

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

Пояснювальна записка  
до магістерської кваліфікаційної роботи  
магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Підвищення ефективності зондування ґрунтів при використанні навісного обладнання з гідроімпульсним приводом

08.27.МКР.005.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу за ОПП «Магістр»,  
групи 1ГМ-18М, спеціальності

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва напрямку підготовки)

Кушнір М.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник Іскович-Лотоцький Р.Д.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Терещенко О.П.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Вінниця – 2019 рік

# ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ГМ

Полішук Л.К.

“ ” 2019 року

## **ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Кушніру Максиму Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи Підвищення ефективності зондування ґрунтів при використанні навісного обладнання з гідроімпульсним приводом

керівник магістерської кваліфікаційної роботи Іскович-Лотоцький Ростислав

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Дмитрович, д.т.н., проф.

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” жовтня 2019 року № 254

2. Строк подання студентом магістерської кваліфікаційної роботи

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: номінальний тиск роботи пристрою – 10 МПа; номінальна подача гідронасоса –  $8,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с; область зондування – піщані ґрунти; номінальна глибина зондування – 15-20 м.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; 1. Аналіз відомих методів польових досліджень ґрунтів; 2. Аналіз принципів схем навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів; 3. Розробка навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів; 4. Математичне моделювання процесу ударно-вібраційного зондування ґрунтів; 5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях; 6. Економічна частина; Висновки; Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Методи дослідження ґрунтів фА1; 2. Інструменти для зондування ґрунтів фА1;

3. Конструкції існуючих типів навісного обладнання фА1; 4. Аналіз принципів схем розробленого навісного обладнання з гідроімпульсним приводом 2хфА1;

5. Принципова схема розробленого навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів фА1; 6. Математична модель процесу зондування ґрунтів

3хфА1.



## 6. Консультанти розділів магістерської кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальний	Іскович-Лотоцький Р.Д., д.т.н., проф.	03.10.2019р.	03.10.2019р.
Охорона праці	Віштак І.В, доцент	03.10.2019р.	03.10.2019р.
Безпека у надзвичайних ситуаціях	Полішук О.В., доцент	03.10.2019р.	03.10.2019р.
Економічний розділ	Лесько О.Й., проф.	03.10.2019р.	03.10.2019р.

7. Дата видачі завдання 03 жовтня 2019 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Аналіз відомих методів польових досліджень ґрунтів		РПЗ
2	Аналіз принципів схем навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів		РПЗ
3	Розробка навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів		РПЗ
3.1	- принципова схема		-//-
3.2	- теоретичне обґрунтування		-//-
4	Математична модель процесу зондування ґрунтів		РПЗ
5	Розділ ОП та безпеки у надзвичайних ситуаціях		РПЗ
6	Економічний розділ		РПЗ
7	Методи дослідження ґрунтів		ІМ
8	Інструменти для зондування ґрунтів		ІМ
9	Конструкції існуючих типів навісного обладнання		ІМ
10	Аналіз принципів схем розробленого навісного обладнання з гідроімпульсним приводом		ІМ
11	Принципова схема розробленого навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів		ІМ
12	Математична модель процесу зондування ґрунтів		ІМ
14	Оформлення РПЗ та ІМ		

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Кушнір М.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Іскович-Лотоцький Р.Д.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі приведений огляд відомих методів польових досліджень ґрунтів, на основі огляду зроблено висновки, відносно доцільності та раціональності розробки принципової схеми навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів. Розроблено нову удосконалену принципову схему навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів, обґрунтовано вибір основних її параметрів а також розроблено математичну модель процесу зондування при використанні навісного обладнання з гідроімпульсним приводом.

Проведено оцінювання комерційного потенціалу розробки, а також розраховано витрати на виготовлення та економічний ефект від реалізації результатів розробки.

Вказані заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Магістерська кваліфікаційна робота містить: 13 рисунків, 19 таблиць, 20 літературних джерел.

## ABSTRACT

In this master's qualification work the overview of known methods of field research of soils is given, on the basis of the review the conclusions are made concerning the expediency and rationality of development of the schematic diagram of the hinged equipment with a hydro-impulse drive for soil probing. A new advanced schematic diagram of hydraulic impulse attachment for soil probing has been developed, the choice of its basic parameters has been substantiated, and a mathematical model of the probe process for the use of hydraulic impulse attachment has been developed.

The commercial development potential of the development has been evaluated, as well as the cost of manufacturing and the economic impact of the implementation of the development results.

Occupational health and safety measures are indicated.

Master's qualification work contains 13 figures, 19 tables, 20 references.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ВІДОВИХ МЕТОДІВ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ҐРУНТІВ.....	10
1.1 Метод динамічного зондування ґрунтів.....	14
1.2 Метод статичного зондування ґрунтів .....	17
1.3 Метод ударно-вібраційного зондування ґрунтів .....	21
1.4 Висновки до розділу.....	26
2 АНАЛІЗ ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ НАВІСНОГО ОБЛАДНАННЯ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ ЗОНДУВАННЯ ҐРУНТІВ .....	27
2.1 Гідроімпульсний привод навісного обладнання з вбудованим віброзбуджувачем.....	27
2.2 Гідроімпульсний привод навісного обладнання з однокаскадним віброзбуджувачем.....	29
2.3 Гідроімпульсний привод навісного обладнання з двокаскадним віброзбуджувачем.....	31
2.4 Гідроімпульсний привод навісного обладнання з гідроаккумулятором.....	32
2.5 Висновки до розділу.....	34
3 РОЗРОБКА НАВІСНОГО ОБЛАДНАННЯ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ ЗОНДУВАННЯ ҐРУНТІВ.....	35
3.1 Розробка принципової схема навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів .....	35
3.2 Обґрунтування вибору параметрів розробленого навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів.....	37
3.3 Висновки до розділу.....	45
4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ҐРУНТІВ .....	46
4.1 Оптимальна довжина штанги при зондуванні.....	53
4.2 Вплив діаметру зонду на механічну швидкість зондування.....	58

4.3 Вплив ступеня заглиблення наконечника в ґрунт на швидкість зондування.....	59
4.4 Висновки до розділу.....	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	62
5.1 Аналіз умов праці.....	62
5.2 Технічно-організаційні рішення щодо безпеки праці.....	63
5.3 Техніка безпеки.....	67
5.4 Пожежна безпека.....	67
5.5 Розрахунок режимів радіаційного захисту працівників при роботі на забруднених територіях.....	68
5.6 Висновки до розділу.....	75
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	76
6.1 Оцінювання комерційного потенціалу наукової розробки.....	76
6.2 Прогнозування витрат на виконання роботи.....	79
6.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	86
6.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	87
6.5 Висновки по розділу.....	90
ВИСНОВКИ.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	94
ДОДАТКИ.....	96
ДОДАТОК А – Технічне завдання.....	97
ДОДАТОК Б – Ілюстративна частина.....	101

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Дослідження ґрунтів зануренням конуса під впливом ударного або ударно-вібраційного зондування (УВЗ) є одним з експрес-методів отримання інженерно-геологічної інформації про фізико-механічні властивості фундаменту з сипких ґрунтів будівель і споруд. Воно дозволяє виявляти ступінь однорідності зондованих ґрунтів; визначати положення меж (контактів) різних літологічних прошарків і несучих прошарків для пальної основи; виявляти і окреслювати в плані і по глибині послаблені зони на досліджуваних ділянках для точної прив'язки місця проведення дослідних робіт; вибирати оптимальні варіанти вибору молотів; оцінювати фізичні і механічні властивості піщаних ґрунтів (щільність, кут внутрішнього тертя і т.д.); орієнтовно оцінювати модуль деформації піщаних ґрунтів.

Більшість установок для зондування сьогодення мають в своїй основі механічний (дебалансний) привід. Сучасний розвиток приводів вказує на перевагу гідравлічних над механічними, що зумовлює його застосування в різних галузях машинобудування. Виходячи з цього доцільною є розробка принципово нового навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів.

**Зв'язок роботи з державними науковими програмами, планами, темами.** Робота не виконувалась згідно з держбюджетною темою.

**Мета і задачі дослідження.** Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності процесу зондування ґрунтів шляхом розробки і використання навісного обладнання з гідроімпульсним приводом.

Основними задачами магістерської дисертації є розробка, дослідження та розрахунок основних параметрів установок з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів.

**Об'єкт дослідження** – процес зондування ґрунтів.

**Предмет дослідження** – навісне обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів.

**Методи дослідження.** До основних методів дослідження входить огляд існуючих методів польових досліджень ґрунтів, аналіз існуючих розроблених принципових схем навісного обладнання з гідроімпульсним приводом, обґрунтування параметрів та розробка нової принципової схеми навісного обладнання з гідроімпульсним приводом, математичне моделювання процесу зондування ґрунтів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукову новизну магістерської кваліфікаційної роботи складають такі основні її результати і положення:

- проведено теоретичне обґрунтування розробки навісного обладнання з гідроімпульсним приводом;
- розроблена математична модель процесу зондування ґрунтів при використанні навісного обладнання з гідроімпульсним приводом.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичну цінність магістерської кваліфікаційної роботи складають такі її результати:

- розроблено удосконалена принципова схема навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати досліджень отримані автором самостійно. Автором запропоновано принципову схему навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів а також розроблена математична модель процесу зондування ґрунтів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення магістерської кваліфікаційної роботи, наукові і практичні результати доповідались і обговорювались на науково-технічній конференції. [20]

## 1 АНАЛІЗ ВІДОВИХ МЕТОДІВ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ҐРУНТІВ

Будь-яка споруда зводиться на ґрунті, який є його основою. Найбільш відповідальною частиною будівлі є фундамент, завдання якого передати навантаження від будівлі на ґрунтову основу так, щоб не порушити його міцність. Будівельні норми і правила передбачають розрахунок основ і фундаментів за двома групами граничних станів: по міцності і стійкості, а також за деформаціями – осідання фундаменту і його заснування [1].

Розрахувати фундамент і його основу неможливо без знання фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Вибір найбільш раціональних і економічних конструкцій фундаментів і оптимальних способів виконання робіт з їх будівництва є однією з найважчих і складних інженерних задач в будівництві. Це обумовлено не тільки великою різноманітністю видів і станів ґрунтів, різноманіттям природних умов їх залягання, впливом геологічних і мікрогеологічних явищ і процесів, а й різноманітністю і складністю виробничих умов будівництва.

Для визначення характеристик механічних властивостей ґрунтів проводять лабораторні та польові випробування. Визначувані в лабораторних умовах на зразках, характеристики ґрунтів не завжди в повній мірі відображають властивості ґрунтів в умовах їх природного стану.

Тому нормативні документи зобов'язуються поряд з лабораторними проводити і польові випробування ґрунтів.

Під механічними властивостями ґрунтів розуміють їх поведінку під дією зовнішнього навантаження або при зміні їх фізичного стану. Характеристики механічних властивостей ґрунтів необхідно знати для розрахунку їх деформацій, оцінки міцності та стійкості ґрунтових масивів і основ.

Характеристики механічних властивостей не можуть бути призначені в залежності від фізичного складу та стану, ґрунтів, які формувалися протягом



тривалого періоду часу і піддавалися різним впливам. Вони повинні визначатися експериментально.

До основних механічних властивостей ґрунтів відносяться:

- стисливість (деформованість) ґрунтів;
- опір ґрунтів зсуву;
- водопроникність ґрунтів.

Методи дослідження властивостей ґрунтів в їх природному заляганні називаються польовими.

Виділяються чотири типи польових методів вивчення ґрунтів:

- I – обстеження і опис;
- II – розвідка і випробування;
- III – випробування;
- IV – натурні спостереження за зведеними спорудами.

До польових методів випробувань ґрунтів, заснованих на моделюванні процесів, що протікають при роботі основи, відносяться: статичні випробування ґрунтів штампами, пресометрами, зондуванням, обертальним зрізом, зсувів ціликів ґрунту та ін.

Розрізняють, з одного боку, прямі і непрямі методи випробувань ґрунтів, з іншого - точні і грубі.

Прямим методом називається випробування, яке виконують до отримання шуканої характеристики стисливості або міцності безпосередньо. Непрямий метод базується на використанні будь-яких емпіричних залежностей між результатами випробувань і шуканої характеристикою.

Точні і грубі методи розрізняються ступенем впливу випадкових помилок, які супроводжують випробування. У точних методах частка випадкової помилки невелика, в результаті чого середнє квадратичне відхилення вимірюваної величини характеризують в основному природний розбіг даного показника.

В грубих методах вплив випадкових помилок призводить до значного збільшення середньоквадратичного відхилення вимірюваної величини.

Деформаційні характеристики ґрунтів слід визначати переважно польовими методами. Характеристики міцності ґрунтів в польових умовах повинні обов'язково визначатися в тих випадках, коли важко відібрати зразки ґрунтів з непорушеною структурою або коли ґрунти містять велику кількість великоуламкових включень, розмір яких близький до розмірів зразків. Лабораторні методи можуть застосовуватися для оцінки зміни механічних властивостей ґрунтів у часі, а також з метою скорочення обсягу польових досліджень ґрунтів, якщо для конкретних будівельних майданчиків встановлені досить надійні кореляційні зв'язки між характеристиками ґрунтів, розрахованими за результатами польових і лабораторних випробувань [2].

До речі, як показує практика, навіть в сприятливих інженерно-геологічних умовах на польові роботи по вивченню властивостей ґрунтів витрачається понад 50% терміну досліджень на будівельному майданчику.

При визначенні механічних характеристик ґрунтів необхідно строго дотримуватися режиму випробувань, перш за все характеру навантаження ґрунтів.

У більшості випадків випробування проводяться при статичному навантаженні ґрунтів, що імітує процес будівництва.

Необхідно пам'ятати, що механічні характеристики оцінюють поведінку ґрунтів в рамках тієї розрахункової моделі, параметрами якої вони є. Кожна розрахункова модель ґрунту використовує свої, властиві цій моделі, характеристики.

Для визначення характеристик деформаційних і міцнісних властивостей ґрунтів, а також виділення кордонів між інженерно-геологічними елементами широко застосовується метод зондування. Його відносять до числа найбільш простих способів дослідження властивостей ґрунтів, що здійснюються непрямым способом. Воно дозволяє з довірчим ступенем точності виконувати якісну відносну оцінку стану досліджуваних ґрунтів. Зондування засноване на визначенні опору зануренню в ґрунт наконечника-зонда на глибину, що перевищує його розміри.

Залежно від способу прикладання навантаження розрізняють статичне, динамічне і ударно-вібраційне зондування. Застосування кожного цих способів зондування залежать від виду і стану досліджуваних ґрунтів. Механічні властивості ґрунтів оцінюються зіставленням узагальнених показників зондування з результатами вивчення властивостей ґрунтів іншими методами. Узагальнені показники зондування отримують на підставі статистичної обробки часткових значень, число яких повинно бути не менше 6 для кожного шару ґрунту. Основним і невід'ємним елементом зондувальних випробувань є зонд, що складається з зондувального наконечника і штанг. У практиці застосовуються різні форми наконечників: сферичні, конічні і плоскі штампи, циліндричні ґрунтоноси.

Найбільш широко застосовуються конічні наконечники, так як конус є найбільш вдалою формою осесиметричного ріжучого профілю, при введенні якого в середовищі не виникають ускладнюючі явища (крайові напруги, місцеві ущільнення та ін.). Опір ґрунту зануренню зонда називається загальним опором зондування і складається з опору занурення наконечника і тертя ґрунту об бічну поверхню штанг [3].

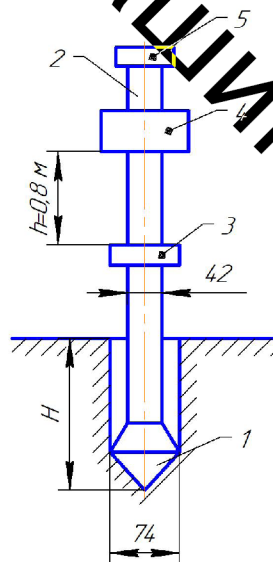
Зондування є методом безперервного по глибині дослідження ґрунтів. За допомогою зондування можна вирішити такі завдання

- встановити характер нашарування ґрунтів по глибині і простяганню;
- виявити слабкі прошарки, лінзи;
- уточнити геологічний розріз;
- встановити межі насипних шарів, межі промерзання;
- оцінити ступінь і характер однорідності порід за складом;
- оцінити ступінь і характер однорідності порід за складом а також визначити несучу здатність шарів;
- приблизно оцінити фізико-механічні властивості ґрунтів.

## 1.1 Метод динамічного зондування ґрунтів

Динамічне зондування виконують шляхом забивання в ґрунт зонда з одночасним безперервним (або через задані інтервали по глибині) вимірюванням значень опору ґрунту під наконечником. Цей метод зазвичай застосовують в поєднанні з іншими видами інженерно-геологічних досліджень [4].

Перевагою динамічного зондування є значна величина силового впливу, простота обладнання та виконання робіт, відсутність анкерних пристроїв для сприйняття реактивних сил. Динамічне зондування дозволяє досліджувати ґрунти з високими опорами зануренню конуса, а також виконувати випробування на майданчиках зі слабким поверхневим шаром. Область застосування динамічного зондування конусом обмежується складом і опором (щільністю) порід. Метод не придатний у великоуламкових ґрунтах, в піщано-глинистих породах зі змістом твердих включень більше 40%. Схема установки для динамічного зондування показана на рис. 1.1.



1 – конус з діаметром основи 74 мм і кутом розкриття  $60^\circ$ ; 2 – штанга діаметром 42 мм; 3 – ковадло 4 – ударник (молот) 60 кг; 5 – пристрій для реєстрації кількості ударів

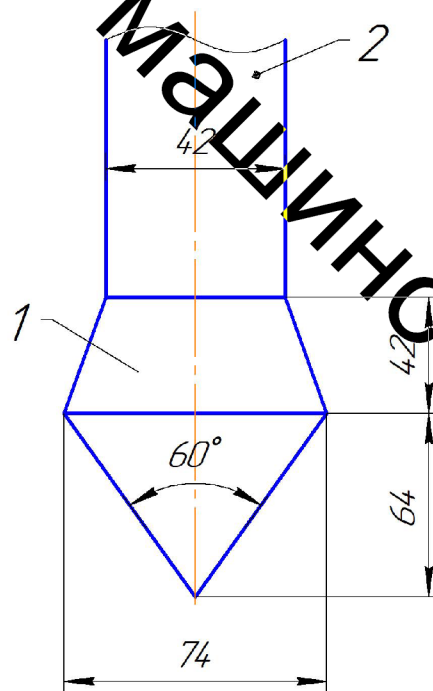
Рисунок 1.1 – Схема установки для випробування ґрунтів динамічним зондуванням

Динамічне зондування застосовують для:

- виділення інженерно-геологічних елементів (товщин шарів і лінз, меж поширення ґрунтів різного складу і стану);
- оцінки просторової мінливості складу і властивостей ґрунтів;
- визначення глибини залягання покрівлі скельних і великоуламкових ґрунтів;
- орієнтовної оцінки фізико-механічних властивостей ґрунтів;
- визначення ступеня ущільнення і зміцнення ґрунтів у часі.

Особливість методики цього випробування полягає в тому, що діаметр основи конуса більше діаметра штанги.

Глибину занурення зонда в ґрунт  $h$  від певного числа ударів (застави) і число ударів  $N$ , витрачаються на інтервал занурення зонда – 10 см прийнято називати показником динамічного зондування.



1 – конус, 2 – штанга

Рисунок 1.2 – Конус для динамічного зондування ґрунтів

Так як діаметр основи конуса 74 мм, що більше діаметра штанги, то між штангою і стінкою свердловини ґрунту утворюється щілина, що зменшує

тертя штанг об ґрунт. Але в міру заглиблення зонда ця щілина заповнюється ґрунтом, що не може не позначитися на результатах випробування і цей фактор потрібно враховувати при обробці даних випробування. Істотним недоліком динамічних випробувань є наступне. Протягом досвіду співвідношення між масою зонда і ударника (молота) змінюються більш ніж в 2 рази. Отже, при постійності всіх інших умов і однорідності ґрунтів число ударів на кожні 10 см занурення зонда з глибиною зростатимуть, що необхідно враховувати.

При динамічному зондуванні вимірюють глибину занурення зонда  $h$  від певного числа ударів молота і розраховують умовний динамічний опір ґрунту зануренню зонда  $R_d$ .

До складу установки входять: зонд (роз'ємні труби - штанги з конічним наконечником); ударний пристрій (молот); ковадло; опорна рама з напрямними стійками; вимірювальний пристрій (рис. 1.1).

Залежно від величини умовного динамічного опору ґрунту установки для зондування поділяються на три типи (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Типи установок для динамічного зондування ґрунту

Тип установки	Питома енергія зондування $A$ , Н/см (кгс/см)	Умовний динамічний опір ґрунту $R_d$ , МПа(кгс/см <sup>2</sup> )
Легка	280 (28)	менше 0,7 (7)
Середня	1120 (112)	від 0,7 до 17,5 (7-175)
Важка	2800 (280)	більше 17,5 (175)

Попереднє визначення умовного динамічного опору ґрунту проводиться за даними буріння або по фондовим матеріалам.

Ударний пристрій установок повинен відповідати вимогам, наведеним в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристики обладнання установок динамічного зондування

Обладнання	Ударне зондування установкою		
	легка	середня	важка
Маса молота, кг	30	60	120
Висота падіння молота, см	40	80	100
Частота ударів, уд/хв	20-50	15-30	15-30

Випробування ґрунту динамічним зондуванням виконують безперервним забиванням зонда в ґрунт вільно падаючим молотом. Перерви в забиванні зонда допускаються тільки для нарощування штанг зонда.

При ударному зондуванні слід фіксувати глибину занурення зонда  $h$  від певного числа ударів молота. Число ударів в заставі слід приймати в залежності від складу і стану ґрунтів в межах 1-20 ударів, виходячи з глибини занурення зонда за заставу 10-15 см, яка визначається з точністю  $\pm 0,5$  см.

У процесі зондування ведеться контроль за вертикальністю занурення зонда в ґрунт.

При нарощуванні ланок колона штанг повертається навколо осі за годинниковою стрілкою за допомогою штангового ключа. Опір повороту штанг, що виникає в результаті тертя штанг об ґрунт при моменті, що крутить до  $15\text{кН}\times\text{см}$ , слід враховувати при обробці результатів випробування. При більшому опорі тертя зонд витягується з ґрунту і випробування повторюються в новій точці зондування.

## 1.2 Метод статичного зондування ґрунтів

Статичне зондування ґрунтів є одним з найбільш ефективних методів дослідження ґрунтів в умовах їх природного залягання. За результатами

статичного зондування можна визначити: вид ґрунту, характер його нашарування, ступінь неоднорідності залягання в плані і по глибині; щільність і кут внутрішнього тертя піщаних ґрунтів; модуль деформацій ґрунтів; нормативний тиск на ґрунт; несучу здатність паль [6].

Всі ці показники властивостей ґрунту не можуть бути безпосередньо визначені статичним зондуванням. Вони повинні супроводжуватися прямими методами визначення фізико-механічних властивостей ґрунту на основі лабораторних і польових методів їх дослідження. Зіставляючи дані статичного зондування та фізико-механічні властивості ґрунту, знаходять зв'язок між ними.

Вважають, що статичне зондування, в силу безперервності і плавності прикладання навантаження і течії деформації, приносить більш надійні результати, ніж динамічне зондування, тому цей метод краще при визначенні фізико-механічних характеристик ґрунтів.

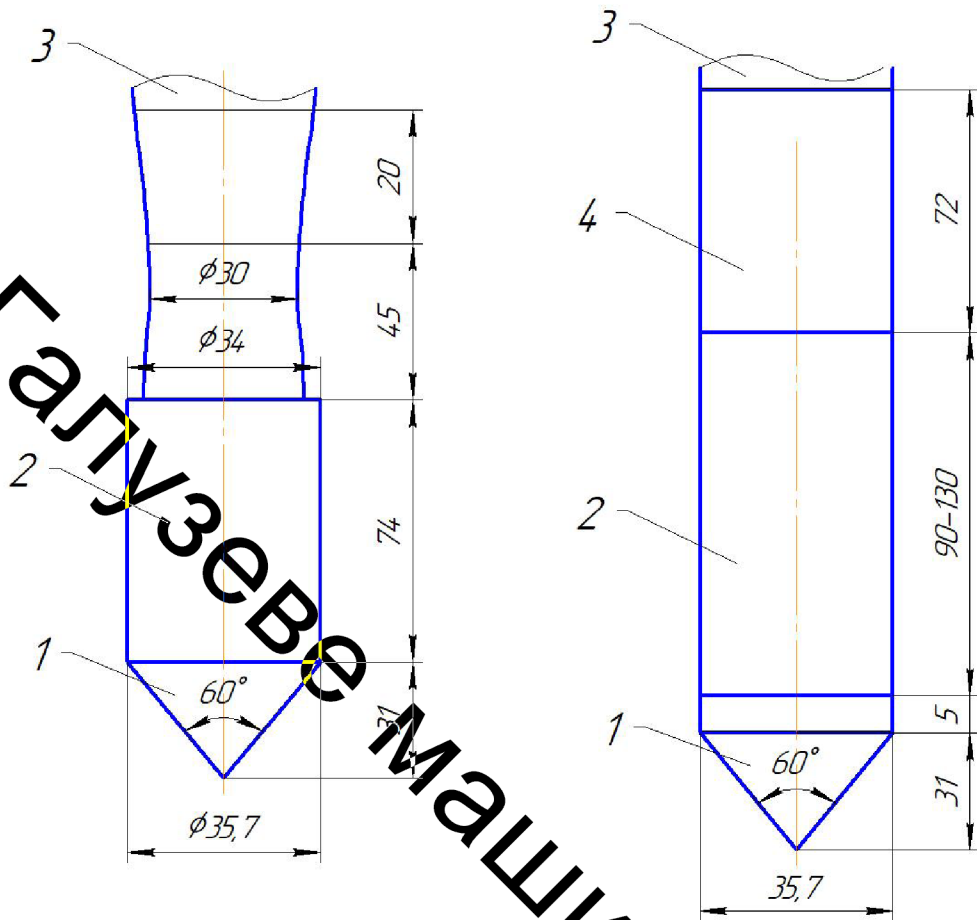
До недоліків статичного зондування слід віднести складність обладнання і його обслуговування, необхідність в спеціальних пристроях для сприйняття реактивного опору ґрунту і в зв'язку з цим деяку обмеженість застосовності методу. Статичне зондування не застосовується в мерзлих і великоуламкових ґрунтах і ґрунтах, що містять більше 25% великоуламкових матеріалу. При цьому розмір цих включень не повинен перевищувати 1/5 діаметра конуса.

Випробування ґрунтів методом статичного зондування проводять з допомогою спеціальних установок, що забезпечують вдавнення зонда в ґрунт. При статичному зондуванні застосовують зонди двох типів (рис. 1.4).

Обидва зонда забезпечені конусом з кутом при його вершині  $60^\circ$ . Наконечник зонда II типу відрізняється тим, що має муфту тертя і може вимірювати питомий опір ґрунту на бічній поверхні зонда. При статичному зондуванні за даними вимірювання опору ґрунту на бічній поверхні зонда визначають: питомий опір ґрунту під наконечником (конусом) зонда  $q_c$ ;



загальний опір ґрунту на бічній поверхні  $Q_s$  - для зонда I типу; питомий опір ґрунту на ділянці бічної поверхні (муфті тертя) зонда  $f_s$  - для зонда II типу.



1 – корпус, 2 – кожух, 3 – штанга, 4 – муфта тертя

Рисунок 1.4 – Схеми конструкцій зондів для статичного зондування ґрунтів

При статичному зондуванні можливе вимірювання порового тиску в ґрунті. Для цього наконечники повинні бути обладнані спеціальними датчиками.

До складу установки для статичного зондування входять: зонд (набір штанг і конічний наконечник); пристрій для вдавлювання і вилучення зонда; опорно-анкерний пристрій; пристрій для вимірювання навантаження і показників опору ґрунту [7].

Залежно від зусиль, необхідних для вдавнення зонда в різних ґрунтових умовах, і діапазонів вимірюваних показників опору ґрунту установки підрозділяються на три типи (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Класифікація установок для статичного зондування ґрунтів

Тип установки	Граничне зусилля вдавнення і виймання зонда, кН	Діапазони показників опору ґрунту		
		$q_c$ , МПа	$f_s$ , кПа	$Q_s$ , кН
Легка	До 50 включно	0,5-10	2-100	0,5-10
Середня	Більше 50 до 100 включно	1-30	5-200	1-30
Важка	Більше 100	1-50	10-500	2-60

Періодично повинні перевірятися прямолінійність штанг і знос конуса. Зменшення висоти конуса наконечника не повинно перевищувати 5 мм, а зменшення його діаметра - 0,3 мм. Основна похибка вимірювальних приладів повинна бути не більше: 5% - при вимірюванні навантаження; 10% - при вимірюванні показників опору ґрунту, але не більше 5% максимально вимірюваного значення; 1,0 см - при вимірюванні глибини занурення зонда [8].

Вимірювальні прилади необхідно тарувати відповідно до паспортних даних.

Підготовка до роботи установки для випробування ґрунту статичним зондуванням виконується відповідно до вимог інструкції з її експлуатації.

Статичне зондування виконується шляхом безперервного вдавнення зонда в ґрунт. При зануренні зонда стежать за вертикальністю його спускання.

Перерви в зануренні можливі тільки для нарощування штанг зонда. У процесі занурення реєструються показники опору ґрунту безперервно або з інтервалом по глибині занурення зонда не більше 0,2 м. Швидкість занурення зонда в ґрунт повинна бути  $(1,2 \pm 0,3)$  м/хв.

Випробування закінчуються після досягнення заданої глибини занурення або граничних зусиль вдавнення зонда в ґрунт, зазначених в табл.

1.4. Після закінчення випробувань зонд витягується з ґрунту, а свердловину тампонується.

### 1.3 Метод ударно-вібраційного зондування ґрунтів

Ударно-вібраційне зондування по своїй фізичній суті аналогічно динамічному зондуванню. За допомогою ударно-вібраційного зондування можна отримувати ту ж інженерно-геологічну інформацію про ґрунти, що і при динамічному зондуванні, але й більш точно оцінювати модуль деформації ґрунтів, особливо слабких. У самій природі динамічного і ударно-вібраційного зондування закладена можливість оцінки опорів ґрунту, пропорційних переміщенню, які можуть бути ототожені з деформаційними властивостями ґрунтів, головним чином із загальним модулем деформації. Доречно зазначити, що при статичному зондуванні така можливість відсутня. З його допомогою можна оцінити тільки властивості міцності ґрунтів [9].

Ударно-вібраційне зондування дозволяє:

- виявляти ступінь однорідності ґрунтів;
- визначати положення кордонів (контактів) різних літологічних шарів і несучий шар для пальового підстави;
- виявляти і оконтурювати в плані і по глибині ослаблені зони на досліджуваних майданчиках для точної прив'язки місця проведення досвідчених робіт;
- вибирати оптимальний варіант відбору монолітів;
- оцінювати фізичні і механічні властивості піщаних ґрунтів (щільність, кут внутрішнього тертя і т.д.);
- орієнтовно оцінювати модуль деформації піщаних ґрунтів.

Область застосування ударно-вібраційного зондування обмежується піщаними і глинистими ґрунтами, що містять великоуламковий матеріал не

більше 15%. Глибина зондування таких ґрунтів становить 15-20 м. В якості основного показника зондування ґрунтів береться швидкість занурення зонда, м/с. За цим показником різними методами оцінюється ґрунт.

Основна перевага ударно-вібраційного зондування в порівнянні з динамічним є його істотно більш висока продуктивність. Середня продуктивність ударно-вібраційного зондування в зміну складає 40-50 м, максимальна продуктивність – 100-120 м; середня продуктивність динамічного зондування в зміну 20 м, максимальна – 30-40 м.

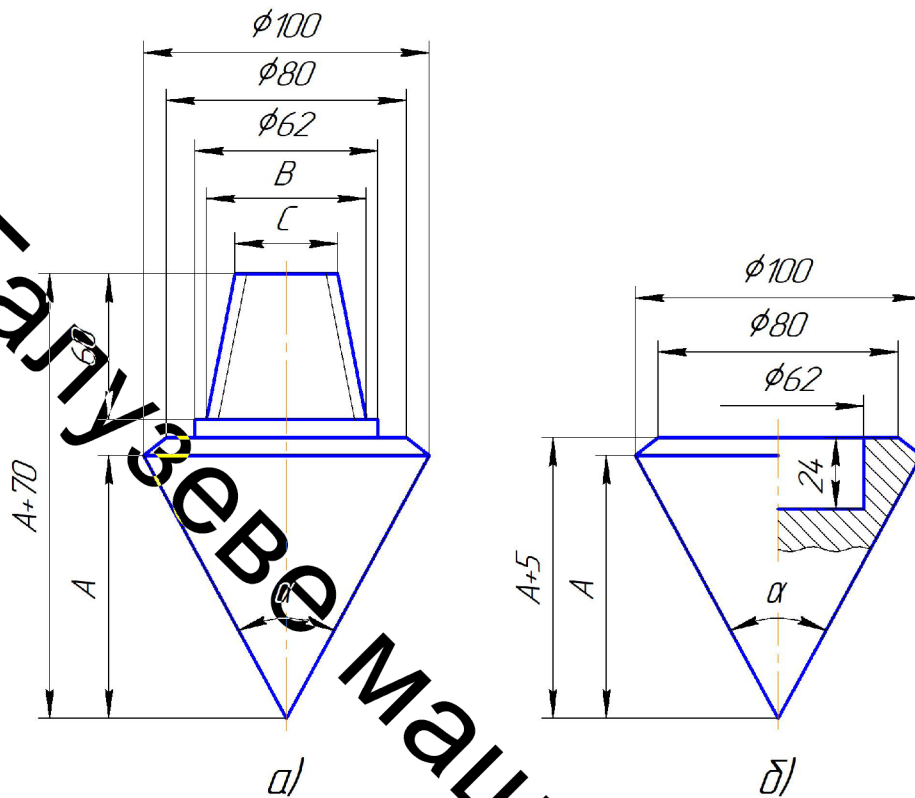
Досвід використання ударно-вібраційного зондування показує, що воно вже вийшло зі стадії дослідно-експериментальної перевірки і міцно увійшло в практику вишукувальних робіт. Цей метод дозволяє значно скоротити обсяг бурових робіт і кількість відбираються з свердловин монолітів, скоротити число дорогих штампів дослідів, раціонально розмістити точки буріння на будівельному майданчику, точки постановки досвідчених робіт і т. д. Все це сприяє підвищенню якості та ефективності інженерно-геологічних робіт в будівництві.

В якості основного інструменту при ударно-вібраційному зондуванні ґрунтів використовуються бурильні труби і конічний наконечник [10]. Застосовуються бурильні труби з зовнішнім діаметром 62,5 мм з ніпельним з'єднанням. Довжина труб 1-3 м. Користуватися муфтово-замковими з'єднаннями для цих цілей не допускається. Конічний наконечник виконується зі сталі марки Ст3 в двох варіантах – зйомному і інвентарному. Основні розміри конічних наконечників вказані на рис. 1.5.

Принципово для ударно-вібраційного зондування можна використовувати стандартний інструмент для динамічного зондування (по СН 448-72). Однак цей інструмент слід застосовувати тільки в комплекті з вібромолотом невеликої потужності. Якщо використовується вібромолот ВБ7М, то такі штанги швидко виходять з ладу.

Інструмент для динамічного зондування включає в себе наконечник – конус з кутом при вершині  $60^\circ$ , діаметром підстави 74 мм, масою при голівках

– знімною 1 кг і інвентарної 2 кг, штанги з зовнішнім діаметром 42 мм (по ГОСТ 7909-75) з ніпельним з'єднанням. Довжина ланки штанг становить 1500 мм, маса однієї ланки 8,9 кг.



*a* – інвентарний конічний наконечник, *б* – знімний конічний наконечник

Рисунок 1.5 – Інструмент для ударно-вібраційного зондування ґрунтів

В якості допоміжного інструменту при ударно-вібраційному зондуванні використовують той самий інструмент, що і при бурінні свердловин (підкладні валики, шарнірні ключі і т.д.).

Ударно-вібраційне зондування проводиться відповідно до вимог нормативних документів і державних стандартів з інженерних вишукувань, проектування та виконання будівельно-монтажних робіт за програмою, складеною для конкретних умов даної ділянки. У програмі виходячи зі ступеня складності і вивченості досліджуваної ділянки, особливостей проектного об'єкта і стадії проектування встановлюються число точок зондування, їх взаємне розташування, глибина зондування і черговість виконання робіт з

зондування та інших видів інженерно-геологічних досліджень.

Точки ударно-вібраційного зондування слід розташовувати безпосередньо в межах контуру фундаменту будівлі або споруди, або поза цього контуру. Для отримання порівняльних даних з результатами інших методів інженерно-геологічних досліджень частина точок зондування необхідно розташовувати в безпосередній близькості від гірських виробок або свердловин, але не ближче 1 м і не далі 2 м від кордону вироблення. При цьому для більшої достовірності отриманих результатів поблизу кожної свердловини рекомендується проводити не менше трьох зондувань.

Властивості ґрунтів окремих інженерно-геологічних елементів оцінюються на основі зіставлення узагальнених показників зондування з результатами дослідження аналогічних властивостей ґрунтів іншими методами. Узагальнені показники зондування ґрунтів отримують методом статистичної обробки показників зондування в окремих точках. Безпосередньо для зондування агрегат встановлюють в точці зондування і по схилу перевіряють вертикальність щогли. У перехідник вібромолота загвинчують перша ланка зонда з конічним наконечником. Довжина ланки зонда повинна бути такою, щоб щітка виявилася біля правого або лівого контакту через мірильною рейки. Який слід використовувати тип конуса - знімний або інвентарний, визначає геолог - виконавець робіт. Використаний тип конуса записується на стрічці реєстратора. Останній встановлюють на триногу (можна використовувати триногу від теодоліта) в 1-2 м від точки зондування (див. Рис. 2). Роз'єми рукаву з'єднують з роз'ємами реєстратора. Включають ВК електронного пристрою (на електрощіті бурового агрегату), та стрічка простягається на 2-3 см для поділу записів між точками зондування і маркування.

Після цього ВК вимикають. На стрічку олівцем записують номер об'єкта, точки і дату зондування. Друкарська стрілка опускається на стрічку. Потім включають вібромолот агрегату і виробляють зондування. Реєстратор вмикається і вимикається автоматично одночасно з вібромолотом.

Зануривши перша ланка штанг, на зонд нарощують наступна ланка штанг. При цьому стежать, щоб щітка розташовувалася на 0,5-1 см вище лівого контакту. Положення щітки щодо правого контакту не регламентується. При зануренні зонда в щільні ґрунти, коли швидкість занурення мала, слід пам'ятати, що механізм протягування стрічки автоматично відключається через 25 с від моменту останнього торкання щіткою контактів рейки (правого або лівого). Зондування припиняють при швидкості занурення зонда менше 0,005 м/с або за вказівкою геолога. Перерви в зануренні допускаються тільки для нарощування штанг. Після закінчення зондування роз'єднують роз'єми рукаву і реєстратора, шланговий роз'єм поміщають в поліетиленовий мішок і укладають в багажний ящик бурового агрегату. Зонд витягують з ґрунту лебідкою. Допускається витягувати шланг з включенням вібротолота. Свердловина тампонується відповідно до інструкції з проведення бурових робіт і закріплюється знаком (кілочком) з відповідним маркуванням.

Порядок побудови графіка зондування полягає в наступному. Графік будують на стандартному бланку, де по осі абсцис відкладають швидкість зондування, а по його ординаті глибину зондування. Масштаб побудови графіків повинен відповідати масштабу палеток. Масштаб вибирають такий, щоб було зручно працювати з графіками і палетками.

Оскільки швидкість руху стрічки постійна і дорівнює 0,005 м/с, а нерухомі контакти розташовані через 0,5 м, побудова графіка зондування зводиться до обчислення швидкості зондування з інтервалом через кожен 0,5 м по глибині і викреслювання ступінчастою лінії. Якщо на цей графік накласти накреслену на кальці палетку, можна визначити модуль деформації ґрунту на різній глибині. Інтервал глибин в залежності від цілей досліджень приймається різним; він регулюється відстанню між контактами на вимірювальній рейки.

В принципі можлива й інша форма побудови графіків. По осі абсцис відкладають не швидкість, а безпосередньо час проходки з інтервалом 0,5 м. Швидкість зондування в цьому випадку представляє зворотний величину часу  $v_s = 0,5/t$ . Для таких графіків палетки перебудовують так, щоб по осі абсцис

відкласти час  $t = 0,5/v_e$ . Масштаб швидкості тоді буде змінним.

#### 1.4 Висновки до розділу

В результаті аналізу відомих методів польових досліджень ґрунтів можна зробити висновок, що серед усіх методів найбільш перспективним є ударно-вібраційне зондування. Основна маса типового обладнання яке використовується для цього типу дослідження ґрунтів являється застарілою а також з досить складною конструкцією. Лише незначна їх частина дозволяє забезпечити широкий спектр виконуваних робіт та підтримувати ефективність на належному рівні.

ВНТУ ЛЬВІВ УНІВЕРСИТЕТ ЗАВЕДЕННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ



## 2 АНАЛІЗ ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ НАВІСНОГО ОБЛАДНАННЯ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ ЗОНДУВАННЯ ГРУНТІВ

В зв'язку з цим попередньо було розроблено ряд принципів схем гідромолотів з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів. В основі роботи даних вібромолотів лежить принцип гідравлічного клапана-пульсатора, розробкою та дослідженням якого займається наша кафедра [11].

### 2.1 Гідроімпульсний привод навісного обладнання з вбудованим вібробуджувачем

Схема гідроімпульсного приводу навісного обладнання з вбудованим вібробуджувачем представлена на рис. 2.1.

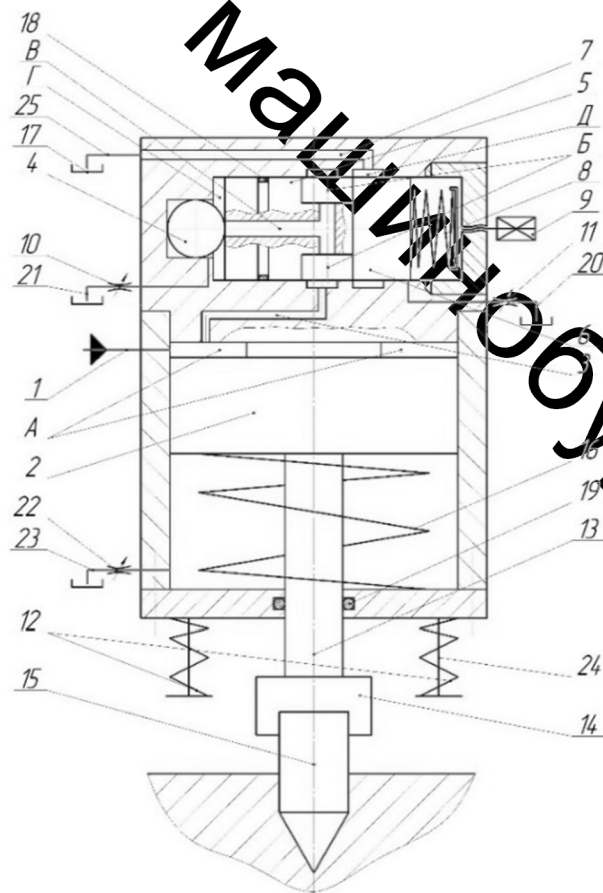


Рисунок 2.1 – Принципова схема гідроімпульсного приводу навісного обладнання з вбудованим вібробуджувачем

Він складається з напірної гідролінії 1 яка зв'язана з порожниною А, а також напірного каналу 3 який в свою чергу з'єднує порожнину А з порожниною Б. Поршень 2 підтримується у початковому положенні за допомогою пружини 16, та жорстко з'єднаний з штоком 13 та відповідно ударним патроном 14, в якому закріплений віброрознд 15.

Пружини 12, встановлені на шпильки 24, та призначені для повернення поршня 2 у вихідне положення. У сидлі виточки корпусу вібромолота встановлена кулька 4, яка підтискається золотником 5, створюючи невелику площу контакту між його каналом В і порожниною Г. Поршень 6 підтискається до золотника 5 пружиною 8, яка може регулюватися за допомогою регулювального гвинта 9. Канал 7 з'єднує порожнину Д зливною гідролінією 25, через яку робочої рідини потрапляє в бак 1.

Дросель 10 з'єднаний з гідролінією 23 і застосовується для полегшеного запуску вібромолота. Дроселі 11 і 22, а також гідролінії 21 та 23, призначені для зливу робочої рідини яка може скупчуватися в порожнині встановлення пружин 9 та 16 відповідно.

Для зменшення витоків через зазори робочих органів у вібромолоті використані ущільнюючі кільця 18 та 19.

Принцип роботи вібромолота полягає в тому, що гідравлічна рідина через гідролінію 1 поступає в порожнину А, та спричиняє збільшення тиску в ній, що в свою чергу сприяє переміщенню поршня 2. З порожнини А через канал 3 робоча рідина поступає до порожнини Б. Так як площа контакту між кулькою 4 та золотником 5 менша ніж площа контакту між порожниною Б та поршнем 6, то робоча рідина по каналу В золотника 5 переходить в порожнину Г. Накопичуваний в цій порожнині тиск діє на площу золотника 5, і в результаті цього поршень 6 переміщується з'єднуючи порожнину А з порожниною Д. Після з'єднання цих порожнин робоча рідина через канал 7 та гідролінію 25 потрапляє у бак 17, а тиск в порожнині Г падає, і поршень 6 під дією пружини 8 повертається у вихідне положення.

Регулювальний гвинт 9 призначений для налагодження пружини 8, відповідно змінюючи частоту вібрацій. Дросель 10 через гідролінію 21 з'єднаний з баком та призначений для полегшеного запуску роботи пульсатора. Дроселі 11 і 22, а також гідролінії 20 та 23, призначені для зливу робочої рідини яка може скупчуватися в порожнині встановлення пружин 9 та 16 відповідно.

Зниження тиску в пульсаторі сприяє зниженню тиску в порожнині А, тому поршень 2 під дією пружин 12, які закріплені на шпильках 24, повертається у вихідне положення. Створювані поршнем 3 ударно-вібраційні імпульси передаються штоком 13 на ударний патрон 14, в якому безпосередньо закріплений вібростанд 15.

Для зменшення витоків через зазори робочих органів у вібромолоті використані ущільнюючі кільця 18 та 19.

## **2.2 Гідроімпульсний привід навісного обладнання з однокаскадним вібробудувачем**

Розроблений гідроімпульсний привід навісного обладнання з однокаскадним вібробудувачем (рис. 2.2) складатиметься з напірної магістралі 1, однокаскадного вібробудувача та робочої порожнини гідроциліндра. Вібробудувач підключений до напірної 2 та зливної 3 магістралі. У корпусі 2 вібробудувача розміщений золотник 18, підтиснений пружиною 17, зусилля підтиснення якої регулюється гвинтом 19. Поршень 12 встановлений у корпусі 4, та підтиснений за допомогою пружини 6.

Корпус 4 герметично закритий кришкою 5. Ударник 7 жорстко з'єднаний з штоком 14 та вібростандом 9 відповідно. Пружини 8, встановлені на шпильки 15, та призначені для повернення поршня 12 у вихідне положення. Пружина 10 підтискає ударник 7 та виконує роль демпфера. Дросель 11 і магістраль 13 з'єднані з порожниною встановлення пружини 6 і призначені для зливу робочої рідини яка може в ній. Для зменшення витоків через зазор

між штоком 14 та корпусом 4 використано ущільнююче кільце 16. Кришка 5 пригвинчена до корпусу 4 та сприяє полегшеному складанню.

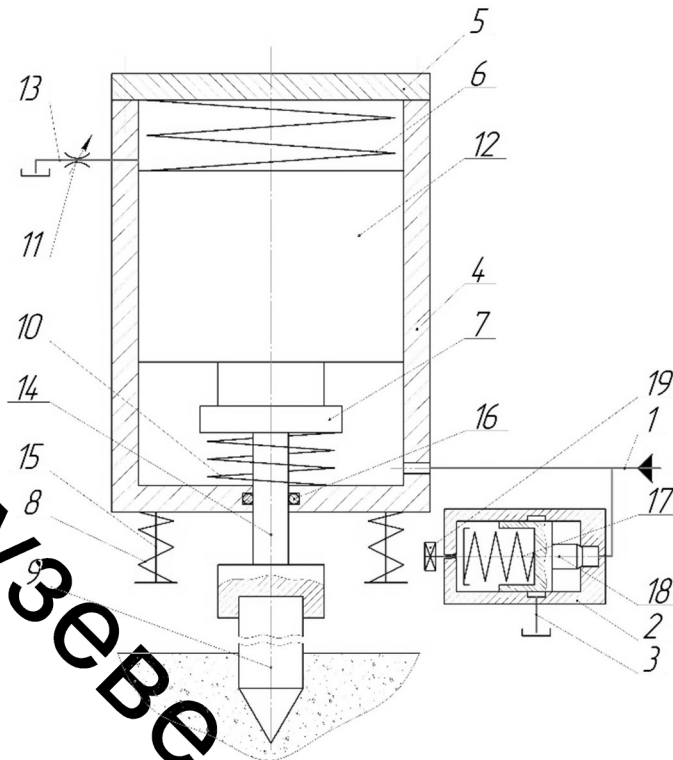


Рисунок 2.2 – Принципова схема гідроімпульсного привода навісного обладнання з однокаскадним вібробуджувачем

Принцип роботи полягає в тому, що гідравлічна рідина через напірну магістраль 2 поступає в робочу порожнину гідроциліндра, та спричиняє збільшення тиску в ній, що в свою чергу сприяє переміщенню поршня 12. Паралельно з цим робоча рідина поступає у вібробуджувач який при перевищенні заданого тиску спрацьовує з'єднуючи напірну 2 та зливну 13 магістралі, що призводить до зливу робочої рідини у бак та зменшення тиску в системі.

Внаслідок зменшення тиску в робочій порожнині гідроциліндра, поршень 12 під дією пружин 8, які закріплені на шпильках 16, повертається у вихідне положення та відбувається удар по ударнику 7. Створювані поршнем 12 та ударником 7 ударно-вібраційні імпульси безпосередньо передаються штоком 14 на віброзонд 9.

### 2.3 Гідроімпульсний привод навісного обладнання з двокаскадним вібробудувачем

Розроблений гідроімпульсний привод навісного обладнання з двокаскадним вібробудувачем (рис. 2.3) складається з напірної магістралі 1 до якої підключений двокаскадний вібробудувач, який в свою чергу підключений до напірної 2 та зливної 3 магістралей, при чому через напірну магістраль 2 він з'єднаний з робочою порожниною гідроциліндра. У корпусі двокаскадного вібробудувача розміщений клапан 22 підтиснений пружиною 26, а втулка 25 підтиснена пружиною 19. Клапан зі штовхачем 20 підтиснений пружиною 23. Зусилля стиску пружини 23 регулюється гвинтом 21. Поршень 12 встановлений у корпусі 4 гідроциліндра, та підтримується у початковому положенні за допомогою пружини 10.

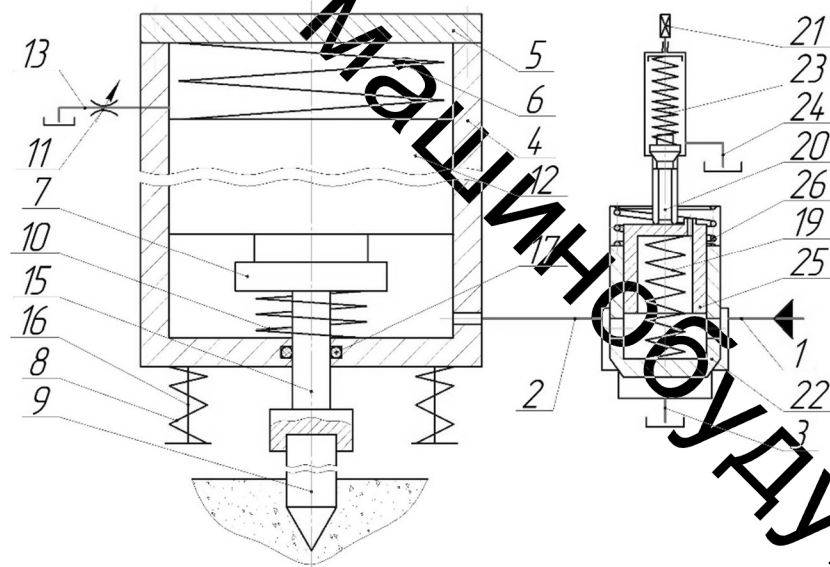


Рисунок 2.3 – Принципова схема гідроімпульсного привода навісного обладнання з двокаскадним вібробудувачем

Корпус 4 герметично закритий кришкою 5. Ударник 7 жорстко з'єднаний з штоком 15, та зондом 9. Пружини 8, встановлені на шпильки 16, та призначені для повернення поршня 12 у вихідне положення. Пружина 10

підтримує ударник 7 у вихідному положенні та виконує роль демпфера. Дросель 11 і магістраль 13 призначені для зливу робочої рідини яка може накопичуватися в порожнині встановлення пружини 6. Для зменшення витоків через зазор між штоком 14 та корпусом 4 у гідроциліндрі використано ущільнююче кільце 16. Кришка 5 пригвинчена до корпусу 4 та сприяє полегшеному складанню.

Принцип роботи полягає в тому, що гідравлічна рідина через напірну магістраль 1, двокаскадний віброзбуджувач та напірну магістраль 2 потрапляє в робочу порожнину гідроциліндра, та спричиняє збільшення тиску в ній, що в свою чергу сприяє переміщенню поршня 12. Паралельно з цим підвищення тиску робочої рідини у двокаскадному віброзбуджувачі спричиняє його спрацьовування та з'єднання напірної 2 та зливну 3 магістралей, що призводить до зливу робочої рідини у бак та зменшення тиску в системі.

Внаслідок зменшення тиску в робочій порожнині гідроциліндра, поршень 12 під дією пружин 8, які закріплені на шпильках 16, повертається у вихідне положення та відбувається удар по ударнику 7. Створювані поршнем 12 та ударником 7 ударно-вібраційні імпульси передаються штоком 15 на зонд 9.

#### **2.4 Гідроімпульсний привод навісного обладнання з гідроаккумулятором та вбудованим віброзбуджувачем**

Розроблений гідроімпульсний привод навісного обладнання з гідроаккумулятором та вбудованим віброзбуджувачем (рис. 2.4) складається з напірної гідролінії 1 яка зв'язана з гідроаккумулятором 5, а також напірного каналу 2. Поршень 15 підтримується у початковому положенні за допомогою пружини 13, та жорстко з'єднаний з штоком 11 та відповідно ударним патроном, в якому закріплений зонд 12.

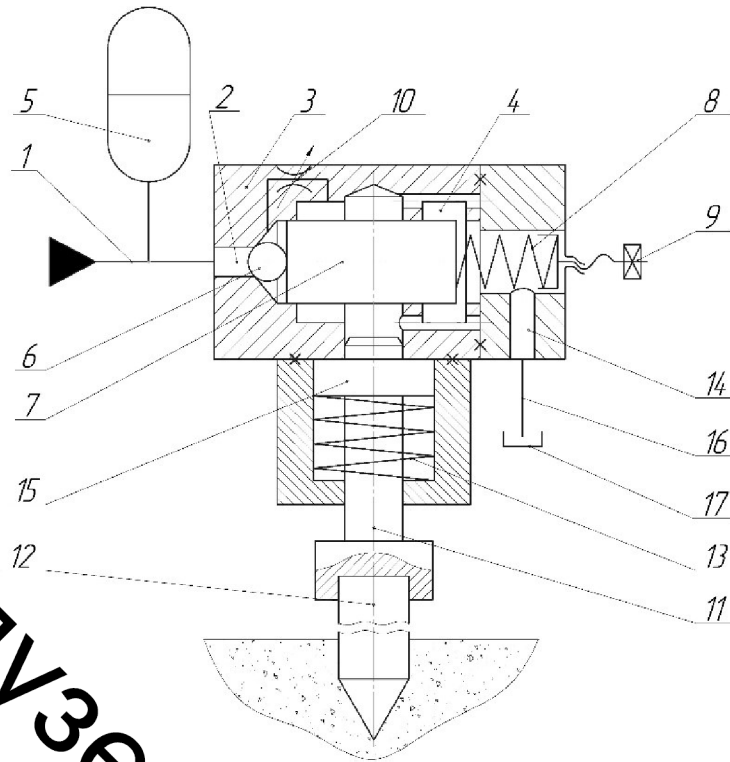


Рисунок 2.4 – Принципова схема гідроімпульсного привода навісного обладнання з гідроаккумулятором та вбудованим вібробуджувачем

У сидлі виточки корпусу 3 встановлена куляка 6, яка підтискається золотником 7, створюючи невелику площу контакту між каналом 2 і порожниною 4. Золотник 7 підтиснений пружиною 8, яка може регулюватися за допомогою регульовального гвинта 9. Канал 14 з'єднує порожнину 4 зі зливною гідролінією 16, через яку робочої рідини потрапляє в бак 17.

Дросель 10 з'єднує порожнини 2 та 4 і застосовується для полегшеного запуску.

Принцип роботи полягає в тому, що гідравлічна рідина через гідролінію 1 паралельно поступає в гідроаккумулятор 5 та канал 2, де відбувається збільшення тиску. Накопичуваний тиск в системі діє на площу куляки 6, і коли він перевищує тиск відкриття, куляка 6 разом із золотником 7 переміщується з'єднуючи канал 2 з порожниною 4 а також перекриття доступу до зливного каналу 14. Після з'єднання цих порожнин робоча рідина з гідроаккумулятора через канал 2, потрапляє в порожнину 4, тому відбувається переміщення поршня 15 зі штоком 13. В цей час загальний тиск в системі миттєво падає,

тому золотник 7 разом з кулькою 6 повертається у початкове положення, з'єднуючи порожнину 4 зі зливним каналом 14, звідки рідина через гідролінію 16 потрапляє у бак 17, а тиск в порожнині 4 падає, і поршень 15 під дією пружини 13 повертається у вихідне положення.

Регулювальний гвинт 9 призначений для налагодження пружини 8, відповідно змінюючи частоту вібрацій.

Цикл повторюється, а створювані поршнем 15 ударно-вібраційні імпульси передаються штоком 11 на ударний патрон, в якому безпосередньо закріплений зонд 12.

## 2.5 Висновки до розділу

В даному розділі було проаналізовано будову, конструктивні особливості та принцип роботи раніше розробленого навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів. Типовими конструктивними виконанням гідроприводу такого навісного обладнання є:

- з вбудованим вібробуджувачем;
- з однокаскадним вібробуджувачем;
- з двокаскадним вібробуджувачем;
- з гідроаккумулятором та вбудованим вібробуджувачем.



## 3 РОЗРОБКА НАВІСНОГО ОБЛАДНАННЯ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ ЗОНДУВАННЯ ҐРУНТІВ

### 3.1 Розробка принципової схема навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів

Явні переваги гідроімпульсного приводу над іншими типами приводів дає змогу підвищити продуктивність роботи установки в цілому, а також дозволяє мобільно використовувати обладнання без прив'язки до конкретного агрегату.

В результаті аналізу розроблених раніше принципових схем навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів, було розроблено нову удосконалену принципову схему навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів (рис. 3.1).

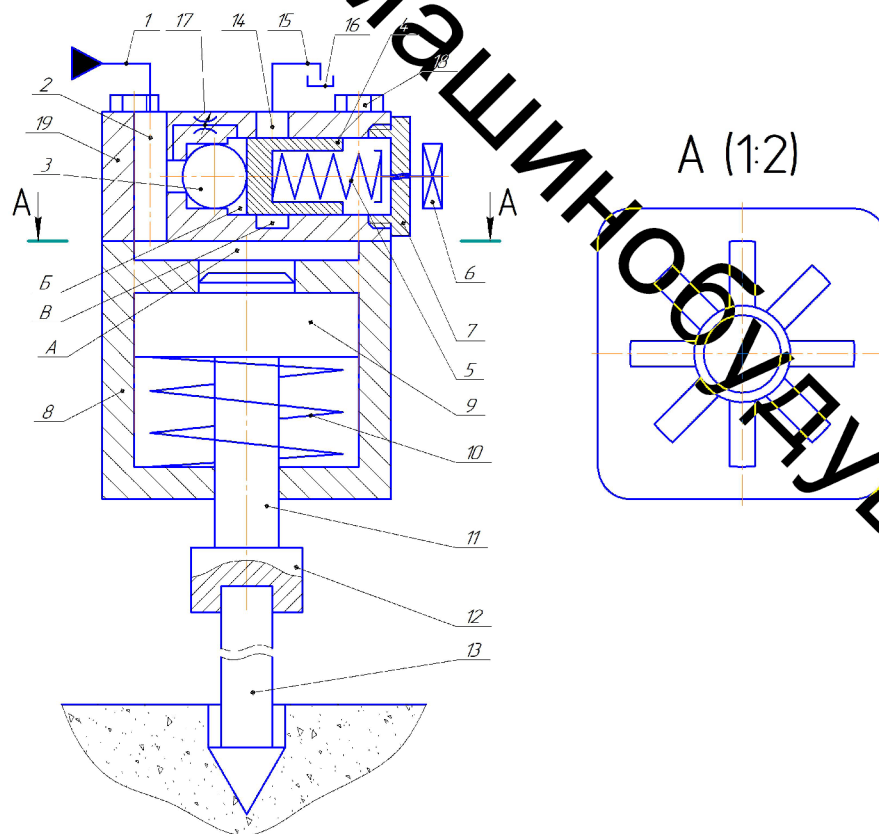


Рисунок 3.1 – Розроблена принципова схема навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів

Він складається з напірної гідролінії 1 яка зв'язана через напірний канал 2 з порожниною А. Поршень 9 підтримується у початковому положенні за допомогою пружини 10, та жорстко з'єднаний з штоком 11 та відповідно ударним патроном 12, в якому закріплений зонд 13.

У сідлі виточки корпусу 19 встановлена кулька 3, яка підтискається золотником 4 який в свою чергу підтиснений пружиною 5. Пружина 5 може регулюватися за допомогою регулювального гвинта 6. Канал 14 з'єднує порожнину Б зі зливною гідролінією 15, через яку робочої рідини потрапляє в бак 16.

Дросель 17 з'єднує напірний канал 2 з порожниною Б і застосовується для полегшеного запуску.

Принцип роботи полягає в тому, що гідравлічна рідина через напірну гідролінію 1 поступає в напірний канал 2 через який потрапляє в порожнину А, та спричиняє збільшення тиску в ній, що в свою чергу сприяє переміщенню поршня 9. Накопичуваний в системі тиск діє на площу кульки 3, і коли він перевищує тиск відкриття, кулька 3 разом із золотником 4 переміщується з'єднуючи напірний канал 2 з порожниною Б. Після з'єднання цих порожнин робоча рідина потрапляє в порожнину А, а через зливний канал 14 та зливну магістраль 15 у бак 16. Це спричиняє миттєве зниження тиску в системі тому золотник 4 разом з кулькою 3 повертаються у початкове положення. В цей час поршень 9 переміщуються у вихідне положення.

Регулювальний гвинт 6 призначений для налагодження пружини 5, відповідно змінюючи частоту вібрацій.

Цикл повторюється, а створювані поршнем 9 ударно-вібраційні імпульси передаються штоком 11 на ударний патрон 12, в якому безпосередньо закріплений зонд 13.

### 3.2 Обґрунтування вибору параметрів розробленого навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів

Перші спроби створення гідроприводу молотів зажадали оригінальних рішень як в схемах, так і в окремих її елементах [12].

При створенні гідроприводу молота необхідно усунути загальновідомі втрати енергії, обумовлені динамікою реверсу, і забезпечити регулювання швидкості. Це пов'язано з тим, що для гідроприводу доцільно використовувати більш дешевий і надійний насос постійної продуктивності замість насоса.

Труднощі проектування гідроприводів ударних машин при зміні числа ходів і енергії удару відносно легко долаються тільки для малопотужних тихохідних приводів, аналогічних приводів подачі металорізальних верстатів.

Істотно знижують к. к. д. гідроприводу з насосом постійної продуктивності динамічні втрати під час реверсування, що виражаються в зливі робочої рідини в момент розгону і гальмування через запобіжний клапан. У перший момент розгону, коли швидкість дорівнює нулю, вся рідина йде в бак. Подача її в бак припиняється, коли розгін до швидкості, яка визначається продуктивністю насоса, закінчується [13].

У перший момент підйому після того, як ударна маса зупинилася, зробивши корисну роботу, а золотник переключився, починається розгін вгору. Його можна розділити на чотири періоди:

1. Підйом тиску до величини, при якій рухомі частини починають отримувати прискорення, тобто до величини

$$p_1 = \frac{G + R}{F}, \quad (3.1)$$

де  $G$  – вага падаючих частин;  $R$  – сила опору;  $F$  – робоча площа циліндра приводу.

2. Тиск при закритому запобіжному клапані знаходиться в межах від  $p_x$

до  $p_n$ .

3. Рух при відкритому запобіжному клапані, аж до моменту досягнення швидкості  $v$ , при якій закриється запобіжний клапан.

4. Рух при закритому запобіжному клапані, коли тиск знижується від  $p_n$  до  $p_1$  за рахунок пружності системи.

Як показали експерименти і аналіз варіантів значень параметрів приводу, для розрахунків, пов'язаних тільки з загальною оцінкою енергобалансу приводу, періодами 1, 2, 4 можна знехтувати. Вважаємо, що розгін відбувається в умовах третього періоду. У цьому випадку подача насоса витрачається на розгін ударної маси, перетікання рідини через клапан і пружну деформацію системи. У диференціальній формі витрати енергії на розгін ударної маси і перетікання рідини

$$dA = Q_n p(1 - \alpha p) dt - \beta(p) W dp - Q_{кл}(p) dp, \quad (3.2)$$

де  $Q_n$  – подача насоса при  $p=0$ ;  $p$  – тиск рідини;  $\alpha$  – коефіцієнт, який враховує вплив тиску на подачу насоса;  $\beta$  – коефіцієнт піддатливості гідросистеми;  $W$  – робочий об'єм рідини;  $Q_{кл}$  – кількість рідини, яка витікає через запобіжний клапан в бак.

Це нелінійне диференціальне рівняння через складну розривну функцію  $\beta(p)$  не дає можливості провести загальний аналіз значень параметрів приводу в наближеною формі.

Прийmemo, що для насоса  $\alpha = 0$ , для стандартних клапанів в пологої характеристикою  $p = p_n = const$  и  $dp = 0$ , а отже, і  $\beta(p) = const$ .

Тоді

$$A = A_k + A_n = Q_n p_n t_1, \quad (3.3)$$

де  $A_k$  – кінетична енергія;  $A_n$  – енергія втрат.

Значення визначаємо при прийнятих спрощення з диференціального рівняння розгону для ходу вгору. Час на перемикання золотника не враховуємо, прийнявши перемикання релейних, так як уповільнене перемикання недоцільно через додаткових втрат. Таке перемикання можливо при звичайних параметрах гідросистеми і може бути здійснено відомими і пропонованими в даній роботі засобами.

Рівняння руху ударної маси при підйомі має вигляд

$$m \frac{dv}{dt} = (F_2 - F_3)(p_n - p_r) - G; \quad G = (F_2 - F_3)p_g, \quad (3.4)$$

де  $F_2$  – робоча площа поршня при підйомі;  $F_3$  – робоча площа штока.

Як і для загального рівняння, вважаємо за спрощення даного висновку, призначеного тільки для загальної оцінки втрат реверсу, постійними гідравлічні та інші опору, що не дає великий похибки, так як максимальний опір при конструюванні машини приймається не більше 10% від  $p_n$ , відповідно

$$t_1 = \frac{m v_1}{(F_2 - F_3)(p_n - p_r - p_g)}. \quad (3.5)$$

Підставляємо значення  $Q_n = (F_2 - F_3)v_1$  і  $t_1$  з рівняння (3.5) в рівняння (3.3)

і отримаємо

$$A = m v_1^2 \frac{p_n}{p_n - p_r - p_g}.$$

Віднімаємо з енергії  $A$  кінетичну енергію рухомих частин і отримуємо втрати в клапані

$$A_n = m v_1^2 \frac{p_n}{p_n - p_r - p_g} - \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m v_1^2 \frac{p_n + p_r + p_g}{p_n - p_r - p_g}. \quad (3.6)$$

Після розгону до швидкості триває хід вгору. Втратами енергії при сталій швидкості за рахунок гідравлічних опорів і сил тертя нехтуємо, так як необхідно виділити тільки втрати на розгін до заданої швидкості  $v_1$  (вверх) і  $v_2$  (вниз). Втрати при ході вниз після ходу вгору визначаються способом перемикання реверсивного золотника: а) золотник перебуває в положенні, коли обидві порожнини циліндра молота і насос з'єднані зі зливом, а гальмування здійснюється тільки за рахунок тиску  $p_g$  і  $p_r$ ; б) гальмування здійснюється за рахунок тиску  $p_n$ ,  $p_r$  і  $p_g$  при золотнику, який перемикається на хід вниз.

При способі перемикання «а»

$$t_m = \frac{mv_1}{(F_2 - F_1)(p_g + p_r)}. \quad (3.7)$$

Втрата енергії виражається тільки кінетичною енергією

$$A_{n.m} = \frac{1}{2}mv_1^2.$$

Тиск, з яким насос працює на слив, в розрахунок не беремо.

При способі перемикання «б»

$$t_m = \frac{mv_1}{(F_2 - F_1)(p_n + p_g + p_r)}.$$

У цьому випадку, крім втрати кінетичної енергії ударної маси при ході вгору, спостерігається витрата рідини через клапан, обумовлений роботою насоса за час  $t_m$ :

$$\begin{aligned} A_{n.m} &= \frac{1}{2}mv_1^2 + (F_2 - F_1)v_1 p_n t_m; \\ A_{n.m} &= \frac{1}{2}mv_1^2 \frac{3p_n + p_r + p_g}{p_n - p_r - p_g}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Розгін вниз до швидкості  $v_2$  відбувається за час

$$t_2 = \frac{mv_2}{(F_2 - F_1)(p_n - p_g + p_r)}$$

при цьому втрачається енергія

$$A_{n,p} = \frac{1}{2}mv_2^2 \frac{p_n + p_r - p_g}{p_n - p_r + p_g} \quad (3.9)$$

Маючи значення  $A_n$ ,  $A_{n,m}$  и  $A_{n,p}$ , можна отримати к. к. д., яке відображає специфіку втрати реверсу для більш характерного способу перемикування «б». Складемо втрати, які описуються формулами (3.6)-(3.9)

$$A_{o,n} = \frac{1}{2}mv_1^2 \frac{p_n + p_r + p_g}{p_n - p_r - p_g} + \frac{1}{2}mv_1^2 \frac{3p_n + p_r + p_g}{p_n + p_r + p_g} + \frac{1}{2}mv_2^2 \frac{p_n + p_r - p_g}{p_n - p_r + p_g},$$

Тоді

$$\eta = \frac{A}{A + A_{o,n}}$$

Найкраще виразити  $\eta$  в безрозмірною формі, що дає певні зручності при аналізі. Для цього приймаємо

$$\frac{v_2}{v_1} = k_v, \quad \frac{p_r}{p_n} = k_r, \quad \frac{p_g}{p_n} = k_g,$$

тоді

$$\eta = \frac{k_v^2}{\frac{1+k_r+k_g}{1-k_r-k_g} + \frac{3+k_r+k_g}{1+k_r+k_g} + k_v^2 \frac{1+k_r-k_g}{1-k_r-k_g} + k_1^2}. \quad (3.10)$$

При  $k_g = 0,5$ ;  $k_r \approx 0$  і досить великому  $k_v$  граничне значення  $\eta = 0,73$ .

Для визначення к. к. д. пароповітряних молотів цей вираз не точний через змінне значення  $k_r$  і  $k_g$ , обумовленого властивостями енергоносія.

Повний аналіз виразу (3.10) досить громіздкий, тому обмежимося найбільш реальними для гідроприводу значеннями тиску, при яких можна знехтувати  $p_r$  і  $p_g$  порівняно з  $p_n$  і вважати, що  $k_r$  і  $k_g \rightarrow 0$ . Тоді

$$\eta = \frac{1}{\frac{4}{k_v^2} + 2}.$$

Значення  $\eta$  не може бути більше 0,5 і швидко зменшується при зменшенні  $k_v$ . Вже при  $k_v = 3 - \eta = 0,41$ . При  $k_v = 1 - \eta = 0,16$ .

Цикл роботи молота простої дії складається з наступних елементів:

- 1) розгін до швидкості підйому;
- 2) підйом з постійною швидкістю;
- 3) гальмування при відключеному приводі за рахунок дії сили тяжіння;
- 4) падіння, в кінці якого кінетична енергія витрачається на корисну роботу.

Для першого періоду аналогічно рівнянню (3.4)

$$t_1 = \frac{m v_1}{F(p_n - p_g - p_r)},$$

$$A_1 = m v_1^2 \frac{p_n}{p_n - p_g - p_r}.$$



Для другого періоду

$$t_2 = \frac{H}{v_1},$$

$$A_2 = \frac{p_u p_g H}{v} = p_g F H.$$

Для третього періоду

$$t_3 = \frac{m v_1}{F(p_g + p_r)}$$

Для четвертого періоду

$$t_4 = \sqrt{\frac{H_0}{g - \frac{p_r F}{m}}}$$

Сумарний час циклу ( $p_2$  нехтуємо зважаючи на його малість)

$$t_u = \sum t_i = \frac{m v_1}{F(p_u - p_g)} + \frac{H}{v_1} + \frac{m v_1}{F p_g} + \sqrt{\frac{H_0}{2g}}$$

Відносимо час циклу до часу вільного падіння

$$t = \frac{m v_2}{F p_g} = \frac{2H}{v_0} + \frac{m v_1}{F p_g},$$

тоді

$$t_u = \frac{v_1}{v_2} + \frac{p_u}{p_u - p_g} + \frac{H v_0}{v_0} + 1,$$

або прийнявши

$$\frac{v_1}{v_0} = k_v, \quad \frac{p_g}{p_n} = k_g, \quad \frac{H}{H_0} = k_n,$$

отримаємо

$$t_y = \frac{k_v}{1 - k_g} + \frac{k_n}{2k_v} + 1. \quad (3.11)$$

Таким же чином отримуємо к. к. д., з огляду на те, що  $A$  виражається так само, як  $mgH_0$ :

$$\eta = \frac{A_1}{A_1 + A_2} = \frac{\frac{1}{2}mv_0^2}{mv_1^2 \frac{1}{1 - k_g} + p_g FH} = \frac{1}{\frac{2k_v^2}{1 - k_g} + k_n}. \quad (3.12)$$

Для спрощення аналізу висловимо через  $k_n$  і  $k_v$ . Виходимо з значення  $H_0$ :

$$H_0 = \frac{mv_1^2}{2F(p_n - p_g)} + H + \frac{mv_1^2}{2Fp_g}.$$

Ділимо на

$$H_0 = \frac{mv_0^2}{2Fp_g}$$

і перетворимо до виду

$$1 = \frac{k_v^2 k_g}{1 - k_g} + k_n + k_v^2; \quad k_n = \frac{1 - k_g - k_v^2}{1 - k_g}.$$

Підставляємо значення  $k_a$  в рівняння (3.11) і (3.12) і отримуємо

$$t_u = 1 + \frac{k_v^2 + 1 - k_g}{2k_v(1 - k_g)},$$

$$\eta = \frac{1 - k_g}{k_v^2 + 1 - k_g}.$$

Потрібно мати на увазі також обмеження  $k_v$ , обумовлене значенням  $H > 0$ :

$$\frac{mv_0^2}{2Fp_g} \geq \frac{mv_1^2}{2F(p_n - p_g)} + \frac{mv_1^2}{2Fp_g}; \quad 1 \geq \frac{k_v^2}{1 - k_g}; \quad k_v \leq \sqrt{1 - k_g}.$$

При  $k_v \leq \sqrt{1 - k_g}$ , тобто коли подача насоса відключається при досягненні к. к. д.  $\eta = 0,5$  і постійний при зміні інших параметрів. При цьому з виразу (3.11)

$$\bar{t}_u = 1 + \frac{1}{k_v} = 1 + \frac{1}{\sqrt{1 - k_g}},$$

$\eta \rightarrow 1$ , якщо  $k_v \rightarrow 0$ , тобто зменшення швидкості підйому зменшує динамічні втрати, але при цьому збільшується.

У багатьох випадках така швидкохідність і к. к. д. мелотів простої дії достатні.

### 3.3 Висновки до розділу

В даному розділі була описана розроблена принципової схема навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів, описано його принцип роботи, а також приведені обґрунтування розробки даного типу

обладнання саме з гідроімпульсним приводом.

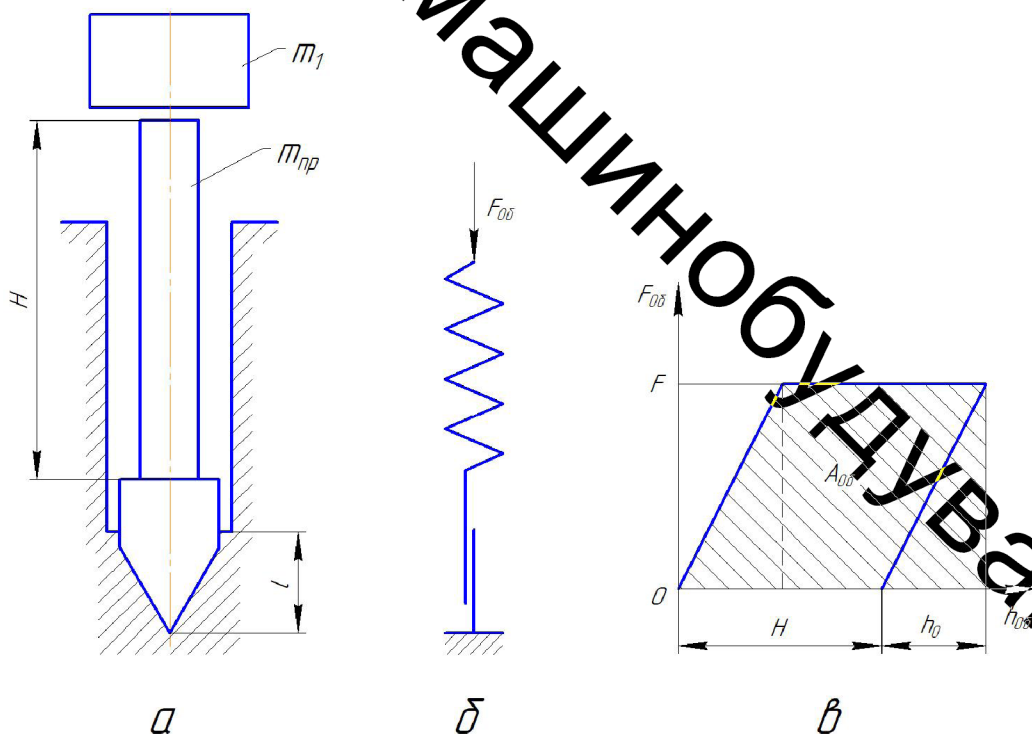
ВНТУ Галузеве машинобудування

#### 4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ҐРУНТІВ

Найпростіша динамічна модель зондування ґрунтів представлена на рис.

4.1. У початковий момент занурення бурового зонда, коли глибина свердловини незначна і пружність зондувальної колони можна знехтувати, процес ударно-вібраційного зондування може бути представлений таким чином.

По жорсткому зондувальному інструменту, який знаходиться в ґрунті з масою  $m_i$  наносяться удари ударником, який має масу  $m_1$ . Під впливом удару інструмент накопичує запас кінетичної енергії, яка витрачається на подолання опорів ґрунту. Іншими словами, для вирішення зазначеного завдання залучається теорема про зміну кінетичної енергії твердого тіла.



*a* – схема зондування, *б* – пружно-пластична модель ґрунту,

*в* – діаграма навантаження-деформації

Рисунок 4.1 – Найпростіша динамічна модель зондування

Введем ряд припущень:

1. Удар відбувається миттєво, тому зміна модуля ударної швидкості визначається коефіцієнтом  $R$ .
2. Зв'язок між ударної масою і наголовником відсутня.
3. Середня швидкість ударної частини в момент удару і число ударів передбачаються відношеннями.
4. Зондувальний наконечник представляється у вигляді гладкої труби.
5. Грунт моделюється пружно-пластичним середовищем, в якому спочатку діють пружні, а потім пластичні опори; пружні деформації після кожного удару відновлюються, а залишкові (пластичні) не відновлюються; їх накопичення і забезпечує заглиблення наконечника в грунт.
6. Енергія пружних деформацій повністю розсіюється.
7. Перед кожним наступним ударом ковадло (наголовник) знаходиться в спокої.
8. Процес зондування представляється як накопичення залишкових деформацій ґрунту від кожного удару.

Використовувана модель ґрунту є найпростішою. Існує безліч механічних моделей ґрунту, кожна з яких більш-менш повно описує реологічні та інші властивості окремих його типів. Належним вибором параметрів моделі можна досягнути збігу теоретичних і експериментальних результатів. Однак в практиці зондування можуть зустрітися найрізноманітніші типи ґрунтів. Розробляти і використовувати при практичних розрахунках для кожного типу свою механічну модель недоцільно, оскільки навіть під час одного зондування може зустрітися кілька типів ґрунтів. У цьому випадку цілком справедливим є використання найбільш простої моделі ґрунту, придатної (більшою чи меншою мірою) для більшості типів ґрунтів. Природно, що будь-який прогноз, заснований на цій моделі, буде недостатньо точним, проте, якщо виявиться можливим прогнозувати цю точність (наприклад, із залученням ймовірно-статистичних методів), такий

прогноз може виявитися цілком інформативним для вирішення ряду практичних завдань.

При використанні пружно-пластичної моделі ґрунту враховувалося, що ґрунт не є ідеально пружним середовищем. Межа пружності ґрунтів мізерно малий, тобто навіть при дуже невеликих навантаженнях багато типів ґрунтів будуть мати крім пружних і залишкові деформації. Крім цього, обернені пружні деформації в ґрунті завжди значно менші пластичних. Тому в подальшому під пружними деформаціями будемо розуміти не ті ідеально обернені деформації, після яких настають залишкові, а ті деформації, які реально мають місце в процесі занурення зонду в ґрунт і супроводжують залишковим.

Пружно-пластична модель ґрунту в будівельній практиці є загальноприйнятою. Вона використовується при розрахунках пальових та інших основ споруд. Нормативними характеристиками ґрунтів в цих випадках є опір по торцевих і бічних поверхнях паль, модуль деформації, питомий опір руйнуванню і так далі. Поширеність моделі пояснюється її універсальністю, тобто можливістю опису з її допомогою більшості різновидів глинистих ґрунтів. Ця модель дозволяє з задовільною точністю описати і процес ударно-вібраційного зондування ґрунтів.

Очевидно, що при відомій величині занурення інструменту за один удар  $h$  та числу ударів в одиницю часу  $n_y$  швидкість  $v_m$  занурення наконечника (зонда) визначається за формулою

$$v_m = n_y h. \quad (4.1)$$

Отже, завдання полягає в знаходженні величини  $h$ . На основі вищесказаних представлень може бути записана наступна енергетична рівність:

$$A_{об} = A_y + A_s, \quad (4.2)$$

де  $A_{об}$  – запас кінетичної енергії, отриманої інструментом після удару;  $A_y$  – робота, витрачена на подолання пружних опорів ґрунту;  $A_s$  – робота, витрачена на остаточне переміщення наконечника.

$$A_{об} = \frac{m_i v_i^2}{2}, \quad (4.3)$$

де  $v_i$  – початкова швидкість руху інструменту.

$$A_y = h_0 \frac{F}{2}, \quad (4.4)$$

де  $F$  – сумарна сила опору ґрунту;  $h_0$  – величина пружних деформацій ґрунту.

$$A_s = hF, \quad (4.5)$$

де  $h$  – величина залишкових деформацій ґрунту.

Після підстановки виразів (4.3), (4.4) в (4.2) отримаємо

$$\frac{m_i v_i^2}{2} = h_0 \frac{F}{2} + hF. \quad (4.6)$$

Вираз (4.6) справедливий тільки для випадку, коли енергії удару достатня для впровадження зонду в ґрунт. При відсутності занурення другий член правої частини виразу (4.6) буде дорівнює нулю. сила  $F$  може розглядатися як сума бічного  $F_{\sigma}$  і торцевого  $F_m$  опор



$$F = F_{\sigma} + F_m = f_{\sigma} S_{\sigma} + R_m S_m, \quad (4.7)$$

де  $f_{\sigma}$  – питомий опір ґрунту по бічній поверхні;  $S_{\sigma}$  – площа контакту інструменту з ґрунтом по бічній поверхні;  $R_m$  – питомий опір ґрунту по торцевій поверхні;  $S_m$  – площа торцевої поверхні інструменту.

Після підстановки і перетворень отримаємо такий вираз для величини залишкового переміщення інструменту за один удар:

$$h = \frac{m_i v_i^2}{2(f_{\sigma} S_{\sigma} + R_m S_m)} - \frac{h_0}{2}. \quad (4.8)$$

З класичної теорії удару швидкість руху тіла після зіткнення може бути визначена за формулою

$$v_1 = \frac{v_y (1 + R)}{1 + \frac{m_{np}}{m_1}}, \quad (4.9)$$

де  $v_y$  – швидкість руху ударної маси в момент удару;  $R$  – коефіцієнт відновлення швидкості удару;  $m_{np}$  – приведена маса інструменту (з урахуванням маси ґрунту, що сприймає удар).

Тоді вираз (4.8) набуде вигляду

$$h = \frac{m_i v_y^2}{2} \left( \frac{1 + R}{1 + \frac{m_{np}}{m_1}} \right)^2 \frac{1}{f_{\sigma} S_{\sigma} + R_m S_m} - \frac{h_0}{2}. \quad (4.10)$$

У формулу (4.10) входить приведена маса інструменту  $m_{np}$ . Мабуть, величина приросту маси інструменту залежить від площі зчеплення ґрунту з буровим наконечником і коефіцієнтом зчеплення. При зануренні палі ударно-

вібраційними машинами коефіцієнт збільшення маси палі приймається від 1 до 2 залежно від властивостей порід. Оскільки зонд має малу довжину в порівнянні з бурильною колоною, можна прийняти цей коефіцієнт рівним 1,2 і вважати його постійним для всіх різновидів ґрунтів.

Швидкість удару різних вільно падаючих ударників визначається за формулою

$$v_y = \sqrt{2gA'_0}, \quad (4.11)$$

де  $A'_0$  — висота падіння ударника.

Дійсний (на відміну від наведеного) коефіцієнт відновлення швидкості  $R$  для удару загартованої сталі може бути прийнятий рівним 0,3-0,5. Значення параметрів  $f_n$  і  $R_n$  в орієнтовних розрахунках можуть бути прийняті рівними нормативним опорам ґрунту у основ і по бічній поверхні палі. Площа торцевого опору  $S_m$  в формулі (10) визначається як площа торця наконечника, а бічна площа  $S_b$  — як сума площ контакту зонда з породою (по зовнішній і внутрішній поверхнях наконечника).

Формула (4.10) виведена для випадку абсолютно жорсткого бурильного стрижня. Однак у міру збільшення глибини свердловини довжина бурильних труб  $H$  його вплив на швидкість заглиблення буде збільшуватися, а внаслідок пружних деформацій системи вона буде збільшуватися. Отже, в формулу (4.10) слід ввести коефіцієнт, що враховує збільшення втрат енергії на пружні деформації колони бурильних труб при збільшенні глибини свердловини. Очевидно, що цей коефіцієнт буде прямо пропорційний максимальній силі, що виникає між молотом і буровим інструментом в момент удару. Простий розрахунок показує, що при дуже жорстких обмеженнях  $P_{max}$ , а отже, і максимальна деформація ґрунту під нижнім торцем бурового снаряда обернено пропорційні  $\sqrt{H}$ . Таким чином, зменшення величини занурення наконечника за удар буде обернено пропорційна  $\sqrt{H}$ . Оскільки діаметр

бурильних труб в процесі зондування не змінюється, його вплив не розглядається. Прийmemo, що при  $H=1$ ,  $K_n=1$ , тобто вважатимемо, що стрижень довжиною 1 м є абсолютно непружним. Відношення  $P_{max}$  при  $H > 1$  до  $P_{max}$  при  $H=1$  дасть значення безрозмірного коефіцієнта, який слід ввести в формулу (4.10).

$$K_n = \frac{1}{\sqrt{H}}. \quad (4.12)$$

Коефіцієнт  $K_n$  введений з метою спрощення розрахункових формул. Строго кажучи, в даному випадку користуватися класичною теорією удару і поняттям коефіцієнта відновлення швидкості не можна. Більш правомірний підхід з використанням уявлень хвильової теорії і розглядом системи бурильних труб які мають нескінченно багато ступенів свободи, тобто системи з розподіленими параметрами. У той же час слід зазначити, що при довжині бурильної колони 10-15 м вплив хвильових ефектів буде мізерним, і ним без ризику допустити грубої помилку можна знехтувати.

Тоді формула (4.10) прийме наступний вигляд:

$$h = K_n \left( \frac{1+R}{1+\frac{m_{np}}{m_1}} \right)^2 \frac{m_i v_y^2}{2} \frac{1}{f_n S_{\sigma} + R_n S_m} - \frac{h_0}{2} \quad (4.13)$$

і для швидкості зондування

$$v_m = K_n n_y \left( \frac{1+R}{1+\frac{m_{np}}{m_1}} \right)^2 \frac{m_i v_y^2}{2} \frac{1}{f_n S_{\sigma} + R_n S_m} - \frac{h_0 n_y}{2}. \quad (4.14)$$

В формулі (14)

$$S_0 = \pi(D+d)lk_1k_2, \quad (4.15)$$

де  $D$  і  $d$  – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри наконечника;  $l$  – величина заглиблення наконечника в ґрунт;  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує наявність прорізи в зонді;  $k_2$  – коефіцієнт, що враховує наявність випусків по зовнішньому і внутрішньому діаметрам черевика.

Формули (4.13) і (4.14) дозволяють встановити закономірності впливу основних параметрів вібротолота, бурового інструменту і ґрунту на величину заглиблення зондів в ґрунт за один удар, тобто на швидкість ударно-вібраційного зондування.

#### 4.1 Оптимальна довжина штанги при зондуванні

Модель ударно-вібраційного зондування ґрунтів, яка виведена на основі залежності швидкості занурення наконечника від різних факторів, може бути використана для визначення оптимальної довжини штанги  $L_{opt}$  при різних значеннях глибини свердловини  $H$ .

Оптимальне значення  $L$  визначатимемо, виходячи з умови отримання максимальної швидкості зондування  $v_p$ ,

$$v_p = \frac{L}{t_0 + t_c}, \quad (4.16)$$

де  $t_0$  – час чистого зондування,  $t_c$  – час, витрачений на опускальню-підіймальні операції.

Як відомо, завдання знаходження оптимального часу проходу для обертального буріння вперше була поставлена і вирішена Є. Ф. Епштейном. Сенс рішення стало те, що на основі рівняння (4.16) було отримано рівність

$v_m = v_p$ . Воно означало, що для досягнення оптимальної рейсовий швидкості буріння процес, поглиблення слід припиняти в момент, коли миттєва механічна швидкість стане рівною за величиною рейсовий швидкості. Виявлена закономірність дозволила розробити оригінальний механічний сигналізатор для визначення оптимального часу чистого буріння. Слід, однак, відзначити, що спільного рішення для визначення оптимального часу чистого зондування в залежності від різних факторів Є. Ф. Епштейном дано не було. Частково це пояснювалося відсутністю аналітичних виразів для  $t_0$  і  $t_c$ .

На відміну від обертального буріння, для якого час заглиблення інструменту обчислюється десятками хвилин і навіть годинами, при вібраційному бурінні заглиблення наконечника за прохід триває від однієї до кількох хвилин. Тому для вібраційного зондування доцільно визначати не оптимальний час чистого зондування, а оптимальну величину заглиблення наконечника в ґрунт або, як автор умовно називав, оптимальну довжину проходу. Наявність відповідних аналітичних залежностей дозволяє вирішити поставлену задачу в загальному вигляді.

Час чистого зондування  $t_0$  може бути знайдено з наступного виразу, отриманого на основі рівняння (4.14):

$$v_m = \frac{1}{\sqrt{H}} \cdot \frac{1}{A1 + B} - C_1, \quad (4.17)$$

де  $A$ ,  $B$  і  $C_1$  – постійні коефіцієнти, відповідно рівні

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \frac{\pi f_n (D+d) k_1 k_2}{\left( \frac{1+R}{1+\frac{m_{np}}{m}} \right)^2 \frac{m_i v_y^2}{2} n_y}; \\ B = \frac{R_n S_m}{\left( \frac{1+R}{1+\frac{m_{np}}{m_1}} \right)^2 \frac{m_i v_y^2}{2} n_y} = \\ C_1 = \frac{h_0}{2} n_y; \end{array} \right. \quad (4.18)$$

$\frac{1}{\sqrt{H}}$  – безрозмірний коефіцієнт ( $H$  в м).

Величина, обернена миттєвої швидкості, дорівнює

$$\tau = \frac{A\sqrt{Hl} + B\sqrt{H}}{1 - BC_1\sqrt{H} - AC_1\sqrt{Hl}}, \quad (4.19)$$

або

$$\tau = \frac{A\sqrt{Hl}}{1 - BC_1\sqrt{H} - AC_1\sqrt{Hl}} + \frac{B\sqrt{H}}{1 - BC_1\sqrt{H} - AC_1\sqrt{Hl}}, \quad (4.20)$$

Час буріння проміжку  $L$  для фіксованого значення  $H$  (за умови взаємної незалежності  $l$  і  $H$ ) може бути визначена за формулою

$$t_\sigma = \sqrt{H} \int_0^L \left( \frac{A\sqrt{Hl}}{1 - BC_1\sqrt{H} - AC_1\sqrt{Hl}} + \frac{B}{1 - BC_1\sqrt{H} - AC_1\sqrt{Hl}} \right) dl, \quad (4.21)$$

Оскільки

$$\tau = \frac{dt}{dl}; \quad a \quad \int_0^L \tau dl = \int_0^{t_\sigma} dt = t_\sigma. \quad (4.22)$$

$$t_\sigma = \sqrt{H} \int_0^L \frac{A\sqrt{Hl}}{1 - BC_1\sqrt{H} - AC_1\sqrt{Hl}} + \sqrt{H} \int_0^L \frac{Bdl}{1 - BC_1\sqrt{H} - AC_1\sqrt{Hl}} \quad (4.23)$$

Позначимо

$$\eta = -AC_1\sqrt{H}; \quad (4.24)$$

$$\xi = 1 - BC_1\sqrt{H}. \quad (4.25)$$

Після підстановки виразів (4.24) і (4.24) в (4.23) знайдемо

$$t_0 = A\sqrt{H} \int_0^L \frac{dl}{\xi + \eta l} + B\sqrt{H} \int_0^L \frac{dl}{\xi + \eta l}; \quad (4.26)$$

$$I_1 = \int_0^L \frac{dl}{\xi + \eta l} = \frac{1}{\eta^2} \eta L - \xi \ln \left( \frac{\xi + \eta l}{\xi} \right); \quad (4.27)$$

$$I_1 = \int_0^L \frac{dl}{\xi + \eta l} = \frac{1}{\eta} \ln \left( \frac{\xi + \eta l}{\xi} \right). \quad (4.28)$$

Підставивши вирази (4.27) і (4.28) в (4.26), отримаємо

$$t_0 = A\sqrt{H} \frac{1}{\eta^2} \left( \eta L - \xi \ln \left| \frac{\xi + \eta L}{\xi} \right| + B\sqrt{H} \frac{1}{\eta} \ln \left| \frac{\xi + \eta L}{\xi} \right| \right). \quad (4.29)$$

Час, який затрачується на опускально-підймальні операції, виразимо лінійною функцією такого виду:

$$t_c = a + bH, \quad (4.30)$$

де  $a$ ,  $b$  – постійні коефіцієнти, які залежать від різних, техніко-технологічних і природних факторів.

Підставивши вирази (4.29) і (4.30) в (4.16), отримуємо вираз для рейсовий швидкості зондування

$$v_p = \frac{L}{\frac{A\sqrt{H}}{\eta^2} \left( \eta L - \xi \ln \left| \frac{\xi + \eta L}{\xi} \right| + \frac{B\sqrt{H}}{\eta L} \ln \left| \frac{\xi + \eta L}{\xi} \right| \right) + a + bH}. \quad (4.31)$$

Представимо вираз (31) у вигляді

$$v_p = \frac{L}{\frac{A\sqrt{H}}{\eta^2 L} \left( \eta L - \xi \ln \left| \frac{\xi + \eta L}{\xi} \right| \right) + \frac{B\sqrt{H}}{\eta L} \ln \left| \frac{\xi + \eta L}{\xi} \right| + a + bH}. \quad (4.32)$$

Очевидно, що  $v_p$ , матиме максимальне значення при мінімальному значенні знаменника виразу (4.32). Взяти похідну від знаменника правої частини виразу (4.32) і прирівнявши її нулю, можна знайти функцію, з якої визначити  $L$ , відповідні мінімальному значенню цієї функції і, отже, максимальне значення  $v_p$ . Розгляд фізичної сторони процесу показує, що знайдене таким чином екстремальне значення функції в даному конкретному випадку може відповідати тільки її мінімальному значення

$$f'(L) = -\frac{A\sqrt{H}\xi}{L^2\eta^2} \left[ \frac{L\eta}{\xi + \eta L} - \ln \left( \frac{\xi + \eta L}{\xi} \right) \right] + \frac{B\sqrt{H}}{L^2\eta} \left[ \frac{L\eta}{\xi + \eta L} - \ln \left( \frac{\xi + \eta L}{\xi} \right) \right] - \frac{a}{L^2} - \frac{aH}{L^2} = 0. \quad (4.33)$$

Після перетворень вираз (33) набуде вигляд

$$\left[ \frac{L\eta}{\xi + \eta L} - \ln \left( \frac{\xi + \eta L}{\xi} \right) \right] \left( B - \frac{A\xi}{\eta} \right) \frac{1}{\sqrt{H}} = \frac{a}{H} + b. \quad (4.34)$$

Підставивши у вираз (4.34) значення  $\xi$  і  $\eta$ , після перетворень отримаємо

$$\frac{1}{C_1 H} \left[ \frac{L}{1 - BC_1\sqrt{H} - AC_1\sqrt{HL}} + \frac{\ln \left| \frac{1 - BC_1\sqrt{H} - AC_1\sqrt{HL}}{1 - BC_1\sqrt{H}} \right|}{AC_1\sqrt{H}} \right] = \frac{a}{H} + b. \quad (4.35)$$

Вираз (35) однозначно визначає оптимальну довжину проходу при заданих значеннях коефіцієнтів  $A, B, C_1, a, b$  і при заданій глибині зонування  $H$ .



Розв'язок виразу (4.35) може бути оформлений графічно (для кожного  $H$  знайдено своє значення  $L_{opt}$ ).

#### 4.2 Вплив діаметру зонду на механічну швидкість зондування

Теоретичні криві залежності механічної швидкості ударно-вібраційного зондування від глибини свердловини для зондів різних діаметрів показують, що на початку зондування (при малій глибині свердловини) діаметр зонда мало впливає на швидкість заглиблення. Більш того, при використанні зонда діаметром, наприклад, 108 мм, швидкість заглиблення буде навіть меншою, ніж якщо почати занурення зондом діаметром 127 мм.

Для перевірки цього висновку, на деяких майданчиках, раніше було проведено дослідне зондування. Значення середніх швидкостей  $v_m'$  занурення різними зондами і обсяги вибірок  $n$  представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Середні швидкості занурення зондами різних діаметрів

Діаметр зонду, мм	Прохід зондування, м					
	0-4		4-10		10-20	
	$v_m'$ , м/хв	$n$	$v_m'$ , м/хв	$n$	$v_m'$ , м/хв	$n$
168	1,97	33	0,56	22	—	—
146	1,66	11	0,58	8	0,40	8
127	1,60	39	0,70	29	0,39	13
108	1,55	2	0,65	25	0,45	5
89	—	—	0,76	38	0,30	16

Таким чином, досвід також свідчить про те, що збільшення швидкості занурення при зменшенні діаметра зонда відбувається тільки при глибині зондування більше 4 м. На початку зондування зі зменшенням діаметра зонда швидкість падає. Ця закономірність обумовлена зменшенням коефіцієнта передачі енергії від ударника до зонду при зниженні ваги останнього. Тому з метою досягнення більшої швидкості зондування слід починати занурення зондами більшого діаметру, поступово переходячи на зонди меншого

діаметру. Така технологія дозволяє також полегшити і прискорити процес опускально-підіймальних операцій.

Неодноразова дослідна перевірка повністю підтвердила ефективність зазначеної технології зондування. В даний час вона підтверджена теоретично і використовується повсюдно.

### 4.3 Вплив ступеня заглиблення наконечника в ґрунт на швидкість зондування

Якщо врахувати, що площа бічного зчеплення ґрунту з зондом визначається за формулою (4.15), то вираз (4.13) може бути записано у вигляді

$$h = \frac{1}{A_1 l + B_1} - C_1 \quad (4.36)$$

де  $A_1$ ,  $B_1$  і  $C_1$  – постійні коефіцієнти.

Цей вираз легко може бути приведений до вигляду

$$v'_m = K_n \frac{1}{Al + B} - C_1, \quad (4.37)$$

$$\text{де } A = \frac{A_1 K_n}{n_y}; \quad B = \frac{B_1 K_n}{n_y}; \quad C = C_1 n_y.$$

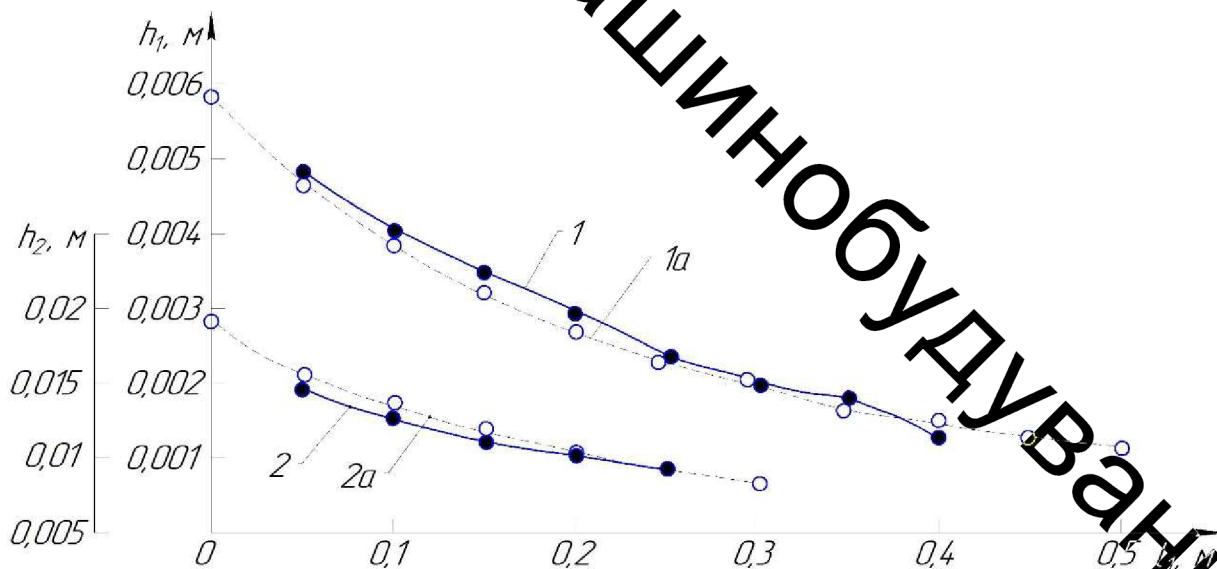
Порівняємо залежність (4.36) з відповідною їй залежністю, отриманою з експерименту. Якщо виявиться, що вид емпіричної функції  $h=f(l)$  для кривої (або ряду кривих), отриманої з експерименту, буде відповідати виду цього виразу, то це дасть можливість стверджувати, що вона правильно відображає сутність процесу, що відбувається.

На рис. 4.2 показані експериментальні і відповідні їм емпіричні криві для двох способів занурення зонда при ударно-вібраційному і ударному зондуванні. В обох випадках зонди занурювалися в суглинки напівтвердий і

тугопластичних консистенцій. Для ударно-вібраційного занурення зонду використовувався той же вібротолот БТ-9, який вільно падав на інструмент з деякої висоти.

Величина занурення зонду за один удар визначалася шляхом виміру відстані між кільцеподібними рисками, які залишаються внутрішнім кільцем зонда, на відібраному зразку ґрунту. Відстань між рисками замірявся через кожні 5 см. Всього було проведено більше 500 замірів. Для кожного значення величини заглиблення зонда  $l_i$  розраховувалась середньоарифметична величина  $h_i$ . Криві 1 і 2 на рис. 4.2 являють собою графіки, побудовані за середньоарифметичним точкам.

Графіки наглядно показують, що існує майже повний збіг експериментальних і емпіричних кривих, а вид функцій для емпіричних кривих відповідає виразу (4.36). Зазначена відповідність спостерігається і для інших випадків занурення наконечників, наприклад, для занурення зондів віброударною машиною УБВ-3А.



1 – при забиванні безпружинним вібротолотом БТ-9; 1а – крива, яка відповідає виразу (36) з коефіцієнтами  $A_I=350$ ;  $B_I=140$ ;  $C_I=0,0013$ ; 2 – при забивці вільно падаючим вібротолотом БТ-9; 2а – ті ж, що і 1а, але з  $A_I=180$ ;

$$B_I=52; C_I=0,0013$$

Рисунок 4.2 – Залежність заглиблення зонду ГК-3 за один удар

#### 4. 4 Висновки до розділу

Основні висновки, що випливають з формули (4.14), не суперечать практиці. Швидкість ударно-вібраційного зондування прямо пропорційна квадрату швидкості удару і обернено пропорційна опору ґрунту. При великому опорі ґрунту перший член правої частини рівності може виявитися рівним другому члену  $h_0 n_y / 2$ . В цьому випадку вся енергія удару буде витрачатися на подолання пружних опорів і занурення наконечника в ґрунт відбутися не буде.

ВНТУ  
І.Галузеве машинобудування

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі проектується приміщення, де виконувалася робота по підвищенню ефективності зондування ґрунтів при використанні навісних приладів з гідроімпульсним приладом [16].

### 5.1 Аналіз умов праці

Можуть виникати небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що відносять до фізичної, хімічної і психологічної груп.

До групи фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться:

- підвищена або понижена температура в приміщенні;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищене значення напруги в електричній мережі, замикання якої може відбуватись через тіло людини
- відсутнє або недостатнє природне освітлення
- недостатнє освітлення робочої зони

До групи хімічних фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться:

- загально токсичні (оксид вуглецю)
- патогенні (мікроорганізми)

Психологічну групу шкідливих і небезпечних виробничих факторів складають:

- фізичні(статичні) перевантаження
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці).

## 5.2 Технічно-організаційні рішення щодо безпеки праці

Всі вимоги до техпроцесу, обладнання, приміщення зводяться до створення виробничих умов, які б були б безпечними для працюючих, не допускали б або знижували небезпеку контакту людини з небезпечною зоною. Особливу увагу слід приділити до вимог безпеки виробничих приміщень. Ці приміщення повинні забезпечувати сприятливу виробничу обстановку і ліквідувати пожежну небезпеку. Об'єм виробничого приміщення повинен бути таким, щоб на одного працюючого припадало не менше 15 м<sup>3</sup>, а площа приміщення – не менше 6 м<sup>2</sup>.

Зовнішні стіни приміщення повинні мати таку товщину, при якій виключалась би можливість конденсації вологи на внутрішній поверхні.

### 5.2.1 Мікроклімат в приміщенні

Роботи, що виконуються відносяться до категорії робіт I б – малої важкості. Вони пов'язані з ходінням працюючих. Ці роботи пов'язані з малим фізичним навантаженням.

Параметри, що характеризують мікроклімат в приміщенні є наступними: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря.

ГОСТ 12.1.005-88 визначає оптимальні і допустимі норми цих параметрів в залежності від категорії робіт, періоду року. Числові значення цих норм подано в таблиця 5.1. Для нормалізації мікроклімату в виробничому приміщенні необхідно улаштувати вентиляцію і опалення, а також використовувати технологічний процес і обладнання, які б унеможливили б утворення шкідливих речовин.

Інтенсивність опромінення 100 Вт/м<sup>2</sup>. Опромінення людського тіла не більше 25%.

Таблиця 5.1 – Показники мікроклімату в приміщенні

Період року	Категорія	Температура, °C			Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/хв	
		Оптим.	Допустима		Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
			Верхня	Нижня				
Холод	Iб	17-19	21	15	40-60	75	0,3	0,4
тепл	Iб	20-22	27	16	40-60	70	0,4	0,5

Система вентиляції приміщення, буде комбінована, тобто буде поєднувати в собі механічну і природну, організовану вентиляцію.

Механічна вентиляція буде здійснюватись за рахунок вентилятора з приводом від електродвигуна. Приточна вентиляція забезпечуватиме приток чистого повітря в приміщення, а витяжна вентиляція забезпечуватиме видалення забрудненого повітря назовні. Природна вентиляція здійснюватиметься за рахунок різниці густин повітря, що виникатиме за рахунок різниці температур повітря, а також за рахунок енергії вітру.

Для здійснення природної вентиляції будуть застосовуватись кватирки.

Для компенсації втрат тепла і підтримання температури повітря в межах норми передбачається встановлення систем опалення. Система опалення буде комбінованою, тобто поєднуватиме в собі систему водного опалення (температура води понад 100°C) і повітряну систему(центральну). Використання такої системи дозволить підтримувати належний температурний режим. З мінімально можливими витратами.

### 5.2.2 Освітлення

Для освітлення приміщення буде використовуватись суміщене освітлення. Природне освітлення буде здійснюватись комбінованим світлом – через вікна в зовнішніх стінах. Штучне освітлення буде комбінованим. Джерелами загального штучного освітлення будуть газорозрядні лампи, а місцевого – лампи розжарення.

СниП II-4-79 передбачає норми штучного і природного освітлення. В табл. 5.2 подано норму штучного освітлення, а також коефіцієнт природного освітлення для 2-го поясу світлового клімату в залежності від робіт, що виконуються на ділянці. Оскільки місцевість, на якій розташовано підприємство відносять до 4-го поясу світлового клімату, то нормоване значення коефіцієнту природного освітлення обчислюють за формулою:

$$e^{IV} = e^{III} \cdot C \cdot m \quad (5.5)$$

де  $e^{III}$  – коефіцієнт природного освітлення для III поясу світлового клімату;  $C$  – коефіцієнт сонячності клімату ( $C=0,9$ );  $m$  – коефіцієнт світлового клімату ( $m=0,75$ ).

Тоді

$$e^{IV} = 2,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 1,75\%.$$

Таблиця 5.2 - Норми штучного і природного освітлення

Характер зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту розрізнення з фоном	Характер фону	Штучне, лм	Природне, %
						Комбіне	Комбіне
Високоточн.	Більше 0,15 до 0,3	2	в	Середн.	Середн.	750	2,5

### 5.2.3 Шум і вібрація

Для даного виду трудової діяльності передбачає відповідні значення рівнів звукового тиску, рівня звуку і еквівалентний рівнів звуку (таблиця 5.3)



Таблиця 5.3 - Рівні звукового тиску

Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБ(А)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Вібрація, так як і шум негативно впливає на організм людини. Джерелом вібрацій є фактично кожна машина, як і при боротьбі з шумом, необхідно збалансувати тіла, що обертаються, зменшувати пульсацію робочих рідин та газів. Вібрація, що може виникнути в даному приміщенні, відноситься до категорії третього типу. Параметри, що характеризують вібрацію, є віброшвидкість і віброприскорення.

Нормовані значення цих величин подано в табл. 5.4 (для локальної вібрації) і в табл.5.5 (для загальної вібрації).

Таблиця 5.4 - Нормовані значення величин локальної вібрації

Середньо геометрична частота октавних смуг, Гц	Нормативні значення			
	віброприскорення		віброшвидкість	
	$m/c^2$	дБ	$m/c*10^{-2}$	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	136	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85	150	1,4	109

Таблиця 5.5 - Нормовані значення величин загальної вібрації

Середньо геометричні частоти смуг, Гц	Допустимі значення нормуемого параметра		
	По віброприскоренню $m/c^2$	По віброшвидкості	
		$m/c*10^{-1}$	дБ
2,0	0,14	1,3	108
4,0	0,10	0,45	99
8,0	0,11	0,22	93

Продовження таблиці 5.5

16,0	0,2	0,20	92
31,5	0,4	0,20	92
63	0,8	0,20	92

### 5.3 Техніка безпеки

Для живлення обладнання електричним струмом використовують трифазну чотири провідну мережу напругою до 1000В з заземленою нейтраллю, напругою 220 В. Для захисту працюючих від можливого ураження електричним струмом слід передбачити такі заходи:

- 1) Забезпечити недоступність струмопровідних елементів, що знаходяться під напругою для випадкового дотику. Застосування подвійної ізоляції.
- 2) Застосовувати занулення обладнання дільниці, що може опинитись під напругою.
- 3) Використання систем захисного відключення.
- 4) Використання малих напруг в лампах місцевого освітлення.

### 5.4 Пожежна безпека

Приміщення відноситься до категорії “В” (наявність горючих речовин і матеріалів). Будівлі відносять до II-ї ступені вогнестійкості (несучі і огорожувальні конструкції виконуватимуться з залізобетону з використанням металевих і плитних негорючих матеріалів). В покрівлі приміщень будуть застосовуватись металеві конструкції, приміщення буде обладнане евакуиходами.

Пожежа на даному виробництві може виникнути з-за несправності електромережі і електрообладнання.

Для уникнення можливих пожеж необхідно:

1. Дотримання протипожежних норм і правил.

2. Періодичний інструктаж працюючих з протипожежної безпеки.
3. Дотримання виробничих дисциплін.
4. Дотримання протипожежних норм при проектуванні приміщень.
5. Заборона паління.

Кожен працюючий повинен бути ознайомлений з планом будівлі.

Таблиця 5.6 – Мінімальні межі вогнестійкості (в чисельнику) і максимальні межі розповсюдження вогню (в знаменнику)

Ступінь вогнестійкості	Стіни				Колони	Проці сходів, марні, балки	Плити, інші несучі конструкції
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішньо несучі			
II	2/0	1/0	(0,25..0,5) / (0..40)	25/0,40	2/0	1/0	0,75/0

## 5.5 Розрахунок режимів радіаційного захисту працівників при роботі на забруднених територіях

### 5.5.1 Дія іонізуючих випромінювань на людей

Усі джерела радіоактивного випромінювання становлять так званий природний радіаційний фон, під яким розуміють дозу іонізуючого випромінювання, що складається з космічного випромінювання, випромінювання природних радіонуклідів, які знаходяться у верхніх шарах Землі, приземній атмосфері, продуктах харчування, воді та організмі людини [17].

Радіоактивні речовини потрапляють у повітря, ґрунти, ріки, озера, моря, океани, а звідти поглинаються рослинами, рибами, тваринами і моллюсками. Через листя і коріння радіоактивні речовини потрапляють у рослини, а потім в організм тварин і з продуктами рослинного та тваринного походження, з водою - в організм людини. При вивченні дії випромінювання на організм людини

встановлено такі особливості: навіть незначна кількість поглиненої енергії випромінювання спричинює глибокі біологічні зміни в організмі; наявність прихованого (інкубаційного) періоду дії іонізуючого випромінювання; випромінювання має генетичний ефект; органи живого організму мають різну чутливість до випромінювання; окремі організми неоднаково реагують на опромінювання; опромінювання залежить від частоти, одноразове опромінювання у великій дозі спричинює більш глибокі зміни.

Радіоактивні речовини потрапляють в організм людини при вдиханні зараженого повітря, із зараженою їжею чи водою, крізь шкіру, відкриті рани. Проникнення радіоактивних забруднень крізь шкіру і рани можна запобігти, дотримуючись певних заходів захисту.

Основним джерелом опромінювання людини є радіоактивні речовини, які потрапляють з їжею. Ступінь небезпеки забруднення радіонуклідами залежить від частоти вживання забруднених радіоактивними речовинами продуктів, а також від швидкості виведення їх з організму. Якщо радіонукліди, які потрапили в організм, однотипні з елементами, що споживає людина з їжею (натрій, калій, хлор, кальцій, залізо, марганець, йод та ін.), то вони швидко виводяться з організму разом з ними.

Окремі радіоактивні речовини концентруються в різних внутрішніх органах. Елементи, які акумулюються в м'яких тканинах організму, легко виділяються. Джерела  $\alpha$ -випромінювання (радій, уран, плутоній),  $\beta$ -випромінювання (стронцій, іпрій) і  $\gamma$ -випромінювання (цирконій) відкладаються в кістках у вигляді хімічно зв'язаних сполук з кістковою тканиною, тому важко виводяться з організму.

Первинним процесом дії радіоактивних речовин в організмі людини є іонізація. Збуджена при цьому енергія іонізуючого опромінювання передається на різні речовини організму людини. У разі дії на прості речовини (гази, метали та ін.) будь-яких змін фізико-хімічної природи у них не спостерігається. При дії на складні речовини, молекули яких складаються з багатьох різних атомів, вони розпадаються (дисоціація). Це так звана пряма дія

на прості або складні речовини організму людини. Більш суттєву роль відіграє механізм непрямой дії іонізуючого випромінювання, під яким треба розуміти радіаційно-хімічні зміни у певній розчинній речовині, зумовлені продуктами радіолізу (розпаду) води.

В організмі людини знаходиться 60-70% води. В результаті іонізації молекули води під впливом радіоактивних речовин утворюються вільні радикали гідроперекису ( $\text{HO}_2$ ) і перекису ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) водню, які як сильні окислювачі мають високу хімічну активність і вступають у реакції з білком, ферментами та іншими структурними елементами біологічної тканини, що призводить до зміни біологічних процесів в організмі. Внаслідок цього порушуються процеси обміну, пригнічується активність ферментних систем, затримується ріст тканин, виникають нові хімічні сполуки - токсини - сильні отрути. Все це призводить до порушення життєдіяльності окремих систем та організму в цілому. Патологічні процеси в організмі, у тому числі загибель клітин, ріст пухлин, пов'язують з хромосомними ураженнями соматичних клітин, причому рівень аутогенних ушкоджень хромосом зростає з віком людини.

### 5.5.2 Розрахунок режимів радіаційного захисту

Під режимом роботи в умовах радіоактивного забруднення розуміють порядок і умови роботи, переміщення і відпочинку з використанням засобів захисту [18].

Можлива доза опромінення при роботі у режимі 2 зміни по 12 год. може бути визначена за формулою

$$D_m = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_n^3})}{K_{\text{пос}}} = \frac{1,33 \cdot 1,1 \cdot (\sqrt[4]{13^3} - 1)}{9} = 0,95 \text{ (мР)},$$

де  $t_n=1$  год. – час початку роботи після радіоактивного забруднення;  
 $t_k=1+12=13$  год. – час завершення роботи першої робочої зміни після радіоактивного забруднення;  $p_{1\max}=1,1$  мР/год. – рівень радіації через одну

годину після радіоактивного забруднення;  $K_{\text{пос}} = 9$  – коефіцієнт послаблення радіації виробничим приміщенням.

Визначимо граничне значення рівня радіації, при якому можлива робота в звичайному режимі

$$p_{\text{гр}} = \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}}}{1,33 \cdot \left( \sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_n^3} \right)} = \frac{0,5 \cdot 9}{1,33 \cdot \left( \sqrt[4]{13^3} - \sqrt[4]{1^3} \right)} = 0,56 \text{ (мР/год)}.$$

Згідно проведеного розрахунку можлива доза опромінення персоналу  $D_M > D_{\text{доп}} (0,95 > 0,5)$  та рівень радіоактивного забруднення  $p_{1\text{max}} > p_{\text{гр}} (1,1 > 0,56)$  перевищують допустимі норми, тому робота в режимі 2 зміни по 12 год неможлива.

Для кожної зі скорочених змін необхідно визначити час початку робочої зміни ( $t_n$ ), час кінця робочої зміни ( $t_k$ ), тривалість роботи зміни ( $t_p$ ) та можливу дозу опромінення зміни ( $D_M$ ).

Час початку роботи першої зміни визначається за коефіцієнтом  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} = \frac{0,5 \cdot 9}{1,33 \cdot 1,1} = 3,1.$$

Згідно довідникових даних час початку роботи першої скороченої зміни  $t_n = 1$  год.

Для 1-ї скороченої зміни: час початку роботи  $t_{n1} = 1$  (год).

Час закінчення роботи

$$t_{k1} = \left( \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{n1}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,5 \cdot 9 + 1,33 \cdot 1,1 \cdot \sqrt[4]{1^3}}{1,33 \cdot 1,1} \right)^{\frac{4}{3}} = 6,48 \approx 6,5 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи  $t_{p1} = t_{k1} - t_{n1} = 6,5 - 1 = 5,5$  (год).

Можлива доза опромінення

$$D_{m1} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{k1}^3} - \sqrt[4]{t_{n1}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,1 \cdot (\sqrt[4]{6,5^3} - \sqrt[4]{1^3})}{9} = 0,5 (\text{мР}).$$

Для 2-ї зміни: час початку роботи  $t_{п2} = t_{п1} + t_{р1} = 1 + 5,5 = 6,5$  (год).

Час закінчення роботи

$$t_{k2} = \left( \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{n2}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,5 \cdot 9 + 1,33 \cdot 1,1 \cdot \sqrt[4]{6,5^3}}{1,33 \cdot 1,1} \right)^{\frac{4}{3}} = 13,6 \approx 13,5 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи  $t_{р2} = t_{k2} - t_{п2} = 13,5 - 6,5 = 7$  (год).

Можлива доза опромінення

$$D_{m2} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{k2}^3} - \sqrt[4]{t_{n2}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,1 \cdot (\sqrt[4]{13,5^3} - \sqrt[4]{6,5^3})}{9} = 0,49 (\text{мР}).$$

Для 3-ї зміни: час початку роботи  $t_{п3} = t_{п2} + t_{р2} = 6,5 + 7 = 13,5$  (год).

Час закінчення роботи

$$t_{k3} = \left( \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{n3}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,5 \cdot 9 + 1,33 \cdot 1,1 \cdot \sqrt[4]{13,5^3}}{1,33 \cdot 1,1} \right)^{\frac{4}{3}} = 21,71 \approx 21,5 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи  $t_{р3} = t_{k3} - t_{п3} = 21,5 - 13,5 = 8,5$  (год).

Можлива доза опромінення

$$D_{m3} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{k3}^3} - \sqrt[4]{t_{n3}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,1 \cdot (\sqrt[4]{21,5^3} - \sqrt[4]{13,5^3})}{9} = 0,48 (\text{мР}).$$

Для 4-ї зміни: час початку роботи  $t_{п4} = t_{п3} + t_{р3} = 13,5 + 8 = 21,5$  (год).

Час закінчення роботи

$$t_{к4} = \left( \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{н4}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,5 \cdot 9 + 1,33 \cdot 1,1 \cdot \sqrt[4]{21,5^3}}{1,33 \cdot 1,1} \right)^{\frac{4}{3}} = 30,49 \approx 30,5 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи  $t_{р4} = t_{к4} - t_{п4} = 30,5 - 21,5 = 9$  (год).

Можлива доза опромінення

$$D_{м4} = \frac{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot (\sqrt[4]{t_{к4}^3} - \sqrt[4]{t_{п4}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,1 \cdot (\sqrt[4]{30,5^3} - \sqrt[4]{21,5^3})}{9} = 0,5 \text{ (мР)}.$$

Для 5-ї зміни:  $t_{п5} = t_{п4} + t_{р4} = 21,5 + 9 = 30,5$  (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к5} = \left( \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{н5}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,5 \cdot 9 + 1,33 \cdot 1,1 \cdot \sqrt[4]{30,5^3}}{1,33 \cdot 1,1} \right)^{\frac{4}{3}} = 40,5 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи зміни  $t_{р5} = t_{к5} - t_{п5} = 40,5 - 30,5 = 10$  (год).

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м5} = \frac{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot (\sqrt[4]{t_{к5}^3} - \sqrt[4]{t_{п5}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,1 \cdot (\sqrt[4]{40,5^3} - \sqrt[4]{30,5^3})}{9} = 0,5 \text{ (мР)}.$$

Для 6-ї зміни:  $t_{п6} = t_{п5} + t_{р5} = 30,5 + 10 = 40,5$  (год).

Час закінчення роботи зміни



$$t_{k6} = \left( \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{n6}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,5 \cdot 9 + 1,33 \cdot 1,1 \cdot \sqrt[4]{40,5^3}}{1,33 \cdot 1,1} \right)^{\frac{4}{3}} = 51,65 \approx 51,5 (\text{год}).$$

Тривалість роботи зміни  $t_{p6} = t_{k6} - t_{n6} = 51,5 - 40,5 = 11$  (год).

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{m6} = \frac{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot (\sqrt[4]{t_{k6}^3} - \sqrt[4]{t_{n6}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,1 \cdot (\sqrt[4]{51,5^3} - \sqrt[4]{40,5^3})}{9} = 0,49 (\text{мР}).$$

Для 7-ї зміни:  $t_{n7} = t_{n6} + t_{p6} = 40,5 + 11 = 51,5$  (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{k7} = \left( \frac{D_{\text{доп}} \times K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{n7}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,5 \cdot 9 + 1,33 \cdot 1,1 \cdot \sqrt[4]{51,5^3}}{1,33 \cdot 1,1} \right)^{\frac{4}{3}} = 64,1 \approx 64 (\text{год}).$$

Тривалість роботи зміни  $t_{p7} = t_{k7} - t_{n7} = 64 - 51,5 = 12,5$  (год), приймаємо  $t_{p7} = 12$  (год).

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{m7} = \frac{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot (\sqrt[4]{t_{k7}^3} - \sqrt[4]{t_{n7}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,1 \cdot (\sqrt[4]{63,5^3} - \sqrt[4]{51,5^3})}{9} = 0,46 (\text{мР}).$$

Таблиця 5.7 – Режим радіаційного захисту

№	$t_n$ , ГОД	$t_k$ , ГОД	$t_p$ , ГОД	$D_m$ , мР
1	1	6,5	5,5	0,5
2	6,5	13,5	7	0,49
3	13,5	21,5	8,5	0,48
4	21,5	30,5	9	0,5
5	30,5	40,5	10	0,5
6	40,5	51,5	11	0,49
7	51,5	63,5	12	0,46

За результатами проведеного розрахунку роботу підприємства в дві зміни по 12 год можна буде розпочинати через 40,5 год. після радіоактивного забруднення. Після того, як відпрацює 6-та скорочена зміна до роботи приступить слідуєча 7-ма повна зміна.

### 5.6 Висновки до розділу

В даному розділі були забезпечені заходи щодо охорони праці, а саме проведено аналіз умов праці, технічно-організаційні рішення щодо безпеки праці, заходи щодо техніки безпеки, пожежної безпеки та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Також було проведено розрахунок режимів радіаційного захисту працівників, в разі виникнення надзвичайної ситуації пов'язаної із радіоактивним забрудненням.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Оцінювання комерційного потенціалу наукової розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки [19]. Проведення технологічного аудиту здійснюється за допомогою експертного методу. Для цього залучено 2-х незалежних експертів. Оцінювання комерційного потенціалу розробки здійснюється за 12-ю критеріями, наведеними в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерій оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
1	2	3	4	5	6
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витрачати значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведемо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти	
	1	2
	Бали, виставлені експертами:	
1	3	3
2	3	3
3	3	2
4	4	4
5	3	3
6	3	2
7	3	4
8	3	3
9	3	2

Продовження таблиці 6.2

10	2	3
11	1	1
12	2	2
Сума балів	СБ1 = 39	СБ2 = 37
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{39+37}{2} = 38$	

Таблиця 6.3 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

Згідно результатів оцінювання комерційного потенціалу розробки, що наведено в таблиці 6.2, середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів складає 38 балів. Використовуючи дані таблиці 6.3 можна зробити висновок, що рівень потенціалу розробки – вище середнього.

## 6.2 Прогнозування витрат на виконання роботи

Кошторис витрат на розробку «Підвищення ефективності зондування ґрунтів при використанні навісного обладнання з гідроімпульсним приводом» передбачає розрахунок декількох статей витрат.

Основна заробітна плата ( $З_о$ ) розробників розраховується за формулою (6.1):

$$З_о = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (6.1)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад розробника;  $T_p$  – число робочих днів в місяці,  $T_p = 22$  дні;  $t$  – число днів роботи розробників.

Зроблені розрахунки занесені до табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Витрати на основну заробітну плату розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.
Науковий керівник	8780	399,78	23	9195,55
Інженер	7350	332,09	17	5497,83
Всього				14693,38

Основна заробітна плата робітників  $Z_p$ , які виконують роботи за робочими професіями, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_i^n t_i \cdot C_i, \quad (6.2)$$

де  $t_i$  – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи;  $n$  – число робіт за видами та розрядами;  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує певну роботу.  $C_i$  визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_{mks} \cdot K_c}{T_p \cdot T_{zm}}, \quad (6.3)$$

де  $M_m$  – розмір мінімальної заробітної плати за місяць у 2019 році,  $M_m = 4173$  грн.

$K_{mks}$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (див. табл. 6.5).

Таблиця 6.5 – Міжкваліфікаційні співвідношення для встановлення тарифних ставок робітникам

Розряд	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_{\text{мкс}}$	1,0	1,1	1,35	1,5	1,7	2,0	2,2	2,4

$T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни,  $T_{\text{зм}} = 8$  годин.

Розрахунки основної заробітної плати робітників зведено в табл. 6.6

Таблиця 6.6 – Розрахунок основної заробітної плати робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
Заготівельні	38	2	27,3	1037,4
Монтажні	20	2	27,3	546
Налагоджувальні	15	1	24,5	367,5
Всього				1950,9

Додаткову заробітну плату ( $Z_{\text{д}}$ ) розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення, розрахуємо як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників [19]:

$$Z_{\text{д}} = (0,1 \dots 0,12) \cdot Z_{\text{о}}, \text{ грн} \quad (6.4)$$

Підставивши чисельні значення, отримаємо:

$$Z_{\text{д}} = 0,1 \cdot (14693,38 + 1950,9) = 1664,43 \text{ (грн.)}$$

Нарахування (ЄСВ) на заробітну плату  $H_{\text{ЗП}}$  розробників та робітників становить 22% від суми їх основної та додаткової заробітної плати [19]:



$$H_{ЗВ} = (З_О + З_Р + З_Д) \cdot 0,22. \quad (6.5)$$

Обчислимо нарахування на заробітну плату за формулою (6.5):

$$H_{ЗВ} = (14693,38 + 1950,9 + 1664,43) \cdot 0,22 = 4027,92 \text{ (грн.)}$$

Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались для розробки нового технічного рішення.

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування за кожним видом обладнання та приміщень, які використовувались для розробки нового технічного рішення, можуть бути розраховані за формулою [19]:

$$A = \frac{Ц \cdot Т}{12 \cdot Т_В} \text{ [грн]}, \quad (6.6)$$

де Ц – загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн; Т – фактична тривалість використання, міс; Т<sub>в</sub> – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці, роки.

Всі проведені розрахунки амортизаційних відрахувань наведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.7 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Термін використ., років	Фактичний термін використ, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
1. Виробниче приміщення	430000	25	1	1433
2. Комп'ютери персональний	35000	10	1	291
3. Токарний верстат	110000	20	1	458

Продовження таблиці 6.7

4.Фрезерний верстат	182000	20	1	758
Всього				2940,5

Використані для розробки нового технічного рішення матеріали і прилади подано в табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – Витрати на матеріали

№	Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Од. виміру	Витрачено на виріб	Ціна за матеріал, грн.	Загальна вартість
1.	Пружини	шт	3	100	300
2.	Кулька-клапан	шт	1	119	119
3.	Ущільнюючі кільця	шт	6	87	522
4.	Болти	шт	12	51	612
5.	Шайби	шт	12	21	252
6.	Штуцера	шт	12	54	648
Всього, грн.					2453

Використані для розробки нового технічного рішення комплектуючі наведено в табл. 6.9.

Таблиця 6.9 – Комплектуючі, що використовуються для розробки нового технічного рішення

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
Датчики тиску	1	500	500
Гідролінії	4	2119,03	2119,03
Дроссель	1	823,8	823,8
Всього, грн.			3442,8

Витрати на комплектуючі вироби ( $B_K$ ) розраховуються згідно з їх номенклатурою за формулою:

$$B_K = \sum_i H_{Ki} \cdot C_{Ki} \cdot K, \quad (6.8)$$

де  $H_{Ki}$  – кількість комплектуючих  $i$ -го найменування;  $C_{Ki}$  – ціна комплектуючих  $i$ -го найменування.

Витрати на електроенергію, яка використовується в процесі розробки нового технічного рішення, визначаються на основі тарифів на енергію за допомогою залежності [19]:

$$B_E = B_{1кВт} \cdot P_o \cdot \Phi \cdot K_n, \quad (6.9)$$

де  $B_{1кВт}$  – вартість одного кіловата енергії,  $B_{1кВт} = 3,5$  грн.;  $P_o$  – установлена потужність обладнання,  $P_o = 1,8$  кВт;  $\Phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання,  $\Phi = 265$  год.;  $K_n$  – коефіцієнт використання потужності,  $K_n = 0,95$ .

Підставивши значення в формулу (6.9), отримаємо:

$$B_E = 3,5 \cdot 1,8 \cdot 531 \cdot 0,95 = 1358,77 \text{ (грн.)}$$

Інші витрати  $B_{IH}$  приймаються як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників, тобто:

$$B_{IH} = 2 \cdot (3_o + 3_p). \quad (6.10)$$

Обчислимо інші витрати за виразом (5.10):

$$B_{IH} = 2 \cdot (14693,38 + 1950,9) = 33288,56 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на розробку нового технічного рішення –  $B$ , тобто:

$$B = Z_O + Z_P + Z_D + H_{ЗВ} + A + B_M + B_K + B_E + B_{IH}. \quad (6.11)$$

Підставивши значення в формулу (5.1), маємо:

$$B = 14693,38 + 1950,9 + 1661,43 + 4027,92 + 2940,5 + 2453 + 3442,8 + 1358,77 + 33288,56 = 59633,51 (\text{грн}).$$

Розрахунок загальних витрат  $B_{ЗАГ}$  на виконання розробки нового технічного рішення здійснюється за формулою:

$$B_{ЗАГ} = \frac{B_{IH}}{\alpha}, \quad (6.12)$$

де  $\alpha$  – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець розробки нового технічного рішення,  $\alpha = 0,8$ .

Обчислимо загальні витрати за формулою (6.12):

$$B_{ЗАГ} = \frac{33288,56}{0,8} = 41610,7 (\text{грн})$$

Прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів розробки нового технічного рішення:

$$ЗВ = \frac{B_{ЗАГ}}{\beta}, \quad (6.13)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який характеризує етап розробки нового технічного рішення (розробка знаходиться на стадії технічного проектування, тобто  $\beta=0,2$ ).

Підставивши значення в формулу (5.13), отримаємо:

$$ЗВ = \frac{41610,7}{0,2} = 208053,5(\text{грн})$$

### 6.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Для даної розробки маємо випадок, коли неможливо прямо оцінити зростання чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки. У цьому випадку збільшення чистого прибутку підприємства  $\Delta\Pi_i$  для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою [19]:

$$\Delta\Pi_i = \sum_i (\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \nu), \quad (6.14)$$

де  $\Delta\Pi_0$  – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році (наприклад, ціна одиниці нової розробки);  $N$  – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;  $\Delta N$  – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;  $\Pi_0$  – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;  $n$  – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;  $\lambda$  – коефіцієнт,

який враховує сплату податку на додану вартість. У 2019 році ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ ;  $\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту,  $\rho = 0,25$ ;  $v$  – ставка податку на прибуток, з 2018 року  $v = 0,18$  [19].

Припустимо що в результаті впровадження результатів наукової розробки покращується якість певного продукту, що дозволяє підвищити ціну його реалізації на 2000 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року – на 200 , протягом другого року – ще на 300, протягом третього року – ще на 550 .

Орієнтовно: реалізація продукції до впровадження результатів розробки складає 280 користувачів, а її ціна – 15000

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом перших трьох років складатиме:

$$\Delta\Pi_1 = [2000 \cdot 280 + (15000 + 2000) \cdot 200] \cdot 0,8547 \cdot 0,25 \cdot (1 - \frac{18}{100}) = 673200$$

$$\Delta\Pi_2 = [2000 \cdot 280 + (15000 + 2000) \cdot (200 + 300)] \cdot 0,8547 \cdot 0,25 \cdot (1 - \frac{18}{100}) = 1540200$$

$$\Delta\Pi_3 = [2000 \cdot 280 + (15000 + 2000) \cdot (200 + 300 + 550)] \cdot 0,8547 \cdot 0,25 \cdot (1 - \frac{18}{100}) = 3129700$$

#### 6.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Припустимо, що загальні витрати ЗВ на виконання та впровадження результатів НДДКР (або теперішня вартість інвестицій РЧ) дорівнює 208053 грн. Результати вкладених у наукову розробку інвестицій почнуть виявлятися через три роки.

Таким чином, збільшення чистого прибутку підприємства після першого року складе 673200 грн., після другого року - 1540200 грн., після третього року – 3129700 грн.

Тоді рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рис. 6.1.

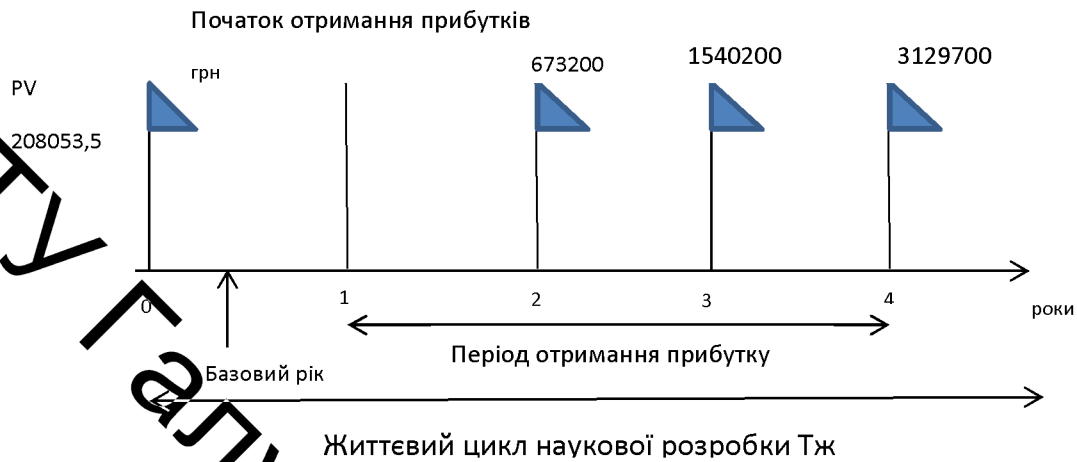


Рисунок 6.1 – Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій  $E_{абс}$  за формулою [19]:

$$E_{абс} = ПП - ЗВ, \quad (6.15)$$

де  $ПП$  – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки.

В свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків  $ПП$  розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_i^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (6.16)$$

де  $T$  – період часу, протягом якого виявляються результати наукової розробки;  $\tau$  – ставка дисконтування,  $\tau = 0,1$ ;  $t$  – період часу від моменту отримання чистого прибутку до точки “0”.

Обчислимо приведену вартість всіх чистих прибутків за формулою (5.16):

$$ПП = \frac{673200}{(1 + 0,1)^2} + \frac{1540200}{(1 + 0,1)^3} + \frac{3129700}{(1 + 0,1)^4} = 3861039 \text{ грн}$$

Розрахуємо за формулою (5.15) абсолютну ефективність вкладених інвестицій:

$$E_{abs} = 3861039 - 208053,5 = 3652985,5 (\text{грн.}).$$

Оскільки  $E_{abs} > 0$ , то результат від проведення наукової розробки та її впровадження принесе прибуток.

Відносна (щорічна) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_e$  розраховується за формулою :

$$E_e = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{abs}}{ЗВ}} - 1, \quad (6.17)$$

де  $T_{ж}$  – життєвий цикл наукової розробки,  $T_{ж} = 3$  роки.

Підставивши чисельні значення в формулу (6.17), отримуємо:

$$E_e = \sqrt[3]{1 + \frac{3652985,5}{208053,5}} - 1 = 1,64 \approx 164\%$$

Отже, відносна (щорічна) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій становить приблизно 164%.

Далі відносна ефективність вкладених інвестицій порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування  $\tau_{min}$ , яка визначається як:



$$\tau_{min} = d + f, \quad (6.18)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках,  $d = 0,14$ ;  $f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень,  $f = 0,05$ .

Обчислимо мінімальну ставку дисконтування за виразом (6.18):

$$\tau_{min} = 0,14 + 0,05 = 0,19.$$

Оскільки  $E_e = 164\% > \tau_{min} = 19\%$ , то інвестори можуть бути зацікавленими у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій  $T_{ок}$  за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e}. \quad (6.19)$$

Підставивши значення у вираз (6.19), маємо:

$$T_{ок} = \frac{1}{1,64} = 0,61 \text{ року}$$

Оскільки термін окупності приблизно складає сім з половиною місяців та знаходиться в оптимальних межах (до п'яти років), то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

## 6.5 Висновки по розділу

1. Оцінено комерційний потенціал розробки, рівень якого є вище середнього, що свідчить про доцільність ймовірного впровадження розробки та отримання прибутку від її використання.

2. Розраховано витрати на виконання наукової роботи та впровадження її результатів. Сума всіх статей витрат складає 59633,51 грн, до яких входять

витрати на: основну заробітну плату розробників – 14693,38 грн; заробітну плату робітників – 1950,9 грн; додаткову ЗП – 1664,43 грн; нарахування на ЗП – 4027,92 грн; амортизація обладнання – 2242,5 грн; витрати на силову електроенергію – 1354,32 грн; інші витрати – 33288,56 грн. Загальна вартість всієї наукової роботи складає 41610,7 грн, а прогнозовані витрати на виконання та можливе впровадження результатів даної роботи можуть скласти приблизно 208053,5 грн.

3. Розраховано комерційні ефекти від реалізації результатів розробки. Позитивні результати від провадження розробки очікуються протягом трьох років після впровадження. Збільшення чистого прибутку протягом 1-го року складає – 673200 грн, протягом 2-го року – 1540200 грн, протягом 3 – го року – 3129700 грн.

4. Розраховано ефективність вкладених інвестицій та період їх окупності. Абсолютна ефективність вкладених інвестицій  $E_{\text{абс}} > 0$ , свідчить про те, що впровадження наукових досліджень принесе прибуток, а розрахована відносна (щорічна) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_{\text{в}}$  порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування  $\tau_{\text{мін}}$ , так як  $E_{\text{в}} > \tau_{\text{мін}}$ , то потенційний інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій  $T_{\text{ок}} = 0,61$  року, звідси  $T_{\text{ок}} < 3 \dots 5$  років, що свідчить про доцільність фінансування даної наукової розробки.

## ВИСНОВКИ

В першому розділі було проаналізовано відомі методи польових досліджень ґрунтів. Серед усіх методів найбільш перспективним є ударно-вібраційне зондування. Основна маса типового обладнання яке використовується для цього типу дослідження ґрунтів являється застарілою а також з досить складною конструкцією. Лише незначна їх частина дозволяє забезпечити широкий спектр виконуваних робіт та підтримувати ефективність на належному рівні.

В другому розділі було проаналізовано будову, конструктивні особливості та принципи роботи раніше розробленого навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів.

В третьому розділі була описана розроблена принципової схема навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів, описано його принцип роботи, а також приведені теоретичне обґрунтування розробки даного типу обладнання саме з гідроімпульсним приводом.

В четвертому розділі приведена математична модель процесу УВЗ ґрунтів, основні залежності яких, як показало порівняння, не суперечать практиці. Швидкість УВЗ прямо пропорційна квадрату швидкості удару і обернено пропорційна опору ґрунту. Також були сформувані залежності діаметру зонду на механічну швидкість зондування а також ступеня заглиблення наконечника в ґрунт на швидкість зондування.

В п'ятому розділі були забезпечені заходи щодо охорони праці, а саме проведено аналіз умов праці, технічно-організаційні рішення щодо безпеки праці, заходи щодо техніки безпеки, пожежної безпеки та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Також було проведено розрахунок режимів радіаційного захисту працівників, в разі виникнення надзвичайної ситуації пов'язаної із радіоактивним забрудненням.

В шостому розділі була виконана оцінка комерційного потенціалу розробки, рівень якої є вище середнього, що свідчить про доцільність ймовірного впровадження розробки та отримання прибутку від її використання. Розраховано витрати на виконання наукової роботи та впровадження її результатів. Розраховано комерційні ефекти від реалізації результатів розробки. Позитивні результати від провадження розробки очікуються протягом трьох років після впровадження. Збільшення чистого прибутку протягом 1-го року складає – 673200 грн, протягом 2-го року – 1540200 грн, протягом 3 – го року – 3129700 грн. Розраховано ефективність вкладених інвестицій та період їх окупності. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій  $T_{ок} = 0,61$  року, звідси  $T_{ок} < 3 \dots 5$  років, що свідчить про доцільність фінансування даної наукової розробки.

ВНТУ  
Львівське машинобудування

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Швець В. Б. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: Підручник / В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, О.В. Солодянкін, В.Г. Шаповал, О.М. Шашенко, С.В. Біда. – Дніпропетровськ: «Пороги», 2014. – 231 с.
2. Тихоненко Д. Г. Ґрунтознавство: Підручник / Д. Г. Тихоненко, М. О. Горін, М. І. Лактіонов та ін. // К.: Вища освіта, 2005. – 703 с.
3. Ратушняк Г. С. Інженерні вишукування. Навчальний посібник. / Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич, О. Г. Лялюк // Вінниця: ВНТУ, 2009 – 150 с.
4. Алексеев В. М. Полевые методы исследования механических свойств грунтов: учеб. пособие / В.М. Алексеев, П.И. Калугин; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т.- Воронеж, 2011. - 112 с.
5. Бауман В. А. – Вибрационные машины и процессы в строительстве: Учебное пособие для студентов строительных и автомобильно-дорожных вузов / В. А. Бауман, И. И. Быховский // М. “Высш. школа”. – 1977. – 255 с.
6. Ребрик Б.М. – Ударно-вибрационное зондирование грунтов / Б.М. Ребрик, В.Ф. Вишневский // М.: “Стройиздат”. – 1979. – 88 с.
7. Калинин А. Г. Разведочное бурение: Учеб. для вузов / А. Г. Калинин, О. В. Ошкордин, В. М. Питерский, Н. В. Соловьев // М.: ООО “Недра-Бизнесцентр”. – 2000. – 748 с.
8. Соловьев Н. В. Бурение разведочных скважин. Учеб. для вузов / Н.В. Соловьев, В.В. Кривошеев, Д.Н. Башкатов и др. // М.: Высш. Школа. – 2007. – 904 с.
9. Трофименков Ю. Г. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов / Ю. Г. Трофименков, Л. Н. Воробков // М. Стройиздат. – 1981. – 215 с.
10. ДСТУ Б В.2.1-9-2002 (ГОСТ 19912-2001) ҐРУНТИ Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням // Державний комітет України з будівництва та архітектури. – Київ, 2002.
11. Искович-Лотоцкий Р. Д. – Машины вибрационного и вибоударного действия / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. Б. Матвеев, В. А. Крат // Київ, “Техніка”. – 1982. – 207 с.

12. Иванов М. Е. – Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин / М. Е. Иванов, И. Б. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий, В. А. Пишенин, И.В. Коц // М., “Машиностроение”. – 1977. – 174 с.

13. Матвеев И.Б. Гидропривод машин ударного и виброударного действия / И.Б. Матвеев // М. – Машиностроение, 1974, 184 с.

14. Іскович – Лотоцький Р.Д. / Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій. Монографія. // Р.Д. Іскович – Лотоцький, Р.Р. Обертюх, І.В. Севостьянов // Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 206 -291 с.

15. Іскович – Лотоцький Р.Д. / Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин: Монографія. // Р.Д. Іскович – Лотоцький, Р.Р. Обертюх, М.Р. Архипчук // Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 171 с.

16. Кобилянський О.В. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей / О.В. Кобилянський, О.П. Терещенко // Вінниця: ВНТУ, 2003. – 46 с.

17. Сакевич В.Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах / В.Ф. Сакевич, М.А. Томчук // Вінниця: ВНТУ, 2008. – 141 с.

18. Сакевич, В. Ф. Цивільна оборона. Теоретичні основи : навчальний посібник / В. Ф. Сакевич, О. В. Поліщук // Вінниця : ВНТУ, 2010. – 126 с.  
Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / уклад. В. О. Козловський. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

19. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / В.О. Козловський // Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

20. Підвищення ефективності процесу зондування ґрунтів при використанні навісного обладнання з гідроімпульсним приводом / Є. І. Івашко, М. М. Кушнір // Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020): матеріали тез доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції. – Вінниця: ВНТУ, 2020.

# ВНТУ Галузеве машинобудування

ДОДАТКИ

## Додаток А

Вінницький національний технічний університет

Затверджую  
Завідувач кафедри ГМ  
д.т.н., проф. Л.К. Поліщук

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗОНДУВАННЯ ҐРУНТІВ ПРИ  
ВИКОРИСТАННІ НАВІСНОГО ОБЛАДНАННЯ З  
ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ**

08-27.МКР.005.00.000 ПЗ

Керівник роботи:

д.т.н., професор кафедри ГМ

Іскович-Лотоцький Р.Д.

Розробив: ст. гр. ІГМ-18м

Кушнір М.М.

Вінниця 2019



## 1 Найменування і область застосування

Найменування - навісне обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів.

## 2 Підстава для виконання роботи

Підставою для розробки даної магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) є індивідуальне завдання на МКР та наказ ректора по ВНТУ про закріплення тем та керівників МКР.

## 3 Мета і призначення дослідження

Метою є створення нової конструкції навісного обладнання для зондування ґрунтів з використанням гідроімпульсного привода. Призначення розробки – підвищення ефективності процесі зондування ґрунтів та інтенсифікація ряду додаткових робіт, що розширює сферу застосування даної розробки, а відповідно і підвищує її конкурентоспроможність.

## 4 Джерела розробки

Список використаних джерел розробки

4.1 Иванов М.Е. Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин / М.Е. Иванов, И.Б. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий, В.А. Пишенин, И.В. Край // М., “Машиностроение”. – 1977. – 174 с.

4.2 Матвеев И.Б. Гидропривод машин ударного и виброударного действия / И.Б. Матвеев // М. – Машиностроение, 1974, 184 с.

4.3 Искович-Лотоцкий Р.Д. Машинны вибрационного и виброударного действи / Р.Д. Искович-Лотоцкий, И.Б. Матвеев, В.А. Край // К.: Техника, 1982. – 208 с.

4.4 Искович-Лотоцкий Р.Д. / Р.Д. Искович-Лотоцкий, Р.Р. Обертюх, М.Р. Обертюх // Генераторы импульсов тиску для технологических машин з гідроімпульсним приводом // Вибрации в технике и технологиях – 1998 – №2 (6) – С. 84 – 87.

4.5 Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика: Справ. Пособие. М.: Машиностроение, 1971. – 345 с.

4.6 Вибрації в техніці: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). — М.: Машиностроение, 1981.— Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. 509 с, ил.

## 5 Вихідні дані для розробки пристрою:

- 1) Номінальний тиск роботи пристрою – 12,5 МПа;
- 2) Номінальна подача гідронасоса –  $9,3 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с;
- 3) Орієнтований діапазон регулювання амплітуди –  $(1 \dots 5) \cdot 10^{-3}$  м;
- 4) Область зондування – піщані та глинясті ґрунти;
- 5) Номінальна глибина зондування – 15-20 м.

### 5.1 Технічні вимоги

- регулювання органів управління – безступінчасте;
- вимоги монтажної придатності до продукції – поставка в зібраному вигляді;
- маса продукції – до 5 кг;
- захист від вологи, шкідливих випаровувань та корозії, здійснюється за рахунок герметичності та покриттів;
- деталі, вузли віброзбуджувача, повинні виготовлятися з матеріалів стійких до дії миючих засобів, мастила;
- одиничний вид виробництва деталей, запасні частини не передбачаються.

### 5.2 Вимоги до надійності:

довговічність – не менше 6 тис. год; безвідмовність – напрацювання на відмову – 1 тис. год; збереженість – повинна забезпечуватися працездатність установки в режимі очікування, роботи, консервації; ремонтпридатність – компоновочне рішення установки повинно бути таким, що забезпечує легкодоступність до деталей, які вірогідно можуть мати найменший термін служби та відносно простий їх ремонт.

5.3 Вимоги до технологічності розробки, виробництва і експлуатації - конструкція деталей установки повинна бути такою, щоб забезпечувати їх виготовлення без застосування спеціального обладнання і устаткування.

5.4 Вимоги до рівня уніфікації і стандартизації, вимоги до використання стандартних, уніфікованих і запозичених складальних одиниць і деталей при розробці, показники рівня уніфікації – по можливості під час розробки конструкції установки використовувати уніфіковані деталі і стандартні вироби.

5.5 Вимоги безпеки життєдіяльності – забезпечується безпека під час монтажу, і ремонті. Допустимі рівні вібраційних і шумових навантажень, допустимі випаровування робочої рідини у відповідності з санітарними нормами. Повинні бути розроблені заходи, що забезпечують технічну безпеку під час монтажу, експлуатації і ремонті установки.

5.6 Конструкція повинна відповідати естетичним і ергономічним вимогам, повинна бути зручною в обслуговуванні і управлінні.

5.7 Матеріали, що використовуються для деталей установки слід вибирати відповідно до рекомендацій, що застосовують під час виготовлення контрольно-розподільної гідроапаратури.

5.8 Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і ремонту:

- умови експлуатації, при яких повинно забезпечуватися використання продукції з заданими технічними показниками – продукція призначена для використання у середньоширотних кліматичних умовах;
- час підготовки продукції до використання після транспортування і зберігання – 1 рік;
- вид обслуговування періодичний;

- періодичність і орієнтовна трудомісткість технічного обслуговування і ремонту – 4 дні (один раз в три місяці);

#### 5.9 Вимоги по транспортуванню і збереженню

- можливість транспортування на будь-якому виді транспортних засобів;

- захист від ударів під час завантаження і розвантаження;

- зберігання на складі готової продукції;

- зберігання у законсервованому вигляді;

- складування на стелажах.

#### 6 Економічні показники:

- орієнтований термін окупності витрат на розробку – менше одного року;

- освоєння виробництва продукції;

- економічна перевага розробленої продукції у порівнянні з кращими зразками.

7 Виконавці НДР: студент спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» Куцир Максим Михайлович.

#### 8 Етапи НДР і терміни їх виконання:

- огляд відомих методів польових досліджень ґрунтів;

- аналіз розроблених принципових схем навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів;

- розробка та обґрунтування нової принципової схеми навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для зондування ґрунтів;

- розробка математичної моделі процесу зондування ґрунтів;

- розробка методики експериментального дослідження установки;

- техніко-економічне обґрунтування розробки;

- охорона праці та захист у надзвичайних ситуаціях;

- висновки;

- оформлення текстових документацій та ілюстративних матеріалів для захисту МКР.

#### 9 Порядок контролю і прийомки

- попередній захист МКР;

- захист МКР.

Додаток Б — Ілюстративна частина

ВНТУ Галузево-машинобудування

# Методи досліджень ґрунтів

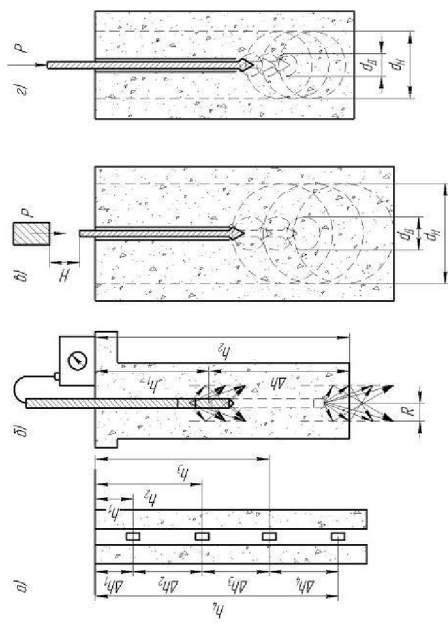


Рисунок 1 – Схеми методів вивчення ґрунтів: а – прохід свердловини з відбором зразків; б – радіоактивний каротаж; в – динамічне зондування; г – статичне зондування

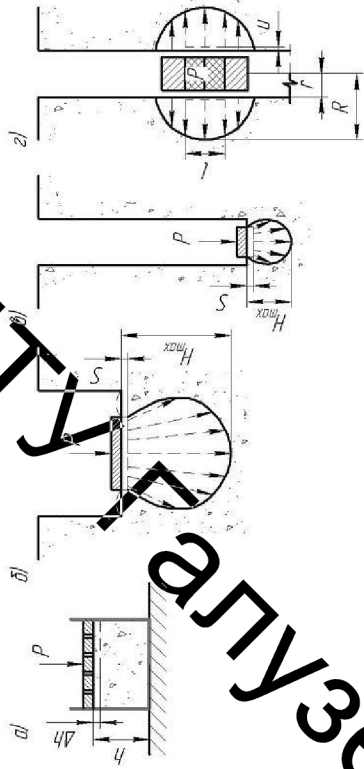


Рисунок 2 – Схеми випробувань ґрунтів на стиск: а – компресійне випробування (в лабораторії); б і в – випробування статичними навантаженнями на штамп, встановлений відповідно в шурфі і в свердловині; г – випробування пресомером в свердловині

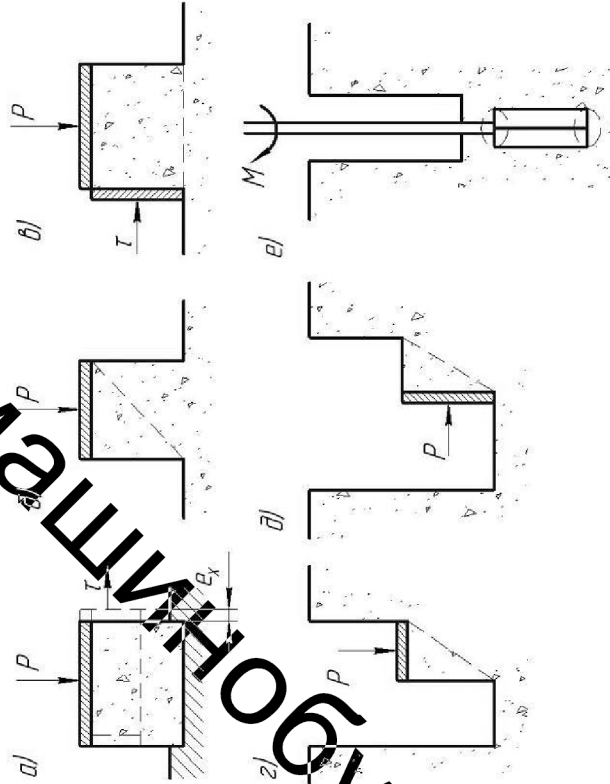
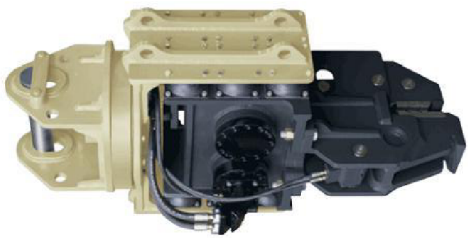
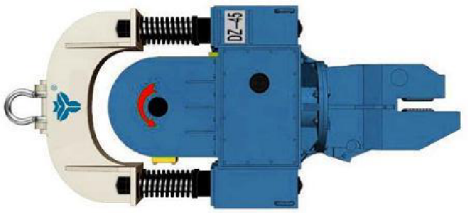


Рисунок 3 – Схеми випробувань ґрунтів на зсув: а – в зсувному приладі (в лабораторії); б – розтачування призми ґрунту; в – зсув навантаженням цилінка ґрунту по заданій площині; г – одбалення призми ґрунту; д – видавлення (випинання) призми ґрунту; е – зсув по заданій площині лопатеvim приладом в свердловині (обертальний зріз)

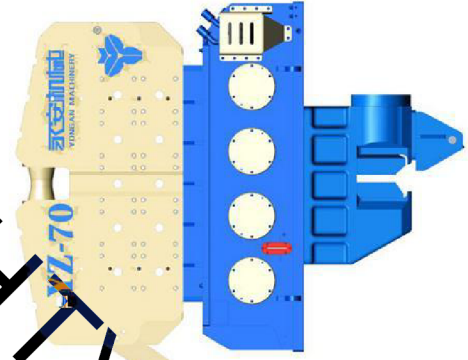
КОНСТРУКЦІЇ ІСНЮЮЧИХ ТИПІВ НАВІСНОГО ОБЛАДОУВАННЯ



Гідравлічний вібратор  
Hyunseo HVH 08



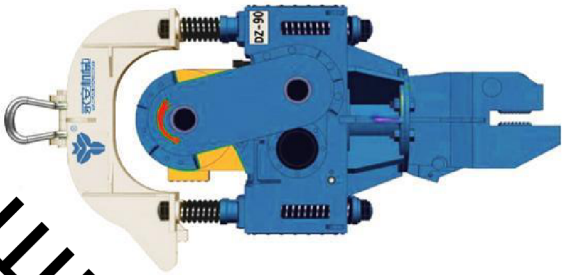
Електричний вібратор  
Yongan Machinery DZ-45



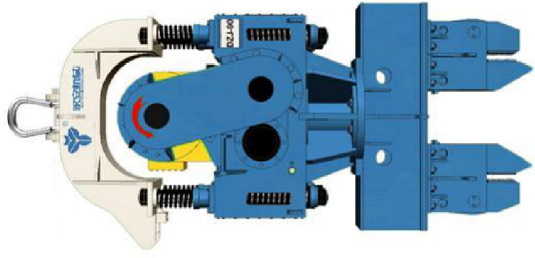
Гідравлічний вібратор  
Yongan Machinery YZ-70



Гідравлічний вібратор  
Daedong DPD350



Електричний вібратор  
Yongan Machinery DZ-90



Електричний вібратор  
Yongan Machinery DZJ-90

Галузь Машинобудування



# Інструменти для зондування ЯДР пшеничного динамічного ударно-вібраційного зондування

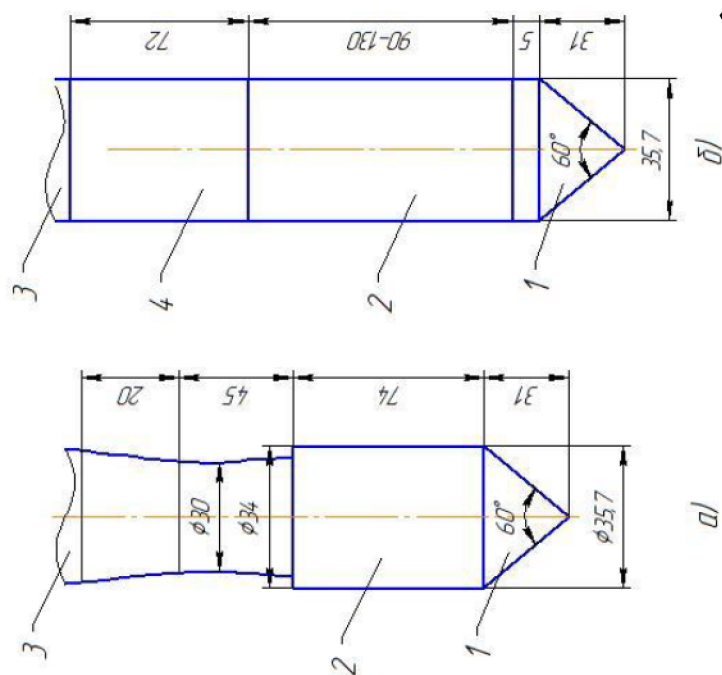


Рисунок 1 – Інструмент для статичного зондування

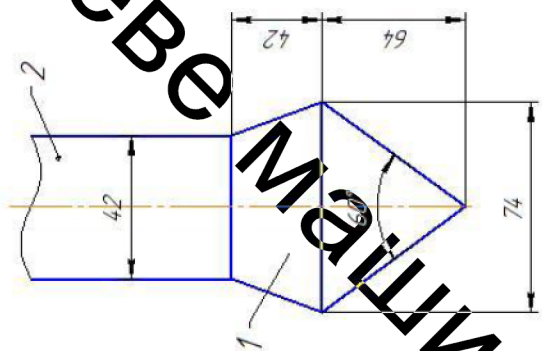


Рисунок 2 – Інструмент для динамічного зондування

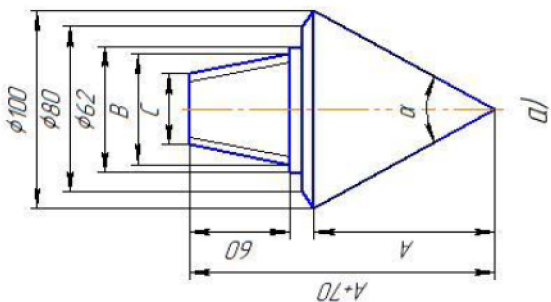


Рисунок 3 – Інструмент для ударно-вібраційного зондування

АНАЛІЗ ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ РОЗРОБЛЕНОГО НАВІСНОГО  
 ОБОДНАННЯ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВ'ЯДОМ

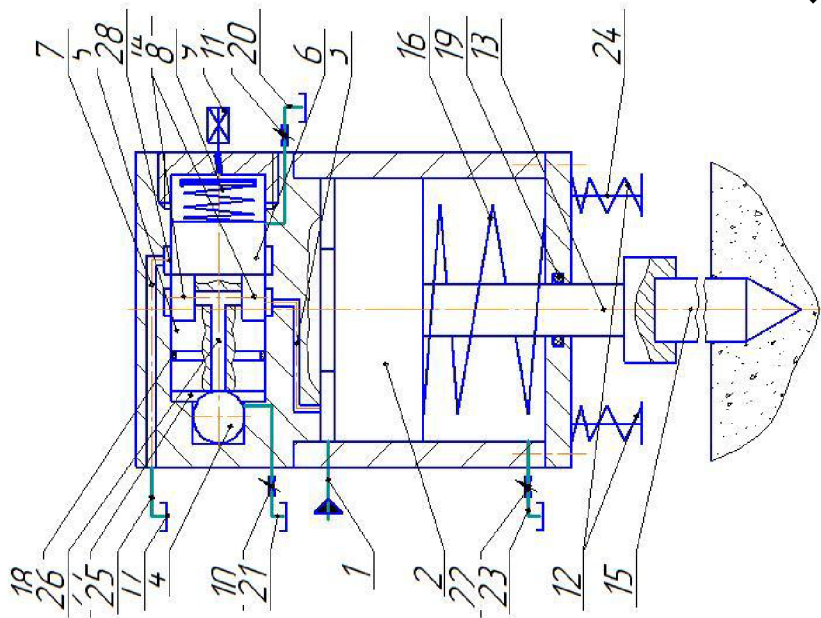


Рисунок 1 – з будованим  
 відрозбуджувачем

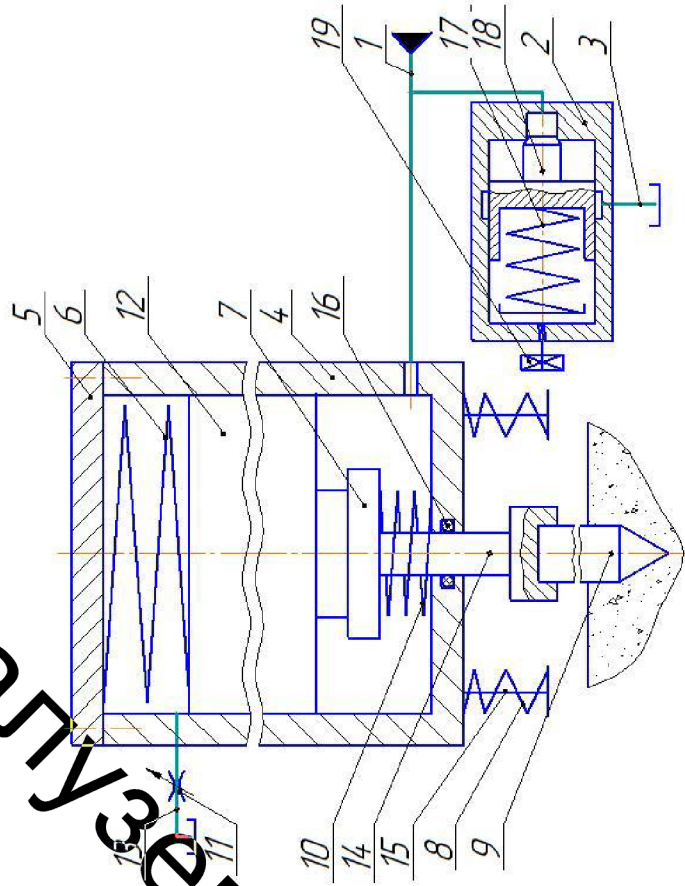


Рисунок 2 – з однокаскадним  
 відрозбуджувачем

КАТАЛОГ ВІСНОВКІВ МАШИНОБУДУВАННЯ



Аналіз принципів схем розробленої надійного обладнання з гідроімпульсним приводом

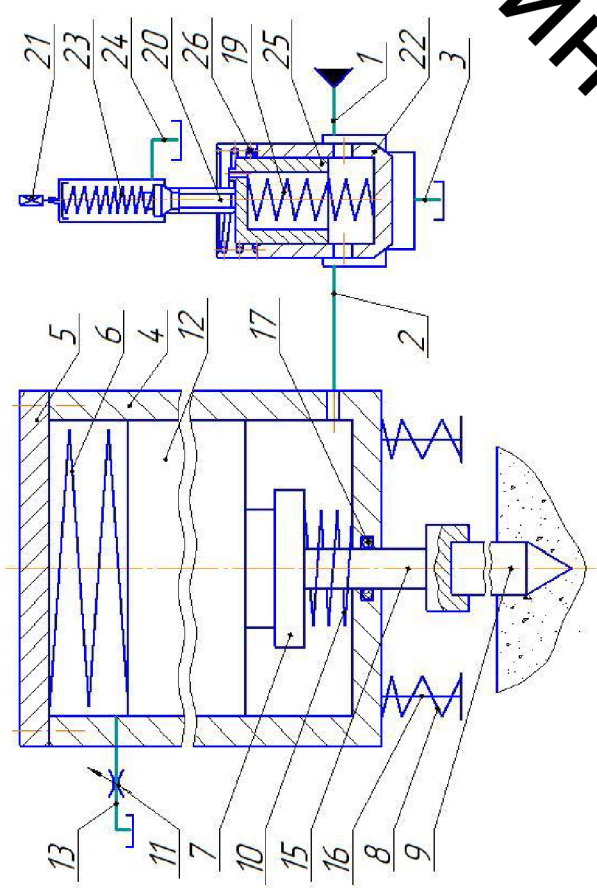


Рисунок 1 – 3 двоступінчастим вібробудувачем

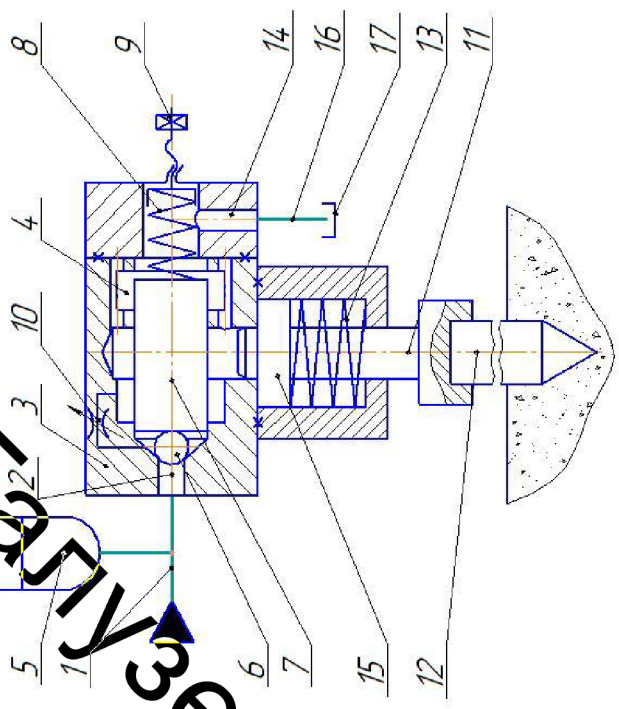
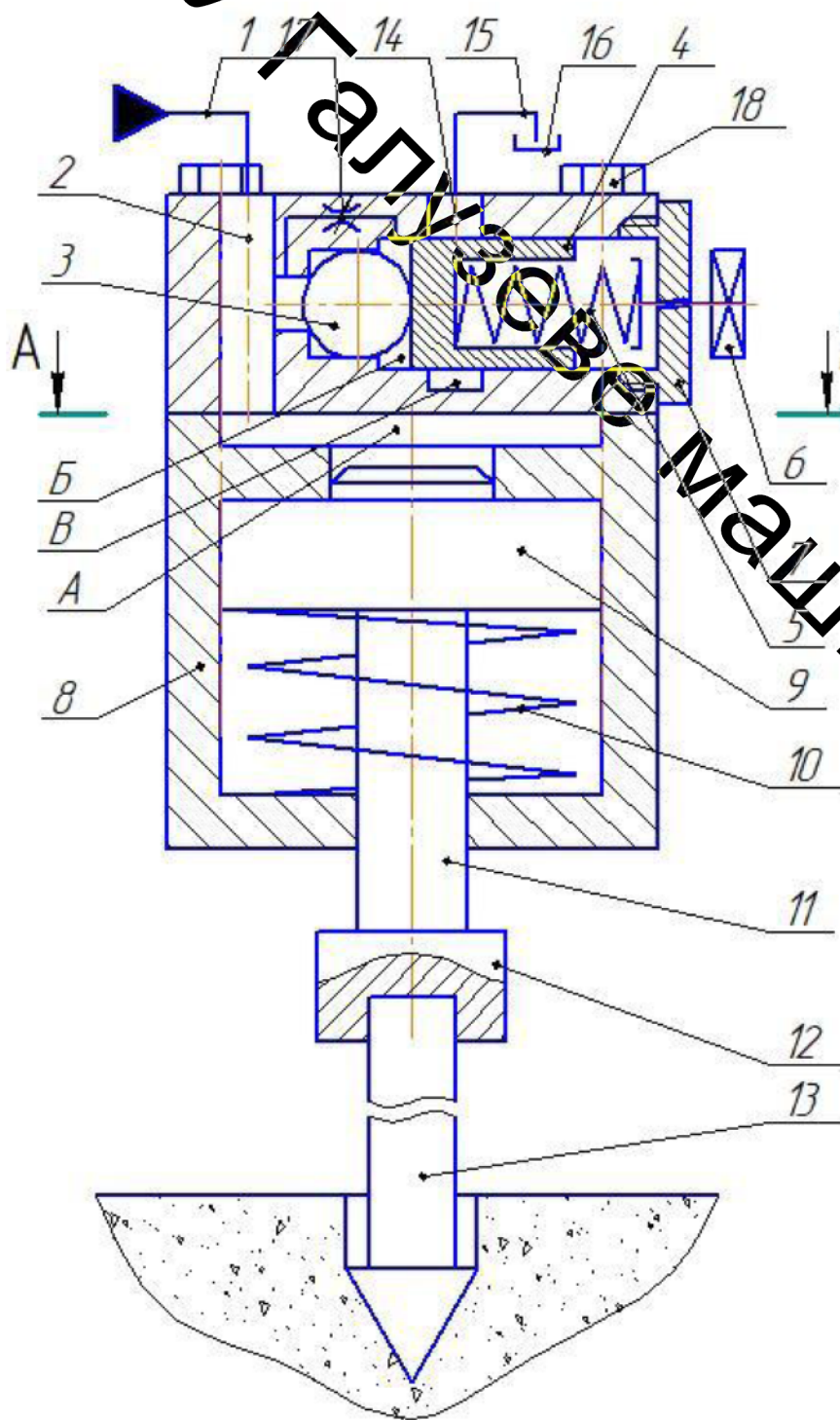


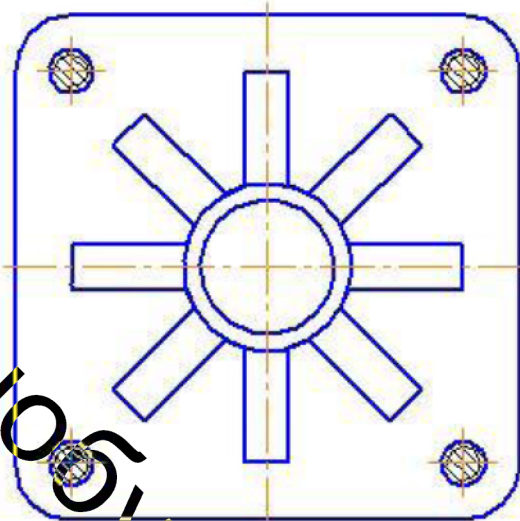
Рисунок 2 – 3 гідроаккумулятором та вбудованим вібробудувачем

Курсове машинно-обладнання

Принципова схема розробленого  
навісного обладнання  
з гідроімпульсним приводом  
для зондування ґрунтів



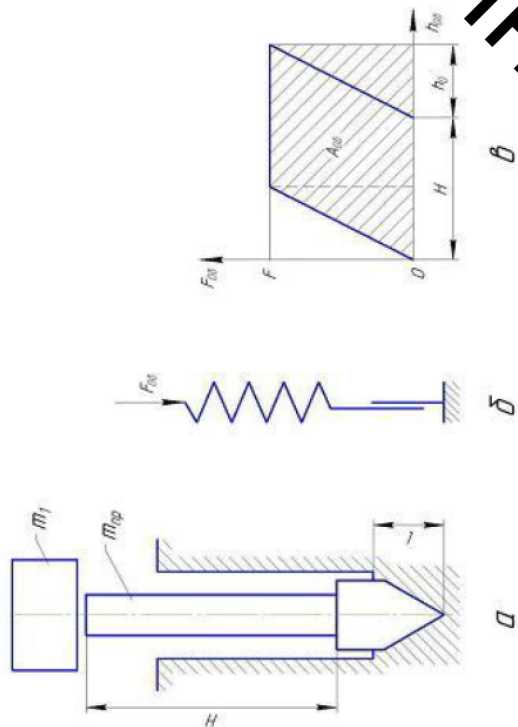
A-A (1:2)





# Математична модель процесу зондування ґрунтів

По жорсткому зондувальному інструменту, який знаходиться в ґрунті з масою  $m$ , наносяться удари ударником, який має масу  $m_1$ . Під впливом удару інструмент накопичує запас кінетичної енергії, яка витрачається на подолання опорів ґрунту. Іншими словами, для вирішення зазначеного завдання залучається теорема про зміну кінетичної енергії твердого тіла.



$a$  – схема зондування,  $b$  – пружно-пластична модель ґрунту;  
 $c$  – діаграма навантаження-деформації

Рисунок 1.1 – Найпростіша динамічна модель зондування

Введем ряд припущень:

1. Удар відбувається миттєво, тому зміна швидкості ударної швидкості визначається коефіцієнтом  $R$ .
2. Зв'язок між ударної масою і наголовником відсутня.
3. Середня швидкість ударної частини в момент удару і число ударів передбачаються відношеннями.
4. Зондувальний наконечник представляється у вигляді гладкої труби.

5. ґрунт моделюється пружно-пластичним середовищем, в якому спочатку долаються пружні, а потім пластичні опори; пружні деформації після кожного удару відновлюються, а залишкові (пластичні) не відновлюються; їх накопичення і забезпечує загартування наконечника в ґрунт.

6. Енергія пружних деформацій повністю розсіюється.

7. Після кожного наступним ударом ковалдо (наголовник) знаходиться в спокої.

8. Процес зондування представляється як накопичення залишкових деформацій ґрунту від кожного удару.

Очевидно, що при відомій величині занурення інструменту за один удар  $h$  та числу ударів в одиницю часу  $n$ , швидкість  $v_0$  занурення наконечника (зонда) визначається за формулою

$$v_0 = n \cdot h \quad (1.1)$$

Отже, завдання полягає в знаходженні величини  $h$ . На основі вищесказаних представлень може бути записана наступна енергетична рівність:

$$A_{\text{кв}} = A_y + A_z \quad (1.2)$$

де  $A_{\text{кв}}$  – запас кінетичної енергії, отриманої інструментом після удару;  $A_y$  – робота, витрачена на подолання пружних опорів ґрунту;  $A_z$  – робота, витрачена на остаточне переміщення наконечника.

$$A_{\text{кв}} = \frac{mv_0^2}{2}, \quad (1.3)$$

де  $v_0$  – початкова швидкість руху інструменту.

$$A_y = h_0 \frac{F}{2}, \quad (1.4)$$

де  $F$  – сумарна сила опору ґрунту;  $h_0$  – величина пружних деформацій ґрунту.

$$A_s = hF, \quad (1.5)$$

де  $h$  – величина залишкових деформацій ґрунту.

Після підстановки виразів (1.3), (1.4) в (1.2) отримаємо

$$\frac{m v_y^2}{2} = h_0 \frac{F}{2} + hF. \quad (1.6)$$

Вираз (1.6) справедливий тільки для випадку, коли енергії удару достатня для впровадження зонду в ґрунт. При відсутності занурення другий член правої частини виразу (1.6) буде дорівнює нулю, сила  $F$  може розглядатися як сума бічного  $F_b$  і торцевого  $F_m$  опору

$$F = F_b + F_m = f_s S_b + R_m S_m, \quad (1.7)$$

де  $f_s$  – питомий опір ґрунту по бічній поверхні;  $S_b$  – площа контакту інструменту з ґрунтом по бічній поверхні;  $R_m$  – питомий опір ґрунту по торцевій поверхні;  $S_m$  – площа торцевої поверхні інструменту.

Після підстановки і перетворень отримаємо такий вираз для величини залишкового переміщення інструменту за один удар:

$$h = \frac{m v_y^2}{2(f_s S_b + R_m S_m)} \frac{h_0}{1+K}. \quad (1.8)$$

З класичної теорії удару швидкість руху тіла після зіткнення може бути визначена за формулою

$$v_y = \sqrt{2 g h_0}, \quad (1.9)$$

де  $v_y$  – швидкість руху ударної маси в момент удару;  $R$  – коефіцієнт відновлення швидкості удару;  $m_{op}$  – приведена маса інструменту (з урахуванням маси ґрунту, що сприймає удар).

Тоді вираз (1.8) набуде вигляду

$$h = \frac{m v_y^2}{2} \left( \frac{1+R}{1+\frac{m_{op}}{m_1}} \right) \frac{1}{f_s S_b + R_m S_m} \frac{h_0}{2}. \quad (1.10)$$

У формулу (1.10) входить приведена маса інструменту  $m_{op}$ . Мабуть, величина проросту маси інструменту залежить від площі зчеплення ґрунту з буровим наконечником і коефіцієнтом зчеплення. При зануренні палі ударно-вібраційними машинами коефіцієнт збільшення маси палі приймається від 1 до 2 залежно від властивостей порід. Оскільки зонд має малу довжину в порівнянні з бурильною колоною, можна прийняти цей коефіцієнт рівним 1,2 і вважати його постійним для всіх різновидів ґрунтів.

Швидкість удару різних вільно падаючих ударників визначається за формулою

$$v_y = \sqrt{2 g h_0}, \quad (1.11)$$

де  $h_0$  – висота падіння ударника.

Дійсний (на відміну від наведеного) коефіцієнт відновлення швидкості  $R$  для удару загартованої сталі може бути прийнятий рівним 0,3-0,5. Значення параметрів  $f_s$  і  $R_m$  в орієнтовних розрахунках можуть бути прийняті рівними нормативним опорам ґрунту у основ і по бічній поверхні палі. Площа торцевого опору  $S_m$  в формулі (10) визначається як площа торця наконечника, а бічна площа  $S_b$  – як сума площ контакту зонда з породою (по зовнішній і внутрішній поверхнях наконечника).



# Математична модель процесу зондування свердловин

Формула (1.10) введена для випадку абсолютно жорсткого бурильного стрижня. Однак у міру збільшення глибини свердловини довжина бурильних труб  $H$  його вплив на швидкість заглиблення буде збільшуватися, а внаслідок пружних деформацій системи вона буде збільшуватися. Отже, в формулу (1.10) слід ввести коефіцієнт, що враховує збільшення втрат енергії на пружні деформації колони бурильних труб при збільшенні глибини свердловини. Очевидно, що цей коефіцієнт буде прямо пропорційний максимальній силі, що виникає між молотом і буровим інструментом в момент удару. Простий розрахунок показує, що при дуже жорстких обмеженнях  $P_{max}$ , а отже, і максимальна деформація ґрунту під низьким торцем бурового снаряда обернено пропорційні  $\sqrt{H}$ . Таким чином, зменшення величини занурення наконечника за удар буде обернено пропорційна  $\sqrt{H}$ . Оскільки діаметр бурильних труб в процесі зондування не змінюється, його вплив не розглядається. Приймемо, що при  $H=1$ ,  $K_v=1$ , тобто вважатимемо, що стрижень довжиною  $1$  м є абсолютно непружним. Відношення  $P_{max}$  при  $H > 1$  до  $P_{max}$  при  $H=1$  дасть значення безрозмірного коефіцієнта, який слід ввести в формулу (1.10).

$$K_v = \frac{1}{\sqrt{H}} \quad (1.12)$$

Коефіцієнт  $K_v$ , введений з метою спрощення розрахункових формул  $S_{z0}$  другого каяучи, в даному випадку користуватися класичною теорією удару з поняттям коефіцієнта відновлення швидкості не можна. Більш правдоподібний підхід з використанням явлень хвильової теорії і розглядом системи бурильних труб які мають нескінченно багато ступенів вільності, тобто системи з розподіленими параметрами. У той же час слід зазначити, що при довшині бурильної колони  $10-15$  м вплив хвильових ефектів буде мізерним, і навіть без ризику допустити грубої помилку можна знехтувати.

$$K_v = K_v \left( \frac{1+R}{1+m_1} \frac{m_1 v_0^2}{2 f_v S_0 + R_v S_m} - \frac{h_0}{2} \right) \quad (1.13)$$

і для швидкості зондування

$$v_0 = K_v n_1 \left( \frac{1+R}{1+m_1} \frac{m_1 v_0^2}{2 f_v S_0 + R_v S_m} - \frac{h_0 n_1}{2} \right) \quad (1.14)$$

В формулі (1.14)

$$S_0 = \pi(D+d)k_1 k_2, \quad (1.15)$$

де  $D$  і  $d$  – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри наконечника,  $l$  – величина заглиблення наконечника в ґрунт,  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує наявність прорізи в зонді,  $k_2$  – коефіцієнт, що враховує наявність випусків по зовнішньому і внутрішньому діаметрам.

Формули (1.13) і (1.14) дозволяють встановити закономірності впливу основних параметрів вібромолота, бурового інструменту і ґрунту на величину заглиблення зондів в ґрунт за один удар, тобто на швидкість ударно-вібраційного зондування.