

Хмельницький національний університет
 Факультет: Інженерії, транспорту та архітектури
 Кафедра: Технології машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти магістра

«Обґрунтування параметрів вібраційної машини для зміни властивостей
 води з оптимізацією конструктивних елементів привода»
Назва роботи

Рівень вищої освіти: другий (магістр)

Галузь знань: 15 Механіка інженерія

Назва спеціальності

Спеціальність: 151 Прикладна механіка

Назва спеціальності

Спеціалізація: Технології машинобудування

Назва

Освітня програма: Технології машинобудування

Назва

Шифр: 18002

Виконав студент Дарчук Ірина ІПМГ-22-1

Шифр

Керівник: д.т.н., професор

Григорук Євген, механік

Нормоконтролер:

Державного департаменту

Завідуючий кафедрою технологій
 машинобудування

Назва

Дата:

Хмельницький 2023

Завідувачу кафедри
Технології машинобудування
Віталію ТКАЧУКУ
здобувача вищої освіти
Олександра МОРОЗА,
факультету інженерії, транспорту та
архітектури, 2 курсу гр. ПМТм-22-1

здобувача вищої освіти (студента
ПІБ, факультет, «курс», «група»)

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на академічний плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

_____ дата

 _____ підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатами звіту/звітів подібності щодо роботи, продукованими програмно-технічним засобом (ами) перевірки текстів на плагіат:
 Назва кваліфікаційної роботи: «Обґрунтування параметрів вібраційної машини для зміни властивостей води з оптимізацією конструктивних елементів приводу»

Автор: Олександр МОРОЗ
 Освітня програма: 131. Прикладна механіка
 Спеціальність: Технології машинобудування
 Науковий керівник: Анатолій ГОРДССВ

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

| № | Висновок | Позначка про відповідність |
|---|---|---|
| 1 | Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту. | Текст вважається оригінальним та не потребує додаткових дій щодо запобігання неправомірним запозиченням. Передається на розгляд Експертної ради кафедри |

Підтвердження:

.....

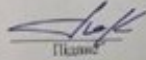
.....

.....

.....


Дата

Завідувач кафедри


Підпис

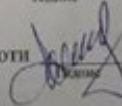
Віталій ТКАЧУК
Ім'я, прізвище

Гарант освітньої програми


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, прізвище

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Анатолій ГОРДССВ
Ім'я, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Мороз Олександр Романович на захист дипломного проєкту (роботи)
(прізвище, ім'я, по батькові)
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Обґрунтування параметрів вібраційної машини для зміни властивостей води з оптимізацією конструктивних елементів приводу

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету

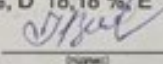


**ВІКТОР
ОЛЕКСАНДРЕНКО**
(і.п.п., прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Мороз О. Р. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2022 по 2022 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 86,67 %, задовільно 33,33 %, шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 18,18 %, С 45,45 %, D 18,18 %, E 18,18 %.

Методист факультету




ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБґРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Мороз О.М. кризовий до виконання роботи
об'єктом що виконав у встановлений термін.
За період роботи над матеріалом кожний
додаток виконав зусилля

Оцінка дипломного проєкту (роботи) добре

Керівник дипломного проєкту



Горбач А.У.
(і.п.п., прізвище)

20 . 12 2023 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Мороз О. Р. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

Мельничук

(і.п.п.)

2023 р.

(підпис, і.п.п., прізвище)

РЕЦЕНЗІЯ

на магістерську роботу Мороза О. Р. «Обґрунтування параметрів вібраційної машини для зміни властивостей води з оптимізацією конструктивних елементів приводу»

Тема магістерської роботи Мороза О. Р. є інженерно цікавою і актуальною для сучасного виробництва. Робота скерована на створення вібраційної машини для зміни властивостей води з оптимізацією конструктивних елементів приводу.

В загальному розділі виконано аналіз стану питання і постановка задачі досліджень. В другому розділі розглянуті теоретичні основи процесу виникнення гідрокавітації. В третьому розділі описана конструкція експериментальної установки та наведено результати проведення досліджень. В четвертому розділі приведена методика розрахунку та проектування робочого органу устаткування.

В технологічному розділі виконано розрахунки собівартості заготовки, визначено припуски, режими різання, норми часу.

В конструкторському розділі наведено опис конструкції та роботи вібраційної установки, виконано розрахунки верстатного пристрою для свердлування отворів.

Графічна частина виконана на доброму рівні з використанням комп'ютерного просторового проектування і дає повне уявлення про предмет розробки. Креслення та пояснювальна записка відповідають вимогам ДСТУ.

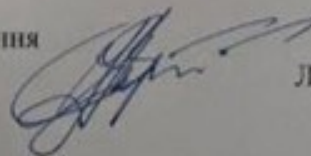
За матеріалами досліджень опубліковані тези.

По роботі є зауваження:

1. У загальних висновках було би доцільно ширше окреслити напрями, де можливо застосування спроектованої вібраційної машини та кавітаційного впливу на якість води.

Виходячи з результатів, які містяться в магістерській роботі та виконанні її на високому технічному рівні, який відповідає вимогам до магістерських праць, робота рекомендується до захисту, а здобувач Мороз О. Р. заслуговує присудження ступеня магістра за спеціальністю 131 - Прикладна механіка.

Доцент каф. галузевого машинобудування
та агроінженерії, к.т.н., доцент



Лук'янюк М. В.

Хмельницький національний університет
факультет Інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра Технології машинобудування

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Шифр і назва

Освітня програма Технології машинобудування

Спеціалізація Технології машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
технології машинобудування
_____ . _____ . 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

Морозу О. Р.

Тема роботи: «Обґрунтування параметрів вібраційної машини для зміни властивостей води з оптимізацією конструктивних елементів приводу»

керівник проекту (роботи) Гордєєв А.І., д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від _____ 20__ р. № _____

2 Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 10.12.2023 р

3 Вихідні дані до проекту (роботи): Обзор літературних джерел. Креслення деталі.

4 Зміст пояснювальної записки: Вступ. Загальний розділ. Технологічний розділ. Дослідницький розділ. Конструкторський розділ. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу: 1 Загальний лист – 1 лист А1; Креслення деталі – 1 лист А2; 2 Креслення заготовки – 1 лист А2; 3. Графотехнологія деталі – 1 лист А1; 4. Карта наладки верстата з ЧПК – 1 лист А1; 5. Верстатний пристрій для свердлування - 1 лист А1; 6. Дослідницькі листи – 3 листа А1.

6 Дата видачі завдання 10.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|--|---|----------|
| Розділ I | 30.09.2023 | |
| Розділ II | 15.10.2023 | |
| Розділ III | 30.10.2023 | |
| Розділ IV | 15.11.2023 | |
| Розділ V | 30.11.2023 | |
| Розділ VI | 05.12.2023 | |

Студент

Підпис

Олександр МОРОЗ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник проекту (роботи)

Підпис

Анатолій ГОРДЄЄВ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Анотація

Тема проекту: «Обґрунтування параметрів вібраційної машини для зміни властивостей води з оптимізацією конструктивних елементів приводу»

Автор О. Р. Мороз Керівник проекту: А. І. Гордєєв
Об'єм пояснювальної записки 97 стор. Графічна частина 9 листів А1.

Актуальність теми дослідження

Природні біологічні процеси, що відбуваються у водоймах, вже давно не забезпечують повного їх самоочищення. Тому постає нагальна потреба в розробці сучасних високоефективних технологій та машин переробки стічних вод шляхом повторного використання очищеної води і продукту водоочищення. Розроблення технологічного устаткування для зміни властивостей та очищення води є актуальною технічною задачею.

Мета роботи. Метою магістерської роботи є дослідження динаміки віброприводу устаткування для зміни властивостей води, з розробкою конструкції вібраційного устаткування та оптимізацією конструктивних елементів приводу.

Предмет дослідження – технологічний процес зміни властивостей води гідрокавітацією.

Об'єкт дослідження – обґрунтування технологічних параметрів приводу вібраційної машини для зміни властивостей води, створення програмного продукту. Дослідження енергетичних витрат вібраційної дослідної установки.

Наукова новизна. Встановлено, що найбільшу ефективність процесу зміни властивостей досягнуто на частотах 14-17 Гц, при амплітуді $A=2,2$ мм, та певним співвідношенням діаметру мембрани до діаметру каналу ($D/d = 12$).

Практичне значення одержаних результатів полягає в створенні вібраційної машини для зміни властивостей води, при цьому запропоновані такі нові рішення:

- розроблено загальну методику проектування приводу машини;
- розроблено програмний продукт для визначення тиску у соплі робочого органу машини, що дозволить конструктору знаходити параметри роботи приводу машини при зміні конструктивних параметрів
- проведено оптимізацію конструктивних елементів приводу за допомогою програмного продукту SolidWorks.

Ключові слова: вібраційна машина, проектування, параметри приводу, програмний продукт.

Автор проекту:

О. Р. Мороз

2023 р.

/Підпис/

/Дата/

Abstract

Project topic: "Justification of the parameters of the vibrating machine for changing the properties of water with optimization of the structural elements of the drive"

Author O. R. Moroz

Project manager: A. I. Gordeev

The volume of the explanatory note is 97 pages. Graphic part of 9 A1 sheets.

Relevance of the research topic

Natural biological processes occurring in water bodies have long since failed to ensure their complete self-cleaning. Therefore, there is an urgent need for the development of modern highly efficient technologies and machines for processing wastewater by reusing purified water and water purification products. Therefore, the development of technological equipment for changing the properties and purification of water is an urgent technical task.

The goal of the work. The purpose of the master's thesis is to study the dynamics of the vibration drive of the equipment for changing the properties of water, with the development of the design of the vibrating equipment and the software product for determining the force of the jet pressure.

The subject of research is the technological process of changing the properties of water by hydrocavitation.

The object of the research is the substantiation of the technological parameters of the drive of the vibrating machine for changing the properties of water, the creation of a software product. Study of the energy costs of the vibration test facility.

Scientific novelty. It was established that the highest efficiency of the process of changing properties was achieved at frequencies of 14-17 Hz, with an amplitude of $A=2.2$ mm, and a certain ratio of the membrane diameter to the channel diameter ($D/d = 12$).

The practical significance of the obtained results lies in the creation of a vibration machine for changing the properties of water, while the following new solutions are proposed:

- a general method of designing the machine drive was developed;
- a software product was developed to determine the pressure in the nozzle of the working body of the machine, which will allow the designer to find the operating parameters of the machine drive when changing the design parameters
- the structural elements of the drive were optimized using the SolidWorks software product.

Key words: vibration machine, design, drive parameters, software product.

Author of the project:

O. R. Moroz
2023

/Signature/

/Date/

| <i>№ рядка</i> | <i>Формат</i> | <i>Позначення</i> | <i>Найменування</i> | <i>Кількість</i> | <i>Примітка</i> |
|----------------|---------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|
| 1 | | | Документація загальна | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | A4 | ДРМ.ФІТА.23.00.00 ПЗ | Розрахунково-пояснювальна записка | | |
| 5 | A2 | ДРМ.ФІТА.23.05.02.00.00 | Креслення заготовки | 1 | |
| 6 | A2 | ДРМ.ФІТА.23.05.01.00.00 | Креслення деталі | 1 | |
| 7 | A1 | ДРМ. ФІТА.23.05.03.00.00 | Графотехнологія | 1 | |
| 8 | A1 | ДРМ.ФІТА.23.05.04.00.00 | Карта наладки | 1 | |
| 9 | A1 | ДРМ.ФІТА.23.06.01.00.00 СК | Пристрій для свердлування | 1 | |
| 13 | A1 | ДРМ.ФІТА.23.01.01.00.00 | Загальний лист 1 | 1 | |
| | | ДРМ.ФІТА.23.04.01.00.00 | Дослідницький лист 1 | 1 | |
| | | ДРМ.ФІТА.23.04.02.00.00 | Дослідницький лист 2 | 1 | |
| | | ДРМ.ФІТА.23.04.03.00.00 | Дослідницький лист 3 | 1 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------|----------|--------|------|----------------------------|--|-------|---------|--|
| | | | | | ДРМ.ФІТА.23.00.00ПЗ | | | | |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |
| Розробив. | Мороз | | | | Літера | | Аркуш | Аркушів | |
| Перевірив | Гордєєв | | | | | | | | |
| Н. Контр. | Бись | | | | Відомість роботи | | | | |
| Затвердив | Ткачук | | | | | | | | |

ЗМІСТ

| | арк. |
|---|------|
| Вступ..... | 9 |
| РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ..... | |
| 1.1 Стан питання та визначення задач дослідження..... | 12 |
| 1.2 Аналіз існуючих методів зміни властивостей та очищення води.... | 12 |
| 1.2.1 Характеристика забрудненості та класифікація стічних вод..... | 12 |
| 1.2.2 Визначення необхідного ступеня очищення промислових та побутових стічних вод..... | 14 |
| 1.2.3 Класифікація шкідливих домішок у стічних водах та класифікація основних методів знешкодження стічних вод..... | 15 |
| 1.2.4 Вимоги до якості води, яку скидають у природні водойми..... | 18 |
| 1.2.5 Методи очищення та очисні споруди..... | 20 |
| 1.2.6 Висновки до розділу 1 та задачі дослідження..... | 23 |
| РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВИКНЕННЯ ГІДРОКАВІТАЦІЇ..... | |
| 2.1 Загальна характеристика явища гідрокавітації..... | 25 |
| 2.2 Теоретичні основи виникнення гідро кавітації..... | 27 |
| 2.3 Вібраційне обладнання та технологія для зміни складу рідини..... | 33 |
| 2.4 Висновки до розділу 2..... | 35 |
| РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | |
| 3.1 Розробка установки для кавітаційної обробки води..... | 36 |
| 3.2 Результати досліджень зміни властивостей води, обробленою гідрокавітацією..... | 40 |
| 3.2.1 Визначення біохімічного споживання кисню (БПК)..... | 40 |
| 3.2.2 Вплив кавітації на жорсткість води..... | 42 |
| 3.2.3 Вплив гідро кавітації на зміну вмісту заліза..... | 44 |
| 3.2.4 Вплив гідрокавтації на окислюваність води..... | 45 |
| 3.3 Дослідження енергетичних витрат вібраційної дослідної установки | 46 |
| 3.4 Висновки до розділу 3..... | 51 |

| | | |
|--|--|----|
| РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНА УСТАТКУВАННЯ..... | | 52 |
| 4.1. | Загальна методика розрахунку..... | 52 |
| 4.2 | Розрахунок параметрів кулачкового приводу..... | 53 |
| 4.3 | Розрахунок елементів приводу на міцність..... | 55 |
| 4.3.1 | Описання методики розбиття моделей на скінчені елементи... | 56 |
| 4.3.2 | Описання методики розрахунків на міцність..... | 58 |
| 4.3.3 | Результати розрахунків та оптимізації конструктивних параметрів..... | 60 |
| 4.3.4 | Висновки до розділу 4..... | 63 |
| РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ..... | | 64 |
| 5.1 | Аналіз об'єкта виробництва..... | 64 |
| 5.2 | Аналіз технологічності конструкції деталі..... | 64 |
| 5.3 | Визначення типу та організаційної форми виробництва..... | 67 |
| 5.4 | Вибір заготовки та техніко-економічне обґрунтування методу її отримання..... | 68 |
| 5.4.1 | Техніко-економічне порівняння двох варіантів вибору заготовки..... | 68 |
| 5.4.2 | Розрахунок собівартості заготовки на ЕОМ..... | 69 |
| 5.5 | Вибір технологічних баз..... | 70 |
| 5.6 | Вибір технологічного маршруту обробки деталі з розробкою технологічних операцій..... | 70 |
| 5.7 | Розрахунок припусків..... | 72 |
| 5.8 | Розрахунок та вибір режимів різання..... | 75 |
| 5.8.1 | Розрахунок режимів різання аналітично..... | 75 |
| 5.8.2 | Вибір режимів різання табличним методом..... | 77 |
| 5.9 | Розрахунок технічних норм часу при виконанні операцій..... | 79 |
| 5.10 | Висновки до розділу 5..... | 80 |
| РОЗДІЛ 6. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ..... | | 81 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.1 | Конструкція запропонованої вібраційної установки та принцип її роботи..... | 81 |
| 6.2 | Проектування верстаного пристрою для свердлування..... | 83 |
| 6.2.1 | Проектування верстатного пристрою для свердлування отворів Ø5,2 мм..... | 83 |
| 6.2.2 | Вибір установчих елементів, схеми базування та способу закріплення деталі в пристрої..... | 83 |
| 6.2.3 | Розрахунок необхідних сил закріплення деталі та розмірів приводу пристрою..... | 84 |
| 6.2.4 | Розрахунок елементів пристрою на міцність..... | 86 |
| 6.2.5 | Розрахунок пристрою на точність..... | 87 |
| 6.2.6 | Призначення та робота пристрою..... | 88 |
| 6.2.7 | Висновки до розділу 6..... | 89 |
| | ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 90 |
| | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 91 |
| | ДОДАТКИ | |

ВСТУП

Вода – одне з найбільших багатств у житті людини. Вона широко застосовується в різних галузях життєдіяльності. Організм людини на 70-80 % складається з води, це саме можна сказати і про тваринний та рослинний світ. Вона в повсякденному житті людини використовується для пиття, приготування їжі, задоволення санітарно-гігієнічних потреб. Вода необхідна для забезпечення перебігу багатьох технологічних процесів, вирощування сільськогосподарської продукції та переробки її на продукти споживання, а також для різних галузей промисловості, де вона використовується як сировина, реагент, промисловий засіб тощо. Загальні витрати води в побуті, сільському господарстві, промисловості, наприклад, у Сполучених Штатах Америки досягають 7000 л за добу на душу населення. Водночас запаси доступної питної води на планеті на душу населення становлять всього 5–6 тис.м³, річки є невеликою часткою цього об'єму.

Наведені цифри беззаперечно свідчать про те, що запаси питної води на планеті надзвичайно обмежені. Вже сьогодні в багатьох районах земної кулі відчутний її дефіцит. У зв'язку з невпинним зростанням обсягів господарської діяльності людини, а отже, і споживання прісної води, зростає також скидання забрудненої води, а дефіцит питної води збільшується ще більшою мірою,

Сьогодні вода в природі вже не встигає самоочищатися, як це було ще 50–100 років тому. Це призвело до надмірного забруднення багатьох природних водойм, річок, озер, воду яких без попереднього очищення використовувати для господарських цілей не можна. Багато річок фактично перетворилися на сміттєві канали.

Водні ресурси України поки що перевищують теперішній рівень водоспоживання, проте вже сьогодні в багатьох південних районах країни відчутний значний дефіцит води. Тому всі більшого значення набуває проблема розумного, раціонального використання прісної води і особливо очищення всезростаючих об'ємів стічних вод, а також одночасна організація замкнених

систем оборотного водоспоживання в промисловості, сільському, комунальному господарстві.

Під час розробки технології зміни властивостей та очищення стічних вод слід прагнути до організації комплексної переробки забруднених вод з використанням не лише очищеної води, а й продукту водоочищення. Необхідно створювати автоматизовані системи управління водогосподарськими комплексами.

За останні десятиліття на підприємствах країни побудовано велику кількість очисних споруд. Проте використані технології морально застаріли і малоефективні. Здебільшого проводиться грубе очищення, часто методом нейтралізації стічних вод. Згідно з цією технологією, один вид забруднень перетворюється на інший, проте не усувається повністю. Тому забруднення водою промисловими стічними водами триває. Природні біологічні процеси, що відбуваються у водоймах, вже давно не забезпечують повного їх самоочищення. Тому постає нагальна потреба в розробці сучасних вискоелективних технологій виробництва сільськогосподарської та промислової продукції, яка передбачає також організаційно-комплексної переробки стічних вод шляхом повторного використання очищеної води і продукту водоочищення.

На сьогодні розроблено багато технологій зміни властивостей та очищення будь-яких стічних вод промисловості і комунального господарства. На превеликий жаль, більшість із них освоюються надзвичайно повільно або і зовсім не освоюються.

Методи зміни властивостей та очищення стічних вод можна розподілити на такі групи: механічні, фізико-хімічні, хімічні, біохімічні. Одним з прогресивних методів зміни властивостей та очищення води є очищення за допомогою кавітації.

Актуальність теми дослідження

Природні біологічні процеси, що відбуваються у водоймах, вже давно не забезпечують повного їх самоочищення. Тому постає нагальна

потреба в розробці сучасних високоефективних технологій та машин переробки стічних. Тому розроблення технологічного устаткування для зміни властивостей та очищення води є актуальною технічною задачею.

Мета роботи. Метою магістерської роботи є дослідження динаміки віброприводу устаткування для зміни властивостей води, з розробкою конструкції вібраційного устаткування та оптимізацією конструктивних елементів приводу.

Предмет дослідження – технологічний процес зміни властивостей води гідрокавітацією.

Об’єкт дослідження – обґрунтування технологічних параметрів приводу вібраційної машини для зміни властивостей води, створення програмного продукту. Дослідження енергетичних витрат вібраційної дослідної установки.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу приводу із застосуванням верстатів з ЧПК.
2. Обґрунтовано конструктивні параметри вібраційної машини за допомогою програмного продукту Cosmos Works.
3. Створено програмний продукт для визначення сили тиску струменя.

Практичне значення одержаних результатів полягає в створенні вібраційної машини для зміни властивостей води, при цьому запропоновані такі нові рішення:

- розроблено загальну методикку проектування приводу машини;
- розроблено програмний продукт для визначення тиску у соплі робочого органу машини, що дозволить конструктору знаходити параметри роботи приводу машини при зміні конструктивних параметрів
- проведено оптимізацію конструктивних елементів приводу за допомогою програмного продукту SolidWorks.

Публікації. Оpubліковано тези.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Стан питання та постановка задачі досліджень

В умовах переходу до ринкової економіки ставиться завдання не тільки значно підвищити продуктивність праці, а також випуску нових виробів, відповідаючих світовим зразкам. Спроможних конкурувати як на внутрішньому так і на зовнішньому ринках збуту, що визначається їх дизайном, надійністю та якістю.

Вихідними даними для проектування є аналіз методів очищення води, конструкцій установок, креслення деталі та програма випуску виробу.

Виходячи з умов виробництва та програми випуску з урахуванням проведених досліджень необхідно вирішити наступні задачі:

- провести огляд та аналіз літературних джерел по методам та конструкціям обладнання для очищення води;
- провести дослідження впливу кавітації на зміну складу води та її знезараження;
- спроектувати вібраційне обладнання для гідрокавітаційної обробки води;
- розробити методику проектування та провести проектні розрахунки відповідальних деталей за допомогою програми SolidWorks.

1.2 Аналіз існуючих методів зміни властивостей та очищення води

1.2.1 Характеристика забрудненості та класифікація стічних вод

Стічні води, що утворюються на підприємствах, можна віднести до трьох категорій промислові, побутові та атмосферні.

Промислові стічні води, у свою чергу, поділяють на три основні групи

1) промислові води, що утворюються внаслідок безпосереднього використання води саме в технологічних операціях, вони забруднені всіма речовинами, які

використовуються в технологічних процесах даного виробництва. Частина цих вод, які отримують при завершальній обробці готового продукту, іноді слабо забруднена, і таку воду відносять до практично умовно чистих.

2) води від допоміжних операцій та процесів, які утворюються під час поверхневого охолодження технологічної апаратури та енергетичних агрегатів; головною відмінністю таких вод є, як правило, підвищена температура,

3) води із допоміжних цехів і цехів обслуговування (сховищ сировини та готової продукції, транспортування сировини і палива, котельних тощо), ці води забруднені різноманітними речовинами.

Промислові стічні води залежно від виду та концентрації забруднювальних речовин, а також від кількості стічних вод відводять або одним загальним потоком, або кількома самостійними потоками. Так, у самостійні потоки об'єднують:

- слабкозабруднені промислові стічні води, які містять один або кілька видів забруднення,
- промислові стічні води, які містять токсичні сполуки,
- кислі або лужні стічні води,
- виробничі стічні води з неприємним запахом,
- дуже мінералізовані води,
- промислові стічні води, що містять олії, жири, нафтопродукти тощо[1].

В разі відсутності чітко визначених видів забрудників усі промислові стічні води об'єднують в один групу. Практично чистої води від допоміжних операцій, як правило, виводять окремим потоком або транспортують разом із зливовими (дощовими) водами.

За типом забруднень промислові стічні води можна розподілити на три групи:

1) води, забруднені переважно мінеральними домішками (стічні води підприємств, що виробляють мінеральні добрива, кислоти, будівельні вироби та матеріали, нафтопродукти, вуглевидобувних підприємств тощо),

2) води, забруднені переважно органічними домішками (стічні води підприємств хімічної та нафтохімічної, переробної промисловості, виробництва полімерних плівок, матеріалів, каучуку тощо),

3) стічні води, забруднені мінеральними та органічними домішками (нафтопереробна, нафтодобувна, нафтохімічна, легка, харчова промисловість, органічний синтез),

За ступенем мінералізації стічні води також поділяють на три групи.

Першу групу складають стічні води з мінералізацією до 3 кг/м^3 , їх можна знесолювати методами іонного обміну.

До другої групи відносять стічні води з мінералізацією від 3 до 10–15 кг/м^3 . Для знесолення таких вод доцільно використовувати мембранні методи.

До третьої групи слід віднести стічні води з мінералізацією понад 15 кг/м^3 , знесолення яких доцільно здійснювати лише термічними методами.

За концентрацію органічних домішок промислові стічні води поділяють на чотири категорії I – до 500 мг/л, II – 500-5000, III – 5000-30 000, IV – понад 30 000 мг/л, а за ступенем агресивності — на неагресивні (рН 6,5..8,0), слабкоагресивні (рН 6,0..6,5 та рН 8..9) і сильноагресивні (рН<6 та рН>9)

Об'єм промислових стічних вод залежить від ступеня водоспоживання та водовідведення.

1.2.2 Визначення необхідного ступеня очищення промислових та побутових стічних вод

Характеристика стічних вод і вимоги до якості очищуваної води. У разі скидання промислових стічних вод більшості галузей промисловості одним цим показником обмежуватися не можна, оскільки він не відбиває потребу в кисні для повного окислення всіх речовин, що містяться в стічних водах. Більш чітке уявлення про сумарну забрудненість виробничих стічних вод дає інший показник – хімічне споживання кисню (ХСК) – кількість кисню, необхідна для повного окислення вуглецю, водню, сірки, азоту та інших речовин, що

містяться в стічній воді, у тому числі і тих, що не піддаються ХІМІЧНОМУ окисленню. За абсолютною величиною ХСК завжди перевищує БСК (біологічне споживання кисню). Хоча величина ХСК не нормується чинними нормами охорони водойм, однак її слід брати до уваги під час визначення припустимого навантаження на водойму, виходячи з величини припустимого БСК кількості розчиненого кисню.

Крім БСК і ХСК при визначенні необхідного ступеня очищення промислових стічних вод враховують нормативні показники речовин, ідентифікованих у стічних водах, вміст завислих речовин, реакцію рН води водойми, температуру води, кольоровість, запах і мінеральний склад.

1.2.3 Класифікація шкідливих домішок у стічних водах та класифікація основних методів знешкодження стічних вод

Велика кількість домішок, які забруднюють природні та стічні води, потребує класифікаційного методу підходу для їх визначення та вилучення з води. Така науково обґрунтована класифікація була запропонована академіком Національної академії наук України Л. Д. Кульським і покладена в основу різноманітних ефективних способів очищення природних і стічних вод.

Класифікація базується на виявленні спільності фізико-хімічної поведінки домішок у воді, тобто на їх здатності утворювати гомогенні чи гетерогенні водні системи. Така класифікація забруднень передбачає, що вибір методів очищення води визначається насамперед фізичним станом домішок, а в разі гетерогенних систем і їх дисперсністю. Специфіка такої класифікації полягає в тому, що враховуються не індивідуальні властивості забрудників води, а їх поведінка під час взаємодії з дисперсним середовищем водою, що дає змогу характеризувати властивості системи в цілому[2].

Суть запропонованої класифікації полягає в тому, що всі домішки води відносно дисперсійного середовища підрозділяють на чотири групи дві групи належати до гетерогенних систем, дві – до гомогенних. Гетерогенні системи це

суспензії – це речовини, що утворюють з водою молекулярні або іонні розчини.

Неодмінною характерною ознакою йонування гетерогенних систем є наявність поверхні поділу домішки, що не розчиняються, утворюють дисперсну фазу, а вода, у якій вони розподілені, – дисперсійне середовище. Властивості та будова приповерхневих міжфазних шарів, які мають велику поверхневу внутрішню енергію, значною мірою зумовлюють агрегатну та кінетичну стійкість таких дисперсних систем. Величина міжфазної поверхні залежить від розміру дисперсних часточок, і чим вони менші, тим більша питома поверхня і тим сильніший вплив поверхневих явищ на властивості системи.

Водні дисперсії, що містять часточки розміром 10-3 см, виявляють, як правило, кінетичну нестійкість. Часточки розміром до 10-4-10-5 см утворюють гетерогенні системи, які мають відносно невелику питому поверхню дисперсної фази і невелику кінетичну стійкість. До таких систем належать суспензії, емульсії та інші. Колоїднодисперсним системам відповідає інтервал розмірів дисперсних часточок 10, 5–10, 6 см. Ці системи мають сильно розвинену міжфазну поверхню і відносно велику кінетичну стійкість. Дисперсність колоїдних часточок відповідає цій межі, вище за яку при подальшому зменшенні розмірів часточок вже втрачається фізична поверхня дисперсності системи

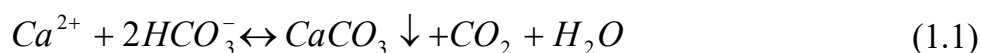
Окрему групу міжгетерогенними та гомогенними системами становлять розчини високомолекулярних сполук та міцелоутворювальних поверхнево-активних речовин. З одного боку, ці сполуки перебувають у розчиненому стані і утворюють термодинамічно стійкість, з іншого розчини мають властивості колоїдних систем. Це зумовлено тим, що макромолекули наближаються до колоїдних часточок і межа їх контакту з дисперсним середовищем подібна до міжфазної поверхні у гетерогенних системах. Тому домішки розглядають в одній групі з речовинами, що утворюють колоїдні системи.

Ці системи або розчини термодинамічно стійкі і можуть іонувати без змін скільки завгодно. Незважаючи на безліч речовин, що утворюють істинні

розчини, багато їх властивостей є спільними для водних розчинів. Це загальне підпорядкування законам електролізу, дифузії, осмосу, тощо.

В іонних розчинах вода не тільки середовище, а і компонент, який взаємодіє з розчиненою речовиною й утворює різні сполуки. Так, внаслідок взаємодії води і розчиненої речовини утворюються гідрати, а сполучення часточок розчиненої речовини одна з одною веде до утворення асоціатів. Розчини електrolітів підлягають законам Аррешуса, Дебая, Гюкке, а молекулярні розчини – законам Вант-Гоффа, Рауля, Коновалова. Важливою характеристикою розчинів є їхня концентрація. Найчастіше в воді, що використовується в промисловості, сільському господарстві та для господарсько-побутових цілей, сумарний вміст розчинених домішок не перевищує 0,01 моль/л.

Компенсацію втрат води в оборотних системах водопостачання окремі підприємства витрачають десятки і навіть сотні тисяч кубічних метрів води за добу. В умовах роботи оборотних систем багаторазове підігрівання води до 40–45 °С і охолодження її в градирнях чи бризкальних басейнах призводять до втрат оксиду карбону (IV) та відкладання на поверхнях теплообмінників і труб карбонату кальцію за реакцією.



За сталої високої твердості оборотної води, зумовленої вмістом сульфату кальцію, випаровування води в циклі може призвести до перебільшення добутку розчинності карбонату кальцію (розчинність останнього із зростанням температури зменшується) та утворення міцних карбонатних відкладів видалення яких з труб теплообмінників надзвичайно ускладнене. Швидкість відкладання карбонату кальцію та інших солей не повинна перевищувати 0,25 г/(м³ год). Така вода вважається термостабільною (товщина відкладів, що утворюються за годину, – 0,08 мм). Швидкість біологічних обростань, що

допускаються в теплообмінних апаратах та охолодниках, в оборотній воді повинна становити не більш як $0,07 \text{ г}/(\text{м}^2 \text{ год})$ (шар $0,05 \text{ мм}$ за місяць) за сухою масою. Вода не повинна спричинювати корозію металу більшу ніж $0,09 \text{ г}/(\text{м}^2 \text{ год})$ (шар до $0,1 \text{ мм}$ за рік)

У підживлювальній та оборотній воді обмежується також вміст завислих речовин. Грубозернисті неорганічні завислі речовини (пісок) осідають у пазухах холодильників, засмічують трубки конденсаторів, відкладаються на окремих ділянках трубопроводів, а малі часточки завислих речовин (мули, глинисті часточки), які самостійно не осідають у теплообмінній апаратурі, потрапляють до складу відкладів карбонату і сульфату кальцію, що утворюються і збільшують їхню міцність

Вміст розчинених солей (лужних металів, магнію) в оборотній воді зростає пропорційно коефіцієнту її випаровування. При цьому зростає і корозійна активність води. Корозія матеріалів теплообмінних систем у м'якій воді, яка містить розчинений кисень, істотно вища, ніж у твердій воді такої самої мінералізації, що пов'язано з меншою буферною ємністю м'яких вод. За відсутності інгібіторів граничний вміст солей в оборотній воді не повинен перевищувати $2 \text{ кг}/\text{м}^3$, хоча в окремих випадках мінералізація оборотної води досягає $3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Нарешті, для запобігання інтенсивному біологічному обростанню споруд і теплообмінних апаратів оборотних систем водопостачання в оборотній, а отже, і в підживлювальній воді треба обмежити вміст органічних речовин і сполук біогенних елементів (нітрогену, фосфору), які є живильним середовищем для мікроорганізмів, що вносяться в систему із свіжою водою.

1.2.4 Вимоги до якості води, яку скидають у природні водойми

Вимоги до скидання виробничих стічних вод у водойми зумовлені Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища" і регламентуються "Правилами охорони поверхневих вод від забруднення

стічними водами" та "Правилами санітарної охорони прибережних районів морів". Згідно з цими правилами, встановлені нормативи якості води для водойм за двома категоріями водокористування. До першої відносять ділянки водойм, що використовуються як джерело централізованого чи децентралізованого господарсько-питного водопостачання, а також для водопостачання підприємств харчової промисловості. До другої категорії належать ділянки водойм, що використовуються для купання, занять спортом і відпочинку населення, а також ті, що знаходяться в межах населених пунктів. Крім того, встановлені більш жорсткі нормативи якості стічних вод, що скидаються у водойми, які використовують з рибогосподарською метою.

В Україні прийнята система нормування шкідливих забрудників у стічних водах на підставі гранично допустимих концентрацій. ГДК деяких шкідливих речовин, що можуть надходити у водойми з промисловими стічними водами. Практично у складі промислових стічних вод у водойми можуть потрапляти десятки видів забрудників, що призводять до комплексної їх дії на якість води у водоймі. Точно оцінити комплексну дію таких речовин неможливо, тому застосовують метод оцінки сумарного ефекту впливу на санітарний стан водойми кількох шкідливих речовин за формулою

$$\frac{C_1}{C_{1,ГДК}} + \frac{C_2}{C_{2,ГДК}} + \dots + \frac{C_n}{C_{n,ГДК}} = 1 \quad (1.5)$$

де C_1, C_2, C_i — концентрації шкідливих речовин у воді водойми;
 $C_{1,ГДК}, C_{2,ГДК}, C_{i,ГДК}$ - гранично допустимі концентрації

Визначення необхідного ступеня очищення промислових стічних вод

Скидання стічних вод у водойми здійснюють тільки за умови виконання спеціальних вимог, встановлених для цих водойм. Основним показником кількості органічних забрудників, що надходять у водойми зі стічними водами, є величина БСК. Вона характеризує ту кількість кисню, яка повинна бути використана водоймою на біохімічні процеси окиснення внесених забруднень.

Цей показник досить повно характеризує лише міські стічні води, в яких, як правило містяться здебільшого побутові води. Однак у разі скидання промислових стічних вод більшості галузей промисловості одним цим показником обмежуватися не можна, оскільки він не відбиває потребу в кисні для повного окиснення всіх речовин, що містяться в стічних водах. Більш чітке уявлення про сумарну забрудненість виробничих стічних вод дає інший показник – хімічне споживання кисню (ХСК) – кількість кисню, необхідна для повного окиснення вуглецю, водню, сірки, азоту та інших речовин, що містяться в стічній воді. в тому числі й тих, що не піддаються хімічному окисненню. За абсолютною величиною ХСК завжди перевищує БСК. Хоча величина ХСК не нормується чинними нормами охорони водойм однак її слід брати до уваги під час визначення допустимого навантаження на водойму, виходячи з величини допустимого БСК і кількості розчиненого кисню.

Крім БСК і ХСК при визначенні необхідного ступеня очищення промислових стічних вод враховують нормативні показники речовин, ідентифікованих у стічних водах, вміст завислих речовин, реакцію рН води водойми, температуру води, кольоровість, запах і мінеральний склад,

Умови скидання стічних вод у проточні та непроточні водойми різні. Дотримання науково обґрунтованих норм скидання стічних вод у водойми повинно забезпечити ефективне самоочищення води. Під самоочищенням води мають на увазі ліквідацію у воді водойми органічних речовин, що потрапили в неї, під впливом мікроорганізмів. До процесів самоочищення можуть бути віднесені також сорбція розчинених сполук планктоном і донними відкладами, агломерація та осідання часточок, нарешті, розбавлення забрудненого потоку чистими потоками водойми тощо. Тому під самоочищенням слід розуміти сукупність біохімічних, фізико-хімічних та гідродинамічних (розбавлення) процесів, які зумовлюють зниження концентрації забруднювальних речовин у воді водойми.

1.2.5 Методи очищення та очисні споруди

Методи очищення стічних вод можна розподілити на такі групи: механічні, фізико-хімічні, хімічні, біохімічні.

Механічне очищення застосовують для стічних вод, що містять переважно завислі плаваючі та грубоемальговані тверді нерозчинні забруднювальні речовини. Здійснюють його методами, що ґрунтуються на використанні гравітаційних і відцентрових сил, а також проціджуванням і фільтруванням.

Для очищення виробничих стічних вод від таких неорганічних забруднень, як йони важких металів, отрути та інші токсичні речовини, застосовують хімічне або фізико-хімічне очищення.

Хімічне очищення застосовують у випадках, коли забруднення із стічних вод можливе тільки внаслідок хімічних реакцій між забруднювальними речовинами і реагентами, які вносять у стічні води. Очищення ґрунтується, як правило, на використанні хімічних (іноді електрохімічних) окисно-відновних процесів, у результаті яких забруднення перетворюються на нові нешкідливі сполуки, що частково чи повністю випадають в облог або виділяються у вигляді газів. У разі хімічного очищення часто застосовують і просту нейтралізацію, яка супроводжується коагуляцією з властивими їй фізичними процесами.

Основними методами фізико-хімічного очищення стічних вод є сорбція, екстракція, евапорація, коагуляція, електрокоагуляція, флотація, іонний обмін, кристалізація, випарювання, ректифікація, мембранна технологія, спалювання тощо. Методи фізико-хімічного очищення виробничих стічних вод у багатьох випадках передбачають вилучення з них цінних речовин. Ці методи застосовують, як правило, для очищення окремих найбільш забруднених стічних вод, оскільки доцільніше мати справу з невеликими за кількістю, а ніж концентрованими за забрудненням стоками, ніж з об'ємними загальними стоками, де концентрація шкідливих домішок значно менша.

Інші методи очищення стічних вод є деструктивними, через те що забрудники зазнають руйнування (здебільшого шляхом окислення). До таких методів належать біохімічне очищення, яке застосовують для очищення слабоконцентрованих стічних вод, що містять переважно органічні забруднювальні речовини.

Очищення стічних вод здійснюють на очисних установках, спорудах і станціях. За місцем розташування розрізняють локальні очисні споруди (установки); заводською (або загальнозаводські) очисні споруди.

1. Очищення на іонітах. Іоніти, застосування яких для виділення іонів металів загальноприйнято, можуть бути також використані для виділення домішок кислотного характеру, наприклад ціанідів, фенолів і органічних кислот. Використовувані для цієї мети аніоніти являють собою штучні смоли, що містять основні групи (аміногрупи і четвертинні амонійні групи). За допомогою сильних основ їх переводять у ОН-форму, що зв'язує кислотні залишки зі стічної води. Дією сильного лугу аніони знову переводять у розчин, але концентрований, а іоніт при цьому регенерується і робиться придатним для нового використання.

2. Відгін летючих забруднень виробничих стічних вод містять летучі органічні сполуки в розчинній формі чи у виді емульсій. Ці сполуки можна відігнати при підвищеній температурі, наприклад, нагріваючи воду за допомогою заглибного пальника, чи будь-яким іншим способом, а потім сконденсувати чи спалити над каталізаторами. Ці операції особливо доцільні для видалення таких вуглеводнів, що не піддані біохімічному окислюванню. \

3. Очищення випарюванням, окислюванням і спалюванням залишку Легко окисляються забруднення, що є присутнім у невеликих концентраціях, можна усунути застосуванням відповідних окислювачів, наприклад хлору, двоокису чи хлору озону. Ціаніди ефективно окисляються до менш отрутих ціанатів у сильнолужному розчині ($\text{pH} > 11$) при обробці стічної води хлором. При обробці питної води чи хлором озоном з метою дезінфекції ці окислювачі попутно використовуються і для окислювання органічних домішок. Іноді при

цьому утворюються неприємно пахнуть речовини, наприклад феноли, перетворюються в хлорфеноли, що мають винятково інтенсивний запах і смак. Ці речовини не виходять, якщо замість хлору застосовують двоокис чи хлору озон. Інший спосіб видалення органічних забруднень зі стічних вод окислюванням складається в мокрому окислюванні їх повітрям при підвищеному тиску $[(50-150) \cdot 10^5 \text{ Па}]$ і підвищеній температурі (200–300°C) з використанням пари.

Для очищення стічних вод, що містять легко згоряючі компоненти у високих концентраціях, наприклад стоки нафтопереробних заводів, розпорошують стисненим повітрям і подають у велику топкову камеру, нагріту до температури близько 1000°C. При можливості ці домішки спалюють разом з відпрацьованими пальними вихлопними газами нафтоперегінних заводів. Частина отриманого при цьому тепла можна повернути з парою у котли-утилізатори [2].

1.26 Висновки до розділу 1 та задачі дослідження

Для зміни властивостей та очищення води запропоновано застосувати гідрокавітацію, яка виникає у вібраційній машині.

Задачі досліджень

Дослідити динаміку віброприводу устаткування для зміни властивостей води та визначити зміну її основних параметрів.

Провести розрахунки та оптимізацію конструктивних параметрів у SolidWorks.

Розробити конструкцію вібраційного устаткування для зміни властивостей води.

Створити програмний продукт для визначення сили тиску струменя.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВИКНЕННЯ ГІДРОКАВІТАЦІЇ

2.1 Загальна характеристика явища гідрокавітації

Кавітація (від латинського *cavitas, cavitatis* - порожнина) - фізичне явище виникнення в потоці рідини внаслідок різкої зміни характеристик поля швидкостей і тисків порожнин, заповнених парою або газами, розчиненими в рідині. Перемішуюча, диспергуюча, гомогенізуюча, а також ерозійна дія кавітації є наслідком значної кількості одиничних силових впливів колапсуючих кавітаційних порожнин (або бульбашок), енергетичний потенціал яких надзвичайно високий[1]. Кавітаційні порожнини - каверни або бульбашки - виникають в тих місцях, де тиск в рідині стає нижче певного критичного. При зниженні тиску за рахунок збільшення локальних швидкостей рідинного потоку виникає кавітація, яка називається гідродинамічною. Якщо зниження тиску обумовлене проходженням акустичних хвиль звукового або ультразвукового спектру частот коливань - кавітація вважається акустичною.

Більшість моделей, які пояснюють механізм кавітаційної дії, ґрунтуються на кумулятивній гіпотезі. За цією гіпотезою процес кавітаційної дії пов'язаний, в основному, з утворенням мікрострумків високого енергетичного потенціалу, які виникають в заключній стадії захопування кавітаційних бульбашок і впливають на поверхню розподілу фаз. Зхлопування бульбашок на границі розподілу фаз "рідина - тверді частинки" супроводжується диспергуванням цих частинок в рідині з утворенням суспензії, а в системі "рідина - рідина" - диспергуванням однієї рідини в іншій з утворенням емульсії. В обох випадках відбувається руйнування границі розподілу фаз. тобто її ерозія, і утворення гомогенної суміші. Таке пояснення інтенсивної гідромеханічної дії на поверхню при захопленні біля неї кавітаційної бульбашки було запропоноване М.Корнфельдом і М. Суворовим, а потім обґрунтоване і підтвержене іншими дослідниками.

Природі кавітації та різним ефектам які впливають на зношування металів займалось багато авторів [1-3]. Але в основному дослідження були направлені на пояснення кавітаційного, кавітаційно-ерозійного зношування поверхні металів, а які зміни складу середовища, в якому виникала кавітація, були поза інтересами досліджень. Якщо на робоче середовище за значний термін часу впливає кавітація то які фактори діють під час цих процесів, як змінюється хімічний склад робочого середовища? Щоб відповісти на ці запитання необхідно розглянути механізм кавітаційно-ерозійного процесу. В зв'язку з виключною складністю процесу кавітації та зв'язаного з ним кавітаційного руйнування поверхні в літературі висловлюються різні припущення про можливий механізм процесу, та існує тенденція пояснювання кавітаційного руйнування якимись одним фактором. Всі ці гіпотези можна проділити на чотири групи [4]: які базуються на теорії гідромеханічної дії [5], електрохімічної теорії кавітаційної ерозії [6], теорії миттєвих хімічних реакцій [7], та на термодинамічній теорії кавітаційної ерозії [8]. Аналіз робіт по кавітаційному руйнуванні показує, що більшість авторів у якості робочої гіпотези приймають гідродинамічну теорію, розроблену Релеєм, і рахують, що одним з факторів є механічна дія руйнування пухирця на поверхні. Але також значну роль відводиться також корозійному фактору [9], а у ряді випадків і головну роль у кавітаційному руйнуванні [10].

Френкелем Я.І. було висказано припущення, що при утворенні кавітаційних порожнин на їх границях утворюються іони рідини різних знаків, у результаті чого в пухирцях виникає електричне поле, напруга якого при малих розмірах пухирця може досягати кілька сотень вольт на сантиметр. Такі місцеві електричні поля дають можливість виникненню розрядів у середині пухирця, що у свою чергу, визве іонізацію молекул розчинених газів. Знову утворені іони можуть бути причиною виникнення хімічних реакцій між рідиною та металом, рідиною та домішками у рідині. Такий підхід отримав розвиток у подальших роботах багатьох дослідників [11, 12]. Наприклад Вайс

В. [13] рахує, що кавітація є причиною зміни хімічної активності середи. Швидкість хімічних реакцій може бути збільшена завдяки: місцевого прискорення рідини при обтіканні каверни, завдяки дифузії розчину у каверну, виникнення компонентів реакції у електроліті. Автором [14] запропонована оригінальна теорія, згідно якої процес кавітаційного руйнування йде по різному в хімічно активних та неактивних рідинах. При цьому характер руйнування розглядається у залежності від інтенсивності кавітації. При помірній кавітації у не корозійній рідині, коли зусилля при схлопуванні кавітаційного пухирця не більше межі текучості метала, удар сприймається пружно і руйнувань поверхні не відбувається. Коли напруження зсуву більше межі текучості, то пластична деформація приводить до наклепу поверхневого слою. А значні локальні температури у місцях пульсації кавітаційних пухирців, викликаних перетворенням енергії деформації у тепло, можуть привести до значного локального розігріву як поверхні так і робочої рідини.

З метою з'ясування характеристик процесів перетікання рідини (вода при 20°C) у зворотньо-пооступальному русі через насадок було розроблено прозорий макет, на якому можливо реалізувати необхідні режими. Рух рідини фіксувався цифровою відеокамерою з подальшою обробкою і перетворення інформації у комп'ютерний файл.

Зйомка проводилась при наступних умовах: діаметр насадка 10мм, відношення діаметра камери D до діаметра насадка d $D/d=12$, амплітуда коливань $A=2$ мм, частота коливань змінювалась поступово від 5 до 20 та зменшувалась до 5 Гц.

При протіканні рідини крізь насадок з гострими крайками при малих швидкостях та перепадах тиску виникає кільцева порожнина.

При зростанні частоти коливань приводу змінюється тиск на вході та виході з насадка розчинене повітря починає виділятися у пухирці, які мають тенденцію до росту розмірів [15] утворюється газорідинна суміш.

З подальшим ростом частоти коливань приводу проходить зрив кільцевої порожнини і наступає явище гідродинамічної кавітації з характерними звуковими хлопками.

Умова руйнування кільцевої порожнини дана [16] у вигляді

$$\frac{P_2}{P_1} \leq \frac{(V-1)P_{\min}}{V P_1}; \quad (1.1)$$

де P_1 - тиск при вході в насадок;

P_2 - тиск при виході з насадка;

P_{\min} - мінімальний тиск в кільцевій порожнині;

V - характеристика отвору;

При зміні руху рідини (рис.3) поверхня рідини в ємності сильно збурюється, захоплюється повітря, у вигляді невеликих пухирців $d=1.1...1.5$ мм, попадає через насадок у камеру. В цьому режимі проходить коливання двохфазного середовища рідина-газ.

Далі проводилось послідовне зменшення частоти коливань.

На рис.4 видно, що у рідині залишились пухирці повітря, які були захоплені при руйнуванні поверхні рідини у ємності і рухаючись через насадок поступово піднімаються в ємності до поверхні.

2.2 Теоретичні основи виникнення гідрокавітації

Численними дослідженнями [27,28,29] встановлено, що на виникнення кавітації в основному впливають наступні фактори:

- опір рідини напругам, що розтягують;
- вміст розчиненого газу в рідині і так званих ядер кавітації тобто газових пухирців від $0,1 \times 10$ до 10×10 мм;
- час проходження рідини через зону зниження тиску;

- фізичні властивості рідини (тиск насичених парів, в'язкість, поверхневий натяг).

Згідно із сучасними уявленнями [8] розрив рідини при впливі напруг, що розтягують, відбувається не на рівні молекулярних сил, а на зародках нової фази. Такими зародками є газові чи парові пухирці, тверді суспензії, що адсорбують газ.

У зв'язку з тим, що існуючі в природі й уживані в техніці рідини містять зважені частки, розчинений і нерозчинений газ, вони не здатні витримувати напруги, що розтягують.

Результати досліджень [28] показують, що на виникнення та розвиток кавітації істотно впливає швидкість потоку навіть при тій самій кількості повітря в рідині. Це також пов'язують з наявністю в рідині ядер кавітації. Щоб з них вирости пухирці до розмірів, видимих простим оком, потрібно якийсь час. При низьких швидкостях плинущу буде досить часу на утворення пухирців з ядер газу, а при великих швидкостях пухирці на тій же ділянці можуть не встигнути утворитися.

В даний час немає єдиній класифікації і термінології по кавітаційним явищам, що відбуваються в різних гідравлічних пристроях, у тому числі в місцевих опорах[2]. Це пояснюється тим, що дослідники використовували різні методи спостереження кавітації і проводили експерименти в умовах, які різко відрізняються. Тому в роботі зроблена спроба класифікувати різні види кавітації.

Невизначеність також була трохи розсіяна, коли був зроблений чіткий поділ явищ газової і парової кавітації, а також виявлені умови існування так названої хибної кавітації. Класифікація цих понять здійснюється шляхом аналізу рівняння одиничного пухирця. Хибною кавітацію називають зрівноважену зміну розмірів пухирця без істотного впливу дифузії газу в порожнину.

Газовою кавітацією називають повільний ріст пухирців, яка супроводжується дифузиею газу в порожнину.

Паровою кавітацією називають процеси, пов'язані з різким ростом і схлопуванням каверн в наслідок втрати стійкості рівноваги зародкового пухирця. Зародкові пухирці при падінні тиску перетерплюють стійкі зміни розмірів: спочатку хибна, а потім газова кавітація. При хибній кавітації газові пухирці великих розмірів можуть значно збільшуватися, навіть при тисках, що перевищують тиск насичених парів P_n . Помилкова кавітація не викликає кавітаційної ерозії. Відповідно авторами приведенні тиски [2] при яких виникає газова і парова кавітація:

$$P_{\text{кав.г.}} = P_n + P_g - \frac{2\sigma}{R_0} \sqrt{\frac{P_g}{P_0 - P_n + \frac{2\sigma}{R_0}}} \quad (2.2)$$

$$P_{\text{кав.п.}} = P_n - \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\frac{2\sigma}{R_0}}{P_0 - P_n + \frac{2\sigma}{R_0}}} \quad (2.3)$$

де

$P_{\text{кав.г.}}$; $P_{\text{кав.п.}}$ - тиск газової і парової кавітації відповідно;

P_n - тиск насичених парів;

σ - коефіцієнт поверхневого натягу;

R_0 - вихідний радіус пухирця;

P_g - тиск газу, що насичує рідину;

R_0 - вихідний радіус пухирця;

P_0 - вихідний зовнішній тиск.

Співставлення цих виразів показує, що тиск парової кавітації $P_{\text{кав.п.}}$ завжди нижче тиску насичених парів рідини у той час як тиск газової кавітації

$P_{\text{кав.г}}$ перевищує P_n чим у більшій степені, тим вище тиск що насиченої рідини газу P_r і більші розміри зародкових пухирців

Розміри пухирця збільшуються в міру зменшення тиску. По досягненні деякого критичного розміру для подальшого росту пухирця не потрібно зниження тиску, пухирець спонтанно росте.

Теоретичні дослідження про ріст розмірів газового пухирця пояснюють це в такий спосіб: однобічною дифузиею газу з рідини в коливний пухирець. При стиску відбувається дифузія газу з пухирця в рідину. Оскільки в тому і іншому випадку дифузія відбувається через різну поверхню, велику у випадку дифузії в пухирець, обсяг повітря, що дифундує в пухирець, більше обсягу вихідного з пухирця, що приводить до росту пухирця. Оскільки в тому і іншому випадку дифузія відбувається через різну поверхню, велику у випадку дифузії в пухирець, обсяг повітря, що дифундує в пухирець, більше обсягу вихідного з пухирця, що приводить до росту пухирця. Результат наближеного рішення нелінійного рівняння дифузії для нерезонансних пухирців показує, що закон росту радіуса пухирця згодом має вид:

$$P_{(t)}^2 = R_0^2 + \frac{4}{3} \left[\frac{D\beta_{\infty}}{\rho_g} \left(\frac{P_0^1}{P_0} \right)^2 \right] * t, \quad (2.4)$$

де R_0 - початковий радіус пухирця;

D - коефіцієнт дифузії;

β_{∞} - концентрація газу в рідині на далекому рас стоянні від пухирця;

β_r - щільність газу;

P_0^1 - амплітуда звукового тиску;

P_0 - гідростатичний тиск у рідині.

Характеристикою процесу однобічної дифузії є час, за який радіус пухирця подвоюється:

$$\tau = \frac{9}{4} * \frac{R_0 \rho_2}{\beta_\infty D} * \left(\frac{P_0}{P_1} \right)^2 \quad (2.5)$$

З цього співвідношення випливає важливий висновок про те, що пухирці малого розміру ростуть досить швидко, у той же час подвоєння радіуса великих пухирців вимагає значного часу. Таким чином, однобічна дифузія приводить до того, що при зміні тиску розподіл пухирців по розмірах швидко міняється в області малих розмірів і залишається майже стабільним в області великих розмірів, причому функція розподілу міняється так, що збільшується число пухирців великих розмірів. Це природно знижує міцність рідини на розрив.

Для реалізації задачі одержання газорідного потоку, необхідно використовувати гідродинамічну кавітацію в області газової кавітації.

Для створення такого процесу необхідно витримати наступні умови: час проходження рідини через зону розрідження повинне бути значним, чи ж здійснити кількаразове проходження через зону зниження тиску того самого обсягу рідини з метою поступового росту газових зародків. Перепад тисків у рідині повинний бути в межах достатніх для виділення газової фази і не перевищувати тисків, при яких газові пухирці можуть захлопнутися.

При витіканні рідини через круглий отвір з гострими крайками спостерігається стиск струменя внаслідок опору вигину окремих струмків рідини на вході в отвір, а також спостерігається звуження струменя, але після досягнення найбільшого стиску струменів може протікати по-різному.

У першому випадку за найменшим перетином струменя відбувається поступове його розширення. Воно досягає внутрішніх стінок отвору, заповнює весь його перетин і впливає без стиску.

Таким чином, струмінь і стінки отвору утворюють кільцеву порожнину, ізольовану від протитиску. Ця порожнина стикається на порівняно великій ділянці зі струменем, але середовище, укладене в ній, не бере участь у русі і

тому її не можна віднести до струменя. Найбільш стиснутий перетин струменя, таким чином, виявляється ув'язненим у кільцеву ізольовану порожнину, наповнену газами, що виділилися, з тиском середовища.

В другому випадку за найменшим перетином струмінь більш-менш зберігає цей перетин, рухається не стикаючись зі стінками отвору. Між струменем і стінками існує кільцева порожнина, з'єднана з тиском у вихідному резервуарі. У цьому випадку можна припускати, що найменший перетин струменя оточений середовищем із протитиском.

Така картина витікання рідини впливає з механізму виникнення ізольованої порожнини. Також впливає, що якщо до отвору раптово підвести рідину таким чином, що витікання з отвору буде відбуватися, скажемо, з $Re = 2000 \dots 20000$, то ізольована порожнина не повинна виникати внаслідок того, що раптове підведення виключає стадію плинину рідини з заповненням нею всього отвору; витікання починається відразу зі стиском струменя. Такий механізм виникнення кільцевої ізольованої порожнини улаштовується законами стиску струменя і базується на експериментальних даних А.Д.Альтшуля.

На виникнення кільцевої ізольованої порожнини впливають і інші фактори, такі, що приводить до поступового збільшення площі перетину струменя слідом за найбільш стиснутим її перетином, взаємодія часток рідини зі стінками отвору, взаємодія і залучення в рух часток рідини при виході з отвору, що приводить до гальмування струменя. Ці фактори сприяють утворенню і збереженню ізольованої порожнини в отворі при витіканні в рідке середовище.

Для утворення газорідних сумішів як з'ясовано, необхідно, щоб відбувався зрив кільцевої порожнини. Умова зриву кільцевої порожнини дається автором [30] у виді:

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{cr} \leq 2\psi v \mu \frac{f_c}{f_{\Delta F}} + \frac{P_{\min}}{P} \left(1 + 2\psi v \mu \frac{f_c}{f_{\Delta F}}\right) \quad (2.6)$$

де ψ - коефіцієнт зменшення швидкості на периферії струменя біля стінок отвору;

f_c - площа живого перетину струменя в стиснутому перетині;

$f_{\Delta F}$ - площа живого перетину струменя в місці досягнення границею кільцевої ізольованої порожнини стінок отвору;

ν - коефіцієнт швидкості;

μ - коефіцієнт витрати.

Тому що P min звичайно мале в порівнянні з тиском на вході, ним можна зневажити і тоді критерій запишеться у вигляді:

$$\left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{cp} \leq 2\psi\mu \frac{f_c}{f_{\Delta F}}, \quad (2.7)$$

Для циліндричного $\psi = 0,6$ і при $Re > 100000$ проведемо $d=0,01$ м

Виходячи з розрахунків, одержимо» що зривши кільцевої порожнини наступить за умови: $P_2 = 0.38P_1$

Для здійснення пульсації потоку й одночасного виділення газових пухирців у рідину запропонована схема зворотно-поступального руху рідини через насадок. Завдяки цьому газ, що утвориться в кільцевих порожнинах, що з'являються поперемінно то на початку, то в кінця насадка, попадає в рідину у виді пухирців [30].

2.3 Вібраційне обладнання для зміни складу рідини

Вченими запропоновано різні установки [4-7] для видалення забруднень та вібраційні машини для впливу на водні середовища з метою зміни складу та очищення.

Значний інтерес представляють безреагентні методи очистки води [33]. Одним із явищ, які впливають на дисперсність, хімічний склад та знезаражування води є кавітація.

Розрізняють дві стадії кавітації: початкову та розвинену. Існують різні форми початкової стадії кавітації при натіканні потоку на сферичне тіло (рис. 1.2). Якщо рідина знаходиться під тиском, рівним тиску її насичених парів, то може виникнути парова кавітація. Через поверхню пухирця завжди проходить дифузія газу – виникає газова кавітація. Практично завжди спостерігається парогазова кавітація [47].

Залежно від способу збудження кавітація буває акустичною (або ультразвуковою) і гідродинамічною, механізм впливу яких на оброблюване середовище однаковий.

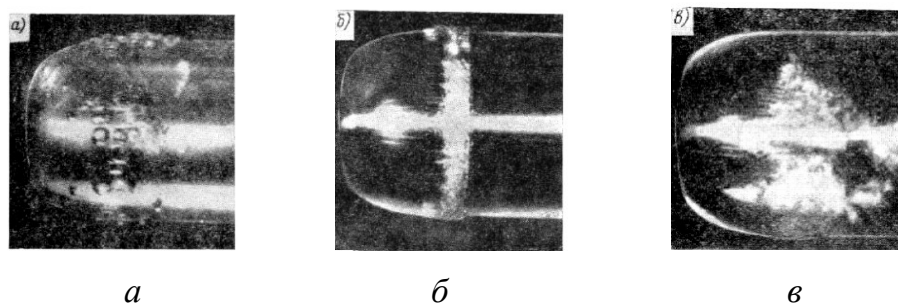


Рис. 1.2 – Різні форми початкової стадії кавітації: *a* – бульбашкова; *б* – плівкова у вигляді паска; *в* – у вигляді плям

Кавітація може виникати в потоці рідини, що має перемінне поле тиску, а також поблизу і на поверхні тіл різної форми – у місцях найбільшого розрідження. Перемінне поле тиску створюється різним чином: у результаті зміни швидкості потоку (руху тіла), впливу форми тіла, в наслідок механічних впливів на рідину (ультразвук, коливання низької звукової частоти).

Відома конструкція вібраційної машини поршневого типу для знезаражування та зміни властивостей води [100], схема якої показано на рис. 1.17.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розробка установки для кавітаційної обробки води

Експериментальна установка розроблена на основі кулачкового віброприводу, завдяки чому є можливість переналадження установки для проведення різних експериментальних досліджень (рис.3.1). Кулачковий вібропривід вибраний ще й з тих міркувань, що він має найбільш жорсткі характеристики на малих частотах порівняно з іншими віброприводами.

Установка складається із корпусу 2, на якому змонтовано вібропривід 3, який приводиться в рух від двигуна постійного струму 10. Зміна амплітуди коливань відбувається при зміні кулачків 1 з ексцентриситетом 0,5,1,2,3 мм. Зміна частоти від 0 до 30 Гц відбувається при зміні напруги за допомогою ЛАТР.

Вібропривід з'єднаний із камерою формування пульсуючого газорідного потоку 5, на якій закріплено циліндр з прозорими стінками для візуальних спостережень.

Установка працює так: при рухові мембрани 4 вниз у камері 5 створюється розрідження і рідина із циліндра втягується в камеру через насадку 6. При русі мембрани вгору, тиск у камері 5 збільшується і рідина під тиском вривається в камеру через насадку. При протіканні рідини через насадку утворюється кільцева ізольована порожнина, яка руйнується при досягненні певного тиску рідини в пульсаційній камері. При руйнуванні кільцевої ізольованої порожнини з рідини починає виділятися у вигляді газових пухирців повітря, що розчинене у рідині. Виділення газових пухирців відбувається як при втягуванні так і при виштовхуванні рідини із пульсаційної камери.

Отже в результаті на виході із камери отримується газорідна суміш.

Контроль частоти обертів здійснюється міліамперметром М903 1.0 кл., що про градуований в герцах. Міліамперметр фіксує струм на двигуні постійного струму марки ДПШ-3, вал якого з'єднано відкритою зубчатою передачею з валом кулачкового віброприводу.

Воду обробляли на частоті $f = 9..15$ Гц та $A = 3$ мм, та як залежність сили гідродинамічного тиску і швидкості руху потоку від частоти мають нелінійний екстремальний характер, і максимальні значення досягаються при даних параметрах.

В даних дослідження експерименти проводилися на лабораторній установці (рис.3.1). З метою проведення експериментів в установці була передбачена можливість зміни факторів, що вивчались та об'єктивна кількісна реєстрація досліджуваних параметрів.

Аналіз технічної літератури дозволив встановити, що основними характеристиками пульсуючого потоку є швидкість руху та тиск потоку, розміри газових пухирців. Дані характеристики залежать в свою чергу від конструктивних параметрів устаткування (діаметру пульсаційної камери, діаметру насадки та об'єму пульсаційної камери), параметрів приводу (частоти та амплітуди коливань, а також від відстані від насадки до збуреної поверхні).

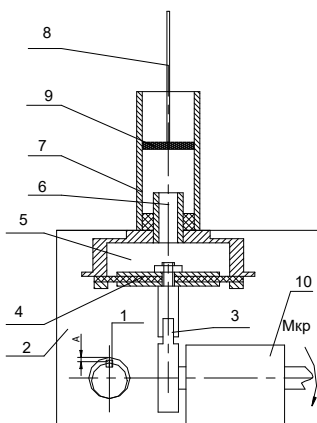


Рисунок 3.1– Схема кавітаційної установки: 1– ексцентрик; 2 – корпус;
3 – вібропривід; 4 – мембрана; 5 – камера пульсації; 6 – насадок;
7 – циліндрична ємність; 9 – відбійник струменя; 10 – електродвигун

В даній роботі досліджувався вплив часу гідродинамічної обробки води, взятої з різних джерел, з різною попередньою обробкою, на хімічні та фізичні її властивості, при незмінних параметрах приводу установки ($A=3$ мм, $f=15-17$ Гц), в кавітаційному режимі.

З метою з'ясування характеристик процесів перетікання рідини (вода при 20°C) у зворотньо-пооступальному русі через насадок було розроблено прозорий макет, на якому можливо реалізувати необхідні режими. Рух рідини фіксувався цифровою відеокамерою з подальшою обробкою і перетворення інформації у комп'ютерний файл.

Зйомка проводилась при слідуючих умовах: діаметр насадка 10мм, відношення діаметра камери D до діаметра насадка d $\frac{D}{d}=12$, амплітуда коливань $A = 2$ мм, частота коливань змінювалась поступово від 5 до 20 та зменшувалась до 5 Гц.

На рис. 3.2 показана експериментальна установка для проведення швидкісної відеозйомки та фотографування картини руху робочого тіла.



Рисунок 3.2 – Установка візуалізації формування кавітаційних процесів рідини у камері пульсації: 1 – вібраційний привод; 2 – електродвигун постійного струму; 3 – камера пульсації; 4 – прозорий канал; 5 – ємкість гасіння коливань рідини

При зростанні частоти коливань приводу змінюється тиск на вході та виході з насадка розчинене повітря починає виділятися у пухирці, які мають тенденцію до росту розмірів [15] утворюється газорідина суміш.

З подальшим ростом частоти коливань приводу проходить зрив кільцевої порожнини і настає явище гідродинамічної кавітації з характерними звуковими хлопками.

З аналізу візуальної картини руху рідини видно, що найбільш інтенсивний кавітаційний процес проходить при частотах 12...16Гц та при певних конструктивних параметрах обладнання, при амплітуді коливань $A=0.002\text{м}$. Використавши оптимальні режими, були проведенні досліді на визначення впливу кавітації на склад води. Дослідження [17] показали зниження жорсткості води на 22%, та підвищення окислюваності води до 180 % при обробці 20 хвилин.



Рисунок 3.3 – Рух рідини у нижню порожнину: 1 – газова порожнина; 2 – зростання пухирців в місцях пониження тиску



Рисунок 3.4 – Рух рідини у нижню порожнину: 1 – газова порожнина; 2 – зростання пухирців в при пониженні тиску

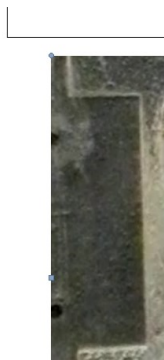


Рисунок 3.5 – Зрив газової порожнини та зростання кількості кавітаційних пухирців



Рисунок 3.6 – Рух рідини з газовими пухирцями, при зниженні частот коливань

3.2 Результати досліджень зміни властивостей води, обробленою гідрокавітацією

3.2.1 Визначення біохімічного споживання кисню (БПК)

Біохімічна потреба в кисні (БПК) — це кількість кисню (в чим), необхідна для окислення органічних речовин, які містяться у воді, до вуглекислого газу й води, що виконується редуцентами (насамперед аеробними бактеріями); сюди ж входить кількість кисню, необхідна іншим бактеріям-редуцентам для перетворення аміаку й нітритів на нітрати. Якщо у воді за будь-яких причин різко зростає кількість органічних речовин (наприклад, за рахунок неочищених промислових стоків), то відбувається зростання кількості аеробних бактерій, що споживають ці речовини. Вони поглинають багато розчиненого у воді кисню й можуть знизити його вміст до нуля, що викликає ріст анаеробних бактерій і перехід водойми в застійний режим.

Для визначення БПК теж створені портативні польові прилади (деякі фірми, наприклад Коле-Пармер, випускають універсальні вимірювачі кисню, якими можна визначати і його загальну кількість і БПК).

Від рівня вмісту розчиненого кисню залежить санітарно-гігієнічна якість поверхневих вод, особливо водойм для рибоводних цілей.

Існує кілька методів визначення кисню у воді. Одним з них є визначення кисню по Винклеру. Метод заснований на тому, що при додаванні хлористого марганцю та їдкого натрію розчинений у воді кисень зв'язується з гідратом закису марганцю, який переходить у гідрат окису марганця. При розчиненні останнього сірчаною кислотою у присутності йодистого калію звільняється йод у кількості, зквивалентном вмісту кисню. Вільний йод який утворився відтитровую розчином тіосульфату і по використаній кількості встановлюють рівень розчиненого кисню.

Підготовка рідини для проведення аналізу. Необхідно виключити зіткнення води з атмосферним повітрям. Для цього беруть склянку з притертою пробкою ємністю 100-200 мл. Перед узяттям проби притерту пробку

заміняють гумової з встановленням у неї двома скляними трубками, з яких одна з довшим кінцем на 20-30 см виходить назовню вище пробки, а другий кінець знаходиться нарівні нижнього краю пробки. В іншій трубці один кінець опускають до дна склянки, а другий на 2-3 см залишають над верхньою поверхнею пробки. Після цього склянку опускають у водойму на глибину 20-30 см і заповнюють водою до припинення виходу бульбашок повітря. Після цього гумову пробку замінюють притертою так, щоб при закриванні не залишилося шару повітря. Пробу води в теплий час року відразу ж фіксують біля водойми (додають розчин хлористого марганцю та р-н суміші їдкого натрію із розрахунку по 1 мл кожний на 100 мл досліджуваної води).

Вміст розчиненого кисню в мг/л розраховують по формулі:

$$X = \frac{n \cdot k \cdot 0.08 \cdot 100}{V - V_1} \quad (3.1)$$

де X - вміст кисню в мг/л;

n - кількість р-на тиосульфага натрію, який пішов на титрування, мл;

k поправочний коефіцієнт р-ну тиосульфата натрію;

V - об'єм рідини взятої на титрування, мл;

V_1 - кількість добавлених реактивів на об'єм титруваної рідини, мл;

0,08 - 1 мл 0,01 н, р-на тиосульфата натрію відповідає 0,08 мг кисню.

Будуємо графік на основі експериментальних даних.

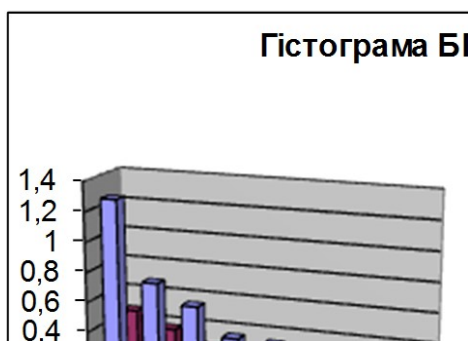


Рисунок 3.7 – Графік залежності розчиненого кисню обробленої рідини від часу

3.2.2 Вплив кавітації на жорсткість води

Жорсткість води залежить від наявності в ній солей двовалентних металів, переважно кальцію і магнію. Жорстка вода при кип'ятінні утворить шумовиння внаслідок осідання деяких солей кальцію, магнію і заліза. Мило у жорсткій воді не милиться (не спінюється), так як утворюються нерозчинні в воді кальцієві і магнієві солі жирних кислот. Жорстка вода не придатна для харчування парових казанів і застосування в хімічній технології, а також в інших технічних цілях.

Тимчасова жорсткість води обумовлена присутністю у воді бікарбонатів: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, рідше $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ іноді також $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Її можна усунути кип'ятінням води.

При кип'ятінні води бікарбонати розкладаються з утворенням нерозчинних у воді карбонатів, оксикарбонатів і гідроокисів:



Постійна жорсткість води обумовлена присутністю в ній здебільшого сульфатів і хлоридів кальцію і магнію і не усувається кип'ятінням. Сума тимчасової і постійної жорсткості складає загальну твердість води.

Жорсткість виражають у міліграм-еквівалентах Ca^{++} - іонів на 1 л води. 1 мг-екв жорсткості відповідає вмісту 20,04 мг Ca^{++} чи 12,16 мг Mg^{++} у 1 л води, де 40,08 і 24,31 - відповідно округлені атомні ваги кальцію і магнію; 20,04 і 12,16 еквівалентні Ca^{++} і Mg^{++} .

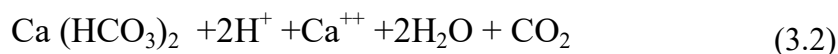
Для вираження жорсткості також застосовують мікрограмм-еквівалент у 1 л води.

Існують різні способи визначення жорсткості. Розглянемо два з них:

1) визначення тимчасової жорсткості за допомогою титрованого розчину хлористоводневої кислоти

2) комплексометрический метод визначення загальної жорсткості.

При титруванні зразка води хлористоводневою. кислотою в присутності метилового жовтогарячого відбувається розкладання бікарбонатів, щообумовлюють тимчасову жорсткість:



Методика визначення.

Відбирають в конічну колбу піпеткою чи мірним циліндром 100 мл досліджуваної води, додають 2-3 краплі метилового жовтогарячого і титрують 0,1 н розчином НС1 до появи оранжевоіокраски;

Розрахунок результатів аналізу. 1мл 0,1н. розчину НС1 відповідає 0,1/1000 г-екв чи 0,1 мг-екв Ca^{++} . $V_{\text{НС1}}$ відповідає $0.1V_{\text{НС1}}/1000$ г-екв чи $0.1V_{\text{НС1}}$ мг-екв Ca^{++} . $0.1V_{\text{НС1}}$ мг-екв знаходиться в об'ємі V_A . Щоб виразити твердість у міліграм-еквівалентах на 1л води, потрібно знайдену величину розділити на V_A і помножити на 1000, тобто жорсткість досліджуваної води (x) дорівнює:

Таблица 2.2. Вплив кавітаційної обробки на жорсткість водопровідної води.

| Т, час обробки,хв. | Х, жорсткість рідини, мг-екв/л. |
|--------------------|------------------------------------|
| 0 | 21,5 |
| 5 | 18,7 |
| 10 | 18,4 |
| 15 | 18,2 |
| 20 | 18 |

Далі на основі експериментальних даних будуюмо графік:

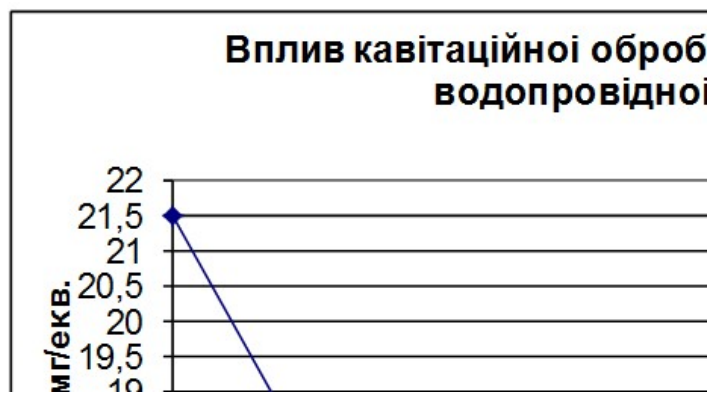


Рисунок 3.8 – Графік залежності жорсткості води від часу кавітаційної обробки

3.2.3 Вплив гідро кавітації на зміну вмісту заліза

Аналіз вмісту заліза визначався фотометричним методом із взаємодією з сульфосаліциловою кислотою

Таблиця 2.4. Зведена таблиця експериментальних даних

| Концентрація,С | Оптична густина до обробки | Оптична густина після обробки |
|----------------|----------------------------|-------------------------------|
| 0,01 | 0,025 | 0,045 |
| 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| 0,04 | 0,054 | 0,14 |
| 0,1 | 0,105 | 0,11 |
| 0,2 | 0,26 | 0,34 |
| 0,5 | 0,34 | 0,35 |

Проаналізувавши експериментальні дані будуюмо графіки. Для цього використовуємо лінійну регресію від одного параметру. Визначаємо по методу найменших квадратів коефіцієнти лінійного рівняння регресії:

$$y = b_0 + b_1x \quad (3.3)$$

де

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3.4)$$

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3.5)$$

На основі отриманих обчислень будуюмо гістограму.



Рисунок 3.9 – Гістограма зміни вмісту заліза з часом кавітаційного впливу

3.2.4 Вплив гідрокавтації на окислюваність води

Окислюваність характеризує загальний вміст в воді органічних речовин та виражається кількістю кисню, яка витрачається на їх окислення. Існує два методи визначення окислюваності: перманганатний та біхроматний. В роботі використовували перманганатний метод.

1. Хід аналізу:

До 100 мл дослідної води додають 5 мл розбавленої (1:3) сірчаної кислоти. Потім додають 10мл 0,01н. розчину марганцевокислого калію та нагрівають спочатку на сильному вогні до кипіння та кип'ятять рівно 10 хв. на слабкому вогні. Потім до розчину додають 10 мл 0,01н розчину щавлевої кислоти та титрують 0,01 розчином марганцевокислого калію до блідорожевого забарвлення. Після цього додають 10 мл 0,01н розчину щавлевої кислоти та

титрують 0,01 розчином перманганату для визначення поправки (К) останнього.

Окислюваність (X) визначають за формулою:

$$X = [(V_1 + V_2) \cdot K - 10] \cdot 0,08 \cdot 10 \text{ мг}O_2/\text{л}, \quad (3.6)$$

де $V_1 + V_2$ – сумарна кількість (мл) витраченого перманганату.

Таблиця 3.2. Вплив часу обробки на окислюваність води

| Час обробки, Хв. | Окислюваність | | |
|--|---------------------|---------|--------|
| | C_{KMnO_4} , мг/л | C, мг/л | % |
| Вода водопровідна з попередньою фільтрацією (4 дні після кавітації) | | | |
| 0 | 4,2 | 3,36 | 100 |
| 5 | 4,8 | 3,84 | 114,29 |
| 10 | 4 | 4,7 | 139,88 |
| 15 | 7 | 5,6 | 166,70 |
| 20 | 3,9 | 6 | 178,57 |

Було проведення вимірювання зміни основних показників води за часом результати показані на рис.3.10.

Показник загальної мінералізації TDS за період кавітаційного оброблення 20 хвилин зростає, а надалі знижується. Це говорить про утворення нерозчинних у воді карбонатів $CaCO_3$, $MgCO_3$, оксикарбонатів $Mg_2(OH)_2 CO_3$ і гідроокисів $Fe(OH)_2$, які з часом випадають в осад і тому зменшується загальна концентрація вмісту розчинених речовин.

Зростання показника рН за період оброблення говорить про розрив водневих зв'язків у молекулах, але з часом він стабілізується на рівні 8,4 рН. Зниження показника ОРР від 300 до 180 мВ говорить про підвищення окислювального відновлювального потенціалу рідини, який з часом збільшується до 240 мВ.

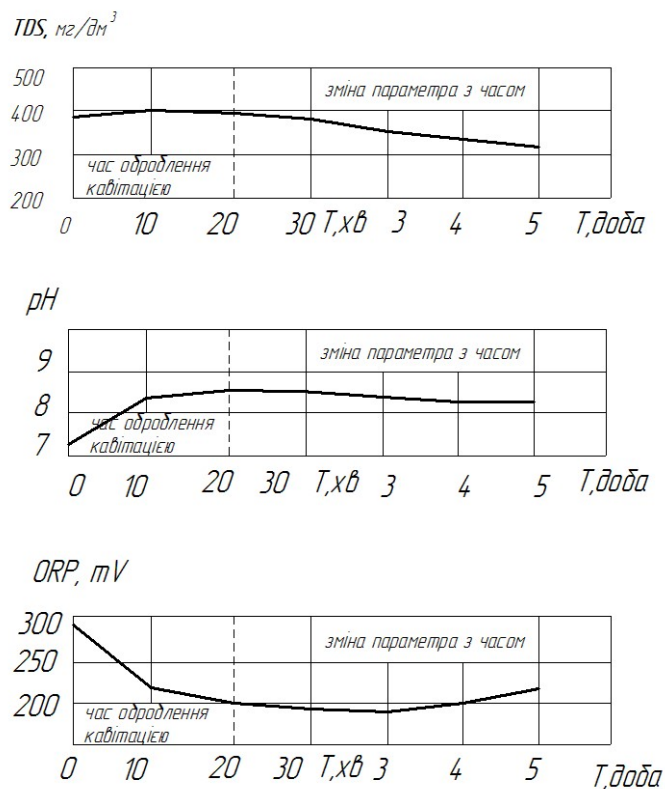


Рисунок 3.10 – Зміна основних показників TDS, pH, ORP водопровідної води з часом, обробленої кавітацією: параметри приводу амплітуда $A = 2$ мм; частота $f = 20$ Гц; діаметр отвору у поршні $d_n = 0,006$ м

У результаті проведених експериментальних досліджень зміни складу і властивостей води циклічною гідродинамічною кавітацією практично отримано перехід розчиненого у воді заліза (Fe_2^+) у нерозчинну форму (Fe_3^+) і його можна видалити механічною фільтрацією у вигляді колоїду (рис.3.11) або пластівців іржі. Показник загальної мінералізації TDS за період гідрокавітаційного оброблення протягом 20 хвилин знижується. Це говорить про утворення нерозчинних у воді карбонатів $CaCO_3$, $MgCO_3$, оксикарбонатів $Mg_2(OH)_2CO_3$. Окиснені розчинені іони кальцію та магнію мають питому вагу нижче за воду та спливають, утворюючи плівку на поверхні ємності (рис.3.12).

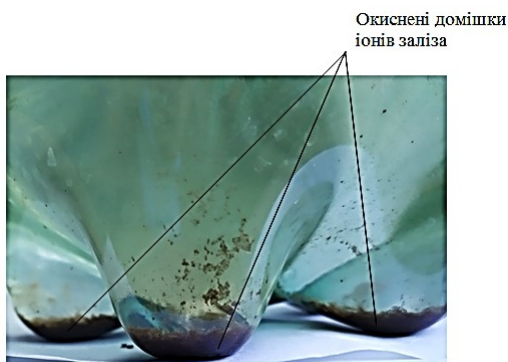


Рисунок 3.11 – Фотографія виду осаду окисненого заліза після застосування циклічної гідродинамічної кавітації

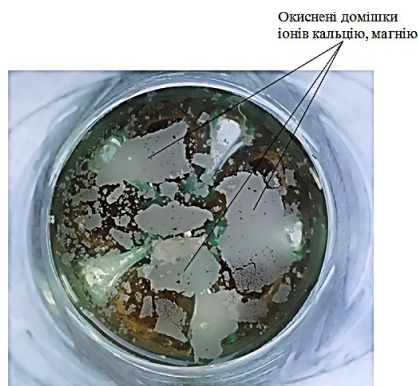


Рисунок 3.12 – Фотографія виду осаду окисненого кальцію та магнію після застосування циклічної гідродинамічної кавітації

Отриманий результат базується на том, що при захлопуванні кавітаційних пухирців виникає світлове випромінювання, високі тиски, та температура [10]. Усе це створює гомолітичний розрив ковалентних зв'язків у молекулі води та утворення радикальних частинок H^+ , OH^- , O , які мають підвищену окислювальну здібність. Іон H^+ має високу рухомість і може швидко виходити шляхом дифузії із потоку, при цьому значна частина їх залишається у потоці, OH^- накопичується, що приводить до зростання рН. Інтенсивність кавітаційного впливу на рідинне середовище зростає із зменшенням діаметра пухирців за рахунок збільшення коефіцієнта кумуляції [7]. Суттєво інтенсифікує кавітаційний вплив підвищення, як загального статичного тиску, так і тиску в пухирцевій камері схлопування за рахунок стискування об'єму кавітаційних пухирців. Такий вплив здійснюється у вібраційному обладнанні імпульсно із протяжністю яка визначається швидкістю дифузії газу та випарювання у порожнину пухирця і після цього розривного імпульсу іде імпульс стиску, завдяки гідроудару при зміні напрямку руху рідини та стисканні її рухомою мембраною 9.

Подальшим етапом даної роботи було встановлення основних взаємозв'язків між конструктивними характеристиками та параметрами

режимів роботи приводу обладнання. Було встановлено, що найбільшу ефективність процесу досягаємо на частотах 14-17 Гц, при амплітуді $A=2,2$ мм, та певним співвідношенням діаметру мембрани до діаметру каналу ($D/d = 12$). За допомогою мембранних датчиків було поміряно тиск у камері, який склав $0,18 - 0,2$ Мпа. Були визначені зусилля, які діють на основні деталі приводу.

Для зменшення енерговитрат приводу та динамічних навантажень на корпус гідропульсатора необхідно мінімізувати масу його складових деталей, що виконати з допомогою типових інженерних розрахунків складно, тому був застосований програмний продукт Cosmos Works – система для інженерних розрахунків на основі використання методу скінчених елементів.

3.3 Дослідження енергетичних витрат вібраційної дослідної установки

Енергетичні витрати на технологічний процес є важливим показником економічної ефективності устаткування, тому досить важливим є визначення енергетичних витрат самого устаткування та знаходження режимів роботи приводу, які б забезпечували мінімальні витрати енергії на проведення процесу зміцнення. З цією метою були проведені дослідження на експериментальній установці. Установка виводилась на заздалегідь визначені режими роботи та проводилась фіксація значень напруги в вольтах та сили струму в амперах. Значення напруги та сили струму фіксувались по вольтметру та амперметру. Потужність визначалась за формулою:

$$N = U \cdot I, \quad (3.7)$$

де U - напруга, В;

I - сила струму, А.

Результати дослідів наведені в вигляді графіка представленого на рис. 3.13. Потужність приводу залежить від амплітуди та частоти пульсацій, від відношення діаметра пульсаційної камери до діаметра насадка, від ККД

приводу та двигуна. Зростання амплітуди та частоти пульсацій веде до зростання енергії, що витрачається, причому амплітуда коливань має більший вплив на споживання енергії. При збільшенні відношення діаметра пульсаційної камери до діаметра насадка та сопла спостерігається зменшення енергії, що споживається.

В порівнянні з витратами енергії на проведення процесу кавітаційної обробки іншими методами дана установка має суттєві переваги. Навіть при амплітуді коливань $A=3$ мм, яка є дуже великою та не рекомендованою для застосування, потужність приводу не перевищує $0,45...0,5$ кВт. В той же час при порівняно однакових обсягах виконуваної роботи по кавітаційній обробці рідини [1],[2] роторні установки витрачають енергії від $0,9...1,6$ кВт на проведення процесу. Порівняння наведених даних свідчить про те, що застосування вібраційних гідродропульсаторів, в яких утворюється пульсуючий рідинний потік, дозволяє зменшувати енерговитрати на проведення технологічних процесів кавітаційної обробки рідини, що є однією з переваг даного устаткування.

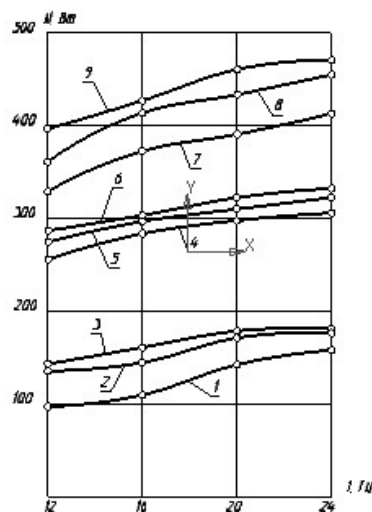


Рисунок 3.13 – Залежність енергетичних витрат дослідної установки від частоти пульсацій при: 1 - $A=1$ мм, $D_K:d_H=20:1$; 2 - $A=1$ мм, $D_K:d_H=15:1$; 3 - $A=1$ мм, $D_K:d_H=12:1$; 4 - $A=2$ мм, $D_K:d_H=20:1$; 5 - $A=2$ мм, $D_K:d_H=15:1$; 6 - $A=2$ мм, $D_K:d_H=12:1$; 7 - $A=3$ мм, $D_K:d_H=20:1$; 8 - $A=3$ мм, $D_K:d_H=15:1$; 9- $A=3$ мм, $D_K:d_H=12:1$.

3.4 Висновки по розділу 3

В даному розділі приведена методика досліджень та опрацювання одержаних даних (хімічний та біологічний аналіз складу води).

Також була проведена відеозйомка кавітаційного процесу та за допомогою цього були проаналізовані явища, що виникають при зворотно-поступальному русі рідини через циліндричний насадок.

Були вибрані оптимальні режими вібраційної обробки, які істотно впливають на зміну складу води, проаналізовані та розраховані енергетичні витрати на зміну її властивостей.

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНА УСТАТКУВАННЯ

4.1 Загальна методика розрахунку

Устаткування для вібраційної гідрокавітаційної обробки рідини з застосуванням пульсуючого рідинного потоку має широкі потенційні можливості використання в різних технологічних процесах.

Для проектування установок гідрокавітаційного впливу на властивості рідини необхідно мати продуктивність обладнання, хімічний склад рідини.

Діаметр насадків їх форма, кількість та розташування вибирається в залежності від об'ємів оброблюємої рідини, та продуктивності процесу. Проведені дослідження показали, що діаметр насадків та сопел знаходиться в межах: $d_n = 12...15$ мм,

Форму внутрішньої поверхні осьосиметричного насадка приймається з гострими крайками на вході для забезпечення кавітаційного процесу вже при невеликих швидкостях руху рідини.

Встановивши діаметр насадка, підбираємо декілька значень діаметра пульсаційної камери в межах: $D_k = (8...12)d_n$. (3.1)

Вибрані значення вводяться в програму, яка розраховує значення сили гідродинамічного тиску на виході з насадка. Алгоритм програми наведено на рис. 4.1 (програму розрахунку наведено в додаткові А). Значення частоти коливань приводу вибираються в залежності від числа обертів електродвигунів, які випускаються промислово. Амплітуда коливань приводу вводиться в програму в діапазоні 0,5...3мм. Використання амплітуд коливань, більших ніж 3 мм призводить до зростання інерційних та динамічних навантажень.

Співвідношення діаметру сопла до діаметру ємності лежить у межах:

$$D_c : D_e = 0,8...0,9,$$

Висота ємності береться: $H = (8...10) D_e$.

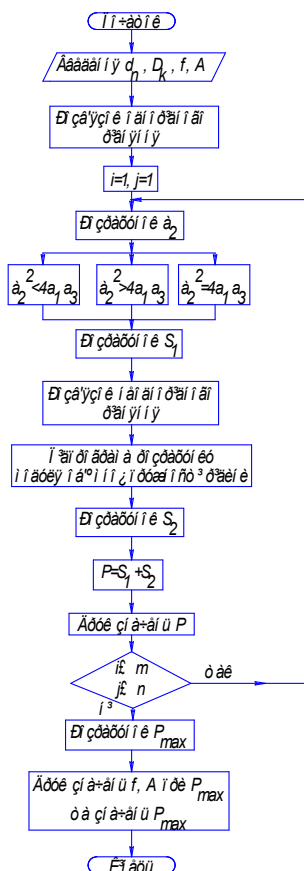


Рис. 4.1 – Алгоритм програми розрахунку сили гідродинамічного тиску

Після розрахунку сили гідродинамічного тиску на виході з насадка програма розраховує максимальні значення сили гідродинамічного тиску для одного значення амплітуди коливань при різних частотах коливань. Ця інформація виводиться на дисплей і принтер та по ній вибираються розміри діаметра пульсаційної камери та значення частоти коливань приводу. При використанні насадків з більш ніж одним отвором дійсне значення сили гідродинамічного тиску менше за розрахункове в 1,4 рази, цей коефіцієнт слід враховувати при виборі сили гідродинамічного тиску.

4.2 Розрахунок параметрів кулачкового приводу

Після вибору сили гідродинамічного тиску на виході з насадка, амплітуди та частоти коливань, при яких отримується дана сила тиску, розраховується

діаметр шийки вала під кулачок (див. вид кулачкового приводу в розрізі на рис.3.2. В місці посадки кулачка на вал діють дві сили з боку гідропульсатора [32]:

$$F = F_{\text{ін}} + F_{\text{д}}, \quad (4.1)$$

де $F_{\text{ін}} = ma$ - сила інерції, утворювана коливальним рухом;

$A = Af^2$ - прискорення при коливальному русі;

m - маса рухомих частин устаткування;

$F_{\text{д}} = pS$ - динамічна сила, що виникає внаслідок виникнення надлишкового тиску p в камері гідропульсатора на площину мембранного вузла S .

Потужність електродвигуна вибирається не меншою 0,4 кВт.

Розрахунок вала на міцність проводиться по стандартним формулам. Після розрахунку вала підбираються конструктивні параметри кулачка, вибирається кульковий радіальний підшипник та перевіряється по динамічній вантажопід'ємності за формулою [33]:

$$C_{\text{тр}} = Q \left(\frac{60nL_h}{10^6} \right)^{1/\alpha} \leq C, \quad (4.2)$$

де $C_{\text{тр}}$ - розрахункова величина динамічної вантажопід'ємності підшипника;

C - табличне значення динамічної вантажопід'ємності вибраного підшипника;

Q - приведене навантаження підшипника;

n - число обертів за хвилину;

L_h - розрахункова довговічність;

λ - коефіцієнт, що залежить від форми кривої контактної втоми, ($\lambda=3$ - для кулькових підшипників).

Вибір основних параметрів на цьому закінчується. Для гасіння коливань на установці слід встановити віброізолятори. Привод гідропульсатора закривається кожухом. Для запобігання корозії пульсаційну камеру і насадок з соплом необхідно виготовляти з корозійно-стійких матеріалів.

4.3 Розрахунок елементів приводу на міцність

Виконання розрахунку деталей на міцність полягає у виявленні оптимальних розмірів конструкції деталей по напруженням та масі.

Оскільки чим більша маса деталей, тим більша їх інерційність, а отже і сили інерції, що виникають під час роботи установки. А так як вони працюють при циклічних навантаженнях, то це призводить до прискорення їхнього руйнування. Також великі габарити деталей потребують значних затрат матеріалу, що збільшує собівартість конструкції.

Тому проводимо розрахунки елементів установки на міцність та використовуємо отримані дані по їх оптимізації, що дозволило б зменшити масу і розміри деталей, а отже і зменшити габарити конструкції та її собівартість.

Для проведення досліджень застосуємо програмний продукт Solid Works.

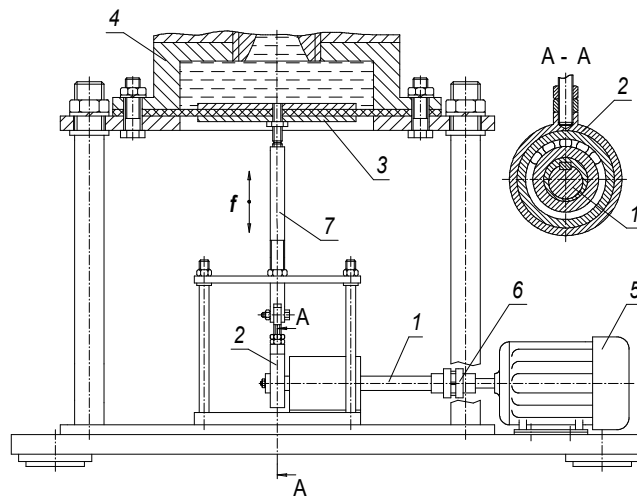


Рисунок 4.6 – Схема гідропульсатора з механізмом приводу

Для аналізу була вибрана деталь установки пластина опорна, яка утворює камеру пульсації разом із мембраною.



Рисунок 4.7 – Елемент приводу пластина опорна

4.3.1 Описання методики розбиття моделей на скінчені елементи

У методі скінчених елементів, як це виходить з назви, основним поняттям є поняття про скінчений елемент. Роздивимось тіло, що навантажене довільним чином. В результаті дії прикладених сил тіло якимось деформується, і ця деформація може бути описана за допомогою поля переміщень: $\vec{u} = \vec{u}(\vec{r})$. Знайти рівноважне поле переміщень $\vec{u} = \vec{u}(\vec{r})$ - ось завдання теорії пружності. Метод скінчених елементів дозволяє наближено знайти поле переміщень пружного тіла. Основна ідея методу скінчених елементів полягає в тому, що тіло розбивається на сукупність достатньо малих під-областей, які ми будемо називати скінчені елементи. Ця процедура має назву дискретизації тіла. В межах кожного скінченого елемента поле переміщень апроксимується за допомогою функції форми по відомим значенням переміщень у вузлах елемента $\vec{u}(\vec{r})$, $\vec{r} = 1, 2, \dots, n$, (n - кількість вузлів скінченого елемента).

За допомогою функцій форми поля апроксимуються, як поля невідомих величин, так і геометрія скінченого елемента.

Отже, скінченим елементом називається деяка мала область тіла у сукупності з визначеними в ній функціями форми, що апроксимують геометрію скінченого елемента та невідомі величини.

Для виконання розрахунків на програмному забезпеченні Solid Works необхідно виконати наступні кроки:

- викреслити моделі досліджуваних деталей в середовищі параметричного моделювання Solid Works;
- накласти на модель всі обмеження;
- накласти на модель всі навантаження (сили, тиски рівнорозподілені зусилля...) визначених розмірів;
- визначити матеріал, з якої виготовлена модель (відповідно визначаються певні властивості матеріалу);
- розбити модель на сукупність скінчених елементів (накласти сітку з скінчених елементів);
- провести розрахунки необхідних величин.

Для того, щоб максимально наблизити майбутні розрахунки до реальних, необхідно вірно провести розбиття моделей на скінчені елементи. Потрібно надати скінченим елементам розміри відповідно їх розміщенню. Тобто, у місцях наближених до концентраторів енергії розмір елемента має бути меншим, у місцях менш відповідальних розмір елементів може бути дещо більшим.

У нашому випадку концентратором зусиль у мембрани будуть місця закріплення її болтами та місце центрального отвору. Схему сітки розбиття мембрани на скінченні елементи зображено на рисунку 4.16.

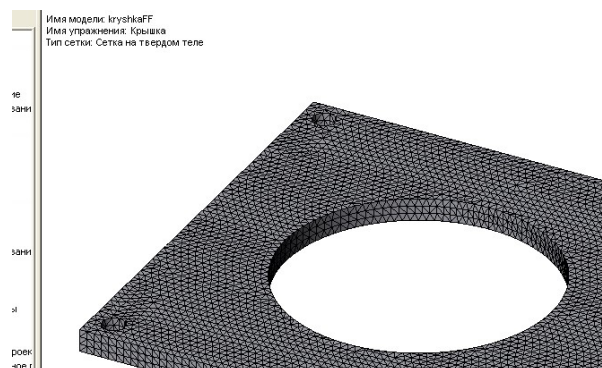


Рисунок 4.8 – Схема розбиття пластини опорна на скінченні елементи

4.3.2 Описання методики розрахунків на міцність

Розрізняють наступні навантажені стани:

а) лінійний (з однією віссю) - коли з трьох головних напружень тільки одне не дорівнює нулю. У цьому напруженому стані знаходяться деталі при розтягу, стисканні, чистому згині;

б) плоский (з двома осями) - коли з трьох головних напружень два не дорівнюють нулю. Практично в двохосевому напруженому стані знаходяться диски, що обертаються, тонкостінні посудини під внутрішнім тиском, стрижні при чистому крученні та при поперечному згині. Вільні від навантажень ділянки поверхонь деталей будь-якої конфігурації завжди знаходяться у двохосевому напруженому стані.

в) об'ємний (трьохосевий) – коли всі три головні напруження не дорівнюють нулю (товстостінні труби під внутрішнім тиском, ділянки контакту різних тіл, внутрішні зони масивних деталей).

Деформації більшою частиною розгортаються по всіх напрямках, тобто відповідають об'ємному деформованому стану. Характер напружено-деформованого стану впливає на умови розвитку деформацій та руйнування деталі.

Критерії міцності.

Для оцінювання статичної міцності при складному напруженому стані використовують критерії міцності або руйнування, що залежать від напруженого та деформованого стану, а також механічних властивостей матеріалу. Ці критерії дозволяють перенести результати дослідів по руйнуванню зразків при простих напружених станах на випадок складних напружених станів. Вони також мають назву теорії або гіпотези міцності.

Умову статичної міцності або руйнування зручно представити у вигляді:

$$\sigma_{\text{екв}} = f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \lambda_0, \lambda_1, \dots) = \sigma_s, \quad (4.3)$$

де $\sigma_{\text{екв}}$ – еквівалентне напруження; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження, причому $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$;

λ_0, λ_1 – параметри, що залежать від механічних властивостей матеріалу;
 σ_B – межа міцності матеріалу при одноосному напруженні.

Еквівалентне напруження встановлює відповідність між складним напруженим станом та одноосним розтягом.

Якщо у найбільш напруженій точці деталі:

$$\sigma_{\text{екв}} < \sigma_e, \quad (4.4)$$

то умову міцності вважають виконаною. При

$$\sigma_{\text{екв}} \geq \sigma_e, \quad (4.5)$$

настає руйнування у небезпечній точці. Умова 3 є граничною для стану міцності та руйнування. Умову міцності або руйнування можна представити через деформації:

$$\varepsilon_{\text{екв}} = \varphi(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \omega_0, \omega_1, \dots) = \varepsilon_e, \quad (4.6)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – головні деформації ($\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$);

ω_0, ω_1 – параметри, що залежать від механічних властивостей матеріалу;
 ε_B – видовження в момент руйнування при одноосному розтягу.

Критерії статичної міцності для пластичних матеріалів.

Для пластичних матеріалів умови міцності при розтягу та при стисканні співпадають. Руйнування таких матеріалів визначається переважно дотичними напруженнями. Основними критеріями руйнування є критерій інтенсивності напружень, що виражає „середнє” дотичне напруження в точці, та критерій максимального дотичного напруження.

Критерії міцності:

1. Критерій інтенсивності напружень (критерій Губера - Мізеса).
2. Критерій максимальних дотичних напружень.

Оскільки процеси роботи деталей динамічні, то у аналітичних розрахунках та розрахунках у Solid Works будемо обмежуватись границею міцності при симетричному циклі напружень для сталі, при розтягу та стисканню:

$$\sigma_{-1p} = 0,35 \cdot \sigma_{\sigma}, \quad (4.7)$$

де σ_{σ} – границя міцності, для даного матеріалу сталі 45 $\sigma_{\sigma} = 640$ МПа,

$$\sigma_{-1p} = 0,35 \cdot 640 = 224 \text{ МПа.}$$

Наступним кроком виконання досліджень за допомогою програми є розрахунки.

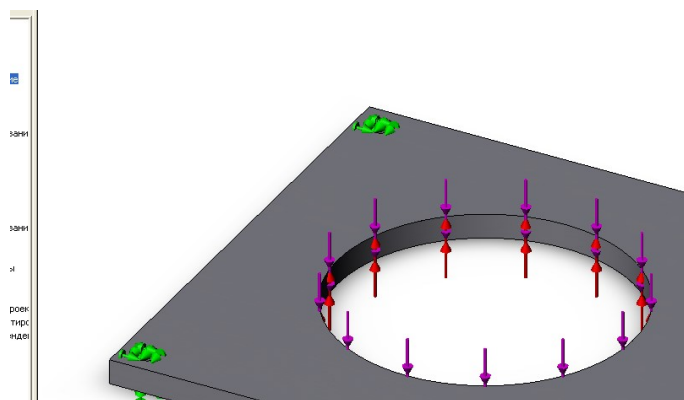


Рисунок 4.9 – Схема навантаження деталі пластина опорна

В області центрального отвору діють наступні сили:

Сила тиску – $200\,000 \text{ Н/м}^2$, Сила тертя – $0,2 \text{ Н/м}$.

4.3.3 Результати розрахунків та оптимізації конструктивних параметрів

Результати розрахунків навантаження програмою Solid Works подані у вигляді діаграм розподілень напружень у структурі деталі та діаграм переміщень елементів деталі при деформації, а також подана оптимізована модель, яка була створена програмою Solid Works.

Для пластини опорна еюра розподілення напруження та еюра переміщення елементів зображені на рисунках 4.20 та 4.21 відповідно. Оптимізовану модель пластини опорна, яка була створена програмою Solid Works, зображено на рисунку 4.22.

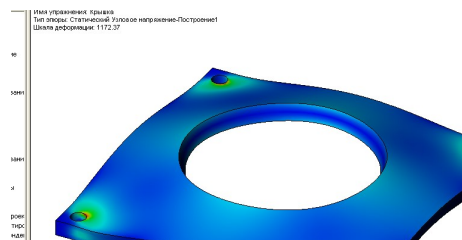


Рисунок 4.10 – Схема розподілення напружень в структурі пластини опорна

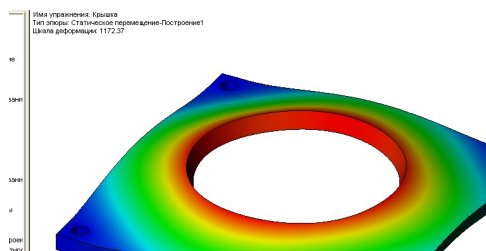


Рисунок 4.11 – Схема переміщень елементів пластини опорна при деформуванні



Рисунок 4.12 – Оптимізована модель пластини опорна, створена програмою Solid Works (товщина – 3,83 мм)

Для оптимізованої пластини опорна еюра розподілення напруження та еюра переміщення елементів зображені на рисунках 4.13 та 4.14 відповідно.

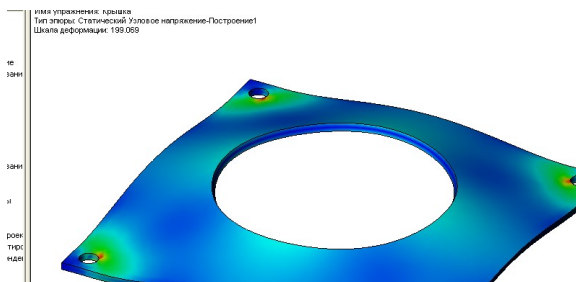


Рисунок 4.13 – Схема розподілення напружень в структурі пластина опорна після оптимізації

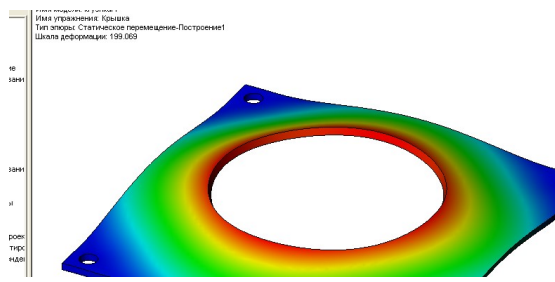


Рисунок 4.14 – Схема переміщення елементів пластина опорна при деформуванні після оптимізації

Критерієм проведення оптимізації було обрано отримання конструкції пластини опорної з найменшою масою та обмеженням максимального переміщення її елементів при заданих навантаженнях. Параметром, який підлягав зміні під час оптимізації була товщина пластина опорна.

В результаті розрахунків були отриманні наступні результати. Графік сходимості розрахунків по радіусам (рис. 4.28), який показує на якому етапі повторення (номері досліду) було програмою досягнуто оптимальних розмірів пластини опорної. Графік сходимості розрахунків по масі (рис. 4.29), який показує на якому етапі повторення (номері досліду) було програмою досягнуто оптимальних розмірів пластини опорної і яку масу при цьому було отримано.

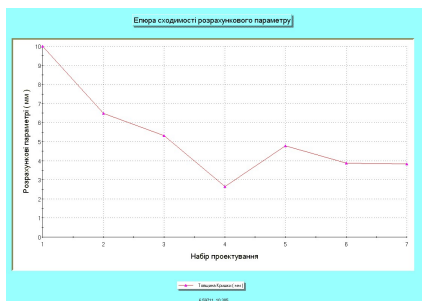


Рисунок 4.15 – Графік сходимості розрахунків по товщині

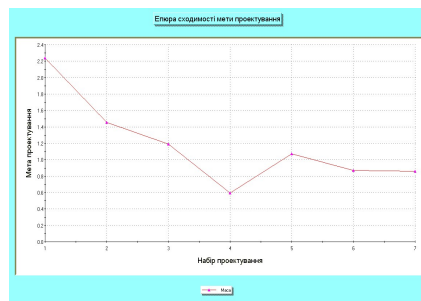


Рисунок 4.16 – Графік сходимості розрахунків по масі

4.4 Висновки до розділу 4

В розділі створені та виконані необхідні розрахунки на міцність деталі приводу за допомогою програмних продуктів Solid Works. Отримано результати розрахунку навантажень у вигляді епюр напружень та деформацій, а також оптимізований варіант деталі, що необхідний для остаточного проектування та створення елементів приводу установки.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

5.1 Аналіз об'єкта виробництва

Деталь стійка входить у конструкцію вібраційного обладнання для зміни властивостей води. На них монтується робчий орган вібраційної машини.

5.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Якісний аналіз технологічності

Основні - поверхні, за допомогою яких визначають положення даної деталі у виробі. В даній деталі це поверхні 2, 6, (рис. 5.1). Допоміжними називають поверхні деталі, які визначають положення всіх приєднуємих деталей відносно даної. Це поверхня 7. Виконавчі поверхні – поверхні, які виконують службове призначення. На рисунку 5.1 це поверхня 4. Вільними поверхнями є ті поверхні, які не контактують з поверхнями інших деталей. Це поверхня 5.

В основному всі конструктивні елементи деталі штанга і її поверхні являються стандартними і уніфікованими, тому по даному показникові штанга є технологічною.

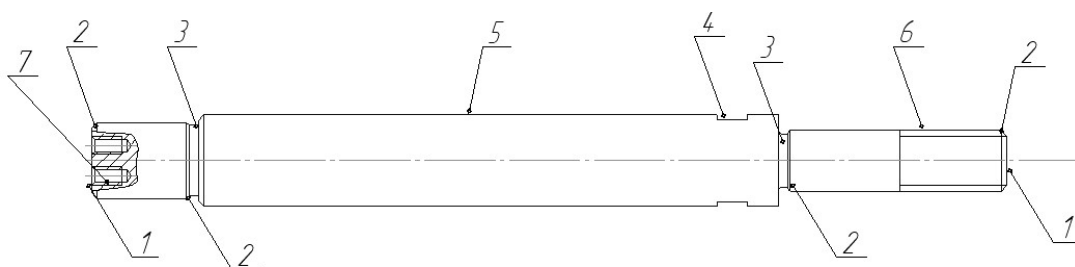


Рисунок 5.1 – Позначення поверхонь деталі стійка

Для виготовлення штанги, як матеріал, використовується конструкційна сталь марки Сталь 45 ДСТУ 7809:2015. Даний матеріал добре оброблюється різанням, має невисоку вартість і не являється дефіцитним. Хімічний склад сталі та її механічні властивості зводимо в таблиці 5.1 і 5.2 відповідно.

Таблиця 5.1 – Хімічний склад сталі 45 ДСТУ 7809:2015 в %

| C | Si | Mn | S | P | Ni | Cr |
|-----------|-------------|-----------|-----------|-------|-----|-----|
| 0,4 – 0,5 | 0,17 – 0,37 | 0,5 – 0,8 | Не більше | | 0,3 | 0,3 |
| | | | 0,045 | 0,045 | | |

Таблиця 5.2 – Механічні властивості сталі 45 ДСТУ 7809:2015

| σ_T , МПа | $\sigma_{вр}$, МПа | σ_5 , % | ψ , % | a_n , Дж/см ² | Твердість НВ |
|------------------|---------------------|----------------|------------|----------------------------|--------------|
| Не менше | | | | | Не більше |
| 360 | 610 | 16 | 40 | 50 | 241 |

Конструкція деталі та матеріал дозволяють отримати заготовку з гарячекатаного прокату.

За базові поверхні використовуються: для токарної обробки – центрові отвори (штучні бази); для фрезерування – поверхня 5, торець 1 (див. рис. 5.1), які дозволяють вести обробку на підвищених режимах, володіють достатньою жорсткістю, точністю, шорсткістю, при обробці забезпечується технологічне ув'язування розмірів.

Досягнення заданих допусків і параметрів шорсткості не потребує високоточних операцій, є можливість прямого визначення розмірів, заданих кресленням, деталь володіє достатньою жорсткістю, що дає змогу вести обробку методом концентрації переходів.

Отже, по якісним показникам деталь штанга являється технологічною.

Кількісний аналіз технологічності

1) Проводимо конструкторський аналіз, результати заносимо в таблицю 5.3

Таблиця 5.3 – Результати конструкторського аналізу

| Найменування поверхні | Кількість поверхонь | Кількість уніф.елем. | Квалітет точності | Параметр шорсткості |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Отвір М 6 | 2 | 1 | 9 | 12,5 |
| Зовнішня поверхня Ø 32 | 1 | 1 | 10 | 6,3 |
| Фаска 1,5×45° | 2 | 2 | 14 | 6,3 |
| Зовнішня поверхня Ø 25 | 1 | 2 | 6 | 1,6 |
| Зовнішня поверхня Ø 20 | 1 | 1 | 10 | 6,3 |
| Різьба М20×1,5 | 1 | 1 | 7 | 6,3 |
| Торець | 2 | - | 14 | 40 |
| Канавка | 1 | 1 | 14 | 40 |
| Канавка | 1 | 1 | 14 | 40 |
| Радіус R1,5 | 3 | 3 | 14 | 40 |
| Лиски | 2 | 2 | 9 | 3,2 |
| Всього | 17 | 18 | | |

2) Визначення коефіцієнта уніфікації:

$$K_{y.e.} = Q_{y.e.} / Q_e \quad (5.1)$$

де $Q_{y.e.}$ – кількість уніфікованих елементів деталі, $Q_{y.e.} = 18$;

Q_e – загальна кількість елементів деталі, $Q_e = 17$.

$$K_{y.e.} = 18 / 17 = 1,1.$$

По цьому показнику деталь технологічна, так як $K_{y.e.} > 0,6$.

3) Визначення коефіцієнта точності обробки K_m :

$$K_m = 1 - 1/A_{cp} \quad (5.2)$$

де A_{cp} – середня точність обробки.

$$A_{cp} = (n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 19n_{19}) / \sum n_i \quad (5.3)$$

де n_i – число поверхонь деталі відповідно 1...19 квалітетам точності.

$$A_{cp} = (6 \cdot 2 + 7 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 9 \cdot 6 + 10 \cdot 2 + 14 \cdot 8 + 15 \cdot 2) / 22 = 11,05$$

$$K_m = 1 - 1/11,05 = 0,91$$

По цьому показнику деталь технологічна, так як $K_m > 0,8$.

4) Визначення коефіцієнта шорсткості обробки K_u :

$$K_{ш} = 1/B_{cp} \quad (5.4)$$

де B_{cp} – середня шорсткість обробки в параметрі R_a , мкм.

$$B_{cp} = (0,01n_1 + 0,02n_2 + \dots + 40n_{13} + 80n_{14}) / \sum n_i \quad (5.5)$$

де n_i – число поверхонь деталі відповідно 1...14 класам шорсткості.

$$B_{cp} = (1,6 \cdot 3 + 3,2 \cdot 3 + 6,3 \cdot 5 + 12,5 \cdot 3 + 40 \cdot 8) / 22 = 18,3$$

$$K_{ш} = 1 / 18,3 = 0,055$$

По цьому показнику деталь технологічна, так як $K_{ш} < 0,32$.

5) Визначення коефіцієнта використання матеріалу $K_{в.м.}$:

$$K_{в.м.} = q/Q \quad (5.6)$$

де q – маса деталі, $q = 1,6$ кг;

Q – маса заготовки, $Q = 2,74$ кг.

$$K_{в.м.} = 1,6 / 2,74 = 0,59$$

По цьому показнику деталь не дуже технологічна, так як $K_{в.м.}$ доволі невисокий.

5.3 Визначення типу та організаційної форми виробництва

«Тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій згідно формули:

$$K_{зо} = \frac{\sum O}{\sum P}; \quad (5.7)$$

де $\sum O$ - сумарне число різноманітних операцій, що виконуються на дільниці за місяць;

$\sum P$ - сумарне число робочих місць на даній дільниці цеху.

Виходячи з штучного часу на операціях визначаємо кількість верстатів для кожної операції:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ум}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (5.8)$$

де N - річна програма, 800 шт в рік;

$T_{шт}$ - штучний час на операцію з базового технологічного процесу, хв.;

F_o - дійсний річний фонд часу роботи обладнання, $F_o = 3979$ год при двохзмінній роботі;

$\eta_{з.н.}$ - нормативний коефіцієнт завантаження обладнання (при двохзмінній роботі $\eta_{з.н.} = 0,75 - 0,8$) [31].

Загальна кількість робочих місць: $\sum C = 9$.

Загальна кількість операцій: $\sum O = 160$.

Коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{зо} = \frac{160}{9} = 17,7.$$

При такому коефіцієнті закріплення операцій тип виробництва – середньосерійний.

5.4 Вибір заготовки та техніко-економічне обґрунтування методу її отримання

На підставі таких факторів як призначення деталі стійка, її конфігурації, габаритних розмірів і маси, вимог до точності та якості поверхонь деталі, типу й обсягу виробництва пропонується для порівняння таких два методи отримання заготовки:

- 1) прокат;
- 2) штампування на горизонтально – ковочній машині (ГКМ).

5.4.1 Техніко-економічне порівняння двох варіантів вибору заготовки

«Порівняння будемо проводити за емпіричними формулами і після розрахунку проведемо визначення економічного ефекту від використання оптимального методу отримання заготовки.

1) Розрахунок затрат матеріалу на заготовку з прокату проводимо за формулою:

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000}, \quad (5.9)$$

де Q - маса заготовки, $Q = 2,74$ кг;

$S_{баз}$ - базова вартість 1 кг матеріалу, $S_{баз} = 5,65$ грн.,

q - маса готової деталі, $q = 1,6$ кг;

$S_{відх}$ - вартість 1 т відходів, $S_{відх} = 180$ грн.;

2) Розрахунок вартості отримання заготовки штамповкою проводимо за формулою:

$$S_{заг2} = ((S_{баз} / 1000) Q k_m k_c k_g k_M k_n) - (Q - q) S_{відх} / 1000, \quad (5.10)$$

де $S_{баз}$ – базова вартість 1 т штампованих заготовок, $S_{баз} = 8750$ грн;

$S_{відх}$ – вартість 1 т відходів, $S_{відх} = 180$ грн;

Q – маса заготовки, $Q = 2,2$ кг;

k_m – коефіцієнт класу точності, $k_m = 1,05$, [3];

k_c – коефіцієнт групи складності, $k_c = 0,75$, [3];

k_g – коефіцієнт маси, $k_g = 1,14$, [3], с. 67;

k_M – коефіцієнт марки матеріалу, $k_M = 1$, [3];

k_n – коефіцієнт об'єму виробництва, $k_n = 1$ » [3].

5.4.2 Розрахунок собівартості заготовки на ЕОМ

| Розрахунок заготовки | |
|---|--------------------------------|
| Перший варіант | |
| Вид отримання заготовки | |
| <input checked="" type="radio"/> | прокат |
| <input type="radio"/> | литво в землю і кокиль |
| <input type="radio"/> | литво по виплавлених моделях |
| <input type="radio"/> | литво по виплавлених моделях |
| <input type="radio"/> | литво по газифікованих моделях |
| <input type="radio"/> | литво під тиском |
| <input type="radio"/> | литво в оболонковій формі |
| <input type="radio"/> | штампування |
| Маса заготовки, кг | 2,74 |
| Маса деталі, кг | 1,6 |
| Програма випуску, шт | 800 |
| Вартість 1-ї тони відходів, грн | 180 |
| Базова вартість 1-ї тони заготовок, грн | 5650 |
| Другий варіант | |
| Вид отримання заготовки | |
| <input type="radio"/> | прокат |
| <input type="radio"/> | литво в землю і кокиль |
| <input type="radio"/> | литво по виплавлених моделях |
| <input type="radio"/> | литво по виплавлених моделях |
| <input type="radio"/> | литво по газифікованих моделях |
| <input type="radio"/> | литво під тиском |
| <input type="radio"/> | литво в оболонковій формі |
| <input checked="" type="radio"/> | штампування |
| Маса заготовки, кг | |
| Маса деталі, кг | |
| Програма випуску, шт | |
| Вартість 1-ї тони відходів, грн | |
| Базова вартість 1-ї тони заготовок, грн | |
| Матеріал | вуглецева сталь 08 |
| Група складності | Г |

| Результат розрахунку заготовок | |
|--|--|
| Перший варіант Спосіб отримання заготовки: <input type="text" value="прокат"/> Вартість заготовки, грн: <input type="text" value="15,28"/> | Другий варіант Спосіб отримання заготовок: <input type="text" value="штампування"/> Вартість заготовки, грн: |
| Різниця у собівартості, грн: <input type="text" value="1,07"/> | Річний економічний ефект, грн: |

Отже остаточно приймаємо метод отримання заготовки з прокату, як метод отримання заготовки більш економічний.

5.5 Вибір технологічних баз

Базою будуть слугувати зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 32$ та базування у призмі з упором в торець. Ці ж бази використовуємо при фрезеруванні лисок і свердлуванні двох отворів та нарізанні різьби М6. Дані поверхні задовольняють всі вимоги до чорнових баз: мають достатні розміри, ступінь точності, необхідну жорсткість; не має заусенців, слідів від рознімання штампів; забезпечують при затискуванні стійке положення деталі без її деформування.

Для проміжних операцій – чорнове і чистове точіння поверхонь – за бази приймаємо центрові отвори.

5.6 Вибір технологічного маршруту обробки деталі з розробкою технологічних операцій

Метою розробки варіанта технологічного маршруту обробки деталі являється подання загального плану обробки, намітка змісту операцій та переходів технологічного процесу, вибір типу устаткування – верстатів, пристроїв, різального та вимірювального інструментів.

Загальний план обробки, вибране устаткування заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 5.3 – Маршрут обробки деталі стійка

| № операції | Назва і зміст операції | Установча база | Верст. | Пристосування | Інструмент | |
|------------|---|---|----------------------------------|----------------------|--|--|
| | | | Мод. | | різальний | вимірювальний |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 005 | Фрезерно - центрувальна | Зовнішня циліндрич. Поверхня $\varnothing 32$ | Фрезерно-центрувальний н/а СІО17 | Спеціальний пристрій | Фреза з твердо - сплавн. пластин. | - |
| 010 | Токарна з ЧПК Чорнова підрізка торців поверхні Д Чорнове точіння поверхонь В,Е, П,К,Л | Центрові отвори | Токарно-гвинторізний 16К20Ф3 | Обертвий центр | Різець прохідний, $\varphi = 45^\circ$, Різець упорний | Штанген – циркуль |
| 015 | Токарна з ЧПК Чорнове, чистове точіння поверхонь Д,Е,П, К,Л, чистова підрізка торців пов.Д точіння фасок Г, М, проточка каналок О і С, нарізка різьби М22 | Центрові отвори | Токарно - гвинторізний 16К20 Ф3 | Обертвий центр | Різець прохідний з $\varphi = 45^\circ$, різець упорний, різець різьбовий | Штанген – циркуль, шаблон, калібр – скоба різьбова |
| 020 | Вертикально – фрезерна Фрезерування лисок | Зовнішні циліндр. поверхні $\varnothing 25$, упор в торець | Вертикально - фрезерний 6Р12, | Спеціальний пристрій | Гвинтова фреза з твердо – сплавними пластинами | Штанген – циркуль |
| 025 | Свердлувальна з ЧПК Зацентровка 2 –х отворів свердління отворів $\varnothing 5,2$ мм, Зняття фаски, нарізання різьби М6 в 2 - х отворах | Зовнішні циліндр. поверхні $\varnothing 25$ | вертикально-свердлильний 2Н135Ф2 | Спеціальний пристрій | Свердло зацентроване, свердло, зенківка, мітчик | Калібр – пробка різьбова |
| 030 | Термообробка | - | - | - | - | - |
| 035 | Кругло – шліфувальна Чорнове і чистове шліфування поверхні $\varnothing 25$ | Центрові отвори | Кругло шліфувальний 3М150 | Обертві центра | Шліфувал. круг | Калібр-скоба |
| 040 | Кругло – шліфувальна Чорнове шліфування поверхні $\varnothing 30$ | Центрові отвори | Кругло шліфувальний 3М150 | Обертві центра | Шліфувал. круг | Калібр-скоба |

5.7 Розрахунок припусків

5.7.1 Розрахунок аналітичним методом

Розрахуємо припуски на обробку і проміжні граничні розміри для обробки поверхні $\varnothing 25$ к6($\begin{smallmatrix} +0.015 \\ +0.002 \end{smallmatrix}$). деталі стійка. Заготівка пруток. Схема установки деталі – обробка в центрах.

План обробки поверхні $\varnothing 25$ к6($\begin{smallmatrix} +0.015 \\ +0.002 \end{smallmatrix}$) відповідно до вимог креслення та з врахуванням економічної точності обробки [5]:

- чорнове обточування;
- чистове обточування;
- чорнове шліфування;
- чистове шліфування.

Значення параметрів R_z і h для заготовки вибираємо із [5]; значення R_z і h після механічної обробки - із [5]; значення технологічних допусків T із [5].

При обробці деталі в центрах похибка установки в радіальному напрямку на розраховувемий розмір дорівнює нулю ($\varepsilon_y = 0$).

Значення просторових відхилень оброблюваної поверхні відносно базової визначається за формулою:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2 + \rho_{ц}^2}, \quad (5.11)$$

де $\rho_{зм}$ – сумарне зміщення, $\rho_{зм} = 600$ мкм, [5];

$\rho_{кор}$ – похибка короблення, мкм;

$\rho_{ц}$ – похибка зацентровки заготовки, $\rho_{ц} = 250$ мкм.

$$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot l, \quad (5.12)$$

де Δ_k – питома кривизна заготовки, $\Delta_k = 3$ мкм/мм, [5];

l – довжина заготовки, мм.

$$\rho_{кор} = 3 \cdot 300 = 900 \text{ мкм}$$

$$\rho_z = \sqrt{600^2 + 900^2 + 250^2} = 1110 \text{ мкм}$$

Залишкова похибка після обробки, мкм:

$$\rho_{ост} = \rho \cdot K_y, \quad (5.13)$$

де K_y – коефіцієнт уточнення,

після чорнового точіння $K_y = 0,06$;

після чистового точіння $K_y = 0,04$ [5].

$$\rho_{ост1} = 1110 \cdot 0,06 = 66,6 \approx 67 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{ост2} = 67 \cdot 0,04 = 2,68 \approx 3 \text{ мкм.}$$

Значення мінімального припуску:

$$2z_{imin} = 2 \cdot (R_{zi-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1}) \quad (5.14)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунку припусків і граничних розмірів за переходами на обробку поверхні $\varnothing 25 \text{ k6} \left(\begin{smallmatrix} +0.015 \\ +0.002 \end{smallmatrix} \right)$.

| План обробки | Елементи припуску, мкм | | | | Розрахунковий припуск, $2z_{imin}$, мкм | Розрахунковий розмір, d_p , мм | Допуск T , мкм | Граничні розміри, мм | | Граничні значення припусків, мкм | |
|--------------------|------------------------|-----------|--------------|--------------------|--|----------------------------------|------------------|----------------------|-----------|----------------------------------|--------------------|
| | R_{zi-1} | h_{i-1} | ρ_{i-1} | ε_{yi} | | | | d_{max} | d_{min} | $2z_{i \max}^{cp}$ | $2z_{i \min}^{cp}$ |
| Заготовка | 160 | 200 | 1110 | - | - | 28,402 | 840 | 29,24 | 28,4 | - | - |
| Точіння чорнове | 50 | 50 | 67 | - | 2·1470 | 25,462 | 210 | 25,67 | 25,46 | 3570 | 2940 |
| Точіння чистове | 25 | 25 | 3 | - | 2·167 | 25,128 | 130 | 25,26 | 25,13 | 410 | 330 |
| Гартування | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Шліфування чорнове | 10 | - | - | - | 2·53 | 25,022 | 33 | 25,055 | 25,022 | 205 | 108 |
| Шліфування чистове | 5 | - | - | - | 2·10 | 25,002 | 13 | 25,015 | 25,002 | 40 | 20 |

Загальні припуски знаходяться як сума проміжних припусків:

$$2z_{o\max} = \sum 2z_{i\max}^{zp} \quad (5.15)$$

$$2z_{o\min} = \sum 2z_{i\min}^{zp} \quad (5.16)$$

$$2z_{o\max} = 3570 + 410 + 205 + 40 = 4225 \text{ мкм.}$$

$$2z_{o\min} = 2940 + 330 + 108 + 20 = 3398 \text{ мкм.}$$

Перевірка правильності розрахунків:

$$2z_{o\max} - 2z_{o\min} = Td_{заг} - Td_{дет} \quad (5.17)$$

$$4225 - 3398 = 840 - 13 = 827 \text{ мкм.}$$

Номинальний припуск на оброблювану поверхню:

$$2z_{o\text{ ном}} = 2z_{o\min} + EId_{заг} - EId_{дет} = 3,398 + 0,7 - 0,002 = 4,1 \text{ мм.} \quad (5.18)$$

Номинальний розмір заготовки:

$$d_{з\text{ ном}} = d_{д\text{ ном}} + 2z_{o\text{ ном}} = 25 + 4,1 = 29,1 \text{ мм.} \quad (5.19)$$

Після розрахунку будують схему розташування припусків, допусків та граничних розмірів заготовки в мм (рис. 5.2)

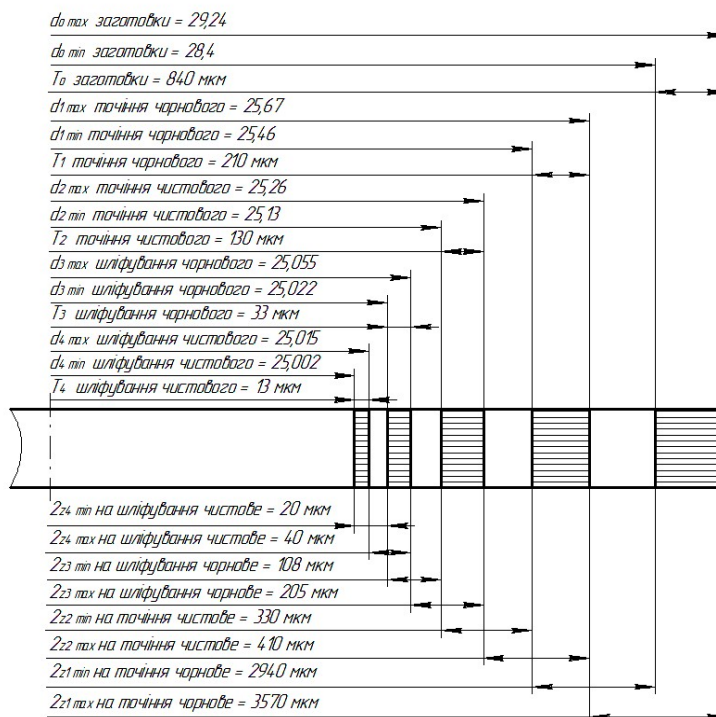


Рисунок 5.2 – Схема розташування полів припусків і допусків на обробку поверхні $\varnothing 25$ k6 ($+0.015$ / -0.002).

5.8 Розрахунок та вибір режимів різання

5.8.1 Розрахунок режимів різання аналітично

Операція 030 переход 1. Свердлування отвору $\varnothing 5,2$ мм.

1) Вибір різального інструменту:

Різальний інструмент – свердло спіральне із швидкоріжучої сталі Р6М5 з конічним хвостовиком.

Геометричні параметри: $2\varphi = 120^\circ, \omega = 30^\circ, .$

2) Глибина різання:

$$t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 5,2 = 2,6 \text{ мм.}$$

3) Призначаємо подачу: $S = 0,075$ мм/об, [6].

4) Швидкість головного руху різання V , м/хв, визначаємо за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (5.20)$$

де C_v – поправочний коефіцієнт, $C_v = 7$, [6];

m, y, q – показники степені, $m = 0,2, y = 0,7, q = 0,4$, [6];

T – стійкість інструменту, $T = 25$ хв, [6];

K_v – додатковий коефіцієнт на швидкість різання

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{lv} \cdot K_{iv}, \quad (5.21)$$

де K_{lv} – коефіцієнт, що враховує довжину отвору, $K_{lv} = 0,4$, [6];

K_{iv} - коефіцієнт, що враховує вплив інструмента, $K_{iv} = 1$, [6];

K_{mv} – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_{\epsilon}} \right)^{n_v}, \quad (5.22)$$

де n_v - показник степені, $n_v = 0,9$, [6];

K_{Γ} - поправочний коефіцієнт, $K_{\Gamma} = 1$, [6].

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{610} \right)^{0,9} = 1,2$$

$$V = \frac{7 \cdot 5,2^{0,4}}{25^{0,2} \cdot 0,075^{0,7}} \cdot 1,2 \cdot 0,4 \cdot 1 = 18,6 \text{ м/хв}$$

5) Число обертів шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 18,6}{3,14 \cdot 5,2} = 1139 \text{ об/хв}$$

6) Приймаємо $n = 1000$ об/хв, [5], с. 18, табл. 10.

7) Дійсну швидкість головного руху визначаємо за формулою:

$$V_o = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 5,2 \cdot 1000}{1000} = 16,3 \text{ м/хв}$$

8) Визначення осьової сили різання і крутного моменту:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot S^{y_p} \cdot D^{q_p} \cdot K_{mp}, \quad (5.23)$$

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^{q_m} \cdot S^{y_m} \cdot K_{mp}, \quad (5.24)$$

де $C_p, y_p, q_p, C_m, y_m, q_m$ - змінні параметри, $C_p = 68, y_p = 0,7, q_p = 1, C_m = 0,0345, y_m = 0,8, q_m = 2$, [6];

K_{mp} - поправочний коефіцієнт

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^n, \quad (5.25)$$

де n - показник степені, $n = 0,75$, [6].

$$K_{mp} = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,75} = 0,86$$

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 0,075^{0,7} \cdot 5,2^1 \cdot 0,86 = 745 \text{ Н}$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 5,2^2 \cdot 0,075^{0,8} \cdot 0,86 = 2,3 \text{ Н·м}$$

9) Потужність різання визначаємо за формулою:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{2,3 \cdot 1000}{9750} = 0,24 \text{ кВт} \quad (5.26)$$

Різання можливе, так як виконується умова $N = 8 \text{ кВт} > N_e = 0,24 \text{ кВт}$.

10) Визначення основного часу на перехід:

$$t_o = l_{p.x.} / S \cdot n_d$$

$$l_{p.x.} = l_{piз} + y = 170 + 15 = 185 \text{ мм.}$$

$$y = 15 \text{ мм, [7].}$$

$$t_o = 185 / 0,075 \cdot 1000 = 2,5 \text{ хв.}$$

5.8.2 Вибір режимів різання табличним методом

Визначення режимів різання табличним методом проводимо по [7], результати заносимо в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Зведені дані по режимам різання

| Назва опер., зміст перех. | t , мм | $l_{piз}/l_{p.x.}$ мм | λ | T_M/T_p , хв | s_p/s_{np} , мм/об | n_p/n_{np} , об/хв | V_p/V_{np} , м/хв | s_{xe} , мм/х | t_o , хв | N_p/N_{e3} , кВт |
|--|-------------|--------------------------|-----------|-------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 005 Фрезерно центрувал. 1) Фрезерув. торців | 3 | 35/30 | 0,86 | 60/60 | 0,5/0,5 | 378/400 | 41/43 | 1080 | 0,14 | 2,2/14 |
| 2) Свердлув. центрових отворів | 2 | 10/13 | 0,8 | 12/15 | 0,06/0,1 | 865/910 | 14,5/ 15 | - | 0,15 | 0,1/14 |
| 010 Токарна 1) Однократ. черн. точіння пов. Ø29h10 | 1,7 | 35/45 | 0,78 | 60/40 | 0,6/0,63 | 406/400 | 68/67 | - | 0,44 | 3,4/12 |
| 2) Чистове точіння пов. Ø25,5 | 1,5 | 32/45 | 0,71 | 60/60 | 0,5/0,5 | 513/500 | 74/72 | - | 0,18 | 3,2/12 |
| 3) Точіння канавки, фасок | 1,5 | $\frac{200}{220}$ | 0,91 | 60/60 | 0,5/0,5 | 910/710 | 70/ 55,7 | - | 0,58 | 3,6/12 |

Кінець табл. 5.5

| | | | | | | | | | | | |
|--|------|---------|------|---------|-----------|---------|---------|----|------|---------|--|
| 015 Токарна з ЧПК | | | | | | | | | | | |
| 1) Чорнове точіння пов. Ø31,5 | 1,5 | 15/15 | 1 | 60/60 | 0,6/0,63 | 531/560 | 77/82 | - | 0,26 | 1,47/12 | |
| 2) Чистове точіння пов. Ø20 | 0,2 | 32/45 | 0,71 | 60/60 | 0,3/0,3 | 336/375 | 54/60 | - | 0,4 | 1,3/12 | |
| 3) Точіння фасок | 0,7 | 0,7/0,7 | 1 | 60/60 | 0,2/0,2 | 289/290 | 22,8/23 | - | 0,25 | 0,1/12 | |
| 4) Проточка канавок | 0,61 | 2/2 | 1 | 60/60 | 0,25/0,2 | 245/210 | 12/9 | - | 0,1 | 0,1/12 | |
| 5) Нарізання різьби М20 | 0,5 | 35/40 | 0,87 | 30/30 | 1,5/1,5 | 23/25 | 0,8/1 | - | 1,6 | 0,6/12 | |
| 020 Вертик.-фрезерна Фрезерувати дві лиски | 7,5 | 35/80 | 0,44 | 120/80 | 0,3/0,3 | 912/910 | 40/39 | 90 | 0,9 | 0,3/10 | |
| 025 Вертик.-Свердлувальна з ЧПК | 1,5 | 5/6 | 1 | 25/25 | 0,1/0,1 | 1000 | 14,5 | - | 0,2 | 0,1/8 | |
| 1.) Зацентровка. | 2,6 | 170 | 0,92 | 25/25 | 0,075 | 1006 | - | - | 2,2 | 0,24/8 | |
| 2.) Свердлув. Отвір Ø5,2 | | 185 | | | 0,075 | 1000 | 25/24,5 | - | | 0,04/8 | |
| 3.) Зняти фаску | 1 | 1 | 0,75 | 25/25 | 0,2/0,2 | 900/800 | 25/18 | - | 0,1 | | |
| 4) Нарізати різьбу М6 | 0,25 | 25/45 | 0,56 | 90/50 | 0,75/0,75 | 138/135 | 3/2,7 | - | 1,92 | 0,3/8 | |
| 030 Термічна | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 035 Кругло – шліфувальна | | | | | | | | | | | |
| 1) Чорнове шліфування пов. Ø25 | 0,3 | 50/53 | 0,94 | 120/120 | 0,2/0,2 | 500/500 | 35/35 | - | 0,9 | 2,6/10 | |
| 2) Чистове шліфування пов. Ø25 | 0,1 | 50/53 | 0,94 | 120/120 | 0,1/0,1 | 500/500 | 35/35 | - | 1,8 | 1,1/10 | |
| 040 Кругло – шліфувальна | | | | | | | | | | | |
| 1. Чорнове шліфування Ø30 | 0,3 | 190/195 | 0,94 | 120/120 | 0,2/0,2 | 500/500 | 35/35 | - | 1,67 | 2,6/10 | |

5.9 Розрахунок технічних норм часу при виконанні операцій

Проведемо нормування операції 015.

«В серійному виробництві визначається норма штучно – калькуляційного часу $T_{шт-к}$ за формулою :

$$T_{шт-к} = T_{шт} + T_{n-з} / n , \quad (5.27)$$

де $T_{шт}$ – штучний час, хв;

$T_{n-з}$ – підготовчо – заключний час, $T_{n-з} = 18$ хв, [8];

n – величина партії деталей

$$n = \frac{N \cdot t}{\Phi} , \quad (5.28)$$

де t – запас деталей на складі, $t = 5$ шт;

Φ – число робочих днів у році, $\Phi = 251$ дн.» [8].

$$n = \frac{800 \cdot 5}{251} = 159$$

$$T_{шт} = T_o + T_\delta + T_{обс} + T_{відп} , \quad (5.29)$$

де $T_o = 2,61$ хв. – машинний час, див. табл. 2.5;

T_δ – допоміжний час, хв;

$T_{обс}$ – час на обслуговування верстата, хв;

$T_{відп}$ – час на відпочинок та особисті потреби робітника, хв.

$$T_\delta = T_{yc} + T_{yn} + T_{вим} , \quad (5.30)$$

де T_{yc} – час на установку та зняття деталі, $T_{yc} = 0,7$ хв, [8];

T_{yn} – час на прийоми управління, $T_{yn} = 0,14$ хв, [9];

$T_{вим}$ – час на вимірювання деталі, $T_{вим} = 0,88$ хв,

$$T_\delta = 0,7 + 0,11 + 0,88 = 1,69 \text{ хв}$$

Величину оперативного часу знайдемо за формулою:

$$T_{он} = T_o + T_\delta = 2,61 + 1,69 = 4,3 \text{ хв} \quad (5.31)$$

Величину часу на обслуговування знайдемо за формулою:

$$T_{обс} = T_{он} \cdot P_{обс} / 100 , \quad (5.32)$$

де $P_{обс}$ – відсоток від оперативного часу на обслуговування, $P_{обс} = 5\%$, [8];

$$T_{обс} = 4,3 \cdot 5 / 100 = 0,215 \text{ хв}$$

Величину часу на відпочинок знайдемо за формулою:

$$T_{відп} = T_{он} \cdot P_{відп} / 100, \quad (5.33)$$

де $P_{відп}$ – відсоток від оперативного часу на відпочинок та особисті потреби робітника, $P_{відп} = 7\%$, [8];

$$T_{обс} = 4,3 \cdot 7 / 100 = 0,3 \text{ хв. } T_{умт} = 4,3 + 0,3 + 0,215 = 4,81 \text{ хв}$$

$$T_{умт-к} = 4,81 + 18 / 159 = 4,85 \text{ хв}$$

Нормування усіх інших операцій проводимо аналогічно і результати заносимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Зведена таблиця технічних норм часу по операціям, хв

| Номер і назва операції | T_o | T_o | | | $T_{он}$ | $T_{обс}$ | $T_{відп}$ | $T_{умт}$ | $T_{н-з}$ | n , шт | $T_{умт-к}$ |
|-------------------------------|-------|----------|----------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|-------------|
| | | $T_{ус}$ | $T_{ун}$ | $T_{вим}$ | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 005 Фрез. центрув. | 0,29 | 1,1 | 0,46 | 0,85 | 2,7 | 0,135 | 0,189 | 3,024 | 22 | 159 | 3,162 |
| 010 Тока- рна | 1,2 | 0,7 | 0,35 | 0,87 | 3,12 | 0,156 | 0,218 | 3,494 | 18 | 159 | 3,607 |
| 015 Тока- рна з ЧПК | 2,61 | 0,7 | 0,14 | 0,88 | 4,33 | 0,215 | 0,3 | 4,81 | 18 | 159 | 4,85 |
| 020 Гориз. фрезерна | 0,9 | 1,2 | 0,32 | 0,9 | 3,32 | 0,166 | 0,232 | 3,718 | 16 | 159 | 3,819 |
| 025 Свер- длувальна ЧПК | 4,42 | 0,8 | 0,14 | 0,86 | 6,22 | 0,311 | 0,435 | 6,966 | 18 | 159 | 7,08 |
| 030 Круг.- шліфувал. | 2,7 | 0,75 | 0,32 | 0,6 | 4,37 | 0,219 | 0,306 | 4,895 | 20 | 159 | 5,02 |
| 035 Круг.- шліфувал | 1,67 | 0,8 | 0,14 | 0,6 | 3,21 | 0,161 | 0,225 | 3,596 | 18 | 159 | 3,71 |

5.10 Висновки до розділу 5

Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу приводу із застосуванням верстатів з ЧПК

РОЗДІЛ 6. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

6.1 Конструкція запропонованої вібраційної установки та принцип її роботи

Принципова схема вібраційної машини представлена на кресленнику. На рис.3.14 зображено вібраційну машину для зміни властивостей води.

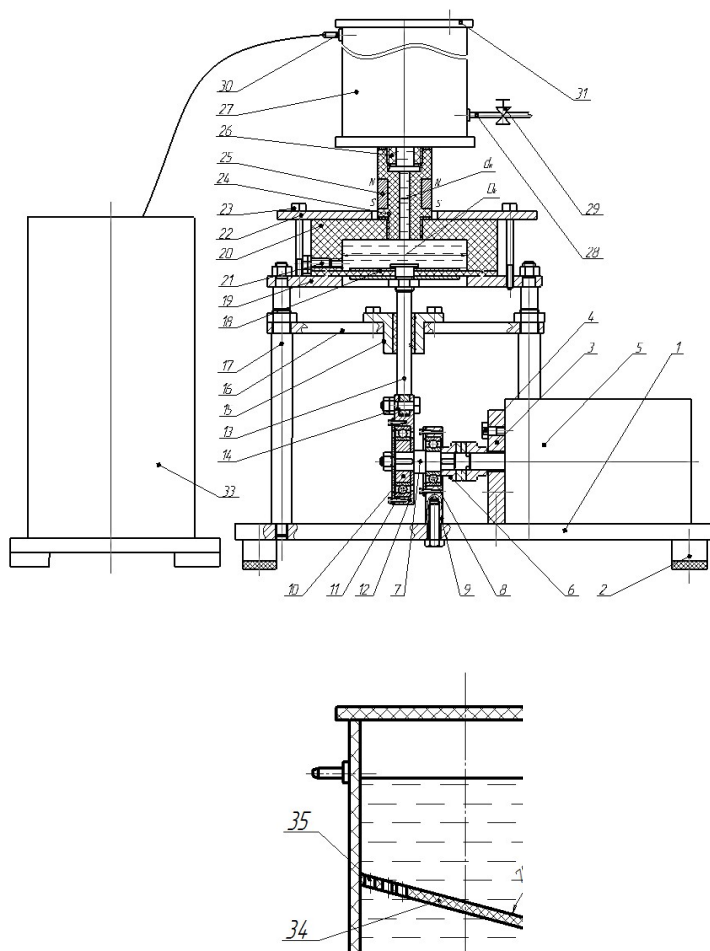


Рисунок 6.1 – Вібраційна машина для зміни властивостей води

Вібраційна машина містить: основу 1 на віброопорах 2, на якій розташовано корпус 3 до якого болтами 4 прикріплено електродвигун 5, вал якого з'єднано муфтою 6 з валом ексцентрикового приводу 7, встановленого в корпус 8 у підшипник 9. На валу 7 встановлено ексцентрик 10 у підшипник 11 і корпус 12. Корпус 12 з'єднано зі штоком 13 віссю 14. Шток 13 входить у

напрягну втулку 15 розміщену на плиті 16, яка встановлена на стійках 17. На верхній кінець штока 14 встановлено пружну мембрану з дисками 18 та розташовано на плиті 19, яка кріпиться на стойках 17. На пружну мембрану з дисками 18 встановлено пульсаційну камеру синтезу 20 з штуцером 21 для зливу води при загальному припиненні процесу і вона закріплена диском 22 за допомогою болтів 23. В пульсаційну камеру синтезу 20 закручено насадок 24, зовнішні стінки якого охоплюють постійні магніти 25 та в нього вкручено штуцер 26, який з'єднує ємність 27 з насадком 24. В ємність 27 встановлено штуцер для підводу води 28 з краном регулювання подачі води 29 та штуцер для відводу води 30 і вона закрита кришкою 31 з отвором 32. Штуцер 30 з'єднано шлангом з баком 33 для збору обробленої води.

На рис. 2.5 зображено перетин ємності 27, на якому показано розташування перегородки 34 під кутом 75° до стінки ємності з отворами 35.

Вібраційна машина працює наступним чином. Вода, яка буде оброблюватися, заповнює пульсаційну камеру синтезу 20 та ємність 27 через штуцер 28 завдяки відкритому крану 29, який потім перекривається. Включається привод машини і завдяки вертикальним коливанням штока 13 та мембрани з дисками 18 у пульсаційній камері синтезу 20 почергово виникає зниження або підвищення тиску у воді відносно атмосферного тиску, при цьому у насадку 24 та у пульсаційній камері синтезу 20 виникає кавітаційна порожнина. З насадка 24 у пульсаційну камеру синтезу 20 при ході штока 13 вниз попадають кавітаційні пухирці, наповнені повітрям, та зростають у розмірах, а при ході штока 13 у верх виникає стискання та підвищений тиск у воді і кавітаційні пухирці сплескуються, розбиваючи молекули води на активні радикали H^+ , OH^- . Рідина, яка отримала кавітаційний вплив, у вигляді струменя з насадка 24, попадає у ємність 27. Для запобігання розплескування та розмежування обробленої води з необробленою ємність 27 розділена перегородкою 33, розташованою під кутом 75° до стінки ємності з отворами 34. При зворотно-поступальному руху рідини при втягуванні та вибросу рідини

крізь насадок 24 здійснюється додатковий вплив змінного за напрямом магнітного поля від постійних магнітів 25 розчепленням молекул води на радикали. Таким чином, об'єм рідини у ємності 27 проходить циклічну багаторазову гідрокавітаційну обробку, а струмінь рідини з насадка 24 переміщує воду у ємності 27, збурює поверхню води у ємності 27 та утворює умови захоплення повітря крізь отвір 32 у кришці 31. Після 15-20 хвилин оброблення циклічною гідрокавітацією першого об'єму води через штуцер підводу води 28 за допомогою крану 29 постійно, з незначним витокком, подається необроблена вода при працюючому віброприводі машини, а оброблена вода через штуцер для відводу води 30 самопливом зливається у бак 33 до його заповнення. Після заповнення бака 33 вібраційна машина вимикається та проводиться заміна баку 33 на порожній. При загальному припиненні процесу роботи вібраційної машини вода зливається з ємності 27 та пульсаційної камери синтезу 20 за допомогою штуцера 21.

6.2 Проектування верстаного пристрою для свердлування

6.2.1 Проектування верстатного пристрою для свердлування отворів Ø5,2 мм

При послідовному свердлінні 2-х отворів Ø5,2 мм на свердлувальному верстаті 2P135Ф2 ругий перехід обробки отвору – зняття фаски, третій нарізання різьби. Вони по своїх режимах значно поступаються свердлуванню – тому їх не розглядаємо.

6.2.2 Вибір установчих елементів, схеми базування та способу закріплення деталі в пристрої

В якості установчих елементів для циліндричної поверхні Ø 30 мм. в пристрої приймаємо призми із сталі 20 з цементуваними опорними поверхнями на глибину 0,8...1,2мм. до твердості 56...61 HRC.

Базовими поверхнями деталі на операцію 025 приймаємо циліндричну поверхню $\varnothing 30$, і торець рис. 6.1.

Схема базування для операції має вигляд:

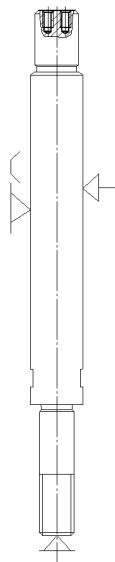


Рис. 6.1 – Схема базування та закріплення стійки при свердлуванні

6.2.3 Розрахунок необхідних сил закріплення деталі та розмірів приводу пристрою

Схема дії сил різання та закріплення на заготовку показана на рис. 6.2.

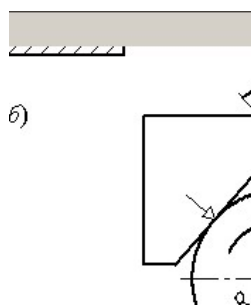


Рис.6.2 – Схема для розрахунку сили закріплення

Повороту заготовки під дією моменту різання протидіють момент сил тертя в місцях контакту заготовки з опорами та затискними елементами.

$$P_z \cdot L_1 \cdot k = (W \cdot f_1 + W \cdot f_2 + W \cdot f_3) \cdot \frac{D}{2} \quad (3.1)$$

де, f_1, f_2, f_3 – коефіцієнти тертя заготовки з встановлюючи ми та затискними елементами. $L = 0,014$ мм.

$$W = \frac{k \cdot P_z \cdot L \cdot 2}{(f_1 + f_2 + f_3) \cdot D} \quad (3.2)$$

P_z - Силу різання при свердлінні знаходимо з моменту сил різання (див. режими різання).

$$P_z = \frac{2M_{рез}}{d_{св}} = \frac{2 \cdot 2,3}{0,0052} = 884,6 \text{ Н}$$

Коефіцієнт тертя сталі по сталі :

$$f_1 = f_2 = f = 0.15$$

Приймаємо коефіцієнт запасу $\kappa = 1,3$ [36].

Тоді сила закріплення буде:

$$W = \frac{1.3 \cdot 886,6 \cdot 0,014 \cdot 2}{(0.15 + 0.15 + 0.15) \cdot 0,03} = 2390 \text{ Н}$$

Розрахунок параметрів приводу пристрою, полягає у визначені внутрішнього діаметру пневмоциліндра [36].

З схеми передавального механізму, важільного, видно, що:

$$Q = W \frac{L_1}{L_2};$$

Приймаємо співвідношення пліч важелів з кресленника:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{13}{9}$$

Визначаємо зусилля на штокові пневмоциліндра:

$$Q = \frac{2390 \cdot 13}{9} = 3453 \text{ Н}$$

Зусилля на штокові пневмоциліндра залежить від робочого тиску повітря і внутрішнього діаметра циліндра:

$$Q = P_n \cdot \frac{\Pi \cdot D_4^2}{4} \cdot \eta \quad [36] \quad (3.3)$$

де, $P_n = 0,4$ МПа – розрахунковий тиск повітря в пневмосистемі;

$D_{ц}$ – діаметр циліндра мм.

Діаметр пневмоциліндра визначаємо за формулою:

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{4Q}{P_n \cdot \Pi \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 * 3453}{0,4 * 3,14 * 0,98}} = 105,9 \text{ мм}$$

З стандартного ряду розмірів вибираємо циліндр з найближчим більшим діаметром: $D_{ц} = 125$ мм.

Розраховуємо фактичне зусилля на штокові за формулою:

$$Q_{\phi} = P_n \cdot \frac{\Pi \cdot D_4^2}{4} = 0,63 \frac{3,14 \cdot 125^2}{4} = 7727 \text{ Н}$$

6.2.4 Розрахунок елементів пристрою на міцність

З аналізу кресленика найбільш навантаженою деталлю є вісь на якій кріпиться важіль що передає зусилля від штока пневмоциліндра.

Проведемо перевірочний розрахунок діаметра вісі на зріз та зминання.

Умову міцності на зріз визначаємо за формулою:

$$\frac{Q}{n \cdot A} \leq [\tau]_{зр}, \quad (3.4)$$

де Q – сила діюча у перерізі, Н. $Q = 7727$ Н.

A – Площа перерізу, мм^2 .

n – Кількість площин зрізу.

$$[\tau]_{зр} \approx 0,3[\sigma_{зм}] = 0,3 * 200 = 60 \text{ МПа}$$

Визначаємо мінімально допустимий діаметр вісі.

$$d \geq \sqrt{\frac{4Q}{2[\tau]_{зр} \Pi}} = \sqrt{\frac{4 * 7727}{260 * 3,14}} = 6,1 \text{ мм}$$

Конструктивно приймаємо $d = 10$ мм.

Умову міцності на зминання вісі визначаємо за формулою:

$$\frac{Q}{\delta \cdot d} \leq [\sigma]_{зм} \quad (3.5)$$

де δ - товщина стінки опори.

$$\delta \geq \sqrt{\frac{Q}{[\sigma_{зм}]d}} = \sqrt{\frac{7727}{200 \cdot 10}} = 1,96 \text{ мм}$$

Конструктивно δ приймаємо 18 мм.

6.2.5 Розрахунок пристрою на точність

Допустиму похибку пристрою визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_{дон} = TD - \kappa \cdot \omega, \quad (3.10)$$

де TD – поле допуску на виконуваний розмір заготовки, $TD = \pm 0,1$ мм;

κ – поправочний коефіцієнт, $\kappa = 0,8$;

ω – точність обробки на вибраному верстаті, $\omega = 20$ мкм.

$$\varepsilon_{дон} = 200 - 0,8 \cdot 20 = 184 \text{ мкм.}$$

Похибку установки заготовки визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_{пр}^2}, \quad (3.11)$$

де ε_{δ} - похибка базування заготовки, $\varepsilon_{TH_2} = \frac{T}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$; (базування у призмі);

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{200}{2 \cdot \sin \frac{90}{2}} = \frac{200}{1,42} = 140 \text{ мкм}$$

ε_z - похибка закріплення, $\varepsilon_z = 0,01$ мм [36];

$\varepsilon_{пр}$ - похибка пристрою:

$$\varepsilon_{пр} = \sqrt{\varepsilon_{виг}^2 + \varepsilon_{зн}^2 + \varepsilon_{фікс}^2}, \quad (3.12)$$

де $\varepsilon_{виг}$ - похибка виготовлення установочних елементів, $\varepsilon_{виг} = 0,01$ мм;

ε_{zn} - похибка зношення установчих елементів, $\varepsilon_{zn} = 0,02$ мм;

$\varepsilon_{фікс}$ - похибка фіксації пристрою на столі верстата, $\varepsilon_{фікс} = 0,01$ мм.

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{0,01^2 + 0,02^2 + 0,01^2} = 0,025 \text{ мм.}$$

Тоді похибка установки буде:

$$\varepsilon_y = \sqrt{0,14^2 + 0,01^2 + 0,025^2} = 0,1455 \text{ мм.}$$

Умова $\varepsilon_{дон} \geq \varepsilon_y$ виконується. Тобто $0,184 > 0,1455$. Точність оброблення забезпечена.

6.2.6 Призначення та робота пристрою

Пристрій призначений для установки на свердлувальний верстат 2P135Ф3 та закріплення у ньому заготовки при послідовному зацентруванні, свердлуванні отворів $\varnothing 5,2$ у торці деталі, знятті фаски та нарізанні різьби М6.

У даному пристрої заготовка базується по торцю та призмі. Стиснуте повітря потрапляючи у поршневу порожнину пневмоциліндра тисне на поршень та переміщає його вправо. Важіль встановлений на вісі яка в свою чергу закріплена у корпусі пристрою. Своїм другим кінцем важіль діє на закріплювану заготовку. У конструкції пристрою не передбачена кондукторна плита з кондукторними втулками, тому що обробка проводиться на верстаті з ЧПК

Після свердління отворів, зняття фаски та нарізання різьб заготовка розкріплюється шляхом подачі стиснутого повітря у штокову порожнину пневмоциліндра, після чого поршень зі штоком рухаються вліво та через важіль розкріплюють заготовку.

До столу верстату плита корпусу пристрою кріпиться за допомогою 4 стандартних болтів.

6.2.7 Висновки до розділу 6

Запропновано конструкцію вібраційної установки та описано принцип її роботи.

Прведено проектування та розрахунки верстатного пристрою для свердлування отворів у деталі стійка верстаті з ЧПК.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. На основі аналізу науково-технічних і патентних джерел показана перспективність застосування гідрокавітаційного процесу у вібраційній техніці. Аналітично проаналізовано межі виникнення гідрокавітації.

2. Досліджений вплив кавітаційної обробки на зміну складу води, приведена методика аналізу обробленої рідини.

3. Створена оптимізована модель елемента приводу за допомогою програмного продукту Cosmos Works.

4. Розроблено конструкцію вібраційного устаткування для зміни властивостей води.

5. Створено програмний продукт для визначення сили тиску струменя.

6. Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу приводу із застосуванням верстатів з ЧПК.

7. Запропоновану конструкцію вібраційної машини можна застосовувати у покращенні якості питної води з індивідуальних колодязей у часному секторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кульський Л. А. Очистка побутових і промислових стічних вод. Київ.: Наукова думка. 2000.
2. Арзуманов Е. С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях/ Энергия, 1978.
3. Погодаев Л. И., Некоз А. И. О механизме кавитационного изнашивания // Пробл. трения и изнашивания.1975. Вып.7. С.11-16.
4. Патент України N4932419.Установка для знезалізнення води. / Дзюба С. В., Дзюба В. С. Опубл. 30.12.93. в БВ N3 за 1993р. C02F1/64,B01D36/00,B01D24/16.
5. Патент N1435268.Отстойник для осветления воды. / Баринов М. Ю. Бутко А. В. Опубл. 7.11.88. в БИ N41 от 1988 г. B01D21/08,C02F1/52
6. Патент N2002704. Аппарат для очистки сточных вод. / Козлов В.В. Опубл. 15.11.93. в БИ N41-42 от 1993 г. 5C02F1/46.
7. Патент на корисну модель № 150960 України, МПК C02F 11/06 Спосіб зміни складу і властивостей води циклічною гідродинамічною кавітацією / Гордєєв А.І., Ганзюк А.Л., Кравчук О.В., Кравчук В.В. та ін. u 2021 05913; Заяв. 21.10.2021. Опубл. 18.05.2022, Бюл. №20.
8. Вібраційна машина для знезараження водних середовищ / А. І. Гордєєв, Н. О. Костюк: пат. на корисну модель 126495 Україна: МПК C02F 1/00, № u201810090: заяв. 02.01.2018: опубл. 28.08.2018, Бюл. №12.
8. Ильичев В. И. Кавитационная прочность жидкости и возникновение кавитации. Труды акустического журнала, 1969, Вып. 4 с.16-29.
9. Справочник по гидравлике. / Под ред. В. А. Большакова. -2-е изд., перераб. и доп. К.: Вища школа, Головное издательство, 1984. 343с.

10. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Машиностроение, 1975. 559 с.
11. Жуковский Н. Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. 1969. 103 с.
12. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости). Издательство литературы по строительству. 1965. 274 с.
13. Бернулли Д. Гидравлика или записки о силах движения жидкости., 1959.
14. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. Недра, 1982, 224 с.
15. Теория турбулентных струй / Под редакцией Абрамовича Г. Н./ 1984.- 742 с.
16. Вулис Л. А., Кашкаров В. П. Теория струй вязкой жидкости. Наука, 1965. 379 с.
17. Войцеховский Б. В., Дудин Ю. А. и др. Кавитационный эффект в экспотенциальном струйном насадке. Динамика смешаной среды. 1971, вып. IX с.7-11.
18. Сиов Б. Н. Истечение жидкости через насадки. Машиностроение, 1968. 139 с.
19. Сілін Р. І., Гордєєв А. І., Савицький Ю. В. Датчик для вимірювання миттєвих тисків // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 1997. №2. С. 57-59.
20. Бойков Н. А., Звездник П. С., Резник Л. Б. Измерение давлений при быстропротекающих процессах. Энергия, 1970. 189 с.
21. Рабинович Е. З. Гидравлика: Учебное пособие для вузов. Недра, 1980. 278 с.
27. Шальнев К. К. Кавитация в гидродинамике. Известия АН ОНТ, 1970, №8, С.10-92.
28. Эпштейн Л. А. Возникновения и развития кавитации. В.кн.;Труды ЦАГИ, №655,С.41-118
29. Биркгоф Г. Г. Струи, следы и каверны. Мир.1964. 466с.

30. Сиов Б. Н. Истечение жидкости через насадок в среді с сопротивлением. Машиностроение, 1968. 140с., ил.
31. Кожевников С. Н., Есипенко Я. И., Раскин Я. М. Механизмы. Справочник. Изд. 4-е. Перераб. и доп. Под ред. С.Н.Кожевникова. «Машиностроение», 1976. 784 с. с ил.
31. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении / Под ред. В. В. Бабука. Высшейш. школа, 1987. 256 с.
32. Справочник технолога-машиностроителя.Т.1. / Под ред. А. Г. Косиловой , Р. К. Мещерякова. Машиностроение, 1985. 656 с.
33. Справочник технолога-машиностроителя.Т.2. / Под ред. А. Г. Косиловой , Р. К. Мещерякова. Машиностроение, 1985. 496 с.
34. Барановский Ю. В. Режимы резания металлов/ Ю.В. Барановский Машиностроение, 1972. 407 с.
35. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени, на обслуживание рабочего места и подготовительно – заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. Машиностроение.1974. 136 с.
36. Курсове та дипломне проектування для технології машинобудування та металорізальних верстатів / А. І. Гордєєв, Є. А. Урбанюк., А. Є. Безносів, В. Г. Мігаль. Навчальний посібник, ХНУ, 2005. 300 с.