого і виготовленого зразка зводиться безпосередньо до проведення обробок свердловин, за наслідками яких робиться висновок про практичну цінність тієї або іншої конструкції, а потім на його основі видаються рекомендації до впровадження. Використання недостатньо обґрунтованих технологій, відсутність об'єктивних даних про рекомендовані параметри генераторів коливань призводять до зниження успішності перспективного методу і, як наслідок, до падіння інтересу до нього з боку нафтогазовидобувних підприємств.

У зв'язку з цим проведення стендових і промислових досліджень різних конструкцій гідродинамічних генераторів з об'єктивною апаратною оцінкою їхніх робочих параметрів, можливостей функціонування за різних умов обробок

свердловин необхідне як для правильного призначення режимних технологічних операцій конкретного пристрою, так і для визначення найбільш перспективних напрямів подальших дослідженнях, дослідно-конструкторських і впроваджувальних робіт.

При узагальненні представлених вище результатів і висновків можна визначити конструктивні і технологічні вимоги до гідродинамічних генераторів, призначених для імпульсно-хвильової дії на ПЗП і що забезпечує максимальну ефективність, а також рентабельність обробок свердловин.

Генератор повинен збуджувати на вибої заповненою рідиною свердловини достатньо високоамплітудні коливання тиску в діапазоні частот 20-300 Гц з можливістю регуляції частоти і настроювання на вибрані частоти об'єкту. Частоти і амплітудний режим генерації повинні бути стабільними і мало залежати від зовнішніх умов і ступеня зносу вузлів генератора. У конструкціях генераторів необхідно виключити рухомі механічні вузли, як найбільш схильні до зносу, особливо в умовах забрудненості і агресивності рідкого середовища, що сильно зменшують їх загальний моторесурс.

Генератори не повинні при роботі створювати надмірні ударні навантаження всередині конструкцій. Коливальні ударні явища повинні створюватися безпосередньо в перфораційних отворах свердловини і ПЗП, за умови використання резонансних властивостей свердловинних і пластових систем і налаштування частоти пульсацій витрати на вибрані частоти об'єкту. Ця умова може забезпечуватися при генерації пристроєм коливань витрати і перетворенні їх в коливання тиску. Подібний режим генерації забезпечує і високу надійність роботи пристрою, і високий ККД, і енергетичну ефективність імпульсно-хвильової дії. При цьому не існує помітних обмежень на збільшення потужності генерації коливань при використанні реальних свердловинних гідродинамічних генераторів.

Також в даному напрямку невирішеними залишаються наступні науково-технічні проблеми:

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

- теоретичне обґрунтування та експериментальне визначення впливу пружних коливань різних частот та інтенсивностей на зміну швидкості та напрямку фільтраційних потоків у поровому середовищі міжсвердловинної зони пласта для різних режимів розробки нафтових та 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 вище наведене, зосередимо увагу на вирішенні таких питань:

1) підвищення ККД при передачі енергії та створенні коливань;

2) використання в якості енергоносія як рідини так і газу для створення широкосмугових акустичних коливань на вибої свердловини.

Для вирішення першого пункту найпростішим способом переходу енергії потоку в енергію коливань є закриття та відкриття "крану" на вибої. Найближчим механічним пристроєм для цього є перекидний клапан. Конструктивно його можна виконати таким, що відкриття і закриття буде плавним. Для розширення спектру коливань буде створено механізм, який дозволить відкривати і закривати клапан більш різко (швидко). Тому збільшиться енергія гармонік високочастотних коливань.

По другому пункту виявилось, що саме перекидний клапан може бути приведений в дію як потоком рідини так і потоком газу.

## Висновки до першого розділу

Технологія імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти є перспективною та високоефективною. Під час використання існуючих методів та обладнання виявлено багато невирішених технологічних проблем. Більшість генераторів мають невелику потужність і довговічність роботи. Низький коефіцієнт корисної дії генераторів вимагає створення високоефективних генераторів з керованими частотними та амплітудними характеристиками для різночастотного впливу на привибійну і міжсвердловинну зони пласта. Також невирішеними залишилися такі питання:

- 1) складність виготовлення генераторів та незручність в користуванні;
- 2) недовговічність генераторів при роботі з рідинами, які містять абразивні забруднювачі;
- 3) неможливість роботи одного генератора як в рідинному, так і в газовому середовищі.

Враховуючи наведене вище, прийнято зосередити увагу на вирішенні таких питань:

- 1) підвищенні коефіцієнта корисної дії генераторів під час передачі енергії і створенні коливань;
- 2) розроблення конструкції генератора, яка дозволить використовувати в якості енергоносія як рідину так і газ з метою створення широкосмугових акустичних коливань на вибої свердловини.

Результати досліджень даного розділу викладені в матеріалі праці [93].

## РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО  
ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВОЇ ДІЇ НА НАФТОГАЗОНОСНИЙ  
ПЛАСТ

## 2.1 Дослідження причин зниження продуктивності свердловин

Проблема повноти вилучення нафти з надр є одним з першочергових завдань підвищення рентабельності розробки і раціонального використання природних ресурсів нафтогазових родовищ, особливо з низькими фільтраційно-емкісними властивостями колекторів. Зниження частки безповоротних втрат в покладах є особливо актуальним на виснажених, таких, що знаходяться тривалий час в експлуатації, родовищах. Під ефективною розробкою родовища мається на увазі вилучення максимально можливої кількості нафти з будь-якого пласта безпечним і прийнятним для навколишнього середовища способом. Пошук і реалізація нових методів підвищення нафтогазовіддачі пластів є одним з найважливіших напрямів розвитку нафтогазовидобувної галузі. Кращим методом можна визнати той, який забезпечує якнайповніше використання всіх природних і штучно введених в пласт енергетичних та інших ресурсів, включаючи фізико-хімічні можливості технологічних процесів, матеріальні і людські витрати. В даний час існує цілий спектр високопродуктивних технологій, але пошук нових досконаліших технологій, які покликані забезпечити максимальне нафтогазовилучення і мінімізувати негативні геоекологічні наслідки, продовжується.

Вирішення найважливішої проблеми підвищення ефективності розробки нововведених і дорозробки тривалий час експлуатованих нафтогазових родовищ можливе тільки при широкому промисловому використанні штучних методів управління процесами дії на природні поклади вуглеводнів.

Погіршення природної проникності ПЗП настає ще в процесі буріння, коли при видаленні вибуреної породи в кільцевій зоні навколо свердловини виникають стискаючі напруження, а поверхня породи при механічній взаємодії з породоруйнуючим інструментом та буровим розчином термодинамічно активується, що сприяє пізніше утворенню високов'язких поверхневих кольматуючих шарів.

За всією сукупністю факторів, в процесі буріння, освоєння та експлуатації в ПЗП утворюються великі області з дуже низькою проникністю, які помітно погіршують продуктивність свердловин. Це призводить до зниження середньої швидкості фільтрації по всьому пласту вцілому, сприяє утворенню застійних областей невидобутої нафти.

Фізична суть технологій підвищення нафтогазовіддачі пластів базується на основі наступних принципових напрямів дії:

- відновлення природної пластової енергії, зниження в'язкості флюїдів і гідродинамічних опорів їхньому протіканню;
- управління і регулювання напряму фільтраційних потоків [2].

При плоско-радіальному ламінарному потоці приплив однофазної рідини в свердловину описується рівнянням Дюпюї:

$$Q = \frac{2\pi kh}{\mu \ln \frac{R_k}{r_{пр}}} (p_{пл} - p_v), \quad (2.1)$$

де  $h$  – потужність пласта;

$k$  – проникність пласта;

$\mu$  – динамічна в'язкість рідини;

$R_k$  – радіус контуру живлення;

$r_{пр}$  – приведений радіус контуру;

$p_{пл}$  і  $p_v$  – пластовий і вибійний тиски відповідно.

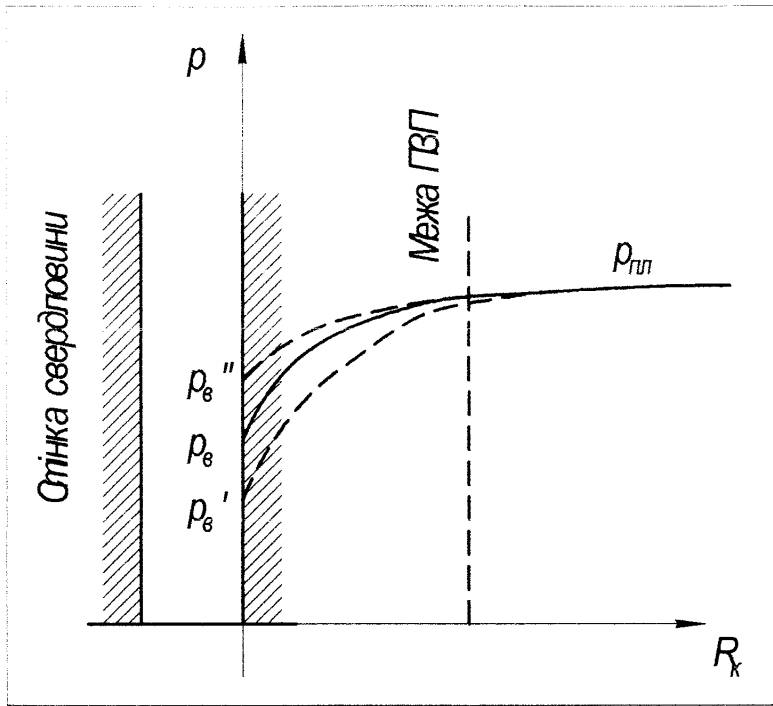
Аналіз рівняння показує, що підвищення або підтримка пластового тиску (відновлення пластової енергії), зниження динамічної в'язкості рідини і фільтраційних опорів (підвищення проникності) є необхідною умовою інтенсифікації розробки нафтогазових родовищ.

Вибійний тиск також є функцією управління притоком рідини, але він впливає, в основному, на реакції привибійної зони.

Основою проектування процесів підвищення нафтогазовіддачі пластів є аналіз чинників і механізму взаємодії природних і техногенних явищ, що впливають на повноту вилучення нафти з колекторів.

Підвищення ефективності вилучення вуглеводнів з надр залежить від технологічних процесів, що протікають в привибійній зоні пласта з моменту розкриття пласта бурінням і до завершення розробки родовища. Привибійна зона – це область сполучення пласта і свердловини. Її фільтраційні характеристики (гідропровідність, п'єзопровідність) обумовлені як природними властивостями (параметрами) колектора, так і техногенними процесами. Тому як при розкритті продуктивного пласта, так і на всіх стадіях розробки родовища необхідно зберігати, відновлювати або підвищувати природну проникність ПЗП [2].

Оцінка розмірів ПЗП може бути проведена на підставі закону Дарсі і прийнятого для опису протікання флюїдів в ній рівняння Дюпюї. В цьому випадку розподіл тиску навколо працюючої свердловини відповідає логарифмічному закону (рисунок 2.1). В однорідному пласті притік рідини обумовлений створюваною депресією  $\Delta p = p_{nl} - p_e$ . При зміні колекторних властивостей пласта в привибійній зоні для збереження притоку необхідно створити іншу по величині різницю тиску. При зниженні проникності ПЗП для підтримання того ж по величині притоку  $q$  необхідна додаткова витрата пластової енергії:  $p'_e < p_e$  і  $\Delta p' < \Delta p$ , а при підвищенні проникності ПЗП в порівнянні з проникністю пласта заданий притік  $q$  забезпечується при менших значеннях депресії:  $p''_e > p_e$  і  $\Delta p'' > \Delta p$ .



$p_в$  – вибійний тиск на початку роботи свердловини

$p_в'$  – вибійний тиск при зниженні проникності ПЗП

$p_в''$  – вибійний тиск при підвищенні проникності ПЗП

Рисунок 2.1 – Розподіл тиску в пласті при роботі видобувної свердловини

Після завершення робіт в свердловині (встановлення обсадної колони, перфорації і освоєння) проводять гідродинамічні дослідження і знову оцінюють гідропровідність:

$$[(kh)/\mu]'. \quad (2.2)$$

Відношення

$$[(kh)/\mu]_1 / [(kh)/\mu]' = a \quad (2.3)$$

характеризує зміну гідропровідності ПЗП.

Зміну фільтраційних властивостей ПЗП після виклику притоку, освоєння і виходу на режим можна оцінити за наслідками гідродинамічних досліджень по коефіцієнту гідродинамічної досконалості свердловини:

$$\phi = \frac{\ln \frac{R_x}{r_c}}{\ln \frac{R_x}{r_{np}}}, \quad (2.4)$$

де  $r_c$  – радіус свердловини по долоту;

$r_{np}$  – приведений радіус свердловини.

Суттєву інформацію про ПЗП можна отримати за скін-ефектом. Під скін-фактором розуміється чисельне значення безрозмірної величини  $S$  зі знаком плюс або мінус, що характеризує відповідно покращення або погіршення проникності в ПЗП або ступені її погіршення або покращення [2].

Додаткові втрати тиску в ПЗП можуть визначатися за кривими відновлення тиску. Недосконалість свердловини і зміна проникності в ПЗП позначається тільки на початкових ділянках кривих відновлення тиску, практично протягом 1 год. (3600 с) після закриття свердловини. Кількісний вплив скін-ефекту визначається введенням в рівняння п'єзопровідності величини, яка після перетворень приводиться до вигляду:

$$S = 1,15 \left( \frac{\Delta p_{3600}}{i} - \lg \frac{\chi}{r_c^2} - 3,908 \right), \quad (2.5)$$

де  $i$  – кут нахилу дотичної до осі  $lnt$ ,

$$i = g\mu b / (4\pi kh); \quad (2.6)$$

$\mu$  – в'язкість флюїду;

$b$  – об'ємний коефіцієнт нафтовіддачі;

$\chi$  – п'єзопровідність пласта,

$$\chi = k / (\mu m \beta^*), \text{ мкм}^2; \quad (2.7)$$

$m$  – пористість породи;

$\beta^*$  – пружноємність.

Додаткові втрати в ПЗП, обумовлені скін-ефектом становлять:

$$p_{\text{доод}} = 0,87Si. \quad (2.8)$$

Фактичний коефіцієнт продуктивності свердловини оцінюють по відношенню дебіту і депресії:

$$k_{\phi} = q / (p_{\text{пл}} - p_3). \quad (2.9)$$

Якщо від фактичної депресії відняти додаткові втрати тиску, то вийде ідеальний коефіцієнт продуктивності свердловини:

$$k_i = \frac{q}{P_{\text{нв}} - P_z - P_{\text{оод}}}. \quad (2.10)$$

Відносна продуктивність свердловини знаходиться як:

$$П = k_{\phi} / k_i. \quad (2.11)$$

Ця величина характеризує ступінь забруднення ПЗП, і по ній оцінюють як необхідність проведення робіт по інтенсифікації видобутку нафти, так і ефективність застосовуваних методів впливу.

## 2.2 Обґрунтування та розробка удосконаленої конструкції гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти

До теперішнього часу відомо досить багато конструкцій гідродинамічних свердловинних генераторів коливань тиску, розроблених різними організаціями і у зв'язку з проблемами нафтогазовидобутку, і для використання в інших галузях промисловості. Проте в більшості випадків, у відомих конструкцій генераторів відсутні обґрунтовані параметри коливань тиску, що генеруються. Найчастіше випробування розробленого і виготовленого зразка зводиться безпосередньо до проведення обробок свердловин, за наслідками яких робиться висновок про практичну цінність тієї або іншої конструкції, а потім на його основі видаються рекомендації до впровадження. Використання недостатньо обґрунтованих технологій, відсутність об'єктивних даних про рекомендовані параметри генераторів коливань призводять до зниження успішності перспективного методу і, як наслідок, до падіння інтересу до нього з боку нафтогазовидобувних підприємств [3].

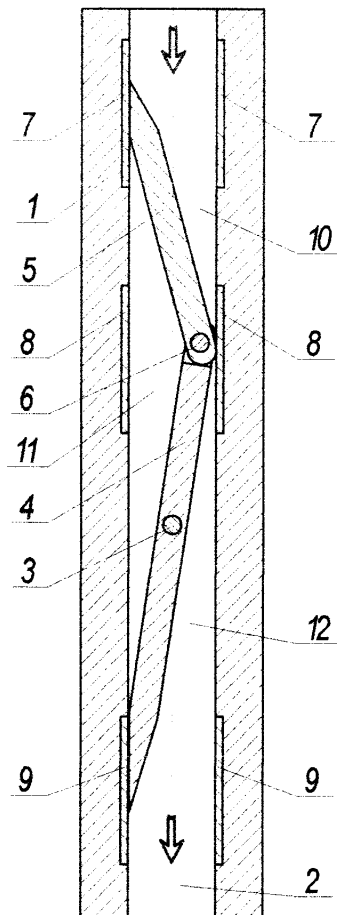
У зв'язку з цим проведення стендових і промислових досліджень різних конструкцій гідродинамічних генераторів з об'єктивною апаратурною оцінкою їхніх робочих параметрів, можливостей функціонування за різних умов обробок свердловин необхідно як для правильного призначення режимних технологічних операцій конкретного пристрою, так і для визначення найбільш перспективних

напрямів подальших досліджень, дослідно-конструкторських і впроваджувальних робіт.

Для створення або удосконалення пристроїв, що використовують енергію (електричну, пневматичну, гідравлічну, механічну тощо) для створення імпульсно-хвильових коливань в свердловині, необхідно вибрати вид енергії. Із існуючого обладнання на свердловині найбільш придатною виявилася передача енергії гідравлічним шляхом, оскільки двигуни, що приводять в дію насоси, мають достатню потужність. Лабораторні та промислові експерименти показали, що найбільш вигідним методом дії на пласти є створення імпульсів певної форми та їх шпаруватість. Такий імпульс містить широкий спектр частот, а відповідна шпаруватість дає можливість перетворити енергію потоку в імпульс великої потужності.

Розроблено удосконалену конструкції гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії, яка наведена на рис. 2.2 [94, 95]. 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. На двох стінках клапанної коробки 1, перпендикулярних до напрямку 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. Напрямок руху потоку рідини (газу) через пристрій показано стрілками.



1 – клапанна коробка; 2 – канал; 3 – вісь; 4 – кривошип; 5 – клапан;  
6 – рухома вісь; 7,8,9 – магніти; 10,11,12 – порожнини

Рисунок 2.2 – Удосконалена конструкція гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії (клапанного типу)

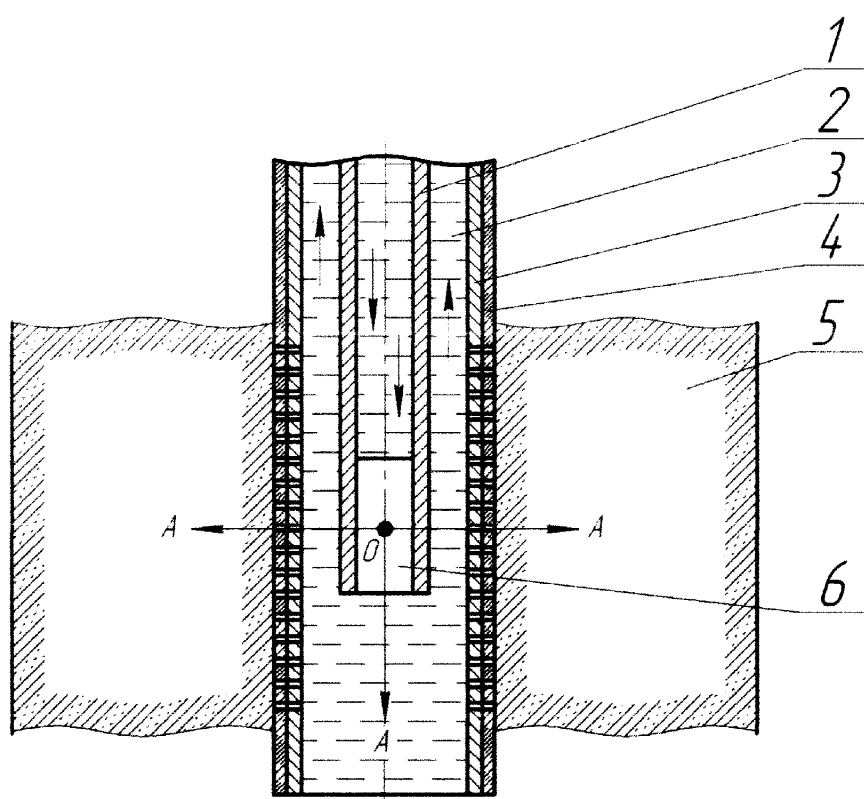
Удосконалений гідравлічний генератор імпульсно-хвильової дії працює наступним чином.

У вихідному положенні (рис. 2.2) 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 гідростатики. 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 (див. рис. 2.2) 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. 2.3 спрощено зображено розроблений гідравлічний генератор імпульсно-хвильової дії, розміщений в свердловині. При цьому на нього діє тиск  $p_{\text{пряме}}$ , 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  $p_{\text{звор}}$ .

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.



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

Рисунок 2.3 – Схема розміщення гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії в свердловині

### 2.3 Опис роботи гідравлічного генератора як джерела акустичних коливань

Тіло, яке коливається, створює навколо себе періодичні стиснення та розширення пружного середовища й таким чином призводить до виникнення звукових хвиль. Джерелом енергії, яка випромінюється цими хвилями, є кінетична енергія рухомого тіла, в нашому випадку – робочих елементів гідравлічного генератора.

Задачею аналізу ступеня впливу акустичних коливань на нафтогазовіддачу пластів є розрахунок звукових тисків, які виникають в гідравлічному генераторі і, поширюючись через систему різних середовищ, проникають в пласт. При цьому

система з різних середовищ в свердловині може бути представлена як система шарів часткового поглинання звуку, що зменшують інтенсивність звуку при його поширенні від гідравлічного генератора в пласт.

Робочі елементи гідравлічного генератора, які коливаються під впливом тиску рідини створюють навколо себе періодичні стиснення та розрідження рідини і таким чином призводять до виникнення звукових хвиль. Джерелом енергії, яка поширюється звуковими хвилями, є кінетична енергія рухомого тіла.

Задача про випромінювання звуку ставиться й вирішується наступним чином: перепад тиску в оточуючому робочі елементи середовищі повинен задовольняти хвильовому рівнянню або рівнянню Гельмгольца для гармонійних коливань і граничній умові, що виражає рівність нормальних швидкостей середовища і тіла. На великих відстанях  $r$  ( $r \gg l$ , де  $l$  – максимальний розмір робочого елемента гідравлічного генератора) хвиля тиску повинна переходити у сферичну хвилю, яка розширюючись розходить у просторі. Рух звукової хвилі характеризується швидкістю, з якою здійснюється передача кількості руху через частинки середовища, в якому вона поширюється.

Швидкість звуку в рідинах та газах описується виразом [96]:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (2.12)$$

де  $K$  – модуль об'ємної пружності середовища, Н/м<sup>2</sup>;

$\rho$  – густина середовища, кг/м<sup>3</sup>.

При розрахунку швидкості звуку в металі використовується модуль Юнга  $E=K$ , який є табличною величиною.

В газах, рідинах та твердих тілах при проходженні звукових хвиль змінюються тиск, густина, температура та коливальні швидкості частинок. В принципі, достатньо мати одну з цих величин, щоб визначити інші.

Удосконалений гідравлічний генератор (рис.2.3), в принципі, є джерелом звукових хвиль, які поширюються в різних напрямках (вектори ОА) через кілька середовищ з різною густиною в продуктивний пласт для інтенсифікації видобутку вуглеводнів. В певній мірі звукова хвиля зноситься потоком рідини на поверхню.

Однак в зв'язку з тим, що частота акустичних коливань набагато перевищує швидкість потоку рідини, то ми цим рухом нехтуємо.

В нашому випадку за основну вимірювальну величину зручно приймати звуковий тиск  $p$  – перевищення миттєвого тиску в деякій точці простору за тиск в незбуреному середовищі. Такий вибір диктується тим, що для розв'язання задач про поширення звуку в середовищах основний інтерес викликають звуковий тиск та коливальна швидкість  $\vec{v}$ , але остання є векторною величиною.

Оскільки  $p$  та  $\vec{v}$  залежать як від координат, так і від часу, то рівняння руху середовища буде диференціальним [96]:

$$-\frac{l}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.13)$$

Рух середовища під дією звукового тиску описується хвильовим рівнянням Вебстера:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \left( \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{dS}{S dr} \cdot \frac{\partial p}{\partial r} \right) \quad (2.14)$$

Загальний розв'язок хвильового рівняння Вебстера має вигляд:

$$p = A(r) \left[ f_1 \left( t - \frac{r}{c} \right) + f_2 \left( t + \frac{r}{c} \right) \right] \quad (2.15)$$

Наступною величиною, яка характеризує передачу звукової енергії є інтенсивність звуку ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ). В плоскій хвилі вона може бути виражена формулою

$$I = p^2 / \rho c, \quad (2.16)$$

де  $\rho c$  – питомий акустичний опір середовища, через яке поширюється звук. В цьому випадку інтенсивність звуку буде пропорційна квадрату ефективного значення звукового тиску.

Інтенсивність звуку показує, яка потужність  $P$  передається через одиницю площі, що розташована перпендикулярно до вектора швидкості.

Звукова потужність  $P$  (Вт) джерела звуку - це загальна звукова енергія, яку воно випромінює за одиницю часу:

$$P = \int_S I_n ds, \quad (2.17)$$

де  $I_n$  – інтенсивність потоку звукової енергії в напрямі нормалі до елементу поверхні;

$S$  – площа поверхні, яка оточує випромінювач.

Енергія звукових коливань від гідравлічного генератора передається звуковими хвилями через середовище шляхом хвилеподібної зміни його густини. Напрямок поширення звукових хвиль – це звуковий промінь, а поверхня, яка з'єднує суміжні точки поля з однаковою фазою коливання – фронт хвилі. Звукові промені перетинають фронт хвилі під прямим кутом. В загальному випадку фронт хвилі має складну форму, але в більшості практичних випадків можна обмежитися співвідношеннями, отриманими для плоскої та сферичної форм фронту, а інколи ще й циліндричної.

Фронт плоскої хвилі представляє собою площину, звукові промені паралельні між собою. Основне рівняння для плоскої хвилі має вид:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial r^2}. \quad (2.18)$$

Частковий розв'язок хвильового рівняння для плоскої хвилі, яка поширюється в просторі:

$$p = p_m e^{i\omega\left(t - \frac{r}{c}\right)}, \quad (2.19)$$

де  $p_m$  – амплітуда звукового тиску;

$\omega$  – кутова частота коливань;

$$\frac{\omega}{c} = \nu = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{– хвильове число.}$$

Швидкість коливань знаходиться з виразу:

$$v = v_m e^{i\omega\left(t - \frac{r}{c}\right)}, \quad (2.20)$$

де  $v_m = \frac{p_m}{\rho c}$  – амплітуда швидкості коливань.

Питомий акустичний опір для плоскої хвилі знаходиться як:

$$\zeta_a = \frac{P}{v} = \frac{P_m}{v_m} = \rho c \quad (2.21)$$

Виходячи з описаного, інтенсивність звуку розраховується за формулою:

$$I = \frac{p_\delta^2}{\rho c}, \quad (2.22)$$

де  $p_\delta$  – діюче значення звукового тиску.

Фронт сферичної хвилі являє собою сферичну поверхню, а звукові промені співпадають з радіусами сфери.

Хвильове рівняння для сферичної хвилі:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \left( \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial p}{\partial r} \right), \quad (2.23)$$

або

$$\frac{\partial^2 (pr)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 (pr)}{\partial r^2}. \quad (2.24)$$

Частковий розв'язок хвильового рівняння для хвилі, яка поширюється в просторі має вид:

$$p = p_m e^{i\omega \left( t - \frac{r}{c} \right)}, \quad (2.25)$$

де  $p_m = \frac{P_1}{r}$ ;  $P_1$  – амплітуда звукового тиску на відстані одиниці довжини від центру сфери.

Хвильове рівняння для циліндричної хвилі має вигляд:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \left( \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial p}{\partial r} \right). \quad (2.26)$$

Удосконалений гідравлічний генератор, на перший погляд, може вважатись точковим джерелом акустичної хвилі (рис. 2.3), тобто його розміри є малими в порівнянні з глибиною свердловини та розмірами пласта. Однак, оскільки гідравлічний генератор розміщується всередині металевій насосно-компресорній труби, швидкість поширення звуку в якій набагато вища, ніж у рідині чи пласті

(близько 5-6 км/с), то можна вважати, що сама труба є вторинним джерелом акустичних хвиль. А оскільки труба має циліндричну форму, то і фронт звукової хвилі, який нею випромінюється матиме також циліндричну форму.

Описати хвильовими рівняннями процес проходження звукових хвиль від гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії через кілька середовищ до пласта є складною математичною задачею, яка вимагає застосування складних функцій та певних крайових умов. Тому для спрощення розрахунку звукової потужності, яка передається від гідравлічного генератора в пласт, доцільно застосувати рівняння для розрахунку звукового опору циліндричних оболонок, що зменшують механічні шуми від трубопроводів [97]. При цьому слід вважати, що кожен наступний шар, через який проходить звукова хвиля, є свого роду акустичним ізолятором із своїм звуковим опором. Нашою задачею є розрахунок звукового опору всіх шарів з тим, щоб визначити яка енергія звукової хвилі доходить до останнього шару.

Оскільки гідравлічний генератор знаходиться в насосно-компресорній трубі, заповненій водою, затрубний простір якої також займає вода, далі знаходиться обсадна колона і т. д., то привибійну зону свердловини можна представити як систему з кількох шарів різної структури. Звукова хвиля від гідравлічного генератора при переході від шару до шару отримуватиме часткову зміну напрямку руху і часткове відбивання. При цьому доцільним є розрахунок звукового опору всієї багатошарової конструкції з метою виявлення впливу її елементів на кінцеві параметри хвилі.

При оцінці звукового опору багатошарових конструкцій доцільно розглядати систему шарів, в якій пружні шари (стілки НКТ та обсадної колони) чергуються із шарами води, в якій розповсюджуються тільки поздовжні і відсутні поперечні коливання. При розрахунку таких систем доцільно застосувати метод Релея, описаний в [98].

Розглянемо конструкцію, що представляє собою дві пластини (стілки трубопроводів певної товщини), розміщені на відстані  $d$  одна від одної, простір між якими заповнено середовищем II (водою). Передбачається, що у водяному

середовищі II можуть розповсюджуватися тільки поздовжні хвилі. Середовище I може бути водою, а середовище III – будь-яким (рис. 2.4). На конструкцію зліва від робочого елемента гідравлічного генератора падає плоска хвиля під кутом  $\theta$ . Звукову хвилю, яка пройде в середовище III можна розглядати як суперпозицію хвиль: хвилі, що пройшла через пластину, шар води і пластину 2; хвилі відбитої від пластини 2, потім пройшовши через шар води, відбитої від пластини 1, знову пройшовшої через шар води і т. д.

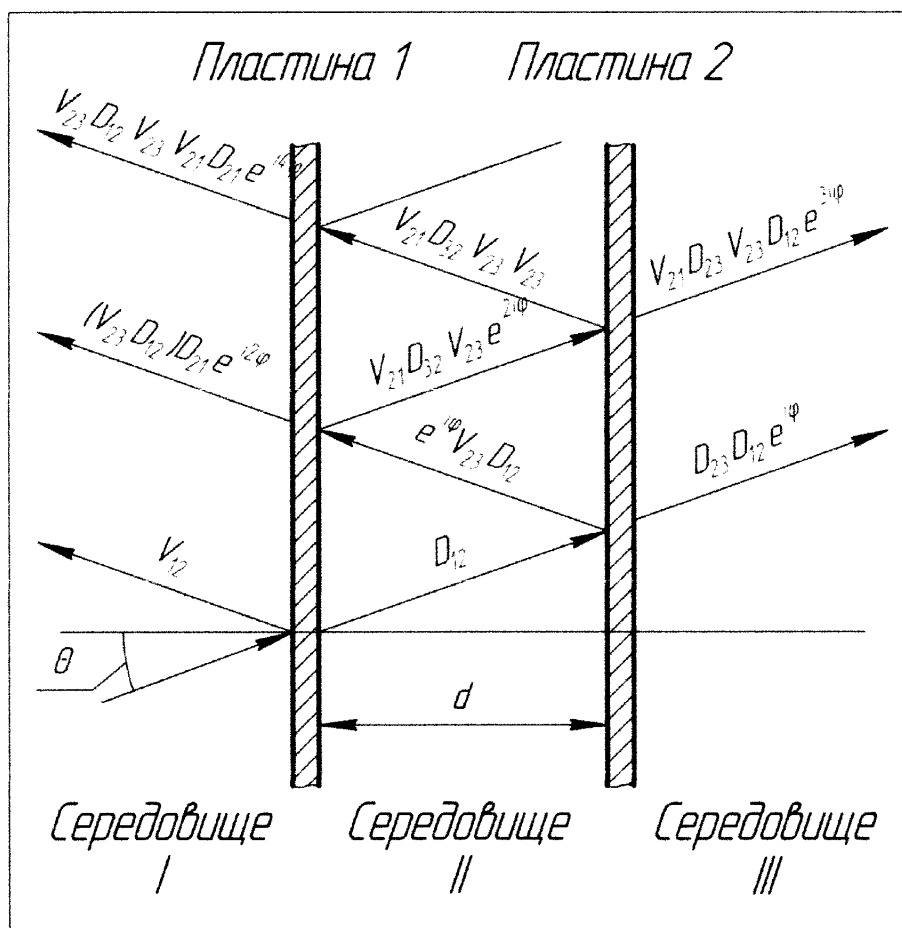


Рисунок 2.4 – Схема визначення коефіцієнтів відбивання звуку через двохстінну конструкцію

Отже, хвиля, що пройшла в третє середовище (результуюча хвиля) буде сумою безкінечного числа описаного типу хвиль – тобто сумою членів геометричної прогресії. Амплітуда падаючої хвилі, при цьому, рівна 1, амплітуда

результуючої хвилі  $D_{\Sigma}$  дорівнює коефіцієнту проходження звуку через конструкцію:

$$D_{\Sigma} = \frac{D_{12}D_{23}e^{i\Delta}}{1 - V_{23}V_{21}e^{2i\Delta}}; \quad (2.27)$$

де  $D_{12}$ ,  $D_{23}$  – амплітуда хвиль, що пройшли;

$$V_{23} = V_3 e^{(-i\varphi_3)}; \quad (2.28)$$

$$V_{21} = V_1 e^{(-i\varphi_1)}, \quad (2.29)$$

де  $V_1$ ,  $V_3$  – амплітуди коефіцієнтів відбиття,

$\varphi_1$ ,  $\varphi_3$  – фази коефіцієнтів відбиття:

$$\Delta = k_2 d \cos \theta_2, \quad (2.30)$$

де  $k_2$  – хвильове число в середовищі 2:

$$k_2 = \frac{\omega}{c_2}, \quad (2.31)$$

$c_2$  – швидкість звуку в середовищі 2.

Звуковий опір двохстінної конструкції знаходиться з виразу:

$$R_{\Sigma} = 10 \lg |D_{\Sigma}|^2, \quad (2.32)$$

або

$$R_{\Sigma} = R_{12} + R_{23} + R_{ш} + \Delta R_k, \quad (2.33)$$

де  $R_{12}$  і  $R_{23}$  – це вирази для опису звукового опору одношарових конструкцій:

$$R_{12} = -10 \lg |D_{12}|^2; \quad (2.34)$$

$$R_{23} = -10 \lg |D_{23}|^2; \quad (2.35)$$

$R_{ш}$  – вираз, що описує звукопоглинання в матеріалі шару:

$$R_{ш} = -10 \lg e^{-2\Delta} \approx 8,7. \quad (2.36)$$

Величини  $R_{12}$ ,  $R_{23}$ ,  $R_{ш}$  завжди більші за 0. Останній член рівняння  $\Delta R_k$  – інтерференційний, який зв'язаний з коливаннями конструкції як єдиного цілого:

$$\Delta R_k = 10 \lg \left[ \left( 1 - V_1 V_3 e^{-2\Delta} \right)^2 + 4 V_1 V_3 e^{-2\Delta} \sin^2 \left( \Delta - \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{2} \right) \right]. \quad (2.37)$$

Величина  $\Delta R_k$  може мати як від'ємне так і додатне значення. Максимальні від'ємні значення  $\Delta R_k$  має на резонансах, коли:

$$\gamma = \Delta - \frac{\varphi_1}{2} - \frac{\varphi_3}{2}, \quad (2.38)$$

тоді

$$\Delta R_k = 10 \lg \left( 1 - V_1 V_3 e^{-2\Delta} \right)^2. \quad (2.39)$$

З останнього виразу видно, що конструкція на рис. 2.4 є критичною до величини звукового опору в матеріалі шару II. Тобто, при відсутності звукопоглинання на резонансах  $\Delta R_k \rightarrow 0$ , або  $\Delta R_k = R_{12} + R_{23}$ .

Коефіцієнт звукопроникності конструкції (рис. 2.4) при дифузному падінні звуку при умові низького рівня звукового опору знаходиться з виразу:

$$\tau = \left( \frac{2\rho c}{\omega m} \right)^2 \sum_n \frac{f_1 f_n}{f_n^2 + f_0^2}, \quad (2.40)$$

де  $m = \rho_m h$  – погонна маса пластин ( $h$  – товщина пластини ( $h = h_1 + h_2$ ));

$\rho_m$  – густина матеріалу пластин;

$c$  – швидкість звуку в шарі II;

$\rho$  – густина шару II (між двома пластинами);

$f_0 = \sqrt{\frac{2\rho c^2}{md}}$  – резонансна частота конструкції з двох пластин (трубопроводів);

$f_1 = \frac{c}{2d}$  – перша резонансна частота шару води;

$$f_n = n f_1; \quad (2.41)$$

$$\cos \theta_n = \frac{f_n}{f}. \quad (2.42)$$

Звідси, сумарний звуковий опір конструкції (рис. 2.4) становитиме:

$$R_{\Sigma} = 20 \lg \frac{\omega m}{2 \rho c} - 10 \lg \sum_n \frac{f_1 f_n}{f_n^2 + f_0^2} \quad (2.43)$$

Найнижчий резонанс у конструкції буде на частоті  $f_0$ . Формула (2.43)

справедлива для частот  $f$ , на яких кут  $\theta_0 = \arccos \frac{f_0}{f}$  лежить в межах інтегрування. Якщо брати верхній кут  $75^\circ$ , то  $4f_0 \geq f > f_0$ . Це справедливо і для інших резонансів. Для цього діапазону отримаємо сумарний звуковий опір конструкції:

$$R_{\Sigma} = 20 \lg \frac{\omega m}{2 \rho c} - 10 \lg \frac{f_1}{2f_0} \quad (2.44)$$

Якщо частоти  $f_1$  і  $f_0$  сильно рознесені, то виходить значна за величиною поправка. У випадку, якщо  $f_1 > 4f_0$ , то на частотах  $f_2 > f > f_1$ :

$$R_{\Sigma} = 20 \lg \frac{\omega m}{2 \rho c} \text{ дБ}, \quad (2.45)$$

тобто звуковий опір підкоряється закону мас однієї пластини.

На частотах  $f_3 > f > f_2$ :

$$R_{\Sigma} = 20 \lg \frac{\omega m}{2 \rho c} - 1,7 \text{ дБ}, \quad (2.46)$$

тобто незначно змінюється в порівнянні з законом мас. Деякий додатний доданок  $\Delta R$  буде спостерігатися лише на частотах  $f > 4f_1$ . На частотах  $f_1 > f > 4f_0$  може досягатися

$$R_{\Sigma} \approx 20 \lg \frac{\omega m}{2 \rho c} + 6 \text{ дБ} \quad (2.47)$$

Оскільки основну енергію впливу на пласт здійснюють гідродинамічні пульсації рідини, то гідравлічний генератор розміщується в зоні перфорації. При цьому отвори перфорації понижують звуковий опір конструкції (рис. 2.4). Оскільки отвори перфорації можна вважати круглими, то при діаметрі отвору  $d \ll \lambda$  ( $\lambda$  – довжина звукової хвилі)  $q \approx d$ . Тоді звуковий опір отвору згідно [97]:

$$R_{\text{отв.}} \approx -\frac{\rho \omega}{q}, \quad (2.48)$$

де  $q$  – звукова провідність отвору.

Якщо кількість отворів більше одного, то

$$q = \sum_{i=1}^n d_i \quad (2.49)$$

Для розрахунку сумарного звукового опору конструкції з отвором вираз (2.43) матиме вигляд:

$$R_{\Sigma} = 20 \lg \frac{\omega m}{2 \rho c} - 10 \lg \sum_n \frac{f_1 f_n}{f_n^2 + f_0^2} + R_{\text{отв.}} \quad (2.50)$$

З кінцевого виразу можна розрахувати частоти, які пройдуть через систему «гідравлічний генератор – вода - трубопровід суцільний – вода - трубопровід з перфорацією» у пласт, та їхні амплітуди.

В роботі [99] виведено вираз для розрахунку градієнту тиску, який утворюється при проходженні пружної хвилі в пласт:

$$\text{grad} P_d = \frac{4P}{\lambda} = \frac{4\sqrt{2\rho c I}}{c} = f \sqrt{\frac{32\rho I}{c}} \quad ; \quad (2.51)$$

де:  $P$  – амплітуда змінного звукового тиску, Па;

$\text{grad} P_d$  – градієнт тиску, який створюється внаслідок проходження хвильових пакетів пружних коливань, Па/м;

$\rho$  – середня густина насиченої гірської породи, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – швидкість розповсюдження поздовжньої пружної хвилі, м/с;

$\lambda$  – довжина пружної хвилі, м;

$f$  – частота гармоніки, Гц;

$I$  – інтенсивність звукового тиску, яка знаходиться з виразу:

$$I = P^2 / 2\rho c \quad (2.52)$$

З іншого боку, вираз для (2.41) можна записати як:

$$I = \frac{P_A}{S} = \frac{P^2}{R_A} = u^2 \cdot R_A \quad (2.53)$$

де  $P_A$  – потужність акустичних коливань, Вт;

$S$  – площа поверхні,  $\text{м}^2$ ;

$p$  – середнє значення звукового тиску, Па;

$u$  – середнє значення швидкості коливань, м/с;

$R_A$  – опір проходженню акустичної хвилі.

Величину звукового тиску  $p$  можна розрахувати з виразу:

$$p = \frac{F}{S}, \quad (2.54)$$

де  $S$  – це площа прилягання робочих елементів гідравлічного генератора до стінки трубопроводу при його роботі (місця генерації звукової хвилі),  $\text{м}^2$ ;

$F$  – сила, з якою тисне стовп рідини від агрегату на робочі елементи гідравлічного генератора, Н.

Величина  $R_A$  у виразі (2.53) відповідає звуковому опору  $R_\Sigma$  (2.50), яким у нашому випадку, є описані вище опори шарів та пласту.

Для уточнення амплітудного та частотного спектрів, які виникають при роботі гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії доцільно створити експериментальну установку, яка б при реальних розмірах гідравлічного генератора давала змогу зменшити розміри свердловини, пласта і насосного агрегату без втрати основних інформативних параметрів.

## 2.4 Температурні процеси, що виникають при роботі гідравлічного генератора

Оскільки через робочі елементи гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії здійснюється рух рідини зі стрибкоподібною зміною тисків, то внаслідок тертя рідини об стінки трубопроводу та робочих елементів гідравлічного генератора між собою відбувається нагрівання рідини. На нагрівання витрачається певна частина енергії потоку рідини, кількість якої необхідно визначити для розрахунку повної енергії гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії.

Процеси створення і передачі теплової енергії в розробленому гідравлічному генераторі імпульсно-хвильової дії описати доволі важко, оскільки вони відбуваються в динаміці і залежать від параметрів технологічного процесу (тиску та витрати рідини, її температури на поверхні, густини і т. ін.).

На мою думку, кількість тепла, яка виділяється при роботі гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії доцільно виміряти безпосередньо, для чого необхідно створити дослідну установку (стенд) для визначення основних характеристик гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії та виведення залежностей поширення тепла в пласт у часі.

## 2.5 Опис гідродинамічних коливань, що створюються гідравлічним генератором імпульсно-хвильової дії

Гідродинамічні коливання – явище підвищення або зниження гідромеханічного тиску в напірному трубопроводі, викликане зміною в часі і в будь-якому перерізі трубопроводу швидкості руху рідини (наприклад, через відкривання або закривання клапану). Для збудження гідродинамічних коливань використовуємо ефект гідравлічного удару, коли тиск, який різко зростає в трубопроводі разом з ним є джерелом даних коливань.

Гідродинамічні коливання у вигляді хвиль збурення поширюються вздовж трубопроводу зі швидкістю звуку в даному середовищі. Гідродинамічні коливання можуть визначатися висотою  $h$  стовпа рідини певної об'ємної ваги або величиною тиску коливання  $\Delta P$ .

Якщо гідродинамічні коливання представляють собою хвилю підвищення тиску (миттєве закривання труби), то вони називаються додатними; коливання, зумовлені зниженням тиску (відкривання клапану), – від'ємними.

При різкому перекритті потоку спочатку зупиниться шар рідини безпосередньо біля клапану. Внаслідок переходу кінетичної енергії в потенціальну тиск у цьому шарі зростає. Оскільки рідина до певної міри стискувана, то зупинка всієї її маси в трубопроводі не відбудеться миттєво.

Границя об'єму зупиненої рідини переміщається вздовж трубопроводу. Час, за який хвиля гідродинамічного коливання подолає шлях  $L$  від точки зупинки до початку трубопроводу (наприклад, до насоса) і повернеться назад, називається фазою гідродинамічного коливання. Вона може бути визначена за формулою:

$$T = \frac{2L}{c}, \quad (2.55)$$

де  $c$  – швидкість поширення хвилі гідродинамічного коливання.

Теоретично при миттєвому перекритті потоку, що рухається в трубопроводі з швидкістю  $V$ , відбувається миттєва зміна тиску в трубопроводі біля місця перекриття на величину  $\Delta p$ . Вона визначається за формулою М.Є. Жуковського:

$$\Delta p = \rho V c, \quad (2.56)$$

де  $\Delta p$  – підвищення тиску при гідродинамічному коливанні, Па;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – швидкість течії рідини до гідродинамічного коливання, м/с;

$c$  – швидкість поширення хвилі змінного тиску в рідині, м/с.

Швидкість  $c$  поширення хвилі змінного тиску вздовж трубопроводу:

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{1 + \frac{E d}{E_T \delta}}}, \quad (2.57)$$

де  $E$  – об'ємний модуль пружності рідини, Па;

$E_T$  – модуль пружності матеріалу стінок труби, Н/м<sup>2</sup>;

$\delta$  – товщина стінок труби, мм ;

$d$  – внутрішній діаметр труби, мм;

$c_0$  – швидкість поширення звуку в рідині:

$$c_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.58)$$

Для води при температурі +100°C  $c_0=1435$  м/с.

Якщо час закривання клапану  $t$  є меншим від фази гідродинамічного коливання (час проходження хвилею змінного тиску подвоєної довжини  $L$  труби),

то таке гідродинамічне коливання буде прямим, а в протилежному випадку – непрямим.

У випадку непрямого гідродинамічного коливання підвищення тиску розраховується за формулою Жуковського у вигляді:

$$\Delta p = \rho V c \frac{T}{t_K}, \quad (2.59)$$

де  $t_K$  – час повного перекриття трубопроводу клапаном.

### Висновки до другого розділу

До основних причини зниження продуктивності свердловин відносяться різноманітні способи забруднення привибійної зони пласта як при бурінні, так і під час експлуатації свердловин. На всіх етапах роботи зі свердловиною потрібно приділяти особливу увагу питанням підвищення або відновлення природної проникності привибійної зони пласта.

Обґрунтовано розроблення та запропоновано удосконалену конструкцію гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти. Описано роботу гідравлічного генератора в свердловині. В результаті моделювання процесів, які виникають в гідравлічному генераторі імпульсно-хвильової дії при його роботі (акустичні, гідродинамічні та теплові процеси), запропоновано при розрахунку звукового опору системи «свердловина – продуктивний пласт» враховувати наявність отворів перфорації. Відповідні зміни внесено в формулу для розрахунку сумарного звукового опору конструкції.

## РОЗДІЛ 3

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВОЇ ДІЇ НА НАФТОГАЗОНОСНИЙ ПЛАСТ

### 3.1 Розробка експериментальної установки для досліджень розробленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії

Оскільки на частоту та амплітуду роботи генератора, зображеного на рис. 2.2, створює вплив значна кількість чинників, аналітично пов'язати які досить складно, то вирішено дослідити робочі характеристики генератора експериментально [100-101].

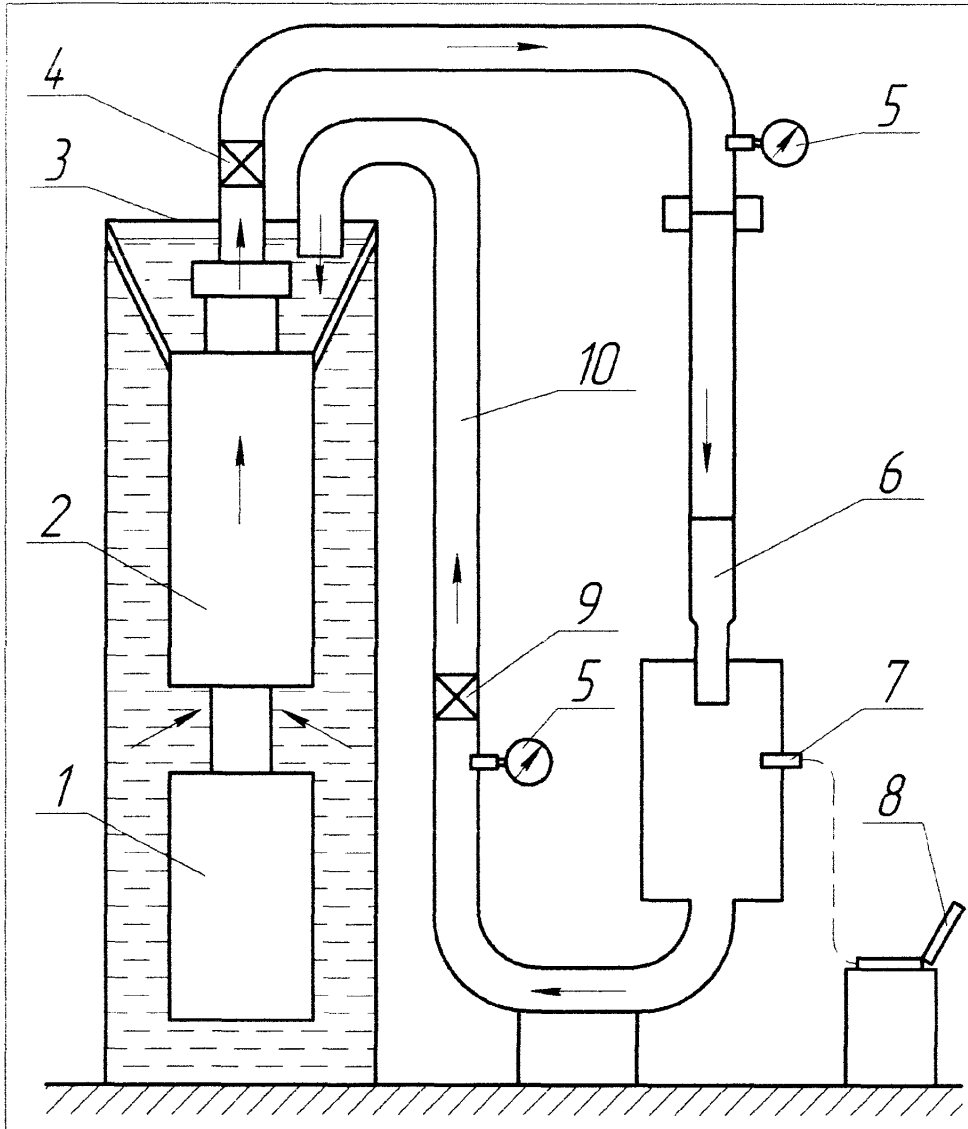
Для відтворення процесів, що виникають при роботі генератора на різних витратах рідини було створено експериментальну установку, яка розміщена в корпусі №6 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Для проведення досліджень було розроблено декілька типорозмірів генераторів, в яких змінювалися фізичні параметри (довжина клапану та маса кривошипу). Різні види клапанів необхідні для визначення їхнього впливу на різні частини продуктивного пласта.

Експериментальна установка представляє собою гідравлічну систему з можливістю роботи у замкнутому циклі (рис. 3.1).

Експериментальна установка містить:

- ємність об'ємом  $0,15 \text{ м}^3$  з робочою рідиною;
- глибинний відцентровий насос ЭЦВ6-16-110 (подача  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{год}$ , напір  $H = 110 \text{ м}$ );
- електричний двигун (частота двигуна  $f=3000 \text{ об/хв}$  ( $50 \text{ с}^{-1}$ ); потужність  $N=5 \text{ кВт}$ );
- гідравлічну лінію з посадочними місцями для гідравлічного генератора та давача;

- крани для регулювання роботи насоса;
- манометри;
- п'єзокерамічний акустичний давач;



- 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 3.1 – Схема експериментальної установки для дослідження роботи генератора імпульсно-хвильової дії

Підготовка та проведення експериментальних досліджень здійснювались з дотриманням правил техніки безпеки та вказівок, які наведені в документах з охорони праці і техніки безпеки в лабораторіях. При цьому виконувались такі вимоги:

1 Роботи виконували особи, що пройшли інструктаж з техніки безпеки на лабораторних роботах. Роботи, що пов'язані з електричною частиною, виконували електрики з групою по електробезпеці.

2 Всі підйомні пристосування, що застосовувались при монтажі експериментальної установки, мали трьохкратний запас міцності; перед початком робіт підйомні пристосування обов'язково були перевірені.

3 Монтаж струмопровідного кабелю на ділянці від ємності з робочою рідиною до станції управління прокладався в захисній трубі.

4 Для забезпечення електробезпеки експериментальної установки обладнання було заземлене у відповідності з вимогами ГОСТ 12.1.030. Зажими і заземлюючі знаки відповідно до ГОСТ 21130.

3.2 Розробка методики проведення досліджень розробленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії

Достовірність результатів експериментів залежатиме від повноти відтворення фізичних процесів і самої методики проведення досліджень.

Методика проведення експериментальних досліджень повинна адекватно описувати процес роботи генератора як при роботі безпосередньо на експериментальній установці, так і при дії на насипну модель пласта.

Для цього методика повинна включати наступні основні етапи:

- підготовчий;
- експериментальний;
- аналіз результатів.

Підготовчий етап полягає в монтажі та підготовці до роботи експериментальної установки. Експериментальний етап складається з двох

частин – дослідження роботи генератора при роботі безпосередньо на експериментальній установці, та дослідження роботи генератора при дії на насипну модель пласта. Аналіз результатів передбачає визначення діапазонів зміни амплітуд та частот імпульсів генератора при зміні фізичних параметрів генератора, а також визначення діапазонів зміни температур.

### 3.2.1. Підготовчий етап

Перед встановленням електронасосу ємність для води повинна бути прокачана до освітлення води (з метою видалення піску, іржі, сміття і т. п.).

Перед монтажем агрегату в ємність електронасос обов'язково перевірявся на відсутність заїдань і перекосів, які могли з'явитися в результаті вібрації при транспортуванні. При провертанні з'єднувальних муфт не повинно бути ривків і заїдань. Провертання проводилося стальним стержнем діаметром 7 мм, довжиною 150-200 мм шляхом вставляння його в один з отворів з'єднувальної муфти (знявши попередньо захисну сітку). У випадку непровертання муфти, електронасос занурювався у воду і витримувався в ній до початку провертання.

Перед ввімкненням електронасос занурювався у воду і витримувався у воді не менше 15 хвилин. Включення електронасосу проводилося тільки після перевірки електричної та механічної схеми агрегату. При запуску агрегату засувка на нагнітальному трубопроводі була відкрита на 1/3. Визначення правильного напрямку обертання електронасоса проводилося зміною напрямку обертання ротора двигуна шляхом переключення двох із трьох фаз. При закритій засувці манометр показував два різні тиски. Більший з них вказував на правильний напрямок обертання електронасоса. Впевнившись, що робота агрегату проходить нормально, поступово відкривалася засувка на напірній трубі і встановлювалася необхідна подача води.

### 3.2.2 Експериментальне дослідження роботи генератора

Експериментальний етап методики досліджень генератора імпульсно-хвильової дії полягав у наступному. Спочатку досліджувалась робота генератора безпосередньо в трубі. При цьому застосовувалась схема установки згідно рис. 3.1.

Експериментальні дослідження генератора імпульсно-хвильової проводились для встановлення залежності амплітуди та частоти імпульсів від геометричних розмірів клапана, а також для визначення динаміки зміни температури в робочій зоні генератора [102].

Розроблений 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 експериментальній установці вимірювалися наступні параметри:

- зміна температури робочої рідини (термометр FLUKE 54 II (рис. 3.2));
- акустичний відгук (вібрація) зовнішньої поверхні робочої камери, в якій знаходився робочий елемент гідравлічного генератора (цифровий диктофон OLYMPUS VN-480PC (рис. 3.2)), п'єзомікрофон, AKG-164;
- перепад тиску на робочій камері (механічний манометр класу точності 1,5);
- витрата робочої рідини контролювалася методом змінного перепаду тиску на гідравлічному генераторі за методикою описаною в [103];

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



Рисунок 3.2 – Вимірювання процесу поширення температури та акустичних хвиль удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії за допомогою термометра FLUKE 54 II, пьезомікрофона AKG-164 та диктофона OLYMPUS VN-480PC

Крім того, в часі знімалася загальна теплова картина експериментальної установки за допомогою тепловізора FLUKE-TI-25 (рис. 3.3).

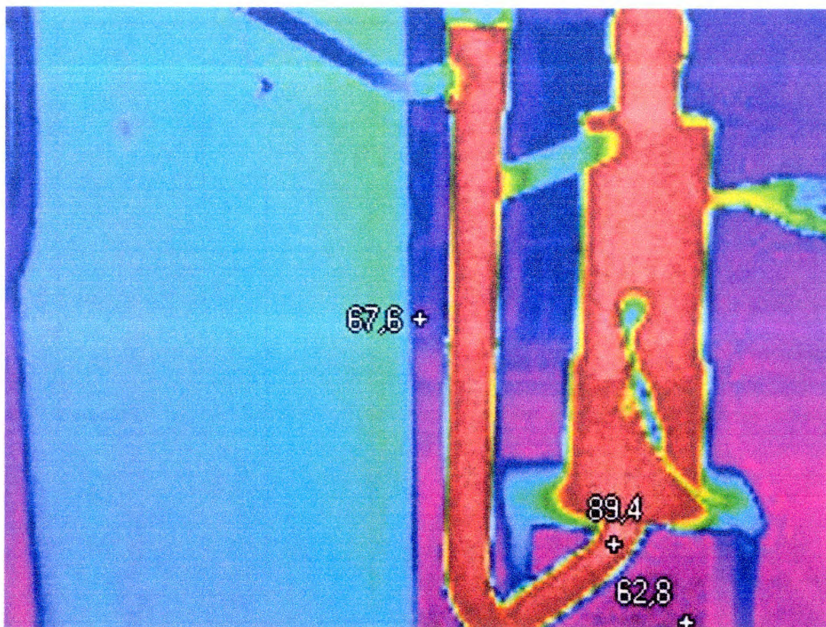


Рисунок 3.3 – Термограма гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії, знята тепловізором FLUKE-TI-25

Для проведення експериментальних досліджень розробленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії була застосована вимірювальна схема, зображена на рис. 3.4. До складу схеми входять: електродвигун М з системою фазо-імпульсного управління обертами, термореле NS та кнопкою ввімкнення S1. Тиск на вході та на виході гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії вимірювався пружинними манометрами P1 та P2. Крім того, гідродинамічні пульсації тиску вимірювались інтегральним давачем тиску PT, частота збудження якого встановлювалась генератором сигналів, контролювалась частотоміром, і передавалась на цей давач через підсилювач потужності та трансформаторний блок.

Для вимірювання рівня в ємності для подачі фільтрувальної рідини застосовувався ультразвуковий рівнемір LR з безпосереднім записом даних.

Для вимірювання акустичного відгуку (вібрації) зовнішньої поверхні робочої камери гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії використовувався електретний мікрофон GE цифрового диктофона GR та п'єзомікрофон GT, які приєднувались безпосередньо до його поверхні. Отримані

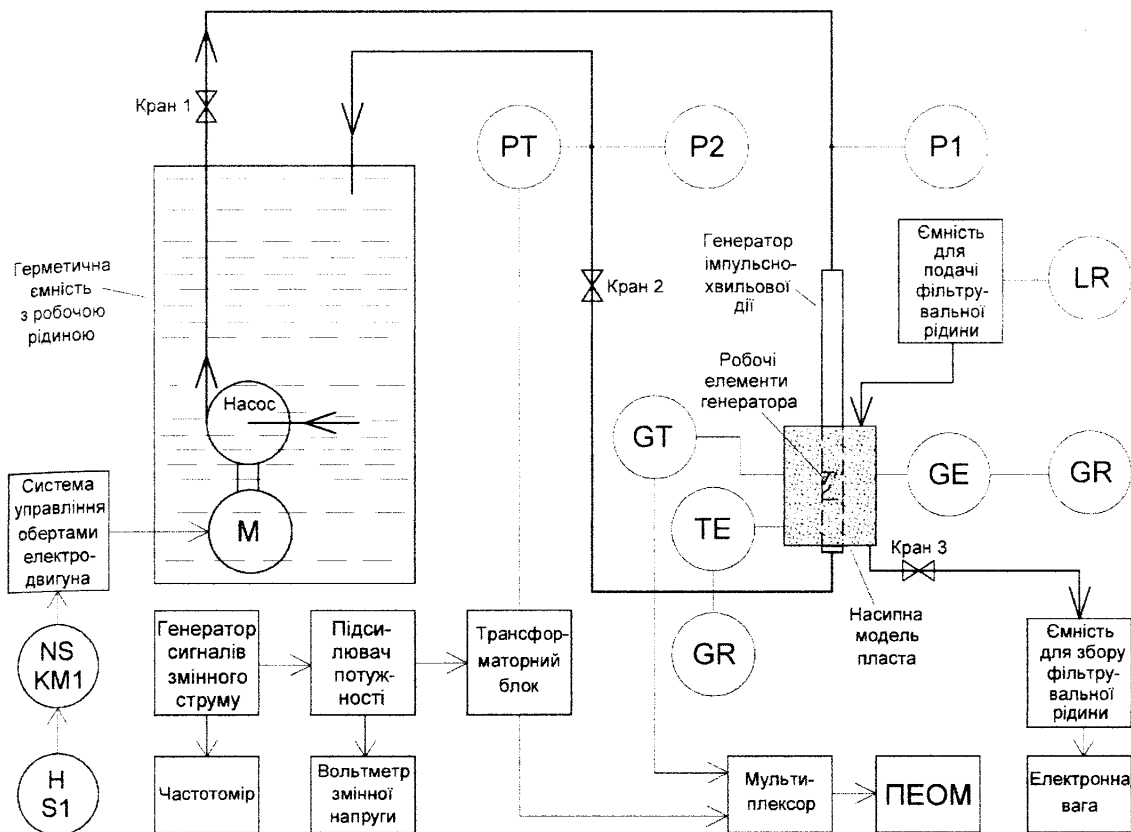


Рисунок 3.4 – Вимірювальна схема експериментальної установки для дослідження гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії

дані з мікрофонів, для вилучення корисних даних, оброблялись за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Спектральні складові акустичних сигналів від гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії мали частоти від 10 Гц до 8 кГц. При цьому частоти від 10 до 60 Гц відповідають за частоту перекидання клапана, а вищі частоти – це субгармонійні складові, що супроводжують процес перекидання. Їхня амплітуда залежить від наявних резонансів у конструкції генератора і знаходиться з виразу (2.50).

Температура в робочій зоні гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії вимірювалась термометром FLUKE 54 з контактною термопарою TE – GR. Сигнали з п'єзомікрофона та інтегрального давача тиску РТ подавались на програмно керований мультиплексор, який по-черзі під'єднував їх до ПЕОМ з високою швидкістю.

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 дозволяє визначити 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 функціями, 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 згортки), що не дає ніяких переваг у заміні лінійної послідовності згортки секціонованою.

Найчастіше для усього обчислення швидкого перетворення Фур'є використовуються 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 складає тільки 20% у порівнянні з алгоритмом Кулі-Тьюкі. Крім цього, цей алгоритм дозволяє 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 застосовано швидке перетворення Фур'є.

За описаним вище алгоритмом швидкого перетворення Фур'є проводилось дослідження характеристик акустичних сигналів гідравлічного генератора

імпульсно-хвильової дії з різними геометричними розмірами клапана у програмних пакетах SPECTRA PLUS та Sound Forge 5.0. Типові графіки акустичних досліджень генератора наведено на рис. 3.5, 3.6.

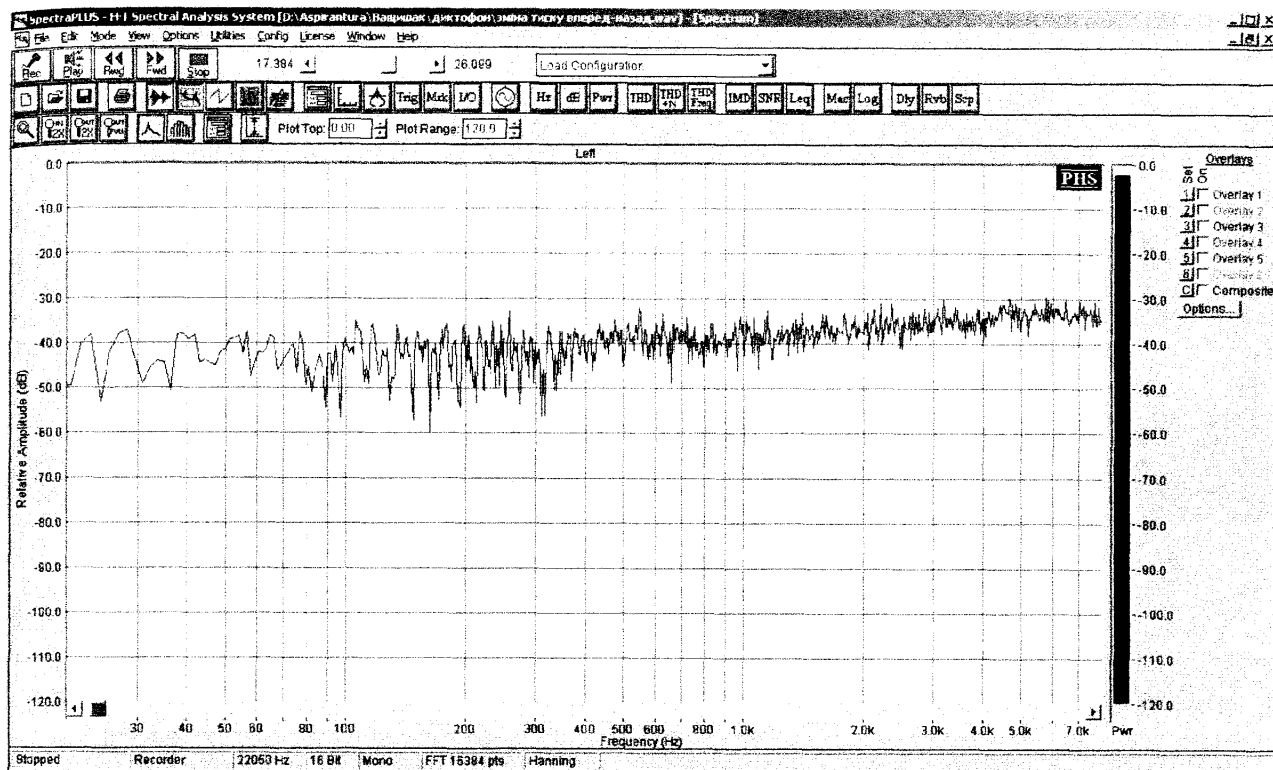


Рисунок 3.5 – Складові спектра акустичного сигналу, отримані в програмному пакеті SPECTRA PLUS

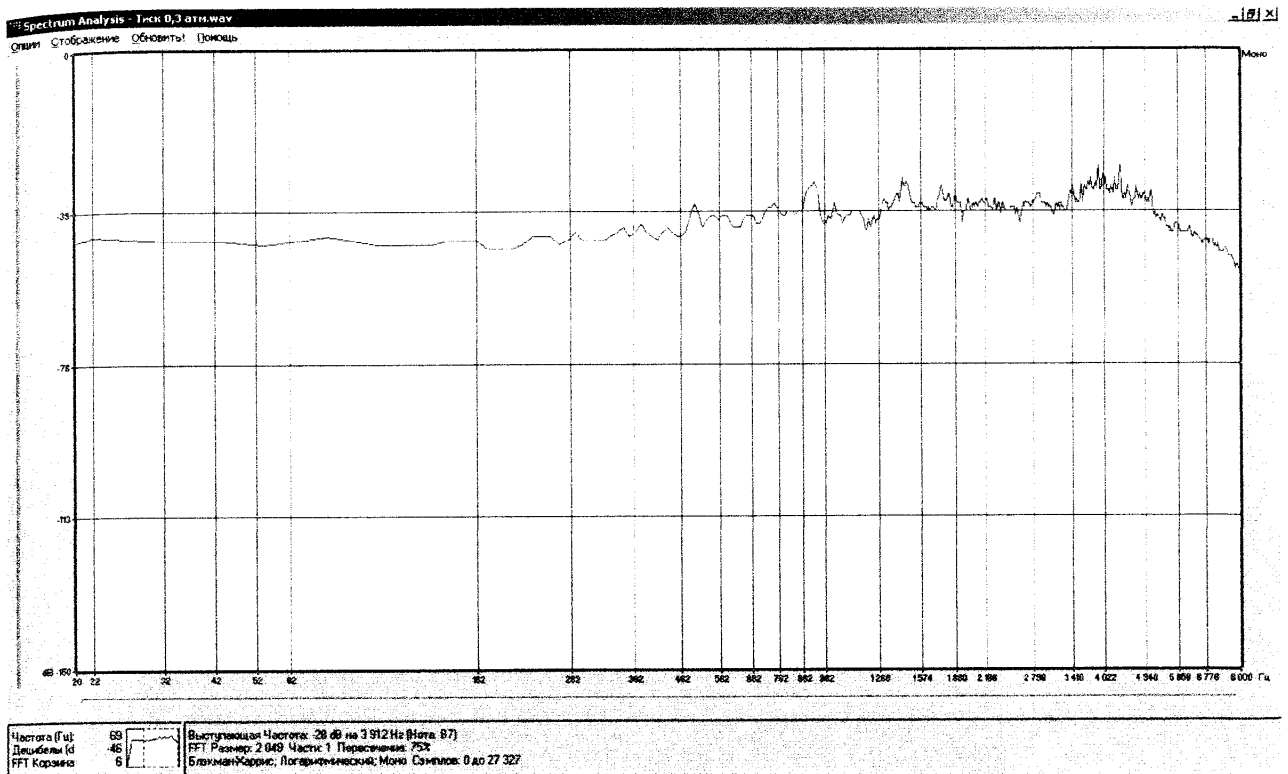


Рисунок 3.6 – Складові спектра акустичного сигналу, отримані в програмному пакеті Sound Forge 5.0

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. 3.5 і 3.6 спектральні складові акустичних сигналів від гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії мають частоти від 10 Гц до 8 кГц. При цьому частоти від 10 до 60 Гц відповідають за частоту перекидання клапана, а вищі частоти – це субгармонійні складові, що супроводжують процес перекидання. Їхня амплітуда залежить від наявних резонансів у конструкції генератора і знаходиться з виразу (2.43).

В результаті вимірювання температури робочої рідини було отримано набори значень, які знімалися через кожні 10 с протягом 25 хв. З наборів значень були побудовані графіки в середовищі Microsoft Excel. Далі графіки були апроксимовані 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:  $y=a+bx+cx^2+dx^3+ex^4$ .

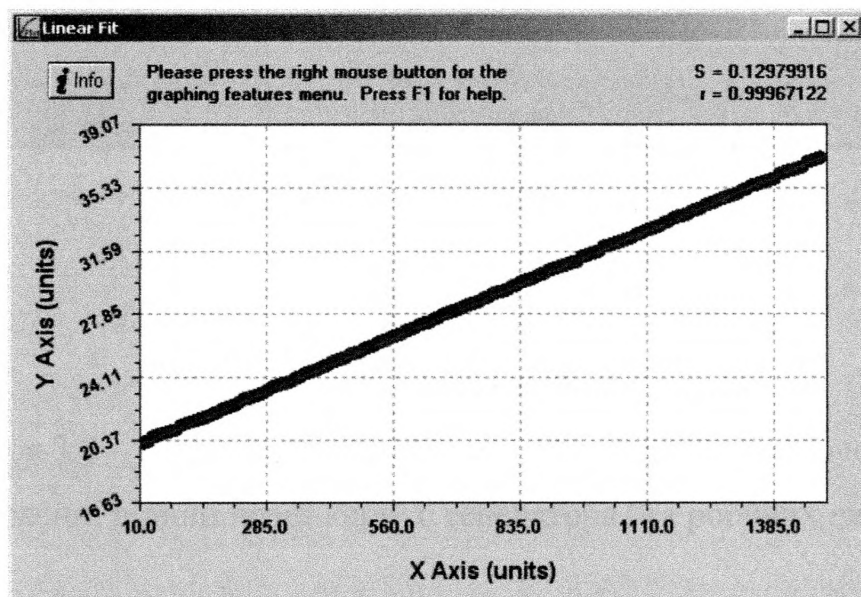
В результаті обробки виявлено, що похибка  $S$  та коефіцієнт кореляції (подібності)  $r$  для лінійної, квадратичної та поліноміальної залежностей становлять відповідно для:

1) максимальної витрати робочої рідини без розміщення гідравлічного генератора в трубопроводі:

$$S_{111}=0.1298, r_{111}=0.99967 \text{ (рис. 3.7);}$$

$$S_{112}=0.1226, r_{112}=0.99971;$$

$$S_{113}=0.1172, r_{113}=0.99974.$$



$$y=a+bx$$

$$a = 19.967802$$

$$b = 0.011532555$$

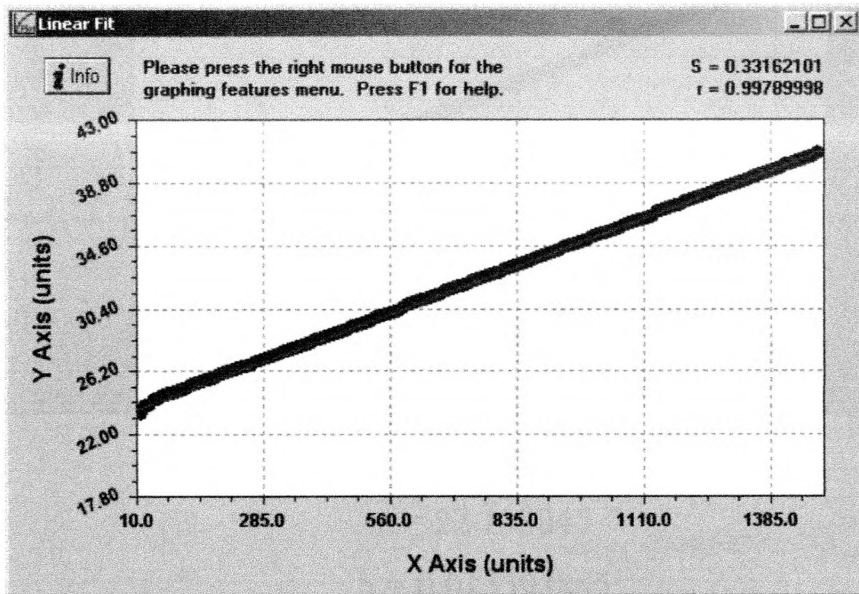
Рисунок 3.7 – Лінійна залежність зміни температури робочої рідини при проходженні рідини через трубопровід без генератора

2) максимальної витрати робочої рідини при розміщенні гідравлічного генератора в трубопроводі, коли генератор не містить робочих елементів:

$$S_{121}=0.3316, r_{121}=0.99790 \text{ (рис. 3.8);}$$

$$S_{122}=0.3205, r_{122}=0.99805;$$

$$S_{123}=0.2862, r_{123}=0.99847.$$



$$y=a+bx$$

$$a = 23.501647$$

$$b = 0.011642837$$

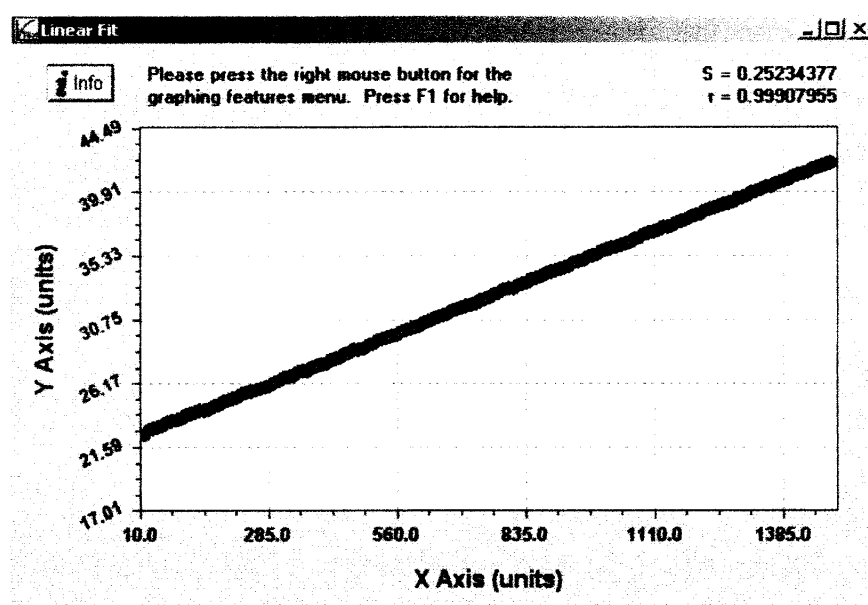
Рисунок 3.8 – Лінійна залежність зміни температури робочої рідини при проходженні рідини через корпус генератора без робочих елементів

3) максимальної витрати робочої рідини при розміщенні гідравлічного генератора в трубопроводі, коли генератор містить робочі елементи і є в робочому стані:

$$S_{131}=0.2523, r_{131}=0.99908 \text{ (рис. 3.9);}$$

$$S_{132}=0.2470, r_{132}=0.99912;$$

$$S_{133}=0.2364, r_{133}=0.99921.$$



$$y = a + bx$$

$$a = 22.138045$$

$$b = 0.013393865$$

Рисунок 3.9 – Лінійна залежність зміни температури робочої рідини при проходженні рідини через генератор в зборі

Та ж похибка і коефіцієнти кореляції при витраті, рівній 1/3 від максимальної витрати робочої рідини та при витраті, рівній 2/3 від максимальної.

Проаналізувавши лінійну та квадратичну залежності й поліному четвертого ступеню, 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.

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. 3.10). На рис. 3.10 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.

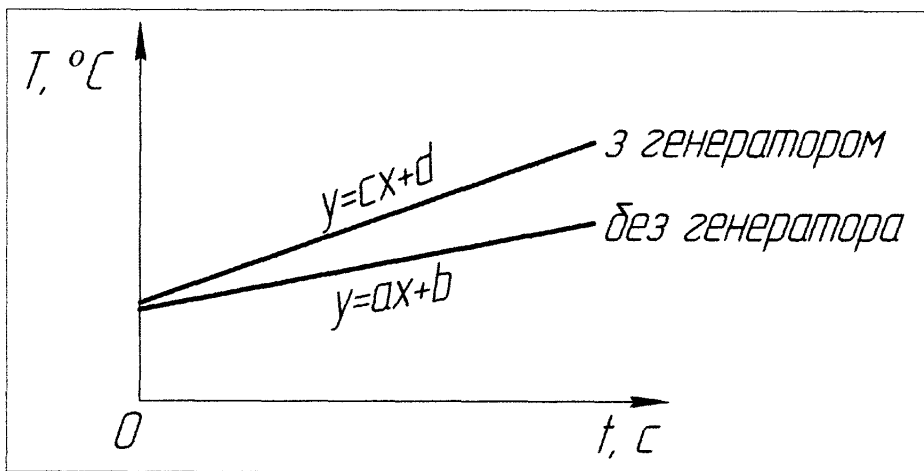


Рисунок 3.10 – Графічні залежності зміни температур для розрахунку ефективності гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії

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

$$\begin{aligned} A &= \int_0^x (cx + d) dx - \int_0^x (ax + b) dx = \frac{(cx + d)^3}{2c(cx + d)} \Big|_0^x - \frac{(ax + b)^3}{2a(ax + b)} \Big|_0^x = \\ &= \frac{(cx + d)^2}{2c} \Big|_0^x - \frac{(ax + b)^2}{2a} \Big|_0^x = \frac{(cx + d)^2}{2c} - \frac{d^2}{2c} - \frac{(ax + b)^2}{2a} + \frac{b^2}{2a} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(cx + d)^2 - d^2}{2c} - \frac{(ax + b)^2 - b^2}{2a} = \frac{c^2x^2 + 2cxd}{2c} - \frac{a^2x^2 + 2axb}{2a} = \\
&= \frac{ac^2x^2 + 2acxd - a^2x^2c - 2axbc}{2ac} = \frac{cx^2 + 2xd - ax^2 - 2xb}{2} = \\
&= \frac{x}{2}(cx + 2d - ax - 2b)
\end{aligned} \tag{3.1}$$

при умові, що  $d=b$ , отримаємо:

$$A = \frac{x^2}{2}(c - a) \tag{3.2}$$

Вирази (3.1) та (3.2) 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 20 до 100 Гц. При цьому амплітуди певних складових спектра сильно виділялись (рис. 3.11, 3.12). Однак, через те, що експериментальна установка не забезпечує 100% відтворення роботи генератора в свердловині, вимагалось підтвердження отриманих даних при роботі генератора на реальних об'єктах.

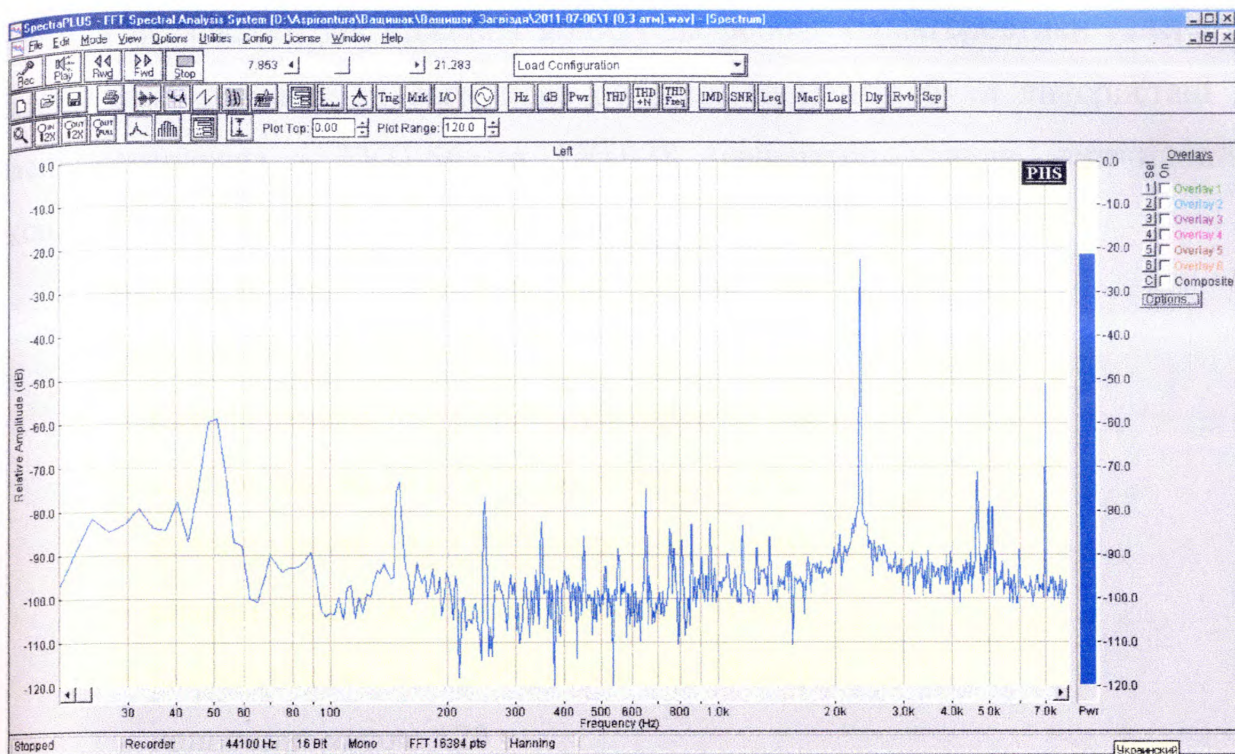


Рисунок 3.11 – Складові спектра сигналу давача тиску при максимальній витраті, отримані в програмному пакеті SPECTRA PLUS

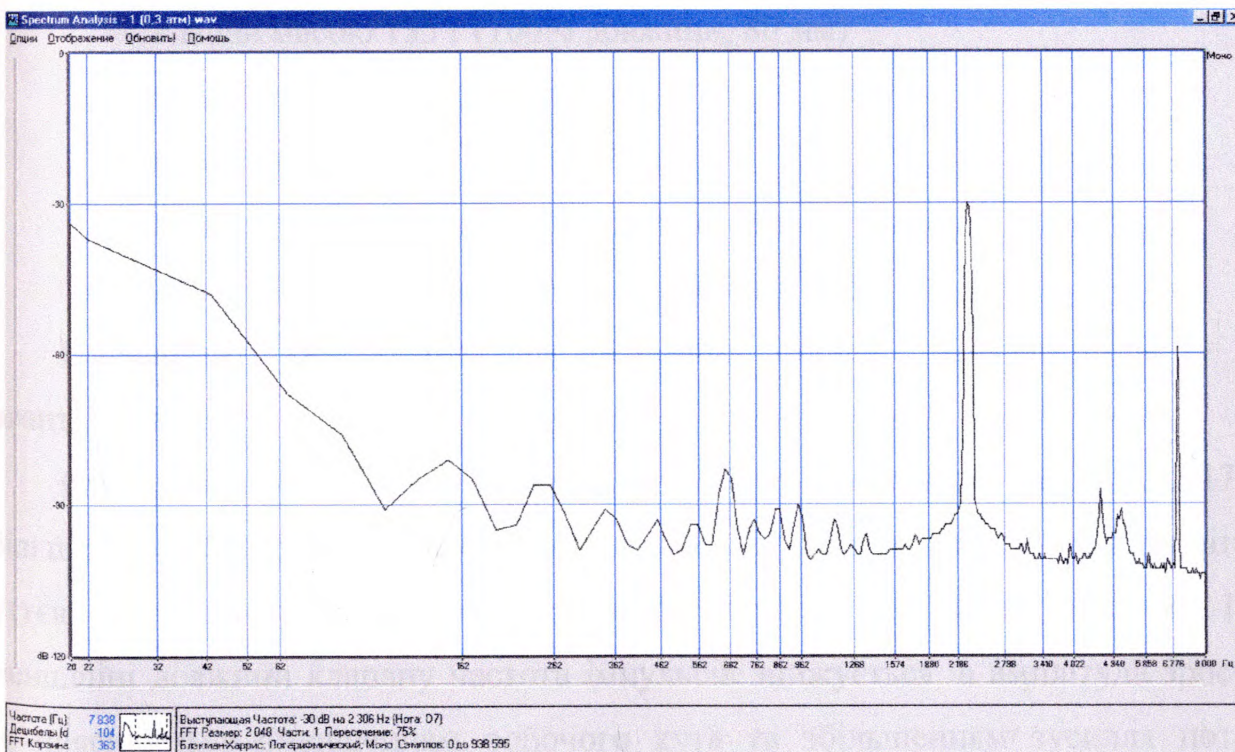


Рисунок 3.12 – Складові спектра сигналу давача тиску при максимальній витраті, отримані в програмному пакеті Sound Forge 5.0

Для детального дослідження впливу на робочі характеристики генератора геометричних розмірів та ваги його робочих елементів були використані дві моделі генератора - ГКП-56 та ГКП-38 (генератор клапан перекидний з максимальним зовнішнім діаметром корпусу 56 мм та 38 мм).

Параметри деталей генератора, які змінювалися:

1) для генератора ГКП-38:

- клапан масою 76 г (100% довжини, 60 мм)
- клапан масою 58 г (80% довжини, 53 мм)
- клапан масою 49 г (70% довжини, 45 мм)
- клапан масою 40 г (60% довжини, 37 мм)
- клапан масою 31 г (50% довжини, 30 мм)
- кривошип масою 120 г
- обважнення кривошипу  $B_1$  масою 555 г
- обважнення кривошипу  $B_2$  масою 975 г

2) для генератора ГКП-56:

- клапан масою 135 г (100% довжини, 80 мм)
- клапан масою 80 г (60% довжини, 40 мм)
- кривошип масою 630 г
- обважнення кривошипу  $M_1$  масою 408 г
- обважнення кривошипу  $M_2$  масою 608 г

Генератори випробовувалися в двох станах: ненавантаженому та навантаженому.

Отримані залежності для генератора ГКП-56 наведені на рис. 3.13-3.17. Зі збільшенням обважнення кривошипу частота імпульсів зменшується, а амплітуда суттєво не змінюється. Це пояснюється збільшенням інерційності системи. При зменшенні довжини клапану частота імпульсів знижується, а амплітуда зростає. Це пояснюється зменшенням робочого кута та збільшенням зусилля потоку рідини для перекидання клапану. Для створення більшого зусилля при незмінній подачі насосу необхідно більше часу, і, відповідно частота перекидання клапану

зменшується. Для підтвердження було проведено аналогічні експерименти для клапану довжиною 80%.

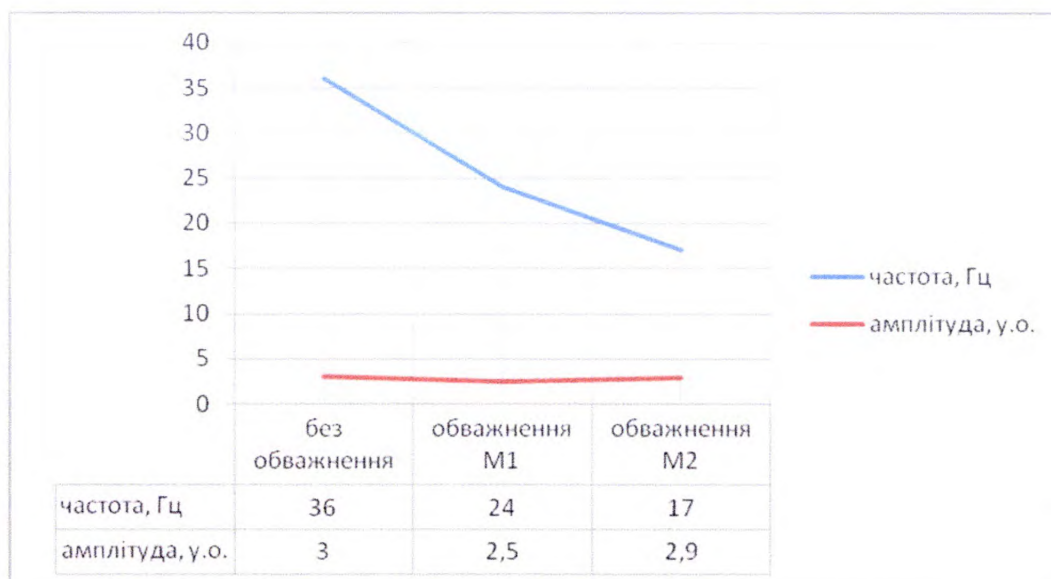


Рисунок 3.13 – Залежність частоти та амплітуди від обважнення кривошипа для клапану довжиною 100%.

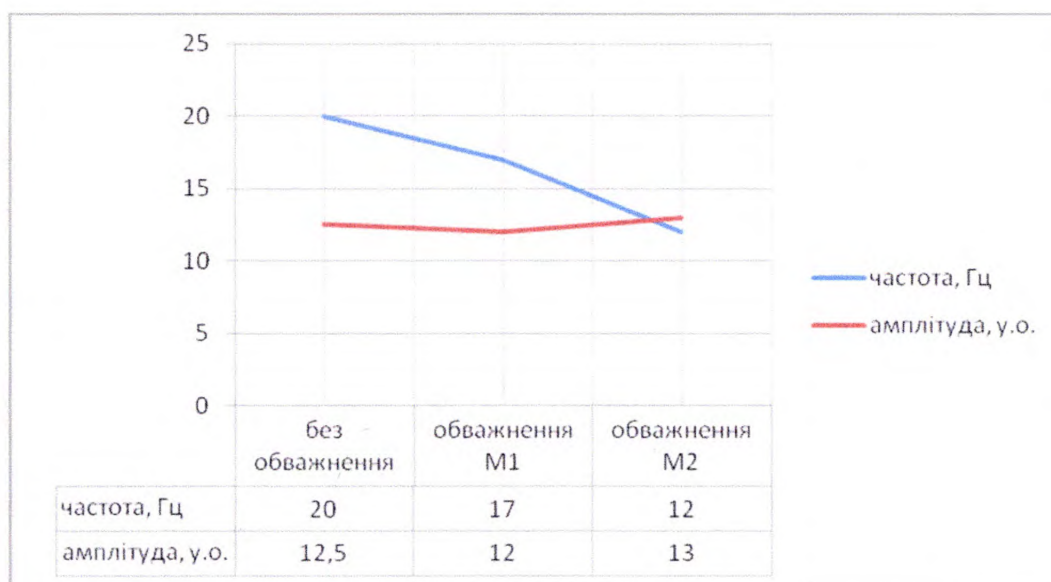


Рисунок 3.14– Залежність частоти та амплітуди від обважнення кривошипа для клапану довжиною 60%.



Рисунок 3.15 – Залежність частоти та амплітуди від довжини клапану для генератора ГКП-56 без обважнення.

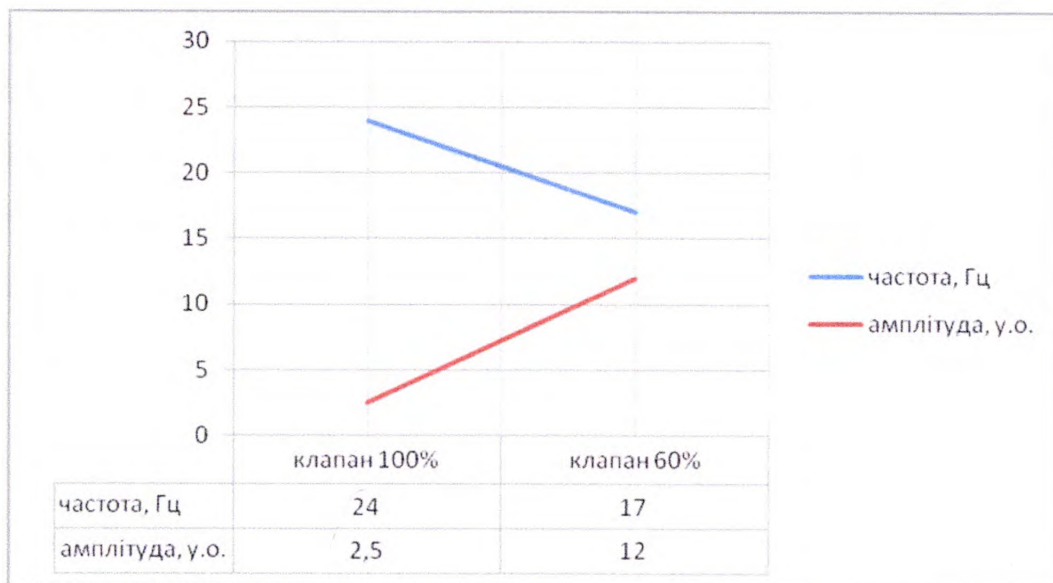


Рисунок 3.16 – Залежність частоти та амплітуди від довжини клапану для генератора ГКП-56 з обважненням  $M_1$ .

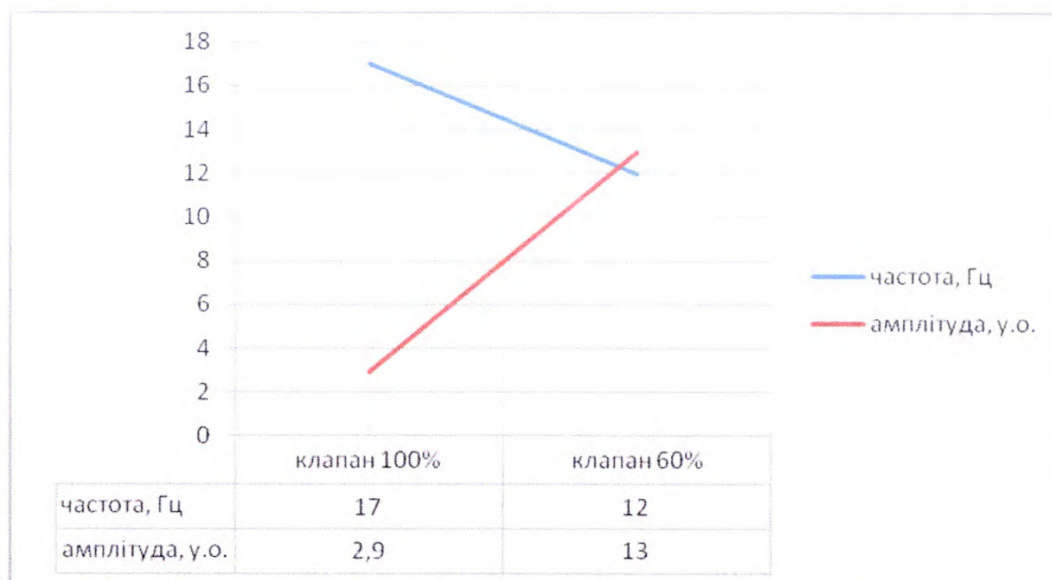


Рисунок 3.17 – Залежність частоти та амплітуди від довжини клапану для генератора ГКП-56 з обважненням  $M_2$ .

Отримані графічні залежності для генератора ГКП-38 наведені на рис.3.18-3.28. Амплітуда коливань збільшується при додатковому навантаженні генератора, частота коливань суттєво не змінюється. Зростання амплітуди можна пояснити зменшенням гідравлічних втрат за рахунок кращого притискання генератора до сідла.



Рисунок 3.18 – Залежність частоти та амплітуди від обважнення кривошипа для клапану довжиною 100%.



Рисунок 3.19 – Залежність частоти та амплітуди від обважнення кривошипа для клапану довжиною 80%.



Рисунок 3.20 – Залежність частоти та амплітуди від обважнення кривошипа для клапану довжиною 70%.

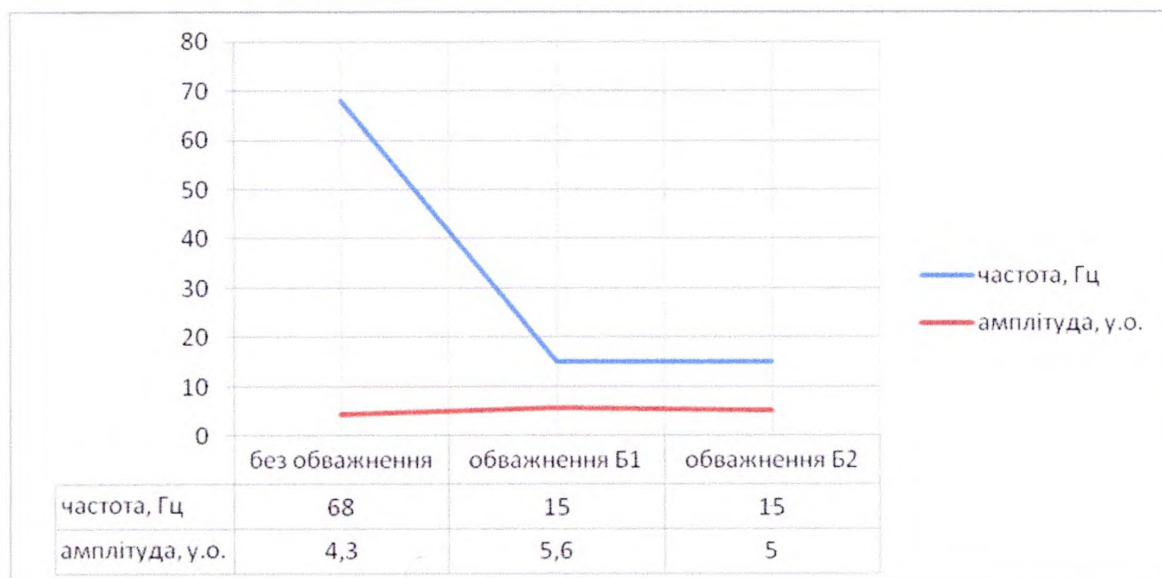


Рисунок 3.21 – Залежність частоти та амплітуди від обважнення кривошипа для клапану довжиною 60%.



Рисунок 3.22 – Залежність частоти та амплітуди від обважнення кривошипа для клапану довжиною 50%.

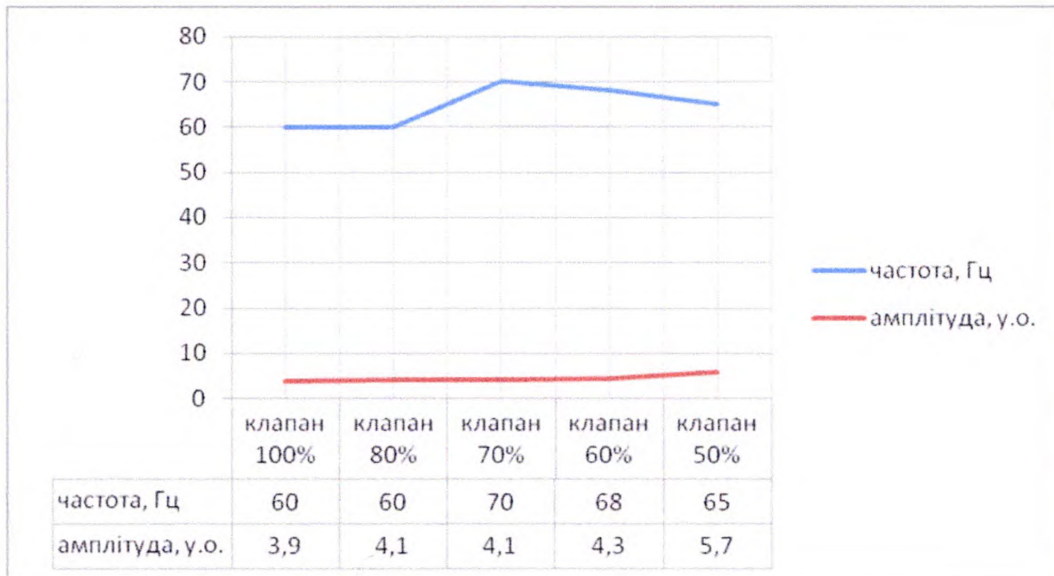


Рисунок 3.23 – Залежність частоти та амплітуди від довжини клапану для генератора ГКП-38 без обважнення.

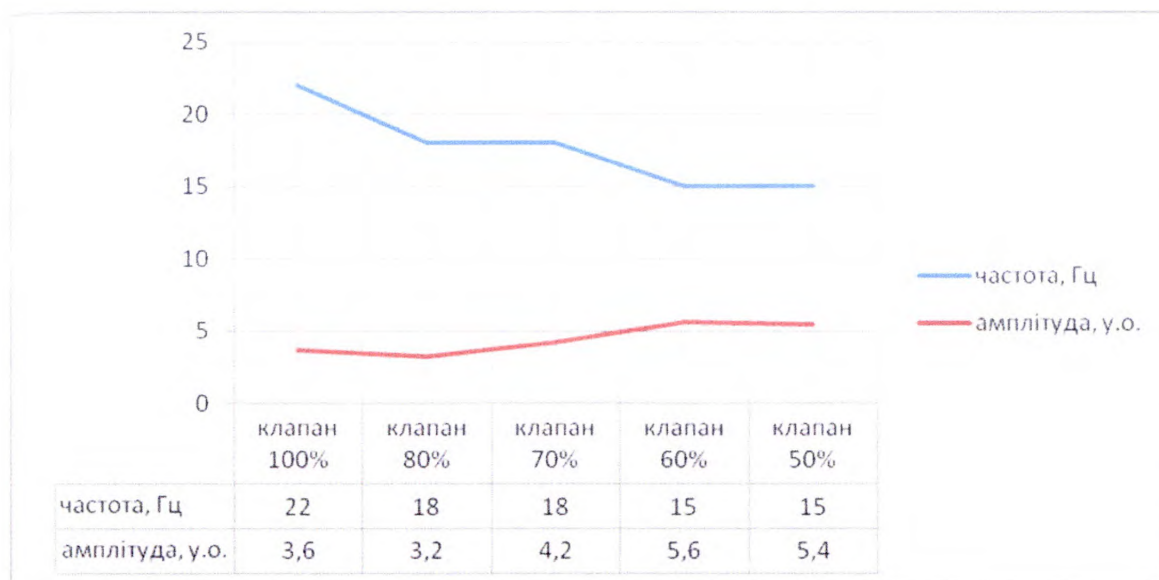


Рисунок 3.24 – Залежність частоти та амплітуди від довжини клапану для генератора ГКП-38 з обваженням Б<sub>1</sub>.

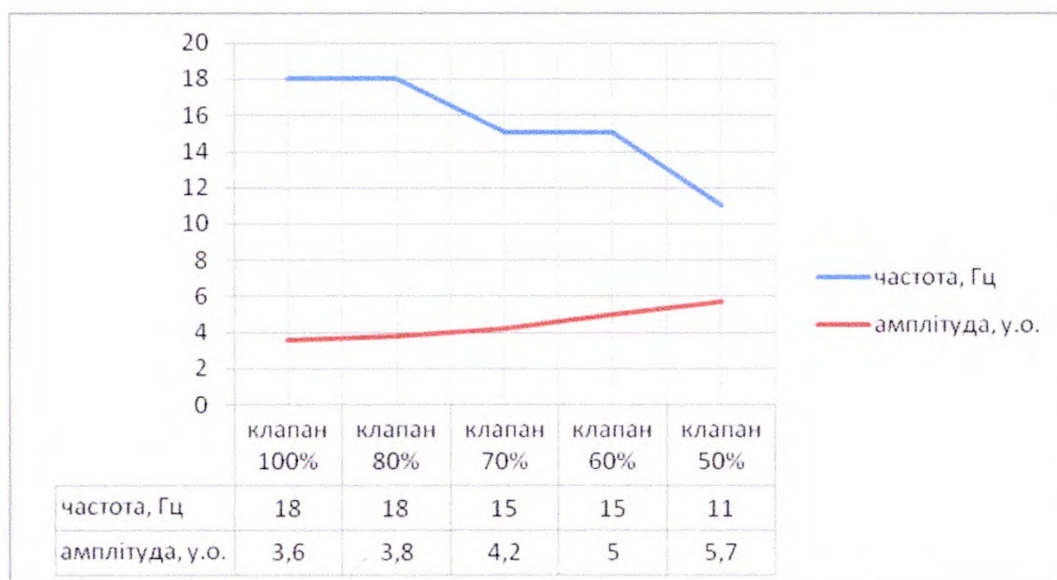


Рисунок 3.25 – Залежність частоти та амплітуди від довжини клапану для генератора ГКП-38 з обваженням Б<sub>2</sub>.

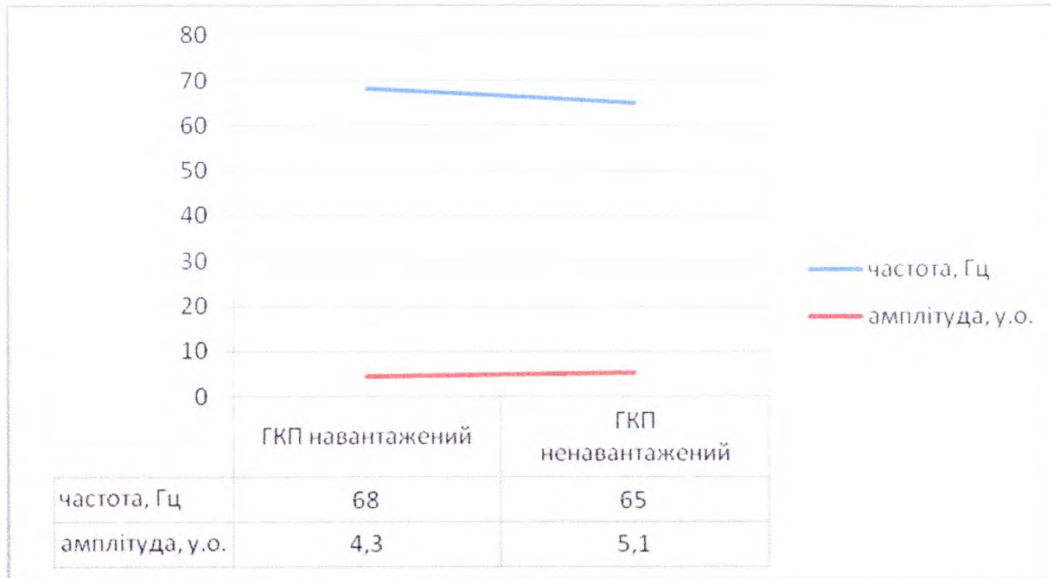


Рисунок 3.26 – Залежність частоти та амплітуди від навантаження генератора ГКП-38 без обважнення.

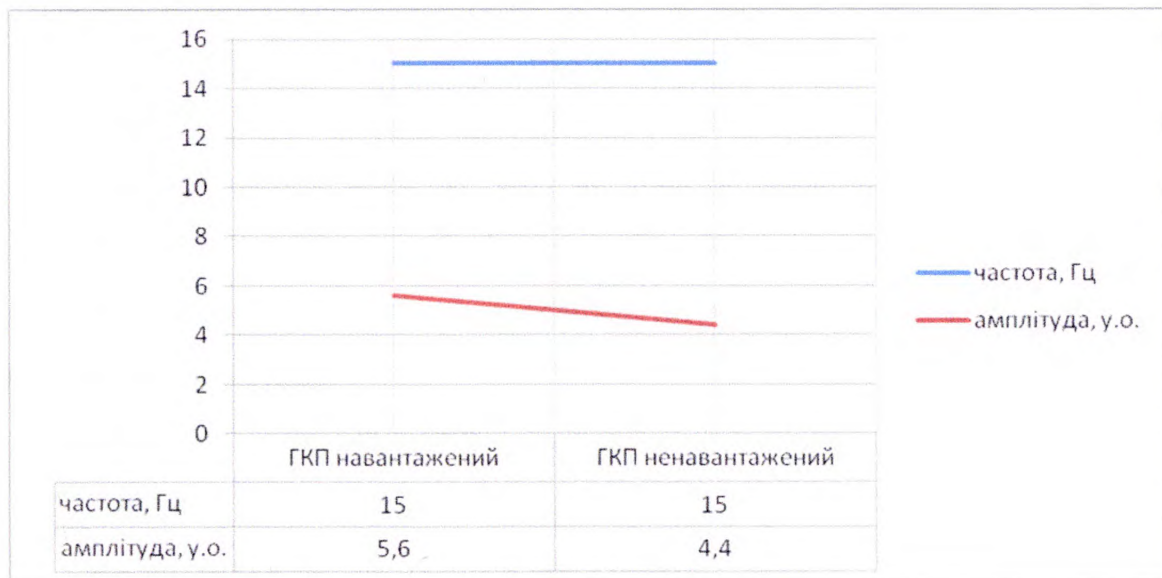


Рисунок 3.27 – Залежність частоти та амплітуди від навантаження генератора ГКП-38 з обважненням Б<sub>1</sub>.

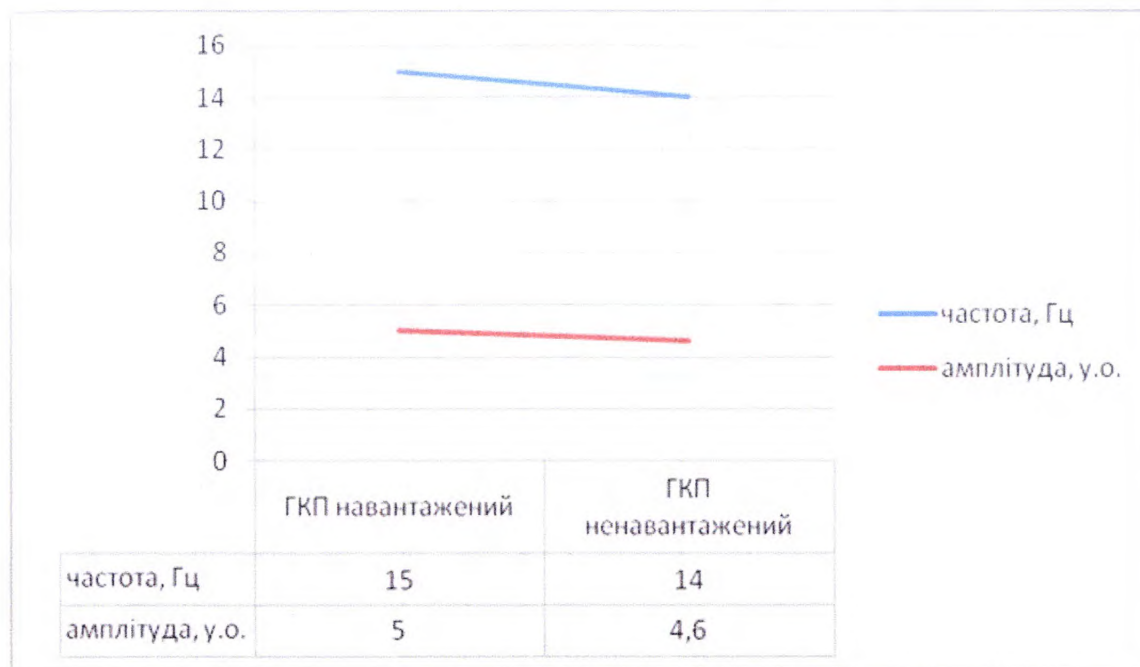
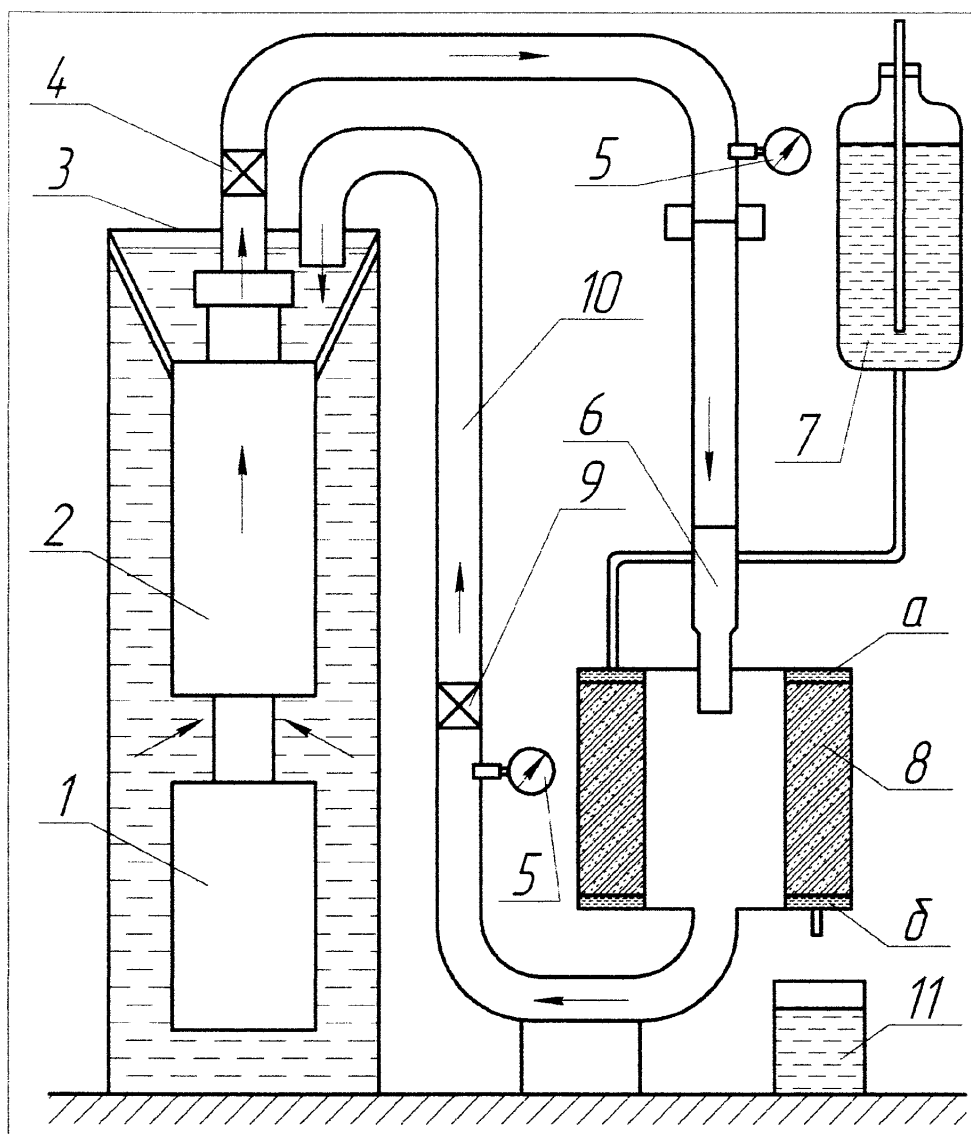


Рисунок 3.28 – Залежність частоти та амплітуди від навантаження генератора ГКП-38 з обваженням Б<sub>2</sub>.

Дослідження ефективності впливу удосконаленого генератора на процеси фільтрації рідини через насипну модель пласта проводилось згідно схеми на рис. 3.29. Для цих експериментів було відібрано генератор моделі ГКП-38, який працював в навантаженому стані з обваженням 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)

В якості фільтрувальної рідини використовувались промислові зразки нафти, трансформаторного масла та пластової води, відповідно з коефіцієнтом динамічної в'язкості 10, 5 та 1 мПа·с.



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 3.29 – Схема експериментальної установки з насипною моделлю пласта для дослідження гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії

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 експериментальна система попередньо стабілізувалась, кількість замірів приймалась рівною 10 для кожного типорозміру генератора. Підтримування постійного тиску в системі досягалось використанням посудин Маріотта [104].

Модель пласта 8 (рис. 3.29) 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 експериментальну 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 набирився протягом 1 хв. (рис. 3.14).

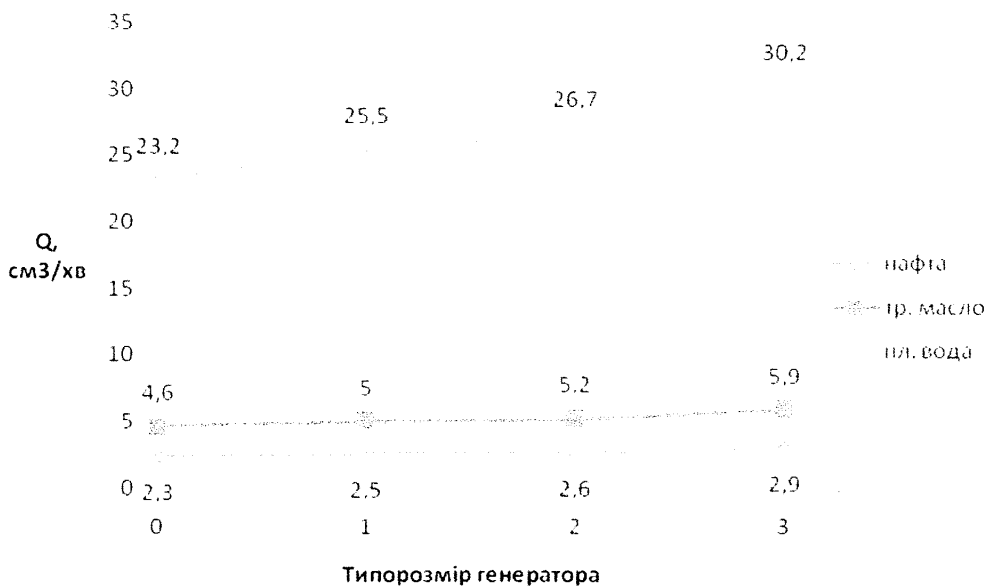
5. Повторюється пп.1-4 з трансформаторним маслом та пластовою водою.

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

Аналізуючи проведені досліди та побудовані графіки (рис. 3.30), 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., що відповідає даним, які наведені в [105-112];

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



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

### 3.3 Встановлення залежностей робочих характеристик генератора від зміни його фізичних параметрів

Головна мета експериментального дослідження – встановити зв'язки між різними чинниками, знайти закономірності, які визначають вплив багатьох показників на хід процесу, що вивчається. За результатами проведення експерименту необхідно знайти математичну модель об'єкта дослідження, під якою розуміють рівняння, що зв'язує показники процесу з чинниками, що діють на нього:  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – це рівняння називається функцією відгуку. Для спрощення розрахунків значення чинників перетворюємо в умовні одиниці, тобто так, щоб вони відповідали числам: -1, +1.

В умовний масштаб їх переводимо так:

1) встановлюємо мінімальне, максимальне та нульове (середнє) значення даного чинника:

$$X_{imin}, X_{imax}, X_{icep} = (X_{imin} + X_{imax})/2 \quad (3.3)$$

2) задаємо інтервал або крок зміни  $h_i$ , тобто таке значення чинника в натуральних одиницях, додавання якого до нульового рівня дає верхній, а віднімання – нижній його рівень:

$$h_i = X_{icep} - X_{imin} \quad (3.4)$$

3) розраховуємо умовне значення рівнів чинників (-1, +1):

$$\overline{X}_{i \min} = (X_{imin} - X_{icep}) / h_i = -1; \quad (3.5)$$

$$\overline{X}_{i \max} = (X_{imax} - X_{icep}) / h_i = +1; \quad (3.6)$$

$$\overline{X}_{icep} = (X_{icep} - X_{icep}) / h_i = 0. \quad (3.7)$$

Оскільки кожний чинник змінюється на двох рівнях (верхній і нижній), отримуємо повний чинників експеримент типу  $2^n$ , де 2 – число рівнів, а  $n$  – кількість чинників. Тобто для двох чинників ( $n=2$ ) необхідно провести чотири досліди ( $2^2=4$ ).

Складаємо матрицю планування експерименту. Серед великої кількості чинників (довжина клапану, маса кривошипу, тиск та витрата рідини, температура рідини, вміст газу, реологічні властивості рідини, завантаженість генератора) для включення в матрицю було обрано два найважливіші чинники (довжина клапану та вага кривошипу) на двох рівнях за методикою, описаною в [113], і дані заносимо в таблицю 3.1. Було проведено вимірювання частоти та амплітуди коливань, які генерувалися дослідними зразками генераторів типорозміру ГКП-56 з такими фізичними параметрами: довжина клапану 80 мм та 40 мм, вага кривошипу 0,4 кг та 1,6 кг. Генератори випробовувалися в навантаженому стані.

Таблиця 3.1 – Матриця планування експерименту

Номер досліджу	Значення факторів				
	Умовна одиниця			Фактична одиниця	
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	Довжина клапану $l$ , м	Вага кривошипу $m$ , кг
1	+1	+1	+1	0,08	1,6
2	+1	+1	-1	0,08	0,4
3	+1	-1	+1	0,04	1,6
4	+1	-1	-1	0,04	0,4

З таблиці 3.1 видно, що необхідно провести 4 паралельні досліди, результати яких наведені в таблицях 3.2 та 3.3 для частоти та амплітуди коливань відповідно.

Коефіцієнти рівняння регресії визначаються за формулою:

Таблиця 3.2 – Результати експерименту по частоті коливань

Номер досліджу	Експериментальні значення $f$ , Гц										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$f_{\text{ср}}$
1	16,3	15,4	18,4	17,6	18,1	16,6	15,7	18,6	17,2	16,1	17
2	37,4	37,7	34,9	35,4	36,3	35,9	34,3	36,1	35,7	36,3	36
3	12,4	13,5	10,5	11,1	13,5	12,8	11,4	10,9	11,6	12,3	12
4	21,1	20,3	18,7	19,5	20,8	19,7	21,5	20,1	18,4	19,9	20

$$b_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N X_i \cdot \bar{y}, \quad (3.8)$$

де  $N$  – число рядків матриці планування;

$\bar{y}$  – середнє значення змінної стану за паралельними дослідями рядка матриці планування, яке визначається за формулою:

$$\bar{y} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{k=1}^m y_k, \quad (3.9)$$

де  $m$  – число паралельних дослідів;

$k$  – число чинників;

$N \cdot m$  – загальне число дослідів.

Розраховувавши коефіцієнти рівняння регресії:

$$b_0 = 1/4 \cdot (17 + 36 + 12 + 20) = 21,25;$$

$$b_1 = 1/4 \cdot (17 + 36 - 12 - 20) = 5,25;$$

$$b_2 = 1/4 \cdot (17 - 36 + 12 - 20) = -6,75;$$

Таблиця 3.3 – Результати експерименту по амплітуді коливань

Номер досліджу	Експериментальні значення $A$ , $10^{-1}$ МПа										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$A_{сер}$
1	2,7	2,5	3,3	3,7	2,9	3,1	2,7	3,5	3,2	2,4	3
2	3,6	3,4	2,3	2,8	2,9	3,4	3,5	2,4	2,6	3,1	3
3	14,1	13,3	13,6	11,9	14	12,7	12,1	11,7	13,4	13,2	13
4	11,7	12,4	13,8	13,2	12,1	11,3	12,6	11	13,6	13,3	12,5

Отримаємо рівняння регресії по частоті коливань

$$f(X_1, X_2) = 21,25 + 5,25 \cdot X_1 - 6,75 \cdot X_2 \quad (3.10)$$

Перевішивши значення факторів з умовних одиниць у фактичні, отримаємо:

$$f(l, m) = 18,25 + 262,5 \cdot l - 11,25 \cdot m \quad (3.11)$$

Розраховувавши коефіцієнти рівняння регресії:

$$b_0 = 1/4 \cdot (3 + 3 + 13 + 12,5) = 7,88;$$

$$b_1 = 1/4 \cdot (3 + 3 - 13 - 12,5) = -4,88;$$

$$b_2 = 1/4 \cdot (3 - 3 + 13 - 12,5) = 0,13,$$

Отримаємо рівняння регресії по амплітуді коливань

$$A(X_1, X_2) = 7,88 - 4,88 \cdot X_1 + 0,13 \cdot X_2 \quad (3.12)$$

Перевішивши значення факторів з умовних одиниць у фактичні, отримаємо:

$$A(l, m) = 27,05 - 244 \cdot l + 0,22 \cdot m \quad (3.13)$$

На основі експериментальних даних, з використанням програмного пакету MathCAD були отримані 3D-поверхні для визначення частоти та амплітуди коливань, які генеруються генератором (рис. 3.31).

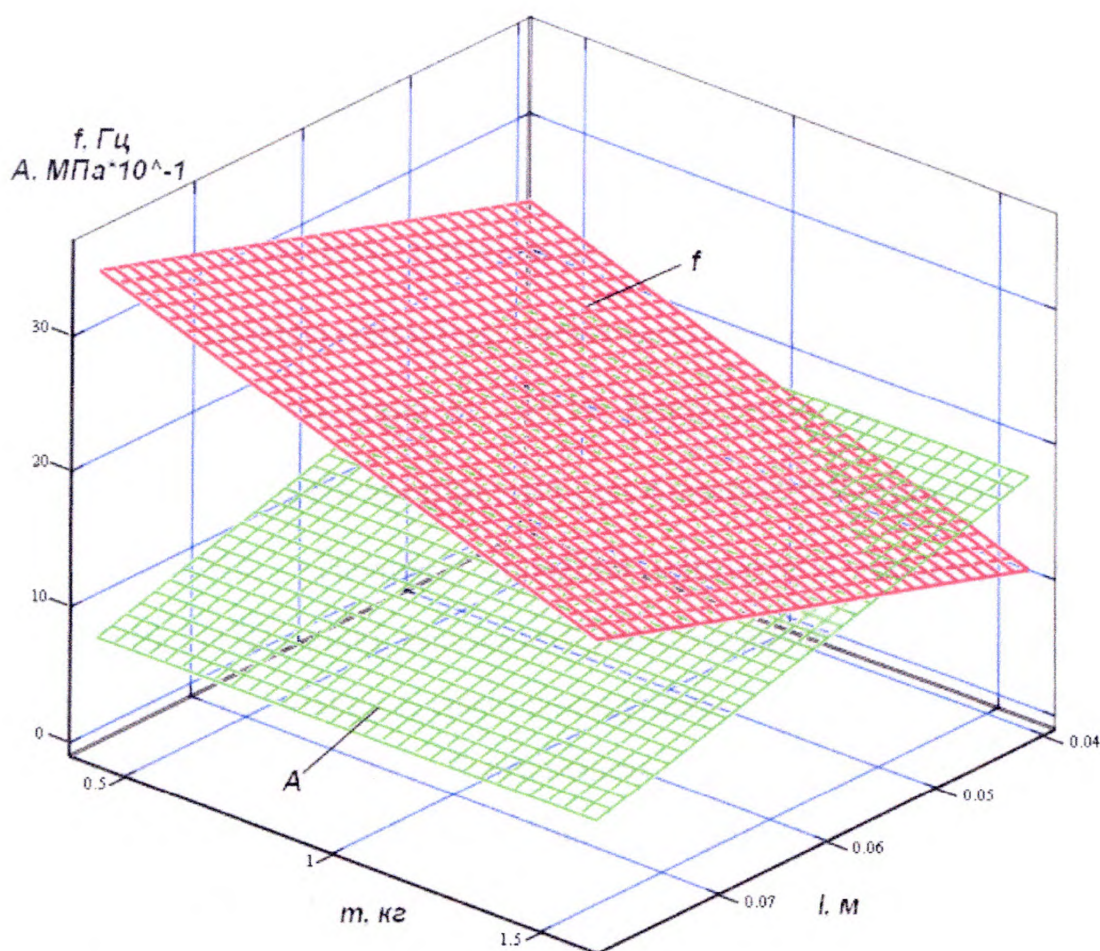


Рисунок 3.31 – 3D-графік залежності частоти та амплітуди генерованих імпульсів від фізичних параметрів генератора

Проведемо аналіз рівняння регресії (3.10). Рядкові дисперсії дорівнюють:  $S_1^2 = 1,316$ ;  $S_2^2 = 1,067$ ;  $S_3^2 = 1,131$ ;  $S_4^2 = 0,978$ . Розрахункове значення критерію Кохрена  $G_p = 0,294$ . Табличне значення критерію Кохрена при  $f_1 = 19$ ,  $f_2 = 4$ , буде  $G_p = 0,5017$ , отже дисперсія однорідна, визначаємо помилку дослідів  $S_0^2 = 1,123$ , а середньоквадратичне відхилення  $S_0 = 0,561$ . Перевіряємо значимості коефіцієнтів

рівняння регресії. Дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії становить  $S_b^2 = 0,028$ , а похибка  $S_b = 0,168$ . Табличне значення критерію Стюдента при ступені свободи  $f_o = 4 \cdot (10 - 1) = 36$  і рівні значимості  $q = 0,05$  становить  $t_T = 2,028$ . Оскільки для всіх коефіцієнтів рівняння регресії виконується умова  $t_p > t_T$ , то всі коефіцієнти значимі. Виконуючи перевірку адекватності рівняння регресії отримали, що табличне значення критерію Фішера більше розрахункового, отже, це свідчить про адекватність рівняння регресії.

Проведемо аналіз рівняння регресії (3.12). Рядкові дисперсії дорівнюють:  $S_1^2 = 0,187$ ;  $S_2^2 = 0,222$ ;  $S_3^2 = 0,637$ ;  $S_4^2 = 0,949$ . Розрахункове значення критерію Кохрена  $G_p = 0,476$ . Табличне значення критерію Кохрена при  $f_1 = 19$ ,  $f_2 = 4$ , буде  $G_p = 0,5017$ , отже дисперсія однорідна, визначаємо помилку дослідів  $S_0^2 = 0,221$ , а середньоквадратичне відхилення  $S_0 = 0,111$ . Перевіряємо значимості коефіцієнтів рівняння регресії. Дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії становить  $S_b^2 = 0,0055$ , а похибка  $S_b = 0,074$ . Табличне значення критерію Стюдента при ступені свободи  $f_o = 4 \cdot (10 - 1) = 36$  і рівні значимості  $q = 0,05$  становить  $t_T = 2,028$ . Оскільки для всіх коефіцієнтів рівняння регресії виконується умова  $t_p > t_T$ , то всі коефіцієнти значимі. Виконуючи перевірку адекватності рівняння регресії отримали, що табличне значення критерію Фішера більше розрахункового, отже, це свідчить про адекватність рівняння регресії.

### Висновки до третього розділу

Розроблено експериментальну установку для дослідження робочих характеристик генератора при зміні геометричних розмірів його елементів. Розроблено методику проведення досліджень генератора безпосередньо в трубі та при дії на пласт з використанням імітатора пласта. Розроблено вимірювальну схему експериментальної установки. Отримано типові графіки акустичного тиску, температури та гідравлічних коливань при роботі генератора, наведено

залежності, що характеризують зміну цих параметрів. Отримано аналітичні залежності частоти та амплітуди імпульсів генератора від фізичних параметрів генератора (довжини клапану та ваги кривошипу). Отримані розрахунки за розробленими аналітичними залежностями мають високий ступінь кореляції з результатами експериментів (більше 0,85).

## РОЗДІЛ 4

ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО  
ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВОЇ ДІЇ НА НАФТОГАЗОНОСНИЙ  
ПЛАСТ

## 4.1 Загальні відомості про застосування удосконаленого гідравлічного генератора на свердловині

Використання удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти (рис. 4.1-4.4) дозволяє відновити фільтраційні властивості колектора зумовлені зниженням гідропровідності ПЗП.

Застосовувати удосконалений гідравлічний генератор доцільно у таких випадках:

а) для очищення ПЗП від фільтрату глинистого розчину при освоєнні свердловин;

б) для очищення ПЗП від кольматуючих речовин, привнесених під час експлуатації і проведення ремонтних робіт;

в) для підвищення продуктивності свердловин і вирівнювання профілю припливу нафтогазовидобувних і підвищення приймальності нагнітальних свердловин, продуктивність яких зменшилась в процесі експлуатації;

г) для підвищення ефективності освоєння свердловини під закачку води при переведенні видобувних свердловин в фонд нагнітальних [114-117].

До свердловини, на якій планується проведення робіт, висувається ряд вимог.

Свердловина для обробки по технології імпульсно-хвильової дії повинна мати герметичну експлуатаційну колону (обсадні труби ГОСТ 632), колону НКТ (насосно-компресорні труби за ГОСТ 633) і гирло свердловини обладнане фонтанною арматурою за ГОСТ 13846-89.

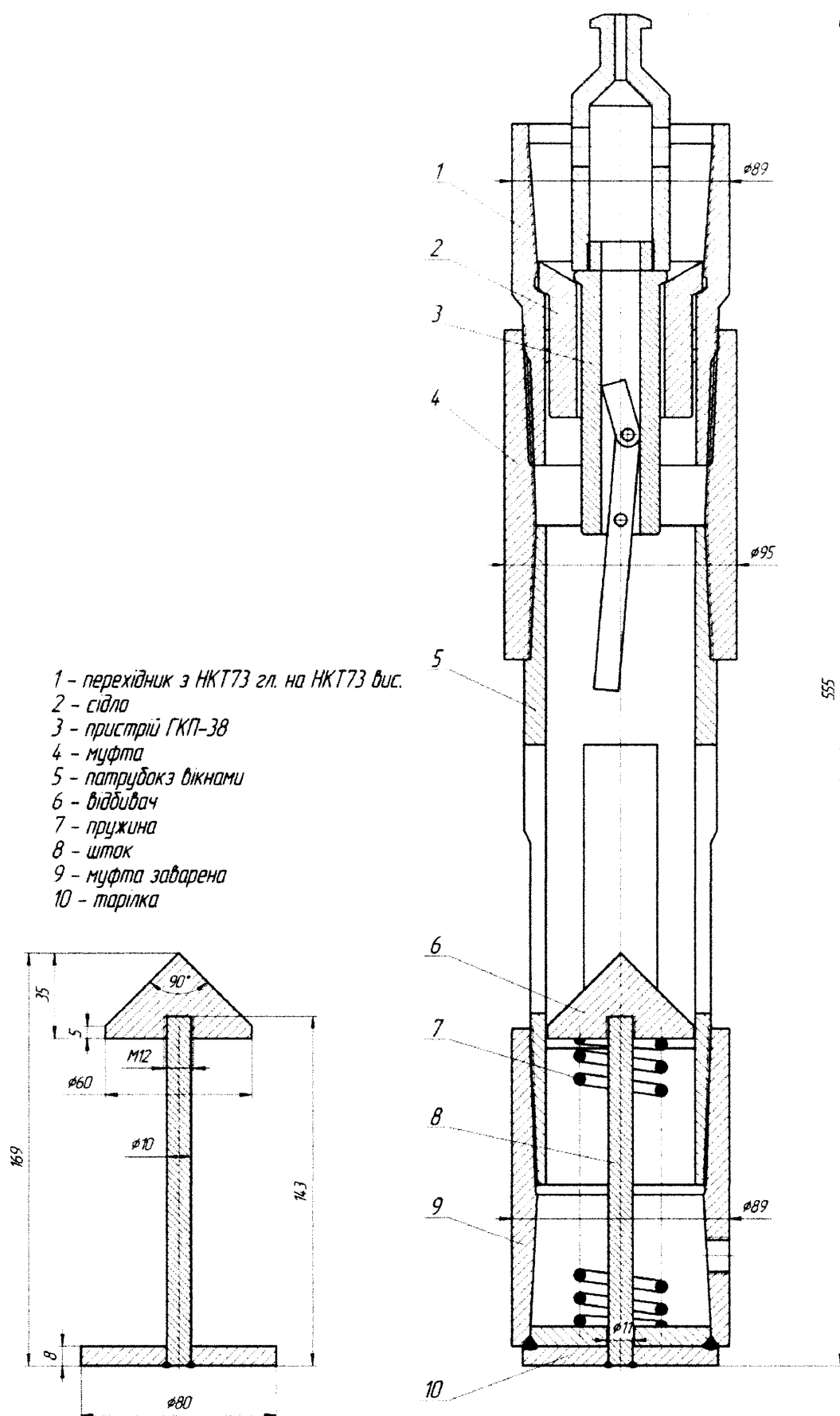
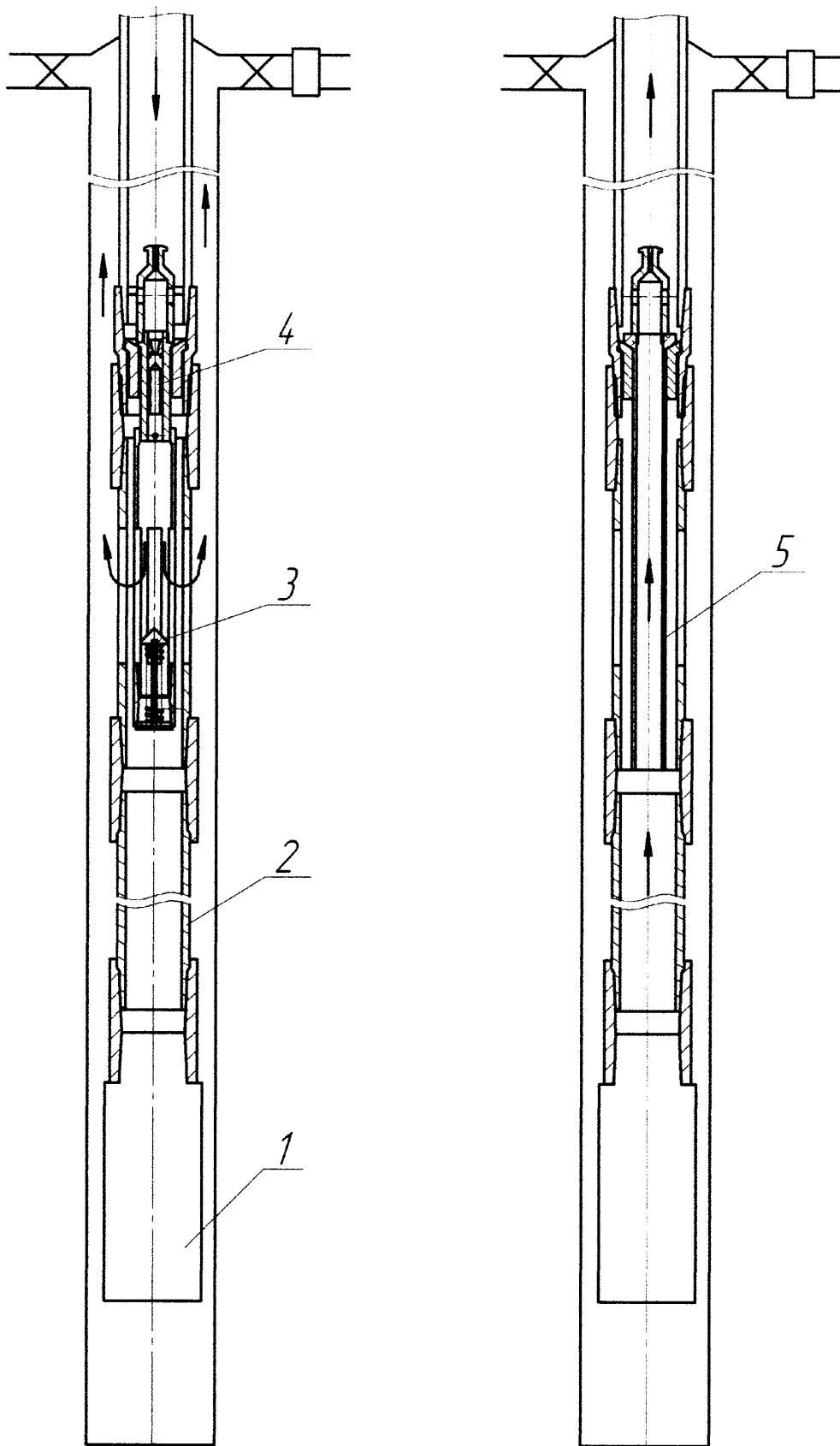


Рисунок 4.1 – Акустичний концентратор



1 – гвинтовий насос; 2 – патрубок; 3 – відбивач; 4 – генератор ГКП;  
5 – ізолюючий патрубок

Рисунок 4.2 – Схема розташування обладнання в свердловині

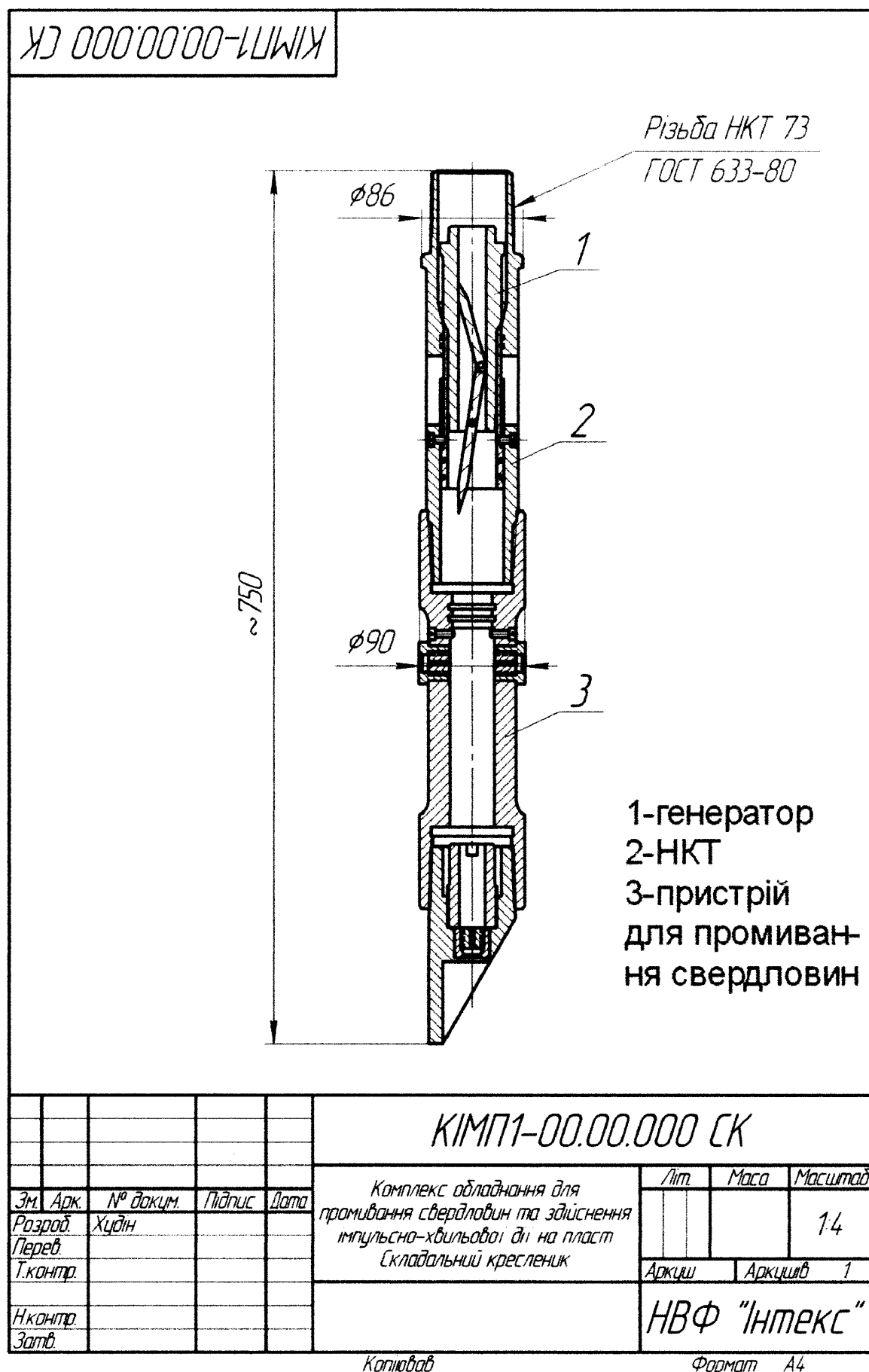


Рисунок 4.3 – Комплекс обладнання для роботи в свердловині

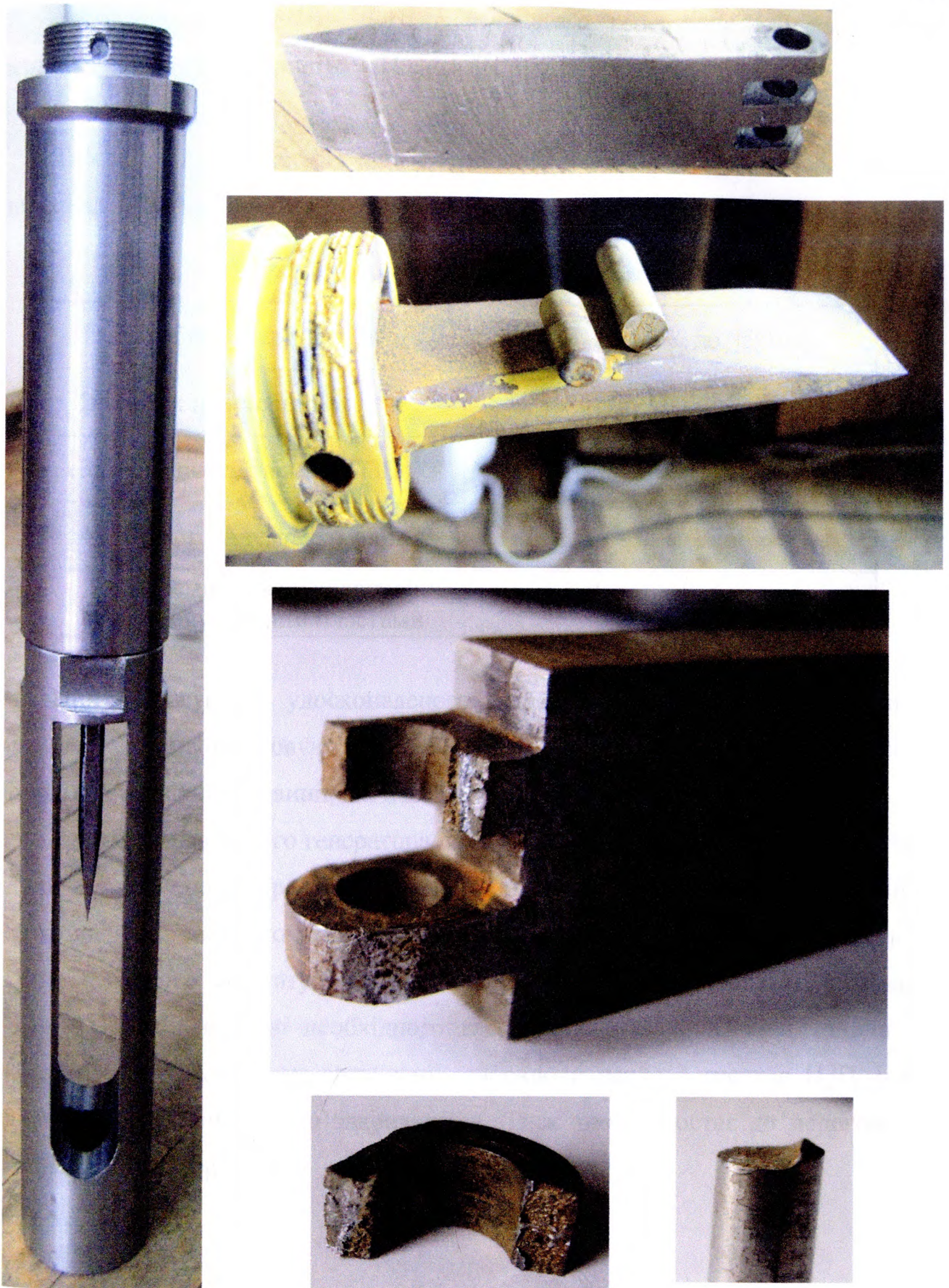


Рисунок 4.4 – Фото гідралічного генератора взборі та зруйнованих деталей

Застосування удосконаленого гідравлічного генератора можливе, якщо свердловина має характеристику, яка наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика свердловин, обробка яких може проводитися удосконаленим гідравлічним генератором імпульсно-хвильової дії

№ п/п	Параметр	Одиниці виміру	Величина
1	Глибина свердловини	м	до 4500
2	Тиск пластовий	МПа	від 0,5 величини гідростатичного рівня
3	Градiєнти тисків в ПЗП	МПа/м	від 0,1 до 1,5
4	Пластова температура	°C	до 120
5	Перемичка між водоносним і продуктивним пластами	м	не менше 15

При застосуванні удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії використовуються технологічні установки та технічні засоби, матеріали і технічні речовини, які наведені в таблиці 4.2.

Робота гідравлічного генератора побудована на використанні енергії потоку рідини від насосного агрегату. Гідравлічний генератор складається з рухомої і нерухомої частини. В початковому положенні клапан закритий. Після початку роботи насосного агрегату тиск над клапаном зростає до заданої величини (порогу). При досягненні необхідного тиску клапан відкривається. Рідина під тиском переходить в підпакерну зону створюючи імпульс тиску в ПЗП. Після вирівнювання тисків клапан закривається. Тиск знову зростає до порогового і гідроімпульс повторюється.

Таблиця 4.2 – Перелік технічних засобів, які використовуються при проведенні обробки свердловини удосконаленим гідравлічним генератором імпульсно-хвильової дії

№ п/п	Назва технічного засобу	Марка	Кількість, шт
1	Установка підйомна	АЗІНмаш-37,А-50	1
2	Насосний агрегат	4АН-700 АН-320	1
3	Автоцистерна, 8 м <sup>3</sup>		2
4	Гідравлічний генератор	ГКП-56 ГКП-38	1
5	Насос струминний з гідравлічним пакером	НСП -2	1
6	Уловлювач цанговий		2
7	Лебідка	ЛС - 6	1

Амплітуда і частота імпульсів регулюється: а) на поверхні при підготовці гідравлічний генератор до роботи; б) зміною продуктивності насосного агрегату в процесі виконання технології імпульсно-хвильової дії.

Параметри та характеристика гідравлічного генератора наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Параметри гідравлічного генератора

№ п/п	Назва параметру	Одиниця виміру	Значення параметру
1	Температура робоча	°С	більше 20 до 120
2	Тиск робочий НА	МПа	від 5 до 20
3	Частота повторення імпульсів	Гц	від 0,1 до 2
4	Амплітуда імпульсів	МПа	від 1 до 10

Насос струминний пакерний (НСП) призначений для відпомпування рідини із ПЗП свердловини. Робота НСП побудована на використанні енергії потоку рідини від насосного агрегату. При відпомпуванні рідини із ПЗП створюється різниця пластового і вибійного тисків, тобто депресія.

Технологічні параметри роботи НСП задаються в залежності від характеристики свердловини зміною тисків НА та установкою насадок різних геометричних розмірів.

Перекриття кільцевого простору між НКТ і обсадною колоною забезпечується пакером гідравлічним, який включається в роботу від тиску створюваного НА в НКТ.

Розміщення обладнання і пересувних агрегатів та їх обв'язка здійснюється за однією із загальноприйнятих схем при виконанні технологічних операцій на нафтогазовій свердловині (рис. 4.5-4.7).

Попередні гідродинамічні дослідження пласта виконуються за допомогою приладів: манометра і інших відповідно до плану робіт.

Робота удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії по декільматациї свердловини складається з трьох етапів:

- а) підготовчого;
- б) технологічного, який включає 2 технологічні операції:
  - гідроімпульсну обробку – руйнування кольматанту і
  - депресійну – відпомпування кольматанту із ПЗП;
- в) заключного.

Підготовчий період включає наступні операції.

1. Монтують підйомний агрегат, облаштовують пригирлову площадку і приймальні містки для НКТ і штанг відповідно ГОСТ 12.2.088 - 83.

2. Зупиняють свердловину і при необхідності глушать. Піднімають свердловинне обладнання (штанги, НКТ).

3. Шаблонують свердловину, спускають НКТ з "пером" і промивають свердловину до штучного вибою.

4. Проводять дослідження свердловини, для чого спускають глибинні прилади (термометр, манометр) для заміру поточних технологічних параметрів свердловини.

5. Знімають криву відновлення тиску. Визначають гідропровідність ПЗП.

Етап виконання імпульсно-хвильової дії включає обробку гідравлічним генератором та насосом струминним з пакером (НСП), для чого виконують наступні технологічні операції:

1. Спускають в свердловину НКТ з корпусом НСП і гідравлічним пакером в зону перфорації обсадної колони на глибину нижнього продуктивного пласта.

2. Встановлюють гирлову арматуру (ГА) і опресовують НКТ відповідно до ГОСТ 13862-90.

3. Опускають в ліфт гідравлічний генератор з блокуючою вставкою, попередньо задавши поріг робочого тиску.

4. Включають насосний агрегат і обробляють продуктивний пласт періодичними імпульсами тиску гідравлічного генератора по інтервалах.

5. Піднімають гідравлічний генератор на поверхню з допомогою лебідки і цангового уловлювача.

6. Знімають криву відновлення тиску і визначають зміну гідропровідності пластів після обробки.

Виконують очищення ПЗП відпомпуванням із пласта рідини зі зруйнованим кольматантом, для чого виконують наступні операції:

1. Опускають в НКТ ежектуючий пристрій НСП і манометр свердловинний.

2. Включають насосний агрегат. Перекривають затрубний простір гідравлічним пакером. Подають робочу рідину через фільтр на сопло НСП, відпомповують рідину із ПЗП.

3. Відпомповану рідину подають на мірну ємність з мірною лінійкою і на ємності технологічної рідини. Для попередження гідроудару монтують зворотній клапан.

4. Створюють депресію на пласт поступовим підвищенням тиску на НА до заданого.

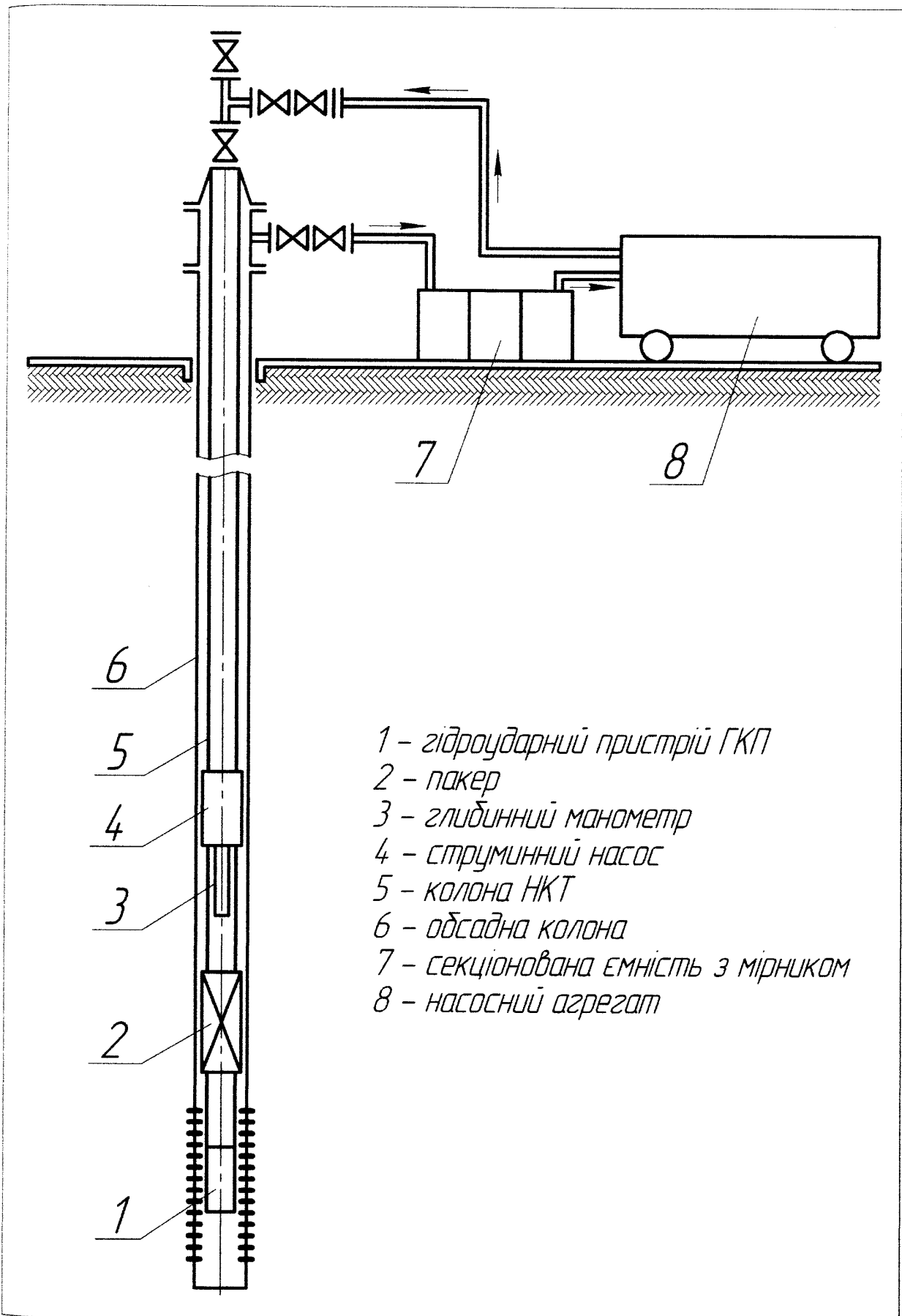


Рисунок 4.5 – Схема розташування обладнання для освоєння свердловини

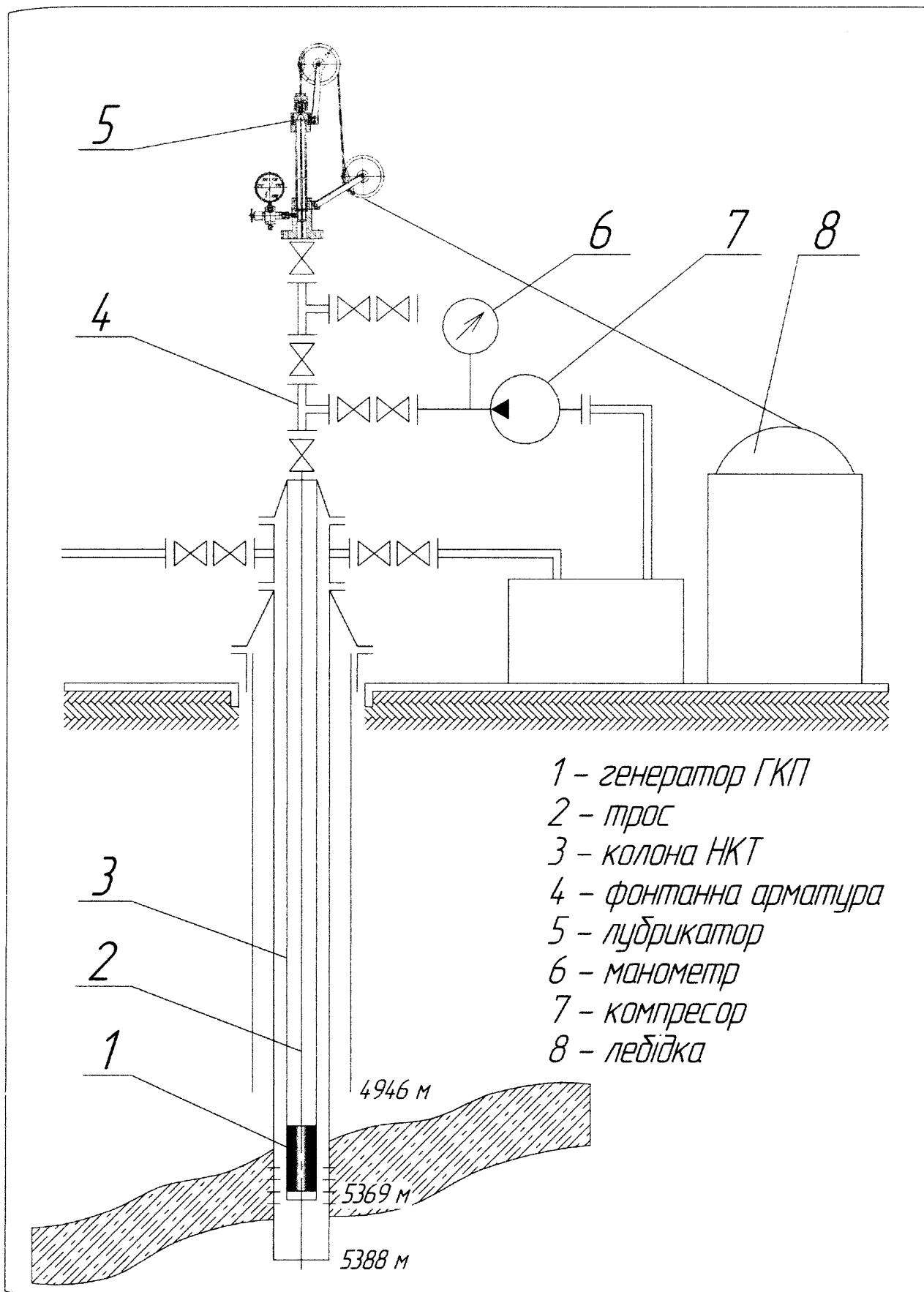


Рисунок 4.6 – Схема розташування обладнання при роботі на свердловині під тиском

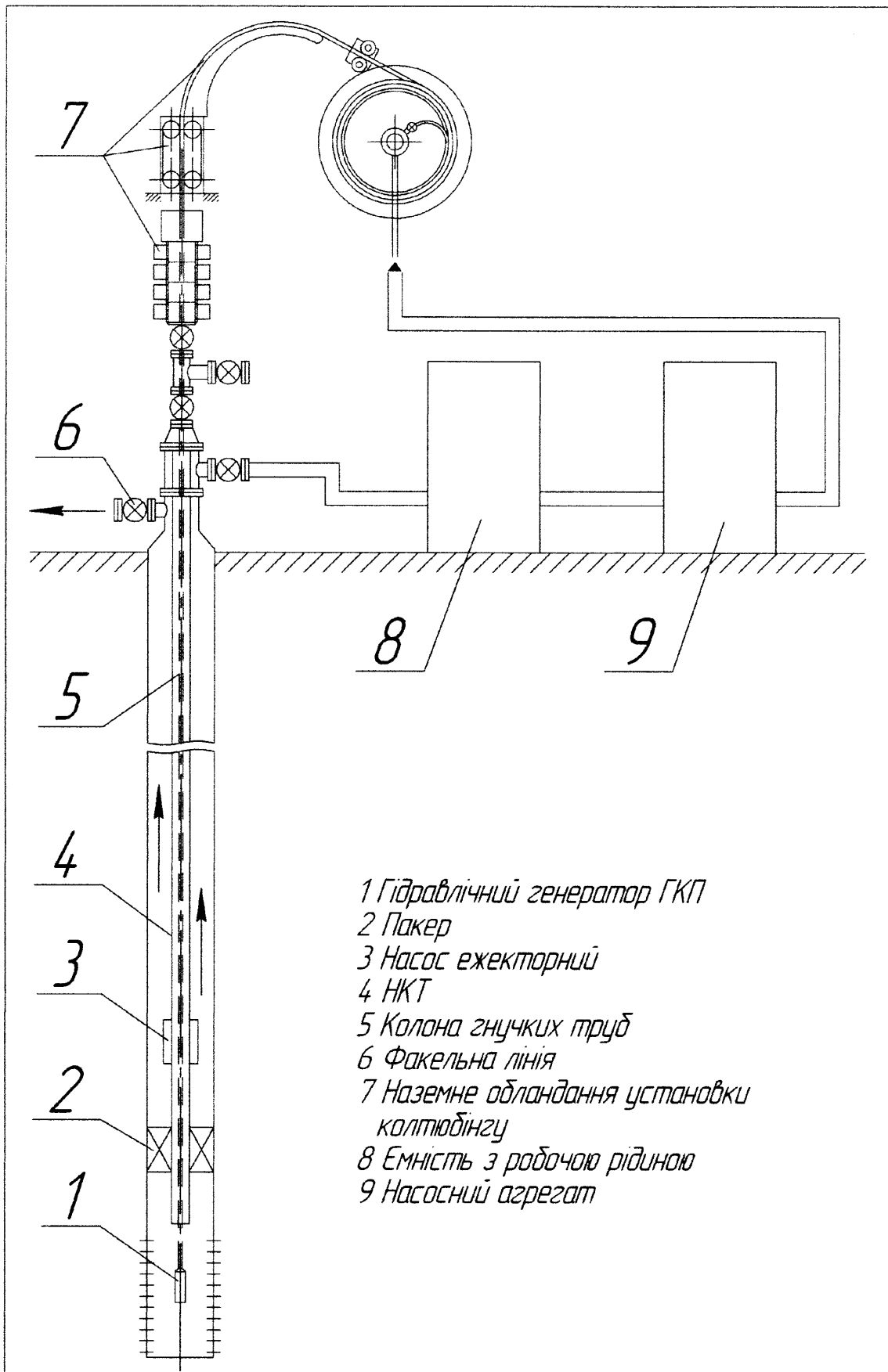


Рисунок 4.7 – Схема розташування обладнання при роботі на свердловині з колоною гнучких труб

5. Відпрацьовують свердловину на оптимальному режимі припливу.
6. Піднімають ежектуючий пристрій з глибинним манометром за допомогою лебідки на поверхню.
7. Знімають криву відновлення тиску для визначення гідропровідності ПЗП. Оцінюють технологічний ефект проведеної технології.
8. Піднімають НКТ з пристроєм НСП на поверхню.
9. Видають НГВУ рекомендації оптимальних режимів експлуатації свердловини.

Заключний етап включає наступне:

1. Спускають в свердловину глибинно-насосне обладнання.
2. Запускають свердловину в роботу і через 5 днів виконують контрольний замір дебіту свердловини з визначенням складу продукції.
3. Складають і затверджують в 10 денний термін акт здачі-приймання роботи на оплату послуг.
4. Складають акти ефективності проведеної технології імпульсно-хвильової дії кожні три місяці.

В якості робочої рідини застосовують нафту або воду. В випадку обробки свердловини з аномальними умовами для підвищення ефекту – імпульсно-хвильова дія поєднується з композиціями хімреагентів: розчини і реагенти – ПАР, нафтові сульфанати, кіслотні розчини різних композицій з активною фазою до 18%, полімерно-емульсійні розчини, розчинники та інше. Технологія виконується шляхом додатку хімічних реагентів в робочу рідину, або послідовною закачкою в пласт розрахованих об'ємів хімреагентів різного функціонального призначення.

Технологічні параметри роботи пристроїв НСП, гідравлічного генератора та агрегатів визначаються аналізом геолого-технічних документів на свердловину та результатів попередніх досліджень.

Технологія імпульсно-хвильової дії декольматації ПЗП виконується у відповідності з планом робіт затвердженим головним інженером і головним геологом НГВУ.

Вимоги безпеки.

1. При проведенні технології імпульсно-хвильової дії на нафтогазовій свердловині необхідно керуватися правилами безпеки у нафтогазовидобувній промисловості, затвердженими Держгіртехнаглядом, ГОСТ 12.1.007 та ГОСТ 12.4.009.

Вимоги охорони навколишнього середовища.

1. Проведення імпульсно-хвильової дії повинно відповідати вимогам охорони навколишнього середовища згідно з ГОСТ 17.1.3.11 на ГСТУ 41-00032626-00-007.

2. Розлиті компоненти треба зібрати в спеціальну ємність у відповідності з ГОСТ 17.1.3-11.

3. Після закінчення робіт необхідно провести рекультивацію порушеного поверхневого шару землі згідно з ГОСТ 17.5.3.04. Забруднений ґрунт треба вивезти у спеціально призначене місце згідно ГОСТ 12.1.007. Відпомповану рідину з кольматантом зібрати у ємність, розділити і забруднюючу частину вивезти у спеціально обладнане місце відповідно до вимог ГОСТ 17.5.3.04.

4.2 Результати промислових випробувань удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти.

У період з 05.11.2010р. по 17.11.2010г. на свердловині Яксманіца-33 (Республіка Польща) проведені наступні роботи з інтенсифікації видобутку газу:

1. Гідроімпульсний вплив на привибійну і міжсвердловинну зони пластів.

Гідроімпульсний вплив на пласти проводився відповідно до плану робіт за допомогою гідравлічного генератора імпульсів тиску ГКП-56 [118]. Тиск в нагнітальній лінії змінювали в межах 3-8 МПа з метою визначення оптимальних амплітуд і частоти впливу на пласт. Запис коливань тиску в свердловині проводився на персональному комп'ютері за допомогою спеціального датчика і програмного забезпечення (рис. 4.8). Датчик кріпився на НКТ. Генератор ГКП-56 створював коливання в діапазоні частот 10-220 Гц. Високочастотні коливання 220

Гц створювали в привибійній зоні пласта високі змінні градієнти тиску, що призводило до очищення перфораційних отворів обсадної колони і розриву зв'язків між частинками породи, кольматуючих поровий простір пласта. У результаті впливу на виході зі свердловини (на ситі очисної системи), спостерігалися скупчення забруднюючих пласт часток породи, шматки іржі з обсадної колони, а також виходили пачки спіненої рідини з блокуючою речовиною (рис. 4.9). Зазначений вплив призводив до збільшення проникності привибійної зони пласта.

Вплив на міжсвердловинну зону пласта низькочастотних коливань 10 Гц призводив до збільшення фазової проникності по газу. Зазначені коливання сейсмічного діапазону частот на відміну від високочастотних коливань поширилися вглиб пласта на значно більшу відстань.

Максимальний вплив на пласт спостерігався при тисках в нагнітальній лінії 6-8 МПа.

## 2. Депресійний вплив на пласти.

Депресійний вплив проводився за допомогою ежекторного насоса УЕОС-2 відповідно до плану робіт. Ежекторний насос з пакером встановлювався на глибині 574 м. У патрубку під пакером встановлювався електронний манометр. Після установки пакера за допомогою опресовочної вставки проводився тест на герметичність колони НКТ і пакера, який підтвердив герметичність колони і пакера. Підйом вставки на поверхню за допомогою періодичних ударів ясом результатів не дав. Було висловлено припущення про значний перепад тиску між опресувальною вставкою і підпакерним простором, що утворився через пониження рівня в підпакерном просторі внаслідок поглинання пластом рідини. Тільки після витримки протягом 15 хв. під навантаженням в 1500 Н і вирівнюванні тисків вставка була піднята. Надалі при аналізі діаграми зміни тиску під пакером вказане припущення підтвердилося (рис. 4.10, ділянка 1).

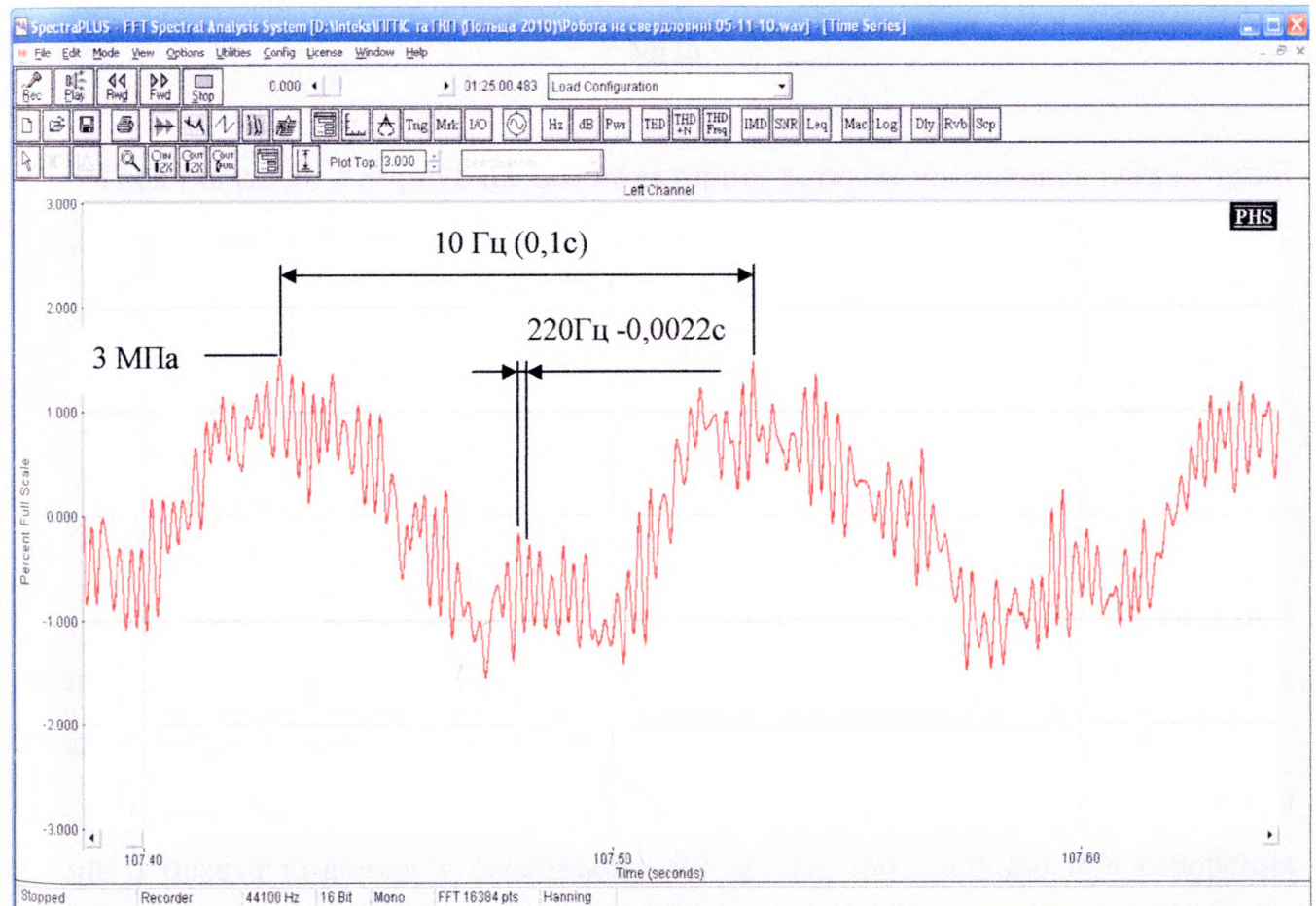
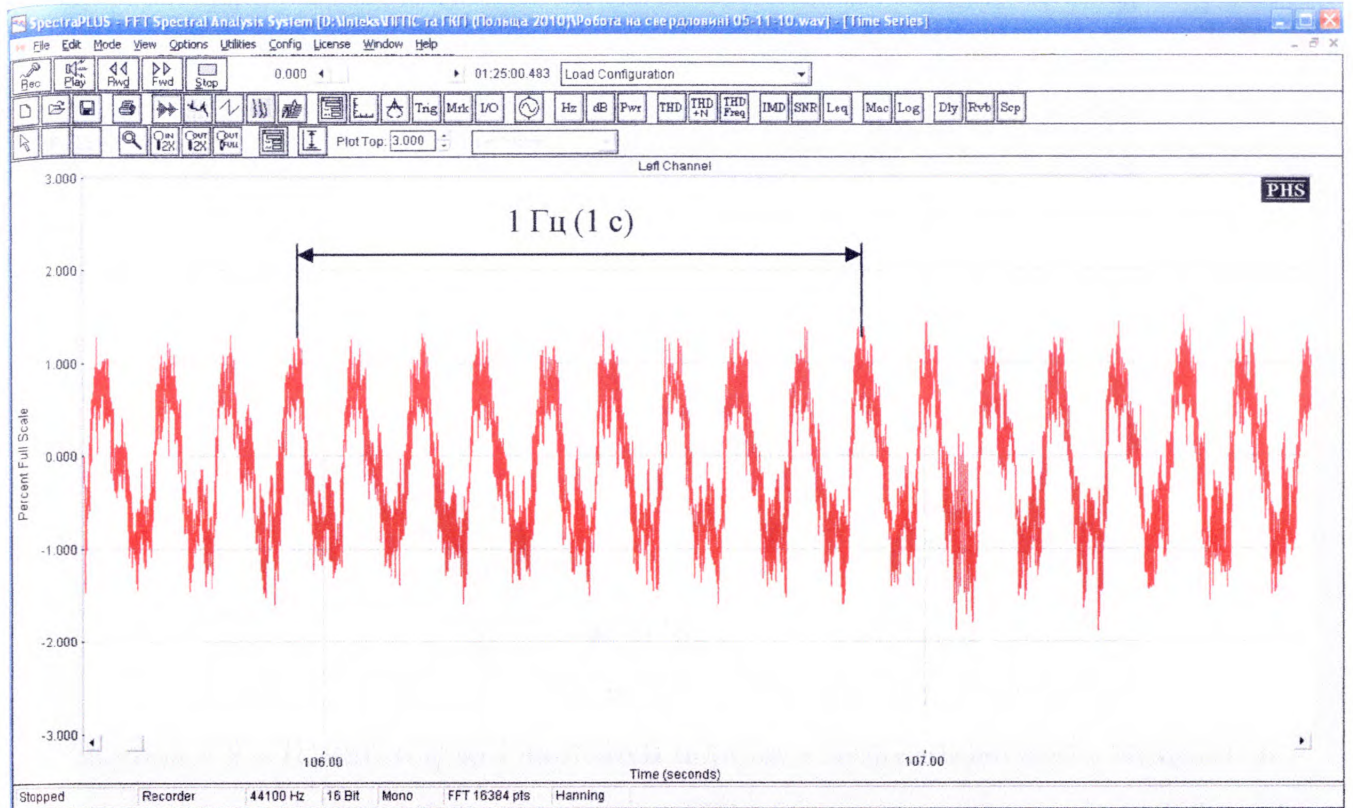


Рисунок 4.8 – Графік роботи гідроімпульсного генератора ГКП-56 при тиску в нагнітальній лінії 3 МПа



Рисунок 4.9 – Шматки іржі і частинки породи з забруднювачами, винесені зі свердловини під час роботи генератора ГКП-56 при тиску в нагнітальній лінії 7 МПа

Після посадки в корпус насоса ежекторної вставки проводився депресійний вплив на пласти при наступних режимах:

- 3 МПа - 1 година;
- 4 МПа - 1 година;
- 6 МПа - 4 години;
- 7 МПа - 2 години;
- 8-15 МПа - по одній годині.

При роботі ежекторного насоса на ділянках 2, 4, 6 (рис. 4.10) почалося виділення газу у зв'язку з чим для кругової циркуляції робочої рідини і її обліку замість ємності насосного агрегату використовувалася ємність об'ємом 20 м<sup>3</sup>.

На всіх режимах роботи ежекторного насоса від 3 до 15 МПа приплив рідини з пласта становив у середньому 0,1 м<sup>3</sup>/год, що свідчило про створення насосом максимально можливої депресії на пласт, рівної пластовому тиску вже при тиску в нагнітальній лінії 3 МПа. Величина тиску під пакером в зоні

установки електронного манометра знаходилась у діапазоні 0,03-0,05 МПа при тиску в нагнітальній лінії 3-15 МПа.

Екстраполюючи криві відновлення тиску на діаграмі зміни тиску (ділянки 3, 5), можна зробити висновок про те, що пластовий тиск приблизно дорівнює 2,7 МПа, тобто максимальне значення депресії дорівнювало 2,7 МПа.

Таким чином депресією були охоплені пласти незначної верхньої перфорованої частини продуктивного горизонту. Величина депресії при збільшенні відстані від пакера до вибою свердловини зменшувалася за рахунок дії гідростатичного тиску. При депресії нижче 2 МПа приплив рідини з пластів при роботі ежекторного насоса припинявся. Це явище пояснюється, як впливом реологічних характеристик робочої рідини, так і низьким значенням проникності і пористості продуктивних пластів.

Після проведення робіт на свердловині Яксманіца-33 було зроблено такі висновки.

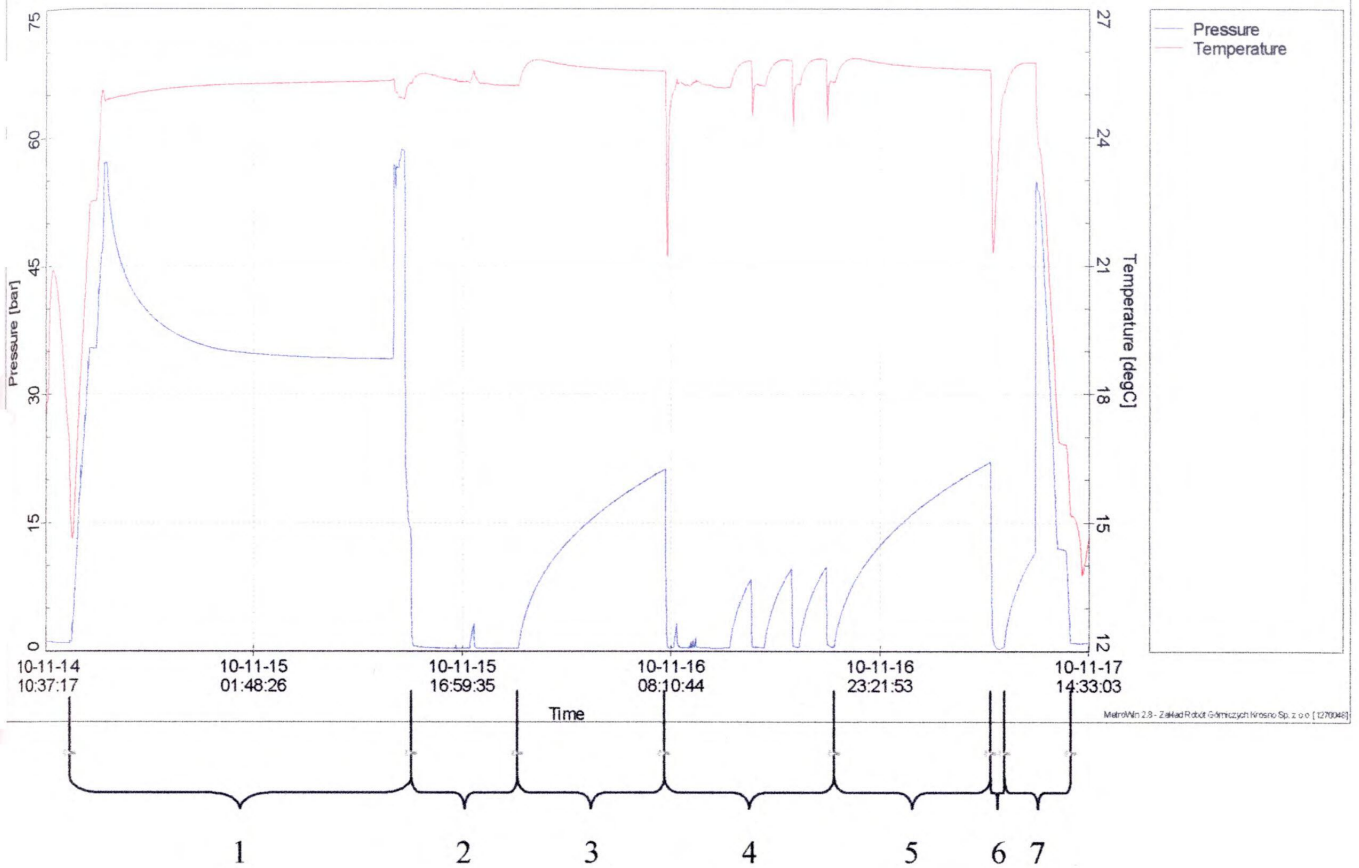
1. За допомогою генератора ГКП-56 здійснено активний вплив на привибійну і міжсвердловинну зони пластів. При впливі на привибійну зону пластів очищалися отвори у фільтрі, а також очищався поровий простір привибійної зони від кольматуючих пласти речовин. Ресурс роботи генератора ГКП-56 при середньому тиску в нагнітальному лінії 5 МПа склав 16 годин.

2. Пластовий тиск визначено методом екстраполяції і становив близько 2,7 МПа на глибині 575 м.

3. Ежекторний насос УЕОС-2 працював на різних режимах 15 годин, створюючи тиск у підпакерном просторі від 0,05 МПа до 0,03 МПа, але у зв'язку з низьким пластовим тиском, глибоким проникненням промивальної рідини в продуктивні горизонти під час проведення капітального ремонту свердловини, а також великою висотою стовпа рідини під пакером, повністю очистити продуктивні горизонти від поглиненої рідини не вдалося.

Data File Name : Jaksmanice-33(2A).p3w  
 Tool : Ametrolog-B # 8388  
 Calibration Date : 08-05-21  
 Job No 01

Client :  
 Field :  
 Well :  
 Zone :  
 Operator :



- 1 - спуск і підйом опресовочної вставки; опускання ежекторної вставки;
- 2 - робота ежекторного насоса;
- 3 - час відновлення пластового тиску;
- 4 - робота ежекторного насоса;
- 5 - час відновлення пластового тиску;
- 6 - робота ежекторного насоса;
- 7 - распаковка, підйом пакера і ежекторного насоса.

Рисунок 4.10 – Графік зміни тиску під пакером

### Рекомендації

1. При підготовці до проведення капітального ремонту газових свердловин з великим інтервалом перфорації і низьким пластовим тиском необхідно мати такі геолого-технічні характеристики свердловини: пластовий тиск, профіль приймальності пластів (термометрія), проникність і пористість пластів.

2. Застосовувати для робіт з капітального ремонту свердловин, а також інтенсифікації видобутку газу тільки рідини або пінні системи, що виключають репресію на пласти.

3. Видалення залишкової рідини з свердловини після робіт з інтенсифікації проводити за допомогою дворядного ліфта з ежекторним насосом (у цьому випадку виключається операція пакування) або за допомогою азотної установки.

У період з 08.10.2010 р. по 11.10.2010 на свердловині №8-Старий Самбір проведені роботи з термоакустичного впливу на пласт. Обробка привибійної зони пласта проводилась в інтервалі перфорації 3295-3333 м з допомогою генератора ТАГ-1 для термоакустичного впливу на нафтогазоносний пласт.

Технічна характеристика генератора:

Діапазон частот пружних коливань, Гц	50-10000
Діапазон потужностей випромінювання (в залежності від продуктивності насосного агрегата), Вт	1500-3000
Максимальний перепад тиску на генераторі, МПа	15
Максимальна робоча температура, °С	120

Генератор опускався у свердловину на трубах НКТ 73 до нижніх отворів перфорації і поступово піднімався до глибини 3295 м, при цьому створювалась кругова циркуляція нафти з допомогою насосного агрегату ЦА-320 по схемі: насосний агрегат – труби НКТ – генератор ТАГ-1 – затрубний простір – замірна ємність – насосний агрегат. Протягом часу обробки пласта тиск на насосному агрегаті поступово збільшувався від 3 до 8 МПа. В замірній ємності на викидній лінії через кожні 60 хв вимірювалась температура нафти. Результати замірів температури наступні:

- 60 хв.	- 13 °С;
- 120 хв.	- 13 °С;
- 180 хв.	- 15 °С;
- 240 хв.	- 19 °С.

Дебіт нафти в свердловині №8-Старий Самбір до обробки становив  $3 \text{ м}^3/\text{добу}$ . При контрольному вимірюванні проведеному 16.1.2010 р. дебіт нафти становив  $6 \text{ м}^3/\text{добу}$ .

Станом на 20.08.2011р., в результаті освоєння свердловини 1-Семаківська компресуванням з пониженням рівня до глибини 453 м, отримано незначний приплив нафти об'ємом  $0,1 \text{ м}^3$ . Для покращення зв'язку з пластом та інтенсифікації припливу пластового флюїду в період з 20.08.2011 по 24.08.2011 на свердловині 1-Семаківська були проведені роботи по інтенсифікації видобутку вуглеводнів із використанням технології різночастотного імпульсно-хвильового впливу на нафтогазонасичені породи.

Для виконання даних робіт використовувалися:

- генератор ГКП-1;
- ежекторний насос УЕОС-2;
- пакер ПМКВ-118;
- інше допоміжне обладнання.

Комісія, яка складала акт дослідно-промислових випробувань, постановила:

- вважати технологію інтенсифікації видобутку вуглеводнів шляхом різночастотного імпульсно-хвильового впливу на нафтогазонасичені породи такою, що пройшла дослідно-промислові випробування успішно;

- імпульсно-хвильовий вплив на пласт з допомогою генератора ГКП-1, а також створення циклічних регульованих депресій на пласт з допомогою ежекторного насоса УЕОС-2, дозволили відновити зв'язок свердловини з продуктивними пластами, в результаті чого спостерігався вихід рідини із періодичними пачками газу і про що свідчить зростання тиску на гирлі свердловини 1-Семаківська.

## Висноски до четвертого розділу

Удосконалений гідравлічний генератор імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти успішно пройшов дослідно-промислові випробування на свердловинах Яксманіца-33, №8-Старий Самбір, 1-Семаківська та ін. як при освоєнні свердловин так і при інтенсифікації видобування вуглеводнів. Наведені схеми, на яких показано широкі можливості застосування удосконаленого гідравлічного генератора: робота на свердловинах під тиском, з використанням колони гнучких труб (колтюбінгу), насосних агрегатів чи компресорних установок. Для досягнення максимального ефекту при застосуванні удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії дуже важливо дотримуватися послідовності технологічних операцій, яка наведена в розділі. Дотримання вимог по техніці безпеки та охорони навколишнього середовища є безумовним чинником досягнення бажаного результату на свердловині. Як показала практика, використання струменевих насосів одразу після оброблення пласта гідравлічним генератором значно підвищує ефективність проведених робіт із застосуванням удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій в ході теоретичних й експериментальних досліджень вирішено науково-технічне завдання в галузі розроблення та дослідження спеціального технологічного обладнання – розроблено нову конструкцію технічного засобу імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти, яка дає можливість зробити керованим процес імпульсно-хвильового впливу на пласт та підвищити продуктивність нафтогазових свердловин. При проведенні робіт одержано такі основні результати:

1 Аналіз відомих методів і засобів імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти показав, що вони мають ряд технічних обмежень щодо їх застосування, а також не завжди можуть бути використані через низьку довговічність та ефективність. Обґрунтовано необхідність удосконалення технічних засобів імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти та необхідність розрахунку залежності амплітуди й частоти генерованих коливань від параметрів генератора.

2 В результаті проведення теоретичних досліджень отримано залежність розрахунку сумарного звукового опору конструкції, яка має отвори, що дало можливість запропонувати точніший метод розрахунку проходження пружних коливань зі свердловини в пласт в зоні перфорації. Це дає змогу підвищити ефективність проведення імпульсно-хвильової дії на нафтогазоносні пласти. Розроблено нову конструкцію гідравлічного генератора імпульсів тиску (патенти України № 45496, 100920), що дозволяє максимально використовувати енергію потоку рідини чи газу і в широкому спектрі змінювати амплітуду низьких та високих частот в залежності від поставлених задач інтенсифікації нафтогазовидобутку.

3 За результатами експериментальних досліджень встановлено наявність і характер залежності частоти та амплітуди пружних коливань від фізичних параметрів гідравлічного генератора (довжини клапану та маси шатуна), що дає

можливість наперед задаватися необхідними параметрами роботи генератора для більш ефективної його роботи.

4 Виготовлено і випробувано нову конструкцію гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії та успішно проведено промислову апробацію експериментального зразка гідравлічного генератора ГКП-56 на свердловинах ТОВ “Капітал Ойл Україна”, Калуської НГРЕ, ТОВ “Західенергобуд”, Zakład Robot Gorniczych Krosno.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бухаленко Е.И. Нефтепромысловое оборудование. Справочник. – М.: Недра, 1990.
2. Слюсарев Н.И. Технология и техника повышения нефтеотдачи пластов [Текст]: Учебное пособие / Н.И. Слюсарев – Санкт-Петербург: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2003. – 78 с.
3. 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.
4. Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ: Підручник. / В.С. Бойко. – 3-є доповнене видання. – К. : Реал-принт, 2004. – 695 с.
5. Пат. 54532 Україна, МПК E21B 43/25, E21B 21/00, Свердловинний електролітичний генератор імпульсів [Текст] / заявники Тарабарінов П.В., Старостін В.А., Зарубін Ю.О., Бульбас В.М.; Дорошенко В.М., Горбунов В.І., Примолений Ю.В., Купер І.М., патентовласник ВАТ "Укрнафта", НТВК "Контракт" – № 2000020569, заявл. 01.02.2000; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3.
6. Пат. 34403 Україна, МПК H04R 1/44, H04R 17/00, Випромінювач акустичний свердловинний [Текст] / заявники Синюк Б.Б., Світлицький В.М., Сенишин Я.І., Рябов Ю.Г., Губа В.М., Дементій С.В., Блохін В.Б., патентовласник дочірня компанія "Укргазвидобування" НАК "Нафтогаз України" – № u200803098, заявл. 11.03.2008; опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15.
7. Пат. 15335 Україна, МПК H04R 7/00, H04R 9/00, Електродинамічний здвоєний низькочастотний гучномовець [Текст] / заявники Ващишак С.П., Чеховський С.А., Лютак З.П., Райтер П.М., патентовласник ІФНТУНГ. – №95020939, заявл. 28.02.1995; опубл. 30.06.1997, Бюл. № 3.
8. Мислюк М.А. До оцінювання динамічних процесів в бурильній колоні [Текст] / М.А. Мислюк, Ю.М. Василюк, І.Й. Рибчич // Нафтова і газова промисловість. – 2000. – №6. – С. 16-18.

9. Пат. 26318 Україна, МПК G01V 1/40, Спосіб збудження сейсмічних хвиль [Текст] / заявники Войтенко Ю.І., Гошовський С.В., Пасічник В.Д., патентовласник УкрДГРІ – № u200705780, заявл. 24.05.2007; опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14.

10. Пат. 38607 Україна, МПК E21B 43/26, Спосіб гідророзриву пласта [Текст] / заявники Качмар Ю.Д., Андрусак А.М., Бурмич Ф.М., Цьомко В.В., Тарабарінов П.В., Гнип М.П., Петриняк В.А., Пилипець І.А., патентовласник ВАТ "Укрнафта" / – №2000074598, заявл. 31.07.2000; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2.

11. Мислюк М.А. До вибору імпульсно-хвильової технології ліквідації прихватів ударними механізмами / М.А. Мислюк, І.Й. Рибчич, М.М. Яворський, М.П. Мельник // Нафтова і газова промисловість. – 2002. – №2. – С.23-25.

12. Пат. 58651 Україна, МПК E21B 43/25, Генератор гідравлічних імпульсів [Текст] / заявники Яворський В.М., Чернова М.Є., Чернов Б.О., Льків І.М., Западнюк М.М., патентовласник Чернов Б.О. – № 58651, заявл. 22.07.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.

13. Пат. 61587 Україна, МПК G01N 29/04, B21C 37/00, Спосіб акустичного контролю геометричних характеристик труб [Текст] / заявники Карпаш О.М., Векерик В.В., Криничний П.Я., патентовласник ТОВ НВФ "ЗОНД", ІФНТУНГ. – № 2003032058, заявл. 07.03.2003; опубл. 17.11.2003, Бюл. № 11.

14. Пат. 66622 Україна, МПК E21B 43/00, E21B 37/00, Імпульсне джерело пружних коливань [Текст] / заявники та патентовласники Горбунов В.І., Тарабарінов П.В., Зарубін Ю.О. – № 2003087454, заявл. 07.08.2003; опубл. 17.05.2004, Бюл. № 5.

15. Мойсишин В.М. Оцінка дії вибухової хвилі на прихоплену ділянку бурильної колони [Текст] / В.М. Мойсишин, В.Д. Яцишин, В.І. Векерик // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – №1(34). – С. 39-45.

16. Василюк Ю.М. Вплив динамічних процесів у бурильній колоні на роботу тришарошкових доліт [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Ю.М. Василюк. – Івано-Франківськ, 2007. – 145 с.

17. Пат. 65239 Україна, МПК E21B 28/00, Пристрій для розкольматациї привибійної зони гідрогеологічних свердловин [Текст] / заявники Давиденко О.М., Камишацький О.Ф., патентовласник НГУ – № 2003065823, заявл. 24.06.2003; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8.

18. Пат. 54521 Україна, МПК E21B 4/00, Гідравлічний генератор коливань [Текст] / заявники Троцький В.П., Зезекало І.Г., Троцька Є.В., патентовласник дочірня компанія "Укргазвидобування" УкрНДІгаз / – № 99127100, заявл. 27.12.1999; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3.

19. Пат. 28804 Україна, МПК B06B 1/20, Пристрій для створення акустичних коливань [Текст] / заявники Кондрат Р.М., Климишин Я.Д., Кондрат О.Р., патентовласник ІФНТУНГ. – № 97094761, заявл. 24.09.1997; опубл. 16.10.2000, Бюл. № 5.

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

21. Горбачев Ю.И. Акустическое воздействие и повышение рентабельности разработки нефтяных месторождений [Текст] / Ю.И. Горбачев // НТВ Каротажник. – 1999. – № 60. – С. 56-67.

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

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

24. Бажалук Я.М. Дослідження акустичних властивостей менілітових відкладів [Текст] / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, О.І. Гутак [та ін.] // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 4(9). – С.53-56.

25. Крутин В.Н. Механизм акустической интенсификации притоков нефти из продуктивных пластов [Текст] / В.Н. Крутин // НТВ Каротажник. – 1998. – № 42. – С.46-53.

26. Горбачев Ю.И. Физико-химические основы ультразвуковой очистки призабойной зоны нефтяных скважин [Текст] / Ю.И. Горбачев, О.Л. Кузнецов, Р.С. Рафиков, А.А. Печков // Геофизика. – 1998. – №4. – С. 5-9.

27. Шарп Р. Методы неразрушающих испытаний [Текст] / Р. Шарп. – М.: Мир, 1972. – 496 с.
28. Атабеков Г.И. Основы теории цепей [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – М.: Энергия, 1969. – 442 с.
29. Бронштейн И.Н. Справочник по математике [Текст] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: ГИФМЛ, 1959. – 608 с.
30. Освоение скважин на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами с использованием комплекса волновых технологий [Текст] / В.П. Дыбленко, И.А. Туфанов, А.П. Очковский и др. // Нефтяное хозяйство. – 2008. – №11. – С. 112-116.
31. Интенсификация добычи нефти низкочастотным акустическим воздействием [Текст] / Б.Н. Боголюбов, В.Н. Лобанов, Л.С. Бриллиант и др. // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 9. – С. 80 – 81.
32. Долгов Д.В. О целесообразности и проблемах применения технологии импульсного электровоздействия на пласты через высокодебитные скважины [Текст] / Д.В. Долгов, А.Д. Рибakov // Нефтяное хозяйство. – 2008. – №2. – С. 82-84.
33. Потапов Г.А. Оценка эффективности воздействия мощного низкочастотного акустического излучения на призабойную зону [Текст] / Г.А. Потапов, В.М. Правдухин // Нефтяное хозяйство. – 2000. – №9. – С. 82-85.
34. Акустическое воздействие на призабойную зону пласта [Текст] / О.Л. Кузнецов, С.А. Ефимова, Ю.Ф. Жуйкою и др. // Нефтяное хозяйство. – 1987. – №5. – С. 30-33.
35. Музипов Х.Н. Новая технология повышения производительности добывающих скважин с помощью ультразвука [Текст] / Х.Н. Музипов, Ю.А. Савиных // Нефтяное хозяйство. – 2004. – №12. – С. 53-54.
36. Гадиев С.М. Применение вибрации при бурении и эксплуатации скважин [Текст] / С.М. Гадиев, А.В. Кичигин, В.И. Назаров // Нефтяное хозяйство. – 1980. – №7 – С. 25-27.

37. Применение волновых технологий в добыче нефти [Текст] / Л.С. Бриллиант, О.И. Рубинштейн, В.Ю. Морозов и др. // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 9. – С. 87-88.
38. Совершенствование импульсного воздействия на пласт [Текст] / Н.Г. Зайнуллин, К.Г. Мазитов, А.С. Якимов и др. // Нефтяное хозяйство. – 1991. – №3. – С. 19-21.
39. Меркулов А.А. Импульсные технологии интенсификации и гидроразрыв пласта (часть II) [Текст] / А.А. Меркулов // Нефтяное хозяйство. – 2007. – №11. – С. 118-120.
40. Опытнo-промышленные испытания мощного низкочастотного излучателя для интенсификации добычи нефти [Текст] / Л.С. Бриллиант, Б.Н. Боголюбов, И.В. Цыкин и др. // Нефтяное хозяйство. – 2000. – №9. – С. 89.
41. Меркулов А.А. Импульсные технологии интенсификации и гидроразрыв пласта (часть I) [Текст] / А.А. Меркулов // Нефтяное хозяйство. – 2007. – №9. – С. 127-129.
42. Янтурин А.Ш. Выбор частот при вибрационном воздействии на призабойную зону пласта [Текст] / А.Ш. Янтурин, Р.Ш. Рахимкулов, Н.Ф. Кагарманов // Нефтяное хозяйство. – 1986. – №12. – С. 40-42.
43. Сорокин В.Н. О возможности виброобработки нефтяных залежей на нескольких доминантных частотах [Текст] / В.Н. Сорокин // Нефтяное хозяйство. – 2004. – №11. – С. 88-89.
44. Исследование гидравлических золотниковых вибраторов для обработки скважин [Текст] / С.М. Гадиев, Н.А. Веклич, Р.М. Нургалеев и др. // Нефтяное хозяйство. – 1972. – №2. – С. 42-45.
45. Повышение нефтеотдачи пластов с трудноизвлекаемыми запасами с использованием физических методов в поле нестационарного заводнения [Текст] / В.П. Дыбленко, В.С. Евченко, С.Н. Солоницин и др. // Нефтяное хозяйство. – 2005. – №4. – С. 76-79.
46. Повышение эффективности разработки истощенных месторождений с использованием комплекса новых сейсмоакустических технологий [Текст] /

О.Л. Кузнецов, В.П. Дыбленко, И.А. Чиркин и др. // Нефтяное хозяйство. – 2009. – №1. – С. 50-54.

47. Комбинированное воздействие на продуктивные коллекторы месторождения Белый Тигр [Текст] / А.А. Меркулов, С.С. Назин, Р.А. Слиозберг и др. // Нефтяное хозяйство. – 2000. – №10. – С. 89-91.

48. Черемисин Н.А. Проектирование необходимого спектра частот и оптимальной интенсивности волновых воздействий на пласты [Текст] / Н.А. Черемисин, А.Н. Черемисин // Нефтяное хозяйство. – 2007. – №6. – С. 35-39.

49. Акульшин О.О. Технологія гідроімпульсно-реагентного впливу для стимуляції роботи свердловин [Текст] / О.О. Акульшин, Б.Б. Штайден, Л.В. Немировська // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – №3. – С. 36-37.

50. 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.

51. Пат.2197598 Российская Федерация, МПК Е 21 В 28/00, Е 21 В 43/25. Гидравлический вибратор [Текст] / Ибрагимов Н.Г., Салимов М.Х., Жеребцов Е.П., Гарифов К.М., Кадыров А.Х.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Татнефть» – № 2000110057/03; заявл. 20.04.00; опуб. 27.01.03, Бюл. № 2.

52. Пат.68021 Україна, МПК Е 21 В 37/00, Е 21 В 28/00. Пристрій для очищення привибійної зони свердловини [Текст] / Здольник Г.П., Верба Ю.В.; заявник і патентовласник Здольник Геннадій Петрович, Верба Юрій Валентинович – № 2003087991; заявл. 26.08.03; опуб. 17.07.06, Бюл. № 7.

53. Пат.74984 Україна, МПК Е 21 В 37/00, F 04 F 5/02, Е 21 В 49/08. Спосіб роботи свердловинної струминної установки під час очищення присвердловинної зони пласта ультразвуком і пристрій для його здійснення [Текст] / Хоминець З.Д.; заявник і патентовласник Хоминець Зіновій Дмитрович – № 2002106128; заявл. 03.12.02; опуб. 15.02.06, Бюл. № 2.

54. Авт. свид.867104 СССР, МПК Е 21 В 37/00. Роторное устройство для очистки скважин от песчаных пробок [Текст] / Табаков В.П., Корнев Б.П.,

Обрезков А.И., Пилатовский В.П.; заявитель и патентообладатель Всесоюзный нефтегазовый научно-исследовательский институт – № 2929217/22-03; опуб. 23.05.80.

55. Пат.2274730 Российская Федерация, МПК Е 21 В 37/00, Е 21 В 43/25. Скважинное оборудование для обработки призабойной зоны пласта и импульсное устройство для него [Текст] / Дыбленко В.П., Лысенков А.П., Туфанов И.А.; заявитель и патентообладатель Дыбленко Валерий Петрович, Лысенков Александр Петрович, Туфанов Илья Александрович – № 2004101681/03; заявл. 13.01.04; опуб. 20.04.06, Бюл. № 3

56. Пат.2267364 Российская Федерация, МПК В 06 В 1/20. Способ генерирования колебаний жидкостного потока и гидродинамический генератор колебаний [Текст] / Дыбленко В.П., Лысенков А.П., Туфанов И.А.; заявитель и патентообладатель Дыбленко Валерий Петрович, Лысенков Александр Петрович, Туфанов Илья Александрович – № 2004114350/28; заявл. 30.04.04; опуб. 10.01.2006, Бюл. № 1.

57. Школьникова Р.Ш., Воздухоструйные генераторы акустических колебаний для коагуляции аэрозолей [Текст] / Р.Ш. Школьникова // Акустический журнал. – 1963. – Т.9, №3. – С. 368 – 75.

58. Пат. 2047754 Российская Федерация, МПК Е 21 В 43/25, Способ обработки призабойной зоны эксплуатационной скважины и устройство для его осуществления [Текст] / Ганиев Р.Ф.; заявитель и патентообладатель научно-производственная фирма "Волнотех". – № 5003605/03, заявл. 04.10.1991; опубл. 10.11.1995, Бюл. № 17.

59. Пат. 2001256 Российская Федерация, МПК Е 21 В 43/25, Устройство для раздельной обработки двух пластов скважины [Текст] / заявитель: Уфимский нефтяной институт (2069457); патентообладатель: Антипин Ю.В., заявка: 4951849, 28.06.1991; опуб. 15.10.1993, Бюл. № 28.

60. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике [Текст] / Л. Бергман. – Издательство иностранной литературы, г. Москва, 1956 г. – 726 с.

61. Неволин В.Г., Опыт применения звукового воздействия в практике нефтедобычи Пермского края [Электронный ресурс] / В.Г. Неволин // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". – 2012. – №3. – С. 255-260. URL:[http://www.ogbus.ru/authors/Nevolin/Nevolin\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Nevolin/Nevolin_1.pdf)

62. Пат. 479498 Украина, МПК Е 21 В 43/25, Вихревой акустический излучатель [Текст] / заявитель ИФИНГ; патентообладатели: Цок О.Е., Климишин Я.Д. – № 1884638/18, заявл. 20.02.1973; опубл. 05.08.75, Бюл. № 29.

63. Попов А.А. Импульсия в процессе нефтедобычи [Текст] / А.А.Попов. – М.: Недра, 1996. – 190 с.

64. Пат. 13715 Україна, МПК Е 21 В 28/00, Пристрій для проведення гідроударів на привибійну зону пласта [Текст] / заявник ИФИНГ; патентовласник Яремійчук Р.С. – №4704318/03, заявл. 14.06.89; опубл. 29.02.92, Бюл. №8.

65. Вяхирев Р.И. Теория и опыт добычи газа [Текст] / Р.И. Вяхирев, Ю.П. Коротаев, Н.И. Кабанов. – М.: Недра, 1998. – 479 с.

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

67. Пат. 2301329 Российская Федерация, МПК Е 21 В 43/25, Прибор акустический скважинный [Текст] / заявитель и патентообладатель ЗАО "ИНЕФ"– № 2005136751/03, заявл. 28.11.05; опубл. 10.02.07, Бюл. № 03.

68. Малюшевский П.П. Основы разрядноимпульсной технологии [Текст] / П.П. Малюшевский. – К.: Наукова думка, 1983. – 270 с.

69. Смірнов О.П. Обґрунтування параметрів електророзрядного способу декольматації свердловин [Текст] : автореф. дис. ... к.т.н.: спец. 05.15.09 "Геотехнічна і гірнична механіка" / О.П. Смірнов; НАН України. Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова. – Дніпропетровськ, 2011. – 20 с.

70. Кучернюк А.В. Комплексні технології ударно-хвильового впливу на продуктивні горизонти як інструмент підвищення ефективності експлуатації нафтових родовищ [Текст] / А.В. Кучернюк // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №5. – С. 23-27.

71. Бойко В.С. Разработка та експлуатація нафтових родовищ [Текст]: Підручник. / В.С. Бойко – К.: «Реал-Принт», 2004. – 695 с.

72. Гулый Г.А. Электрический разряд в жидкости и его применение [Текст] Сб. научн. тр./ Г.А.Гулый. – К.: Наукова думка, 1977. – 176 с.

73. Пат. 2348794 Российская Федерация, МПК Е 21 В 43/25, Способ предотвращения образований асфальтосмолопарафиновых отложений и устройство для его реализации [Текст] / заявители и патентообладатели: Казаков В.А., Токарев В.С., Артемьев В.Н. – № 2007112201/03, заявл. 02.04.07; опубл. 10.10.08, Бюл. № 03.

74. Технология акустической реабилитации скважин и пластов для решения задач повышения нефтеотдачи [Текст] / Э.И. Орендлихерман, Д. Воронин, А. Исхаков, Ю. Горбачев. // Нефть и газ. – 2002. – №5. – С. 51-55.

75. Техника для вибросейсмохимического воздействия на призабойную зону [Текст]. / А.Н. Дроздов, Д.Н. Ламбин, А.Г. Молчанов [и др.] // Территория нефтегаз. – 2007. – №2. – С. 44-49.

76. Пат. 46425 Україна, МПК Е 21 В 43 / 24, Спосіб термохімічної обробки продуктивного пласта і горючо-окиснювальна суміш для його здійснення / заявник та патентовласник Щербина К.Г. – № 2001074965, заявл. 14.07.01; опубл. 15.05.02, Бюл. №5.

77. Пат. 55098 Україна, МПК Е21В 43/263, Е21В 43/11 , Спосіб вибухової обробки свердловин [Текст] / заявники Бачеріков О.В., Войтенко Ю.І., Зарубін Ю.О., Лігоцький М.В., Демченко П.М., Красько В.І., Бульбас В.М., Лилак М.М., Гаркот В.С., Кукшин В.Д., патентовласник ВАТ "Укрнафта" – № 2002065333, заявл. 27.06.2002; опубл. 17.03.2003, Бюл. №3.

78. Войтенко Ю.І. Підвищення ефективності вибухово-прострільних робіт при видобутку нафти і природного газу [Текст] / Ю.І. Войтенко // Нафтова і газова промисловість. – 1999. – № 6. – С. 34-35.

79. Зейгман Ю.В. Эксплуатація систем поддержания пластового давления при разработке нефтяных месторождений [Текст] : Учебное пособие. / Ю.В. Зейгман. – Уфа. : УГНТУ, 2007. – 232 с.

80. Пат. 912918 Российская Федерация, МПК Е 21 В 43/26, Способ разрыва пласта порохowymi газами [Текст] / заявитель ПечорНИПИнефть; патентообладатель Беяев Б.М., Королев И.П., Поздняков В.Ф. – № 2966505/22, заявл. 22.07.80; опубл. 15.03.1982, Бюл. № 10.

81. Щербина К.Г. Хіміко-технологічні основи високотемпературного впливу на привибійну зону свердловини гідрореагуючими складами [Текст] : дис. ... докт. техн. наук: 05.15.06 / К.Г. Щербина. – Київ, 1999. – 313 с.

82. Гиматудинов Ш.К. Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Добыча нефти [Текст] / Ш.К. Гиматудинов. – М.: Недра, 1983. – 455 с.

83. Віброхвильове витіснення нафти з продуктивного пласта при внутрішньоконтурному заводненні [Текст] / В.М. Казанцев, В.О. Фролагін, Ю.А. Балакіров [та ін.] // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №1. – С. 39-41.

84. Кучернюк А.В. Комплексні технології ударно-хвильової дії на продуктивні горизонти як інструмент підвищення ефективності експлуатації нафтових родовищ [Текст] / А.В. Кучернюк // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №5. – С. 23-27.

85. Кичигин А.Ф. Глобальная энергия в энергосбережении добычи и обработки материалов [Текст] / А.Ф. Кичигин, Д.А. Егер, А.Г. Ивченко. – К.: Кондор, 2006. – 402 с.

86. Кичигин А.Ф. Канонические ансамбли в процессах интенсификации добычи нефти [Текст] / А.Ф. Кичигин, Д.А. Егер. – К.: Техніка, 2002. – 184 с.

87. Сулейманов Б.А. Повышение эффективности физического воздействия на призабойную зону нефтедобывающих скважин [Текст] / Сулейманов Б.А., Ш.З. Исмаилов // Нефтегазовое дело. – 2005. – <http://www.ogbus.ru>.

88. Вибросейсмическое воздействие на нефтяные пласты с земной поверхности [Текст] / Симонов Б.Ф., Опарин В.Н., Канискин Н.А. и др., // Нефтяное хозяйство. – 2000. – №5. – С. 41-46.

89. Абасов М.Т. Перспективы вибрационного воздействия на нефтяную залежь с целью повышения нефтеотдачи [Текст] / М.Т. Абасов, А.В. Николаев, М.А. Садовский // Вестник АН СССР. – 1986. – №9. – С. 95-99.

90. Токарев В.Д. Технология РАВ – важный этап совершенствования методов акустического воздействия на пласты [Текст] / В.Д. Токарев // Oil&Gas Eurasia. – 2008. – №6. – С. 56-59.

91. Освоение скважин на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами с использованием комплекса волновых технологий [Текст] / В.П. Дыбленко, И.А. Туфанов, А.П. Очковский // Нефтяное хозяйство. – 2008. – №11. – С. 112-116.

92. Хузина Л.Б. Наддольный маятниковый вибратор [Электронный ресурс] / Л.Б. Хузина, М.С. Габдрахимов // Нефтегазовое дело. – 2005. – URL: <http://www.ogbus.ru>.

93. Худін М.В. Аналіз сучасного стану методів і засобів підвищення продуктивності нафтових свердловин імпульсно-хвильовими діями на пласти / М.В. Худін, О.М. Карпаш // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2013. – №1/34. – С. 89-97.

94. Пат. 45496 Україна, МПК Е 21 В 43/24, Пристрій для створення періодичних імпульсів тиску / заявники Бажалук Я.М.; Карпаш О.М.; Гутак О.І., Климишин Я.Д., Худін М.В., Бажалук В.Я., патентовласник ІФНТУНГ. – № u200906132, заявл. 15.06.09; опубл. 10.11.09, Бюл. № 21.

95. Пат. 100920 Україна, МПК G 10 К 7 / 00, Е 21 В 43 / 00, Імпульсний генератор / заявники Бажалук Я.М.; Карпаш О.М.; Гутак О.І., Климишин Я.Д., Худін М.В., Бажалук В.Я., патентовласник ІФНТУНГ. – № a201104645, заявл. 15.04.11; опубл. 11.02.13, Бюл. № 3.

96. Сапожков М. А. Электроакустика. – М.: Связь, 1978.

97. Борисов Л. П., Гужас Д. Р. Звукоизоляция в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990.

98. Скучик Е. Основы акустики. Пер. с англ. Под ред. Л. М. Лямшева. – М.: Мир, 1976 (2 тома). 520 с.

99. Бажалук Я.М. Експериментальні дослідження впливу пружних коливань на умови фільтрації газоводяної суміші в пласті [Текст] / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, О.І. Гутак та інші. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 4(29). – С. 45-49.

100. Худін М.В. Теоретичне обґрунтування ефективності впливу генераторів імпульсно-хвильової дії на нафтоносні пласти / Я.М. Бажалук, С.П. Вашишак, Я.Д. Климишин, М.В. Худін // Анотації міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова енергетика – 2011". – м. Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011. – С. 37.

101. Худін М.В. Експериментальні дослідження роботи гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії / Я.М. Бажалук, Я.Д. Климишин, М.В. Худін О.І. Гутак // Анотації міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології буріння свердловин, видобування нафти і газу та підготовки фахівців нафтогазової галузі". – м. Івано-Франківськ, 3-6 жовтня 2012. – С. 270-272.

102. Худін М.В. Експериментальні дослідження удосконаленого гідравлічного генератора імпульсно-хвильової дії на нафтоносний пласт / М.В. Худін, О.М. Карпаш, С.П. Вашишак, О.І. Гутак // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – №2(47). – С. 94-105.

103. Монахов В.И. Измерение расхода и количества жидкости, газа и пара. Госэнергоиздат. 1962. 128 с.

104. Бажалук Я.М. Оцінка ефективності імпульсно-хвильових дій на процеси нафтовитискання у пласті / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, Я.Д. Климишин, О.І. Гутак, В.Я. Бажалук, В.Д. Михайлюк, М.В. Худін // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 2(7). – С. 5-10.

105. Ewing W.M. Elastic Waves in Layered Media / Ewing W.M., Jardetzky W.S. and Press F. // McGraw-Hill, New York. – 1957.

106. Brekhovskikh L.M. Waves in Layered Media / L.M. Brekhovskikh // Academic Press, New York. – 1960.

107. Biot M.A. Generalized theory of acoustic propagation in porous dissipative media / Biot M.A. // J. Acoust. Soc. Amer.. – 1962. – №34. – p.1254–1264.

108. Cagniard L. Reflection and Refraction of Progressive Waves / L. Cagniard // McGraw-Hill, New York. – 1962.
109. Шерифф Р. Сейсморазведка [Текст] / Р. Шерифф, Л. Гелдарт. – М.: Мир, 1987. – Т.1 – 448 с.
110. Biot M.A. The theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low frequency range. II. Higher frequency range / Biot M.A. // J. Acoust. Soc. Amer. – 1956. – №28. – p.168–191.
111. Biot M.A. The elastic coefficients of the theory of consolidation / Biot M.A. Willis D.G.// J. Appl. Mechanics. – 1957. – №24. – p.594–601.
112. Beranek L. Acoustical properties of homogeneous isotropic rigid tiles and flexible blankets / Beranek L. // J. Acoust. Soc. Amer., – 1947. –№19. – p. 556–568.
113. Мирзаджанзаде А. Х. Математическая теория эксперимента в добыче нефти и газа [Текст] / А.Х. Мирзаджанзаде, Г.С. Степанова. – М.: Недра, 1977. – 228 с.
114. Бажалук Я.М. Удосконалення технічних засобів імпульсно-хвильової дії на нафтоносні пласти / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, О.І. Гутак, Я.Д. Климишин, М.В. Худін, Е.М. Короць // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – № 1(34). – С. 10-13.
115. Бажалук Я.М. Увеличение отбора нефти путем воздействия на пласти пакетами упругих колебаний / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, А.И. Гутак, Я.Д. Климишин, Н.В. Худин // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". – 2012. – №3. – С. 185-198.
116. Бажалук Я.М. Способы увеличения отбора нефти путем воздействия на пласти полями упругих колебаний разных частот / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, А.И. Гутак, Я.Д. Климишин, Н.В. Худин // Труды российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2012. – №4. – С. 28-40.
117. Худін М.В. Підвищення нафтовилучення із пластів в умовах розробки родовища у режимі розчиненого газу / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, О.І. Гутак, Я.Д. Климишин, М.В. Худін // Матеріали VI міжнародної науково-практичної

конференції "Економічне відродження України". – м. Київ, 22 травня 2009. – С. 18-19.

118. Пат. 49776 Україна, МПК Е 21 В 43 / 24, Імпульсний генератор / заявники Бажалук Я.М.; Карпаш О.М.; Гутак О.І., Климишин Я.Д., Худін М.В., Бажалук В.Я., патентовласник ІФНТУНГ. – № u200911972, заявл. 23.11.09; опубл. 11.05.10, Бюл. № 9.

## ДОДАТКИ



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **100920** (13) **C2**  
 (51) МПК (2013.01)  
**G10K 7/00**  
**E21B 43/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ  
 УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

<p>(21) Номер заявки: а 2011 04645          (22) Дата подання заявки: 15.04.2011          (24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 11.02.2013          (41) Публікація відомостей про заявку: 25.10.2012, Бюл.№ 20          (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.02.2013, Бюл.№ 3</p>	<p>(72) Винахідник(и):          Бажалук Ярополк Мирославович (UA),          Карпаш Олег Михайлович (UA),          Климишин Ярослав Данилович (UA),          Бажалук Всеволод Ярополкович (UA),          Гутак Олександр Ігорович (UA),          Худін Микола Валентинович (UA)</p> <p>(73) Власник(и):          ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ          ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ,          вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ,          76019 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:          UA 24321 A; 30.10.1998          UA 45496 U; 10.11.2009          SU 669378; 25.06.1979          SU 1439302 A1; 23.11.1998          RU 2397826 C1; 27.08.2010          EP 0420981 A1; 10.04.1991          US 4315520; 16.02.1982</p>
---	--

**(54) ІМПУЛЬСНИЙ ГЕНЕРАТОР****(57) Реферат:**

Винахід належить до приладобудування і може бути використаний для інтенсифікації різних технологічних процесів, в тому числі процесів видобутку нафти та газу. Імпульсний генератор містить корпус прямокутного перерізу з внутрішньою порожниною. Всередині корпусу встановлений з можливістю коливань відносно осі і з'єднаний з джерелом стиснутого газу або рідини модулятор, такий як перекидний клапан, Т-подібного профілю. Ширина нижньої частини модулятора рівна ширині порожнини корпусу. Модулятор встановлений на осі загостреною верхньою частиною проти потоку. А розширені нижні частини його Т-подібного профілю виконані під кутом 90° до його центральної осі з можливістю виходу за межі корпусу. На внутрішніх стінках корпусу, перпендикулярних до напрямку переміщення модулятора, в області загостреної частини модулятора виконано звуження у вигляді сопла Лавала. Згідно з винаходом корпус виконаний з постійного магніту і його внутрішня частина містить ділянки для взаємодії з ділянками перекидного клапана. Перекидний клапан виконаний з магнітом'якого матеріалу, його верхня частина вище осі має меншу площу по відношенню до його нижньої частини нижче осі. Перекидний клапан встановлений всередині корпусу з можливістю утворення верхньої та нижньої ізолюваних одна від одної камер при приляганні ділянок верхньої та нижньої частин перекидного клапана до відповідних ділянок внутрішньої частини корпусу. А на вході корпусу додатково встановлена об'ємно-пружна камера, яка сполучена з верхньою камерою корпусу. Генератор забезпечує підвищення ефективності перетворення енергії руху рідини або газу в енергію імпульсів тиску, що зменшує втрати енергії при простій та надійній конструкції генератора.

- (21) Номер заявки **u 2009 06132**
- (22) Дата подання заявки **15.06.2009**
- (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.11.2009**
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.11.2009, Бюл. № 21**

(72) Винахідники:  
Бажалук Ярополк  
• Мирославович, UA,  
Карпаш Олег Михайлович,  
UA,  
Климишин Ярослав  
Данилович, UA,  
Бажалук Всеволод  
Ярополкович, UA,  
Гутак Олександр Ігорович,  
UA,  
Худін Микола Валентинович,  
UA

(73) Власник  
**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ,**  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-  
Франківськ, 76019, UA

(54) Назва корисної моделі:

**ПРИСТРІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПЕРІОДИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ ТИСКУ**

(57) Формула корисної моделі:

1. Пристрій для створення періодичних імпульсів тиску, що містить клапанну коробку, виконану у вигляді циліндричної втулки з каналом прямокутного перерізу, всередині якого розташовані шатун і перекидний клапан, який відрізняється тим, що перекидний клапан з шатуном встановлені в каналі прямокутного перерізу з утворенням трьох ізольованих одна від одної порожнин, та із можливістю взаємодії із додатково введеними трьома парами магнітів, розташованих попарно на внутрішніх стінках клапанної коробки в кожній із порожнин перпендикулярно до напрямку руху шатуна з перекидним клапаном, які виконані з загостреними кінцями, при цьому загострена частина шатуна спрямована вздовж потоку рідини (газу), а перекидного клапана - проти, а довжина шатуна вибрана з умови взаємодії з парами магнітів, встановлених в нижній порожнині, при одночасному контактуванні перекидного клапана з парами магнітів, встановлених у верхній порожнині, до цього ж перекидний клапан і шатун вулканізовані в місцях контакту з клапанною коробкою.

2. Пристрій за п. 1, який відрізняється тим, що перекидний клапан та шатун виконані з магнітом'якого матеріалу.

- (21) Номер заявки: \* u 2009 11972
- (22) Дата подання заявки: 23.11.2009
- (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.05.2010
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 11.05.2010, Бюл. № 9

(72) Винахідники:  
Бажалук Ярополк  
Мирославович, UA,  
Карпаш Олег Михайлович,  
UA,  
Климишин Ярослав  
Данилович, UA,  
Бажалук Всеволод  
Ярополкович, UA,  
Гутак Олександр Ігорович,  
UA,  
Худін Микола Валентинович,  
UA

(73) Власник:  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-  
Франківськ, 76019, UA

(54) Назва корисної моделі:

**ІМПУЛЬСНИЙ ГЕНЕРАТОР**

(57) Формула корисної моделі:

Імпульсний генератор, що складається з корпусу, гвинтової пружини, приєднаної до нього жорстко верхнім кінцем за допомогою втулки, каналу для протікання рідини (газу), клапана, який закриває прохід рідини (газу) і з'єднаний з нижнім кінцем пружини, який відрізняється тим, що на виході з корпусу додатково встановлено постійний магніт кільцевого поперечного перерізу, який утримує клапан з магнітом'якого матеріалу в закритому стані, на вході в корпус встановлено об'ємно-пружну камеру, яка сполучена з порожниною корпусу, а пружина в стиснутому стані між витками має зазори.

Додаток Б

**ПРИСТРІЙ ГІДРОМОНІТОРНИЙ ДЛЯ  
ПРОМИВАННЯ СВЕРДЛОВИН МОДЕРНІЗОВАНИЙ**

**Програма і методика приймальних випробувань**

ПГПС-1.00.00.000 ПМ

Івано-Франківськ 2012

# 1 ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАННЯ

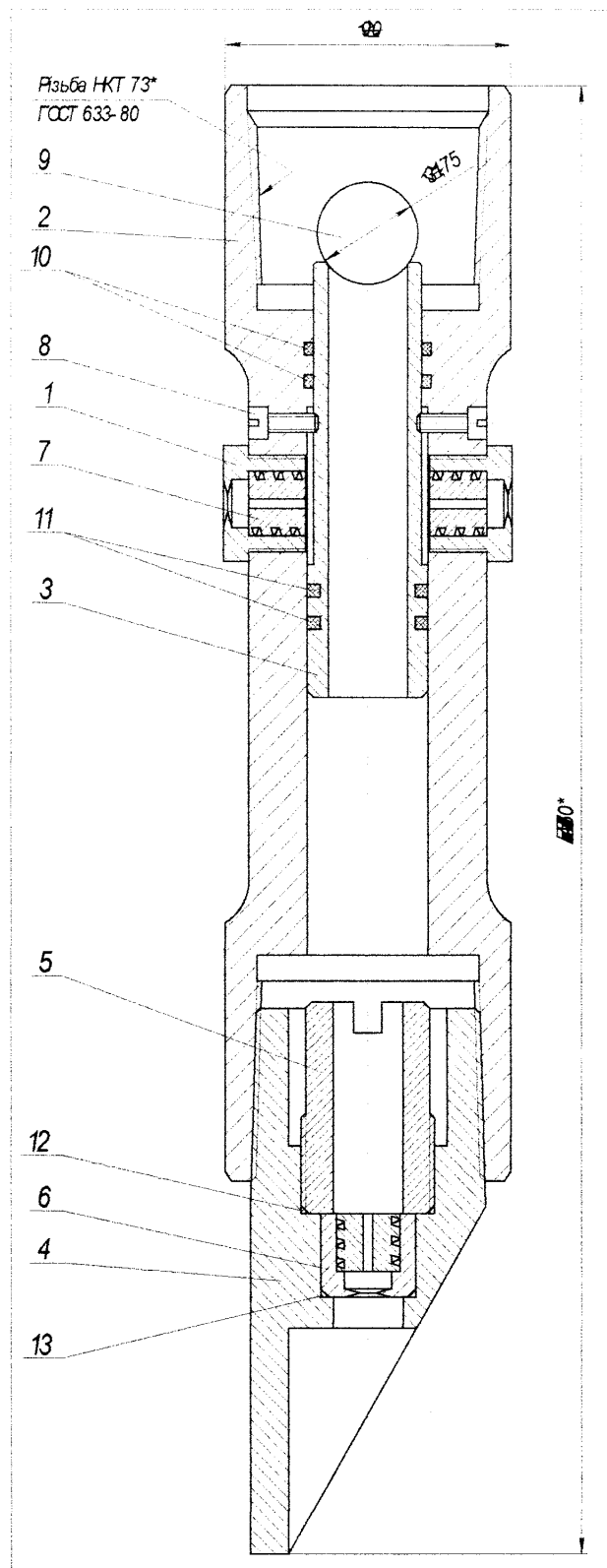
1.1 Найменування: гідромоніторний пристрій для промивання свердловин дернізований.

1.2 Призначення: здійснення промивання свердловин та імпульсно-хвильової дії привибійну зону пласта.

1.3 Умовне позначення: ПГПС-1.

1.4 Будова і принцип роботи пристрою.

Пристрій спускають на колоні НКТ діаметром 73 мм в свердловину до заданої глибини. На усті свердловини під'єднують насосний агрегат. Пристрій складений відповідно до креслення наведеного на рисунку 1. Насосним агрегатом в колоні НКТ створюється надлишковий тиск. Робоча рідина проходить через гідромоніторну насадку центрального тримача 6 – центральна промивка. Після завершення центральної промивки в колону НКТ пускають кульку 9. Пройшовши колону НКТ, кулька 9 зупиняється на втулці 3. Агрегатом збільшують тиск для зрізання гвинтів 8. Після зрізання гвинтів 8 втулка 3 з кулькою 9 рухаються вниз і спиняються на гайці 5. Через відкриті насадки та тримачі 1 відбувається бокова промивка. Після закінчення бокової промивки пристрій на колоні НКТ піднімається на поверхню.



1 – держач боковий; 2 – корпус; 3 – втулка; 4 – хвостовик; 5 – гайка; 6 – тримач центральний;  
7 – насадка; 8 – гвинт; 9 – куля; 10, 11, 12, 13 – кільця ущільнюючі

Рис. 1 – Пристрій гідромоніторний для промивання свердловин модернізований ППС-

## 2 МЕТА ВИПРОБУВАННЯ

Перевірити герметичність пристрою та визначити параметри (імпульси тиску) одного потоку рідини.

## 3 ПОРЯДОК, МІСЦЕ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

3.1 Підставою для проведення випробувань є перевірка працездатності пристрою.

3.2 Перелік документів, що подаються на випробування.

3.2.1 Графічні конструкторські документи.

3.2.2 Програма і методика випробувань.

3.2.3 Схема випробувального стенду.

3.2.4 Проект технічних умов.

3.3 Для випробування береться один дослідний зразок пристрою.

3.4 У випробуванні приймають участь розробник, замовник та інші зацікавлені і.

3.5 Гідровипробування на герметичність та визначення параметрів потоку рідини водяться на стенді (рисунок 2 і 3) з дотриманням правил техніки безпеки. Стенд повинен бути атестований у встановленому порядку.

3.6 Випробування проводяться при нормальних значеннях факторів зовнішнього середовища відповідно до ГОСТ 15150-69 (Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды).

## 4 НЕОБХІДНЕ ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ

4.1 Рулетка.

4.2 Штангенциркуль.

4.3 Штангенглибиномір.

4.4 Нутроміри.

4.5 Лінійка.

4.6 Різьбові калібри.

4.7 Зразки шорсткості.

4.8 Термометр.

4.9 Секундомір.

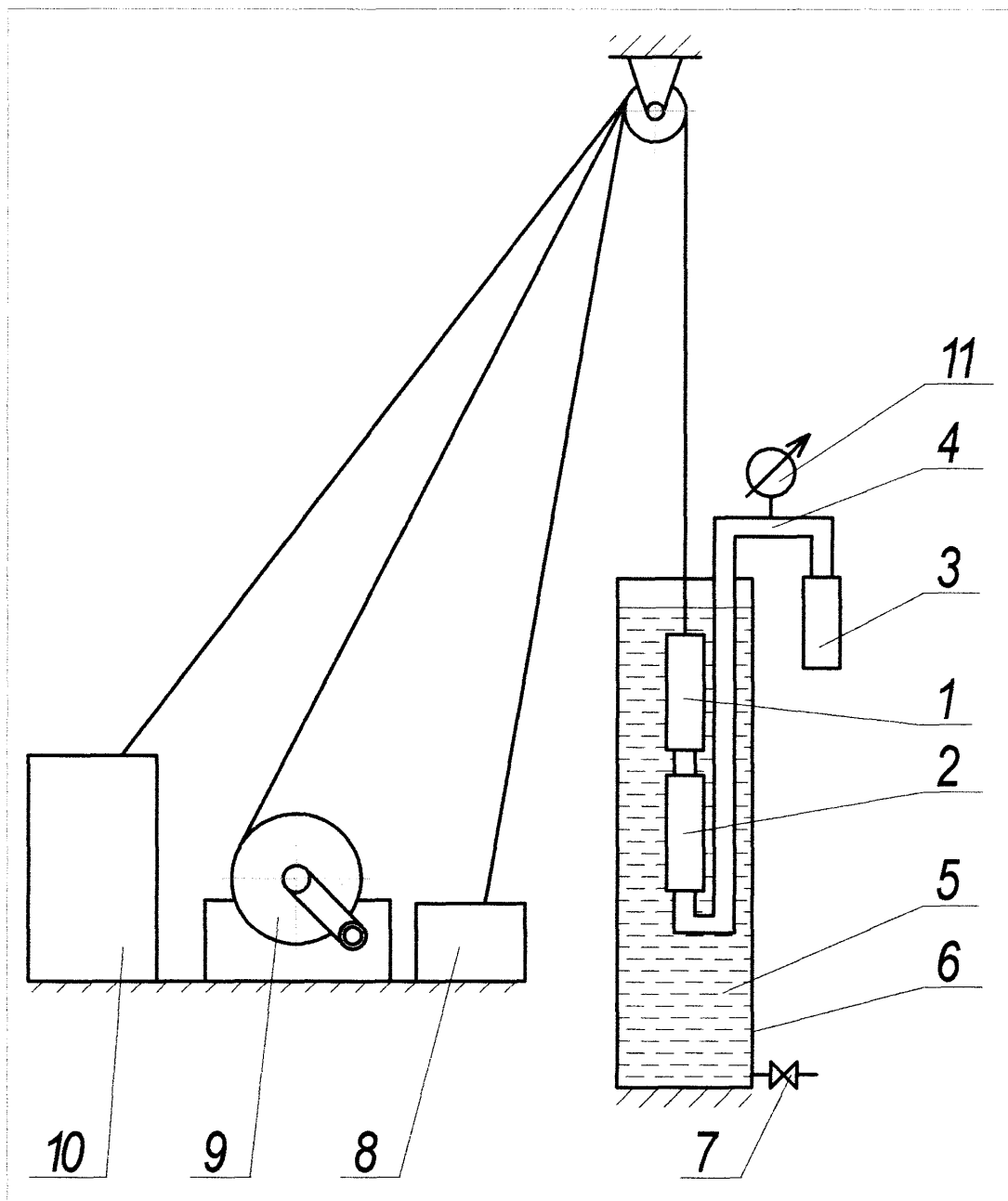
4.10 Стенд випробувальний.

4.11 Манометр.

4.12 Осцилограф.

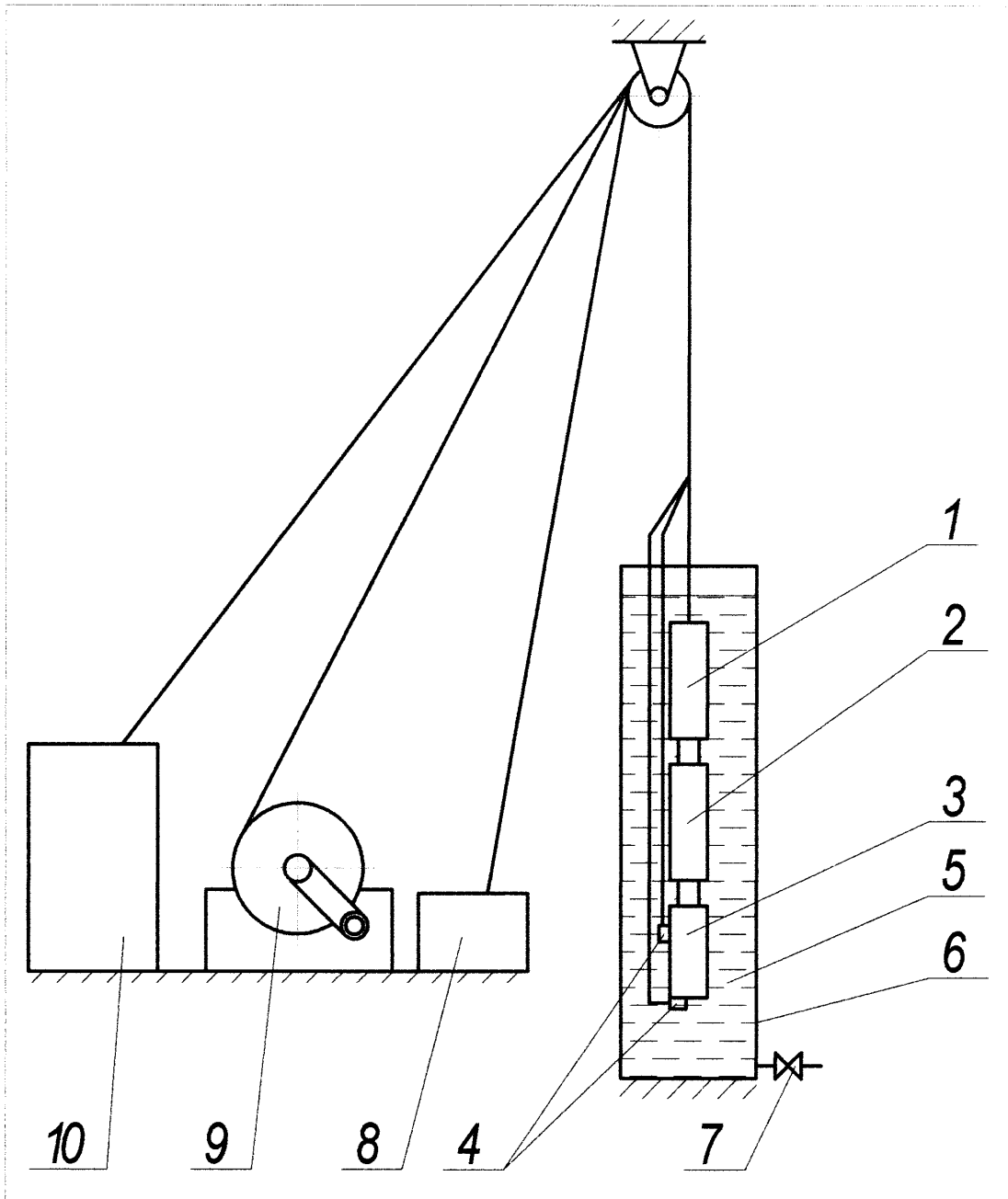
4.13 Давачі імпульсів тиску.

4.14 Ваги.



1 – зливний кран; 2 – насос; 3 – дослідний зразок пристрою; 4 – гідролінія; 5 – вода; 6 – ємність;  
7 – зливний кран; 8 – осцилограф; 9 – лебідка; 10 – джерело живлення; 11 – манометр

Рисунок 2 – Схема випробувального стенду (випробування на герметичність)



двигун; 2 – насос; 3 – дослідний зразок пристрою; 4 – датчик; 5 – вода; 6 – ємність; 7 –  
 зливний кран; 8 – осцилограф; 9 – лебідка; 10 – джерело  
 живлення

Зображення 3 – Схема випробувального стенду (визначення параметрів потоку рідини)

## 5 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

5.1 Вхідний контроль матеріалів проводиться відповідно до вимог ГОСТ 24297-87

одной контроль продукции. Основные положения).

5.2 Геометричні розміри та матеріал деталей повинні відповідати вказаним на

деннях.

5.3 Матеріали повинні відповідати стандартам та технічним умовам на них. На

ріали повинні бути сертифікати або документи, що їх замінюють.

При відсутності сертифікатів на матеріали або необхідних характеристик

приємство-виробник проводить випробування на відповідність матеріалів вимогам

дартів та технічних умов на ці матеріали.

5.4 Матеріали-замінники повинні відповідати стандартам та технічним умовам на

їхні характеристики повинні бути не гірші, ніж матеріалів, що вказані на

леннях.

5.5 Вимоги до виготовлення пристрою повинні відповідати кресленням.

5.6 Для гідровипробувань на герметичність використовується вода. При цьому

пература води для випробувань може бути нижчою від температури навколишнього

ітря не більше, ніж на 5 С.

Допускається використовувати для випробувань інші рідини, в'язкість яких не

вищує 100 МПа·с.

## 6 ПРОГРАМА ВИПРОБУВАНЬ

6.1 Підготовка до випробувань.

6.2 Гідровипробування на герметичність з'єднань пристрою.

6.3 Визначення параметрів вихідного потоку рідини.

6.4 Оформлення результатів випробувань.

## 7 МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ

7.1 Підготовка до випробувань.

Оглянути випробувальний стенд, перевірити підключення осцилографа; оглянути

ляцію струмопровідних частин стенду.

7.2 Гідровипробування на герметичність з'єднань пристрою.

В пристрій 3 замість гідромоніторних насадок встановити заглушки. Закріпити пристрій на гідролінії 4 випробувального стенду (рисунок 2). Тиск в гідросистемі збільшувати плавно, без гідроударів. Пристрій під пробним тиском ( $P_n = 1,5P_p$ ) витримати 10 хв. Тиск рідини в системі контролюється манометром 11. Вважати, що пристрій витримав випробування на герметичність, якщо під час випробувань не відомо зміни тиску в системі.

### 7.3 Визначення параметрів вихідного потоку рідини.

Пристрій 3 встановити на стенді (рисунок 3). Біля центральної та однієї з бокових гідромоніторних насадок закріпити здавачі 4 і з'єднати їх з осцилографом 8. Запустити пристрій. Зберегти зафіксовані осцилограми.

### 7.4 Оформлення результатів випробувань.

7.4.1 Результати випробувань на герметичність заносяться в паспорт пристрою.

7.4.2 Отримані осцилограми аналізуються, заповнюється таблиця 1 і робиться висновок з детальним описом характеристик утворених гідроімпульсів тиску.

## 8 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

8.1 Випробувальний стенд та допоміжне обладнання повинні відповідати вимогам стандарту ГОСТ 12.2.003-91 (Оборудование производственное. Общие требования безопасности)

8.2 Майданчик для випробувань пристрою повинен мати захисну огорожу.

8.3 Випробування пристрою повинні проводитися особами з відповідною підготовкою та допуском на їх проведення.

8.4 Під час проведення випробувань присутність людей на майданчику для випробувань заборонена.

8.5 Під час проведення випробувань заборонено виконання будь-яких робіт на пристрої, який знаходиться під тиском.

# Додаток В

Додаток 1  
до договору № АВ/360/2007  
від " 21 " 04 2007 р.

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Перший заступник міністра

" 23 "  
М.П. А.М.Гуржій  
2007 р.



## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ на виконання науково-технічної роботи

**Розроблення технології та пристрою імпульсно-хвильової дії для  
збільшення продуктивності нафтових свердловин**

### ВИКОНАВЕЦЬ:

Ректор Івано-Франківського національного  
технічного університету нафти і газу

Є.І. Крижанівський

Науковий керівник

О.М. Карпаш

### ЗАМОВНИК:

Директор департаменту науково-  
технологічного розвитку

В.О. Свіженко

Начальник відділу державного  
замовлення

О.М. Маркін

Спеціаліст, який відповідає за напрям

Л.С. Межейнікова

2007 р.

Затверджено  
Директор компанії, Західенергобуд

Г.Б. Плотніков  
18.10.2010 р.

АКТ

У період з 08.10.2010 р. по 11.10.2010 р. на свердловині 8 Ст.Самбір проведені роботи з термоакустичного впливу на пласт. Обробка привибійно зони пласта проводилась в інтервалі перфорації 3295-3333 м. з допомогою генератора ТАГ-1 для термоакустичного впливу на нафтонасичений пласт.

Технічні характеристики генератора:

- діапазон частот пружних коливань, Гц - 50 – 10000 ;
- діапазон потужностей випромінювання ( у залежності від продуктивності насосного агрегата), Вт - 1500 – 3000 ;
- максимальний перепад тиску на генераторі, мПа - 15 ;
- максимальна робоча температура, °С - 120 .

Генератор опускався у свердловину на трубах НКТ 73 до нижніх отворів перфорації і поступово підіймався до глибини 3295 м. , при цьому створювалась кругова циркуляція нафти з допомогою насосного агрегата ЦА-320 по схемі: насосний агрегат – труби НКТ 73 – генератор ТАГ-1 – затрубний простір – замірна ємність – насосний агрегат. На протязі часу обробки пласта тиск на насосному агрегаті поступово збільшувався від 3 до 8 мПа. В замірній ємності на викидній лінії через кожні 60 хв.вимірювалась температура нафти. Результати замірів температури наступні:

- 60 хв. - 13 °С ;
- 120 хв. - 13 °С ;
- 180 хв. - 15 °С ;
- 240 хв. - 19 °С.

Дебіт нафти на свердловині 8 Ст.Самбір до обробки становив 3 м<sup>3</sup>/доб. При контрольному вимірюванні проведеному 16.10.2010 р. дебіт нафти становив 6 м<sup>3</sup>/доб.

Директор ІФНТ



Я.М. Бажалук

Аспірант ІФНТУНГ  
Аспірант ІФНТУНГ

М.В. Худін  
О.І. Гутак

Додаток Д

Узгоджено

Директор ТОВ «Інтекс»

Бажалук Я.М.  
2011 р.

Затверджено

Начальник Калуської НГРЕ

Кузьмич Б.В.  
2011 р.

**АКТ**

**дослідно-промислових випробувань**

«Технології і технічних засобів інтенсифікації видобутку вуглеводнів шляхом різночастотного імпульсно-хвильового впливу та депресійної дії на нафтогазонасичені породи»

Приймальна комісія у складі:

Голова комісії:

Возняк З.В. – головний інженер Калуської НГРЕ;

члени комісії:

Кремінь Я.В. – головний геолог Калуської НГРЕ;

Короць Е.М. – технічний директор ТОВ «Інтекс»;

Гутак О.І. – інженер-технолог ТОВ «Інтекс» (аспірант кафедри РЕНГР ІФНТУНГ);

Худін М.В. – інженер-конструктор ТОВ «Інтекс» (аспірант кафедри НГО ІФНТУНГ);

склали цей акт про те, що станом на 20.08.2011р., в результаті освоєння свердловини І-Семаківська компресуванням з пониженням рівня до глибини 453 м, отримано незначний приплив нафти об'ємом 0,1 м<sup>3</sup>. Для покращення зв'язку з пластом та інтенсифікації припливу пластового флюїду в період з 20.08.2011 по 24.08.2011 на свердловині І-Семаківська були проведені роботи по інтенсифікації видобутку вуглеводнів із використанням технології різночастотного імпульсно-хвильового впливу на нафтогазонасичені породи, з наступним відномпуванням пластового флюїду на різних режимах з використанням ежекторного насоса УЕОС-2 і виходом на оптимальний режим припливу.

Для виконання даних робіт використовувалися:

- генератор ГКП-1;
- ежекторний насос УЕОС-2;
- пакер ПМКВ-118;

- інші допоміжне обладнання.

Загальний принцип здійснення різночастотного імпульсно-хвильового впливу на пласт. Даний вплив здійснюється за допомогою генерації гідравлічних імпульсів тиску свердловинним пристроєм, за рахунок використання енергії рідини або газу. Генератор спускається в свердловину на колоні насосно-компресорних труб, а напірно-витратні параметри рідини задаються насосними агрегатами. Гідроімпульси тиску, діючи з частотою повторення 30,40,50 Гц на оточуюче свердловинне шарувате середовище (вода-сталь-цемент-пласт), збуджують у пласті хвильові пакети пружних загасаючих коливань певної тривалості, які в своєму спектрі містять діапазони низькочастотних і високочастотних гармонік. Робота високочастотних складових витрачається на зменшення міцності колючого матеріалу і очищення порових каналів ПЗП, усування блокуючого впливу залишкових фаз газу, нафти і води. Робота низькочастотних складових витрачається на зміну реологічних характеристик нафтогазоводяного флюїду та характеру його фільтрації в пласті на відстанях більших радіусу привибійної зони пласта.

Після імпульсно-хвильової дії створюється оптимальна для конкретних геолого-технічних умов депресія на пласт з допомогою стандартних технологій та обладнання з метою видалення колючого матеріалу із ПЗП.

Затримки із створенням депресії на пласт приводять до повторної коагуляції частинок колючого матеріалу (самовідновлення коагуляційних структур) і тим самим до повторного блокування ПЗП.

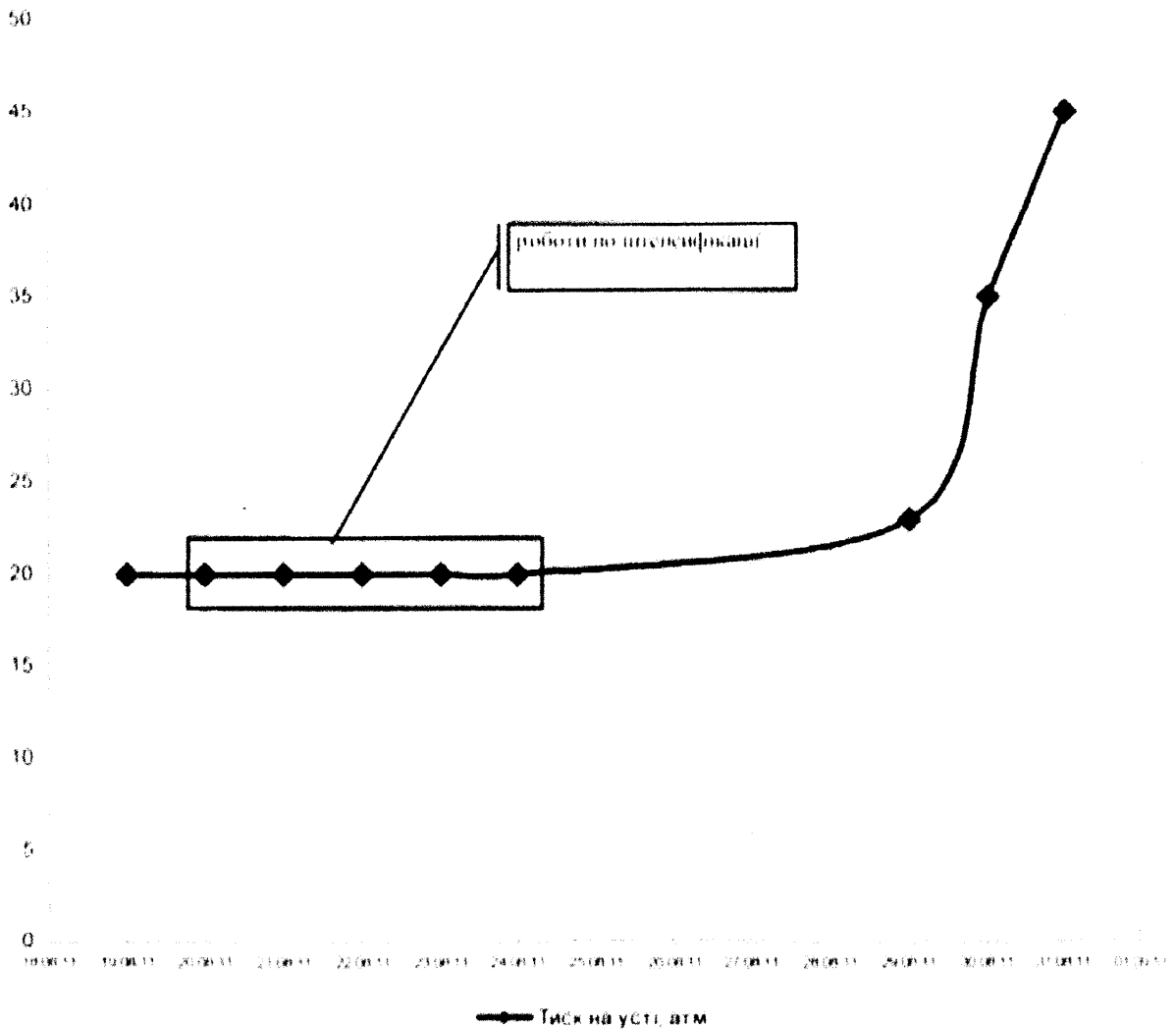
У зв'язку з цим доцільним є використання для створення депресії струминних насосів, які дозволяють в широких межах плавно змінювати вибійний тиск. Конструктивне поєднання гідравлічного генератора імпульсів тиску і струминного насоса дозволяє ефективно очищувати від колючих речовин ПЗП. Після імпульсно-хвильової дії на пласт, з допомогою струминного насоса проводиться вибір оптимального значення депресії, при якій кількість колючих речовин в пробах рідини, що беруться на викиді циркуляційної системи, через рівні проміжки часу, буде мінімальною, а приплив рідини із пласта буде стабільним.

Комісія встановила:

- вважати технологію інтенсифікації видобутку вуглеводнів шляхом різночастотного імпульсно-хвильового впливу на нафтогазонасичені породи такою, що пройшла дослідно-промислові випробування успішно;

- імпульсно-хвильовий вплив на пласт з допомогою генератора ГКН-1, а також створення циклічних регульованих депресій на пласт з допомогою

ежекторного насоса УЕОС-2, дозволили підвибити зв'язок свердловини з продуктивними пластами, в результаті чого спостерігався вихід рідини із періодичними пачками газу про що свідчить зростання тиску на усті свердловини І-Семаківська.



Динаміка зміни тиску на усті свердловини І-Семаківська.

Голова комісії:

Возняк В. В.

Члени комісії:

Юремін Я. В.

Короць Е. М.

Гутак О. І.

Худін М. В.

