НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ І МЕХАНОТРОНІКИ

«На правах рукопису»
УДК 621.647.23

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ О.Ф. Луговський
(підпис) (ініціали, прізвище)
“___”_____2018 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і назва спеціальності)

на тему: Підвищення ефективності ультразвукових кавітаційних фільтрів

Виконав : студент 6 курсу, групи МА-21
(шифр групи)

Боровков Олександр Вікторович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник зав. каф., д.т.н., проф., Луговський О. Ф. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ асистент Ковтун А. І. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О. Ф. Луговський
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___»_____2017 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Боровкову Олександру Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Підвищення ефективності ультразвукових кавітаційних фільтрів

науковий керівник дисертації д.т.н, проф. Луговський О. Ф.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «15» березня 2018 р. №934-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження ультразвуковий кавітаційний фільтр

4. Предмет дослідження явище кавітації у циліндричному резервуарі

5. Перелік завдань, які потрібно
розробити проведення експериментальних досліджень, проведення необхідних розрахунків, розробка стартап-проекту

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу 6 плакатів, 2 креслетрвих плакати

7. Орієнтовний перелік публікацій Експериментальне дослідження ерозії у кавітац. середовищі, Моделювати дії основного приводу руку мобільного робота

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун А. І., асистент		
та безпека в над-			
звичайних ситу-			
аціях			

9. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертаці	Примітка
1	Проведення літературного пошуку за даною темою. Постановка задачі дослідження	Осінній семестр 2016 - 2017 рр навчання	
2	Розробка схеми ультразвукового фільтра. Розробка схеми і конструкції експеримент стенду	Весняний семестр 2016 - 2017 рр. навчання	
3.	Створення методики розрахунку ультразвукового фільтра. Розробка фізичної моделі. Проведення експериментальних досліджень	Осінній семестр 2017 - 2018 рр навчання	
4	Проходження практики. Проведення експериментальних досліджень. Участь у студентських конференціях. Оформлення магістерської дисертації	Весняний семестр 2017 - 2018 рр. навчання	

Студент _____ (підпис) Боровков О.В. (ініціали,прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ (підпис) Куповський О.Р. (ініціали,прізвище)

АНОТАЦІЯ

Фільтр – невід’ємна частина кожної гідросистеми. Даний гідроапарат виконує дуже важливу функцію, а саме забезпечує чистоту робочої рідини, чим захищає гідравлічні апарати та приводи.

Але звичні нам види фільтрів потребують заміни їх фільтрелементів з часом, тобто їх робота не довгострокова. Це викликає необхідність розвитку технологій в даній сфері. Саме цьому присвячена дана робота.

В даній роботі приводиться характеристика існуючих пристроїв підготовки рідини, наводятся їх переваги та недоліки, чим обгрунтовується необхідність створення нового покоління фільтрів.

ANNOTATION

The filter is an integral part of every hydraulic system. This hydraulic device performs a very important function, namely, it ensures the cleanliness of the working fluid, so it protects hydraulic devices and drives.

However, the usual types of filters require the replacement of their filter elements with time, that is, their work is not long-term. This calls for the development of technologies in this field. This is the focus of this work.

In this paper, the characteristics of existing fluid preparation devices is described, their advantages and disadvantages are determined, which confirms the need to create a new generation of filters.

Пояснювальна записка

до магістерської дисертації

на тему: _____Підвищення ефективності ультразвукового кавітаційного фільтру_____

ЗМІСТ

ВСТУП.....2
РОЗДІЛ І. Теоретичні відомості з принципу роботи фільтрів та їх класифікація.....4
1.1. Методи очищення дисперсних систем.....4
1.1.1. Класифікація сумішей. Рівняння для масової частки дисперсної фази. Розрахунок в'язкості суспензії.....4
1.1.2. Методи механічного розділення сумішей.....6
1.1.2.1. Осадження. Питома поверхня пористого середовища і твердої фази. Розрахунок гідравлічного діаметра пір.....6
1.1.2.2. Вологість і насиченість осаду. Розрахунок.....8
1.1.2.3. Фільтри, відстійники. Рівняння діючих сил на частку при осадженні у фільтрі. 8
1.1.2.4. Осадження, в полі відцентрових сил. Відцентрова сила, що діє на частинку у фільтрі.....12
1.2. Класифікація фільтрів, їх переваги та недоліки.....14
1.3. Технічна пропозиція.....19
РОЗДІЛ ІІ. Експериментальне дослідження ультразвукового кавітаційного фільтру.....22
2.1. Стенд дослідження кавітаційної тривкості металів у ультразвуковому полі.....22
2.1.1. Підготовка стенду. Повірка вимірювальних приладів.....23
2.1.1.1. Повірка манометрів.....23
2.1.1.2. Повірка витратоміру.....23
2.1.2. Порядок проведення досліду.....24
2.1.2.1. Проведення досліду на спрощеному стенді.....24
2.1.2.2. Проведення досліду на стенді з замкнутою системою циркуляції робочої рідини.....26
2.2. Дослідження явища кавітації.....29
2.3. Дослідження явища ерозії металу Д16Т в ультразвуковому полі.....30
РОЗДІЛ ІІІ. Розрахунок ультразвукового кавітаційного фільтру.....33
3.1 Розрахунок ультразвукових резонансних приводів-випромінювачів із складовими п'єзоелектричними перетворювачами.....33
3.2. Розрахунок міцності матеріалів ультразвукового кавітаційного фільтру.....42
3.2.1. Розрахунок товщини стінки корпусу ультразвукового кавітаційного фільтру..44
3.2.2. Розрахунок тривкості фільтрелементу під дією акустичної вібрації.....45
3.3. Розрахунок гідравліки ультразвукового кавітаційного фільтру.....48

РОЗДІЛ IV. Конструкція ультразвукового кавітаційного фільтру.....53
4.1. Принцип конструювання ультразвукового кавітаційного фільтру.....53
4.2. Принцип роботи ультразвукового кавітаційного фільтру.....54
РОЗДІЛ V. Стартап проект «Ультразвуковий кавітаційний фільтр».....56
5.1. Опис ідеї проекту.....56
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....57
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....57
5.3.1. Аналіз попиту.....57
5.3.2. Визначення потенційних груп клієнтів.....58
5.3.3. Аналіз ринкового середовища.....58
5.3.4. Аналіз пропозиції.....59
5.3.5. Аналіз конкуренції у галузі.....60
5.3.6. Обгрунтування факторів конкурентноспроможності.....60
5.3.7. SWOT–аналіз.....61
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....61
5.4.1. Вибір цільових груп споживачів.....61
5.4.2. Визначення базової стратегії розвитку.....62
5.4.3. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.....63
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....64
5.5.1. Ключові переваги потенційного товару.....64
5.5.2. Визначення меж встановлення ціни.....64
5.5.3. Розробка системи збуту.....65
5.5.4. Розробка концепції маркетингових комунікацій.....66
РОЗДІЛ VI. Охорона праці.....67
6.1. Оцінка приміщення.....67
6.2. Аналіз мікрокліматичних умов.....68
6.3. Освітлення виробничого приміщення.....70
6.4. Електробезпека.....71
6.5. Пожежна безпека.....72
6.6. Вибухобезпека.....74
6.6. Режими праці та відпочинку при роботі з ПК.....75
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК.....77
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....78
ДОДАТКИ.....81

ВСТУП

В більшості випадків хімічні речовини та сполуки в природі зустрічаються не в чистому вигляді, а знаходяться в стані змішування з іншими речовинами. Каламутна вода, повітря, туман – все це приклади багатофазних середовищ. Суміш речовин не передбачає утворення стійких хімічних зв'язків між її компонентами, тому для її поділу зазвичай досить фізичних методів.

На ранніх етапах свого розвитку людство в основному використовувало речовини в тому вигляді, в якому вони зустрічалися в природі. Наприклад, обов'язковою умовою виникнення великого поселення було джерело питної води, тобто води з низьким вмістом солей або різного роду домішок, таких як водорості і т. д. Однак, зважаючи малої чисельності і щільності населення в той час, потреб у пошуку способів очищення води з метою її вживання не виникало. Малі потреби людини так само не вимагали пошуку шляхів поділу інших видів зустрічаючих сумішей.

Як це буває з багатьма аспектами життя, розвиток культури і техніки призвело до зростання потреб. Зокрема, стала виникати потреба у виділенні чистих речовин сумішей або ж, навпаки, очищення від домішок. Ці потреби могли обумовлюватись нагальною необхідністю, оскільки для поліпшення якості питної води ще близько 2000 років до нашої ери її почали піддавати до додаткової очистки, пропускаючи через шар піску або вугілля, що дозволяло прибирати запах і видаляти дрібні домішки. В окремих випадках завдання фільтрації суміші речовин могла виникнути несподівано і вимагати якнайшвидшого вирішення, що відбулося 22 квітня 1915 року на німецько-французькому фронті Першої Світової Війни, коли Німеччина вперше в історії застосувала бойові отруйні гази, що послужило причиною подальшого винаходу і створення протигаза.

Однак найбільший імпульс до дослідження систем фільтрування був зумовлений стрімким розвитком науки і техніки в 17 і подальшим століттях. Багато хімічних реакції протікають в рідкому середовищі, а продуктами реакції можуть бути вже тверді залишки. Вимоги до багатьох промислових процесів не дозволяють використовувати звичайну воду без додаткових ступенів очищення, частина яких передбачає фільтрування, відстоювання і т. п. Це ж стосується очищення збираємого з атмосфери або, навпаки, викидуємого з установки повітря.

Перші фільтраційні установки, як той же піщаний фільтр, були вкрай прості по конструкції, виготовлялися переважно з природних матеріалів і не мали якого-небудь серйозного розрахунку або дослідницької роботи. Ріст потреби в фільтрації призвела до

розвитку фільтрувального обладнання, що породило велику різноманітність, як в конструкційному плані, так і у виборі фізичної або фізико-хімічного принципу поділу.

РОЗДІЛ І. Теоретичні відомості з принципу роботи фільтрів та їх класифікація.

1.1. Методи очищення дисперсних систем.

1.1.1. Класифікація сумішей. Рівняння для масової частки дисперсної фази. Розрахунок в'язкості суспензії.

Суміш – це фізико-хімічна система, до складу якої входять щонайменше два компоненти[1]. Суміш може бути розділена за допомогою фізичних методів на складові, при цьому хімічного перетворення компонентів не відбувається. Компоненти суміші можуть знаходитися як в одному, так і в різних агрегатних станах. За це принципом виділяють два типи сумішей[1]:

- Гомогенні (однорідні);
- Гетерогенні (неоднорідні).

У загальному випадку системи, що складаються з двох і більше не вступають у хімічну взаємодію один з одним фаз, у яких одна з них розподілена в об'ємі іншої, називаються дисперсними[1]. В технологічних процесах найбільш поширені дисперсні системи, в яких суцільний (безперервної) фазою є рідина або газ, тобто різного роду емульсії і суспензії. Якщо розглянути найпростіший варіант дисперсної[1] системи з двома компонентами, то виділяють наступні типи фаз(таблиця 1):

- Дисперсійна (безперервна);
- Дисперсна (перервна).

Таблиця 1. Види дисперсних систем

Види дисперсних систем		Дисперсне середовище		
		Газоподібна фаза	Рідка фаза	Тверда фаза
Дисперсійна середа	Газоподібна фаза	Не утворює дисперсних систем	Тумани Пил	Дими
	Рідка фаза	Піни Газові емульсії	Емульсії	Суспензії
	Тверда фаза	Тверді піни	Тверді емульсії	Сплав Композит

Незважаючи на те, що компоненти, які входять до складу суміші не вступають у хімічну взаємодію один з одним, її фізичні властивості можуть відрізнятися від аналогічних

показників у її компонентів. Найчастіше певний фізичний параметр суміші, такий як густина, буде лежати між значеннями аналогічного параметра у його компонентів. Основну роль тут відіграє кількісне співвідношення складових частин суміші. Для дисперсних систем звичайно виділяють об'ємну (k_v) або масову ($k_м$) концентрацію дисперсної фази[1], виражену в частках. Так знаючи щільність суцільної і дисперсної фази, а також об'ємну частку дисперсної фази, можна визначити густину утвореної системи:

$$\rho_{дс} = k_v \cdot \rho_д + \left(1 - k_v\right) \cdot \rho_c$$

де:

ρ_c – щільність суцільної фази, $кг/м^3$;

$\rho_д$ – густина дисперсної фази, $кг/м^3$;

$\rho_{дс}$ – густина дисперсної системи, $кг/м^3$;

k_v – об'ємна частка дисперсної фази.

Аналогічне рівняння для масової частки дисперсної фази виглядає наступним чином:

$$\rho_{дс} = \rho_д \cdot \rho_c / \left[\left(1 - k_м\right) \cdot \left(\rho_д - \rho_c\right)\right].$$

У випадку суспензій їх в'язкість є результатом зміни в'язкості рідкої фази під впливом твердих часток дисперсної фази. Має значення, як об'ємна концентрація дисперсної фази, так і розміри та форма твердих частинок. При об'ємній частці дисперсної фази менше 0,2 розрахунок в'язкості суспензії може бути здійснено за допомогою емпіричної формули[1]:

$$\mu_{сус} = \mu_{ж} \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^{n} \left(a_i \cdot k_v^i\right)\right)$$

де:

$\mu_{сус}$ – динамічна в'язкість суспензії, $Па{\cdot}с$;

$\mu_{ж}$ – динамічна в'язкість рідини (суцільної фази), $Па{\cdot}с$;

k_v – об'ємна частка дисперсної фази;

i, n, a – емпіричні коефіцієнти.

При об'ємній частці дисперсної фази більше 0,2 суспензії вже починають вести себе як неньютоновскі рідини, тобто їх в'язкість починає залежати від градієнта швидкості течії[2].

1.1.2. Методи механічного розділення сумішей.

Поділ сумішей відбувається за рахунок відмінності у фізичних властивостях її компонентів. Важливо відзначити, що більшість видів сумішей так чи інакше є нестійкими системами і схильні до процесу розшарування з плином часу. Однак природний поділ, як правило, відбувається повільно і займає багато часу, що невигідно при здійсненні технологічних процесів. Тому в спеціальних апаратах застосовують методи підвищення швидкості процесів поділу. Переважно, це відноситься до гетерогенних сумішей.

У випадку гомогенних сумішей завдання їх поділу значно ускладнюється. Такі системи часто виявляються стійкими, тобто не розпадаються на складові з плином часу, і не схильні до природного розподілу. Так, звичне нам атмосферне повітря є сумішшю газів, переважно кисню і азоту, і без додаткових маніпуляцій неможливо буде домогтися його поділу на компоненти. Інший приклад – сплави металів, які завдяки своїй структурі слабо піддаються внутрішнім змінам без додаткового впливу ззовні.

Однак і при розділення гетерогенних систем можна зіткнутися з певними труднощами. Істинні розчини і колоїдні системи є стійкими, так як частинки, схильні до Броунівського руху внаслідок свого малого розміру, підтримуються у зваженому стані і не розшаровуватися з плином часу. Розшаровуванню схильні тільки грубодисперсні системи. Тим не менш, у промисловості найбільш поширені саме гетерогенні грубодисперсні системи, в яких дисперсійної середовищем є рідина або газ. Методи їх розподілу і будуть розглянуті нижче.

1.1.2.1. Осадження. Питома поверхня пористого середовища і твердої фази. Розрахунок гідравлічного діаметра пір.

Осадження – один з найбільш простих способів поділу грубодисперсних гетерогенних систем, не потребує складного обладнання для реалізації. Рушійною силою в

цьому процесі є сила тяжіння, що діє на тверді частинки (в суспензіях, пилу і димах) або краплі (в туманах або емульсіях). Для емульсій, дисперсна фаза яких є легше дисперсійною, в якості рушійної сили буде виступати сила виштовхування, яка змушує краплі спливати на поверхню суцільної фази.

Цей процес використовується в основному для первинного грубого поділу сумішей, оскільки мала рушійна сила дозволяє ефективно відокремлювати тільки досить великі тверді або рідкі частки. Первинне розділення застосовується для здешевлення процесу в цілому, знижуючи навантаження на наступні більш складні і дорогі стадії тонкого очищення. Так само відстоювання дозволяє проводити ущільнення суспензій або їх розподіл по твердим часткам. Найбільш поширеними апаратами, що працюють за принципом відстоювання, є відстійники (очищення рідин) та пилоосаджувальні камери (очищення газів).

Масив осівших твердих частинок в суспензіях утворює осад. У переважній більшості випадків структура опадів виходить вкрай складною через різну форму твердих частинок і їх хаотичного нагромадження. Вона характеризується такими параметрами як пористість(π), з грецької мови πορώδες, що показує частку об'єму пір в обсязі осаду, розмір пір і питома поверхня ($S_{пп}$). При цьому виділяють питому поверхню пористого середовища ($S_{пс}$) і питому поверхню твердої фази ($S_{тф}$).

$$S_{пс}=S_m/V_0;S_{тф}=S_m/V_m;S_{тф}=S_{пс}/(1-\pi)\cdot\pi;\pi=(V_0-V_m)/V_0$$

де:

V_0 – об'єм осаду, $м^3$;

S_m – загальна площа твердих частинок в об'ємі осаду V_0, $м^2$;

V_m – загальний обсяг твердих частинок в об'ємі осаду V_0, $м^3$.

Очевидно, що форма і розміри пір в осаді можуть сильно відрізнятися і практично не піддаються прямому вимірюванню. Для їх опису застосовується такий параметр як гідравлічний діаметр пір ($d_г$). В ідеальному випадку форму твердих частинок можна прийняти за сферичну з діаметром d, що дає можливість записати гідравлічний діаметр пір наступним чином:

$$d_г=2/3\cdot(\pi\cdot d)/(1-\pi).$$

1.1.2.2. Вологість і насиченість осаду. Розрахунок.

Утворений осад несе в собі також частину рідкої фази, а вміст рідини в осаді характеризується параметром, що називається вологістю(υ), з грецької мови υγρασία. Поділяють масову ($\upsilon_м$) і об'ємну вологості (υ_v). Перша показує масу рідини, що припадає на одиницю маси осаду, а друга – обсяг рідини, що припадає на одиницю об'єму осаду. Дві ці величини можуть бути пов'язані з допомогою щільності твердої і рідкої фаз:

$$\upsilon_o = \left[\upsilon_м \cdot \rho_m / \rho_p\right] \cdot \left[(1-\pi)/(1-\upsilon_v)\right]$$

де:

ρ_m – щільність твердої фази, $кг/м^3$;

ρ_p – густина рідкої фази, $кг/м^3$.

Також виділяють таку величину як вологовмісткість, яке може бути масовим ($\upsilon'_м$) або об'ємних (υ'_v). У цьому випадку береться маса/об'єм рідини, що припадає на одиницю маси/об'єму твердої фази.

$$\upsilon'_м = \upsilon_м/(1-\upsilon_м) = \upsilon_v \cdot \left[\rho_p/(\rho_m \cdot (1-\pi))\right]$$
$$\upsilon'_v = \upsilon_v/(1-\pi) = \upsilon_м \cdot \left[\rho_m/(\rho_p \cdot (1-\upsilon_м))\right]$$

Насиченість осаду (k) – частка обсягу пір осаду, зайнята рідиною, що виражається за наступною формулою:

$$k = \upsilon_v/\upsilon = \upsilon_м \cdot \left[\rho_m/\rho_p\right] \cdot \left[(1-\pi)/(\pi \cdot (1-\upsilon_м))\right] = \upsilon'_м \cdot \left[\rho_m/\rho_p\right] \cdot \left[(1-\pi)/\pi\right]$$

1.1.2.3. Фільтри, відстійники. Рівняння діючих сил на частку при осадженні у фільтрі.

Як вже було сказано вище, основною рушійною силою процесу осадження є сила тяжіння, що діє на частинки дисперсної фази, а основною характеристикою процесу можна вважати швидкість осадження частинок дисперсної фази. Розглянемо сферичну частинку масою (m_m) і діаметром (d), рухому у в'язкому середовищі, на яку впливає ряд сил: сила

тяжіння (P_t), Архімедового сила виштовхування (P_a) і сила опору середовища (P_C) (рис. 1). Відповідно до цього запишемо загальне рівняння діючих на частинку сил:

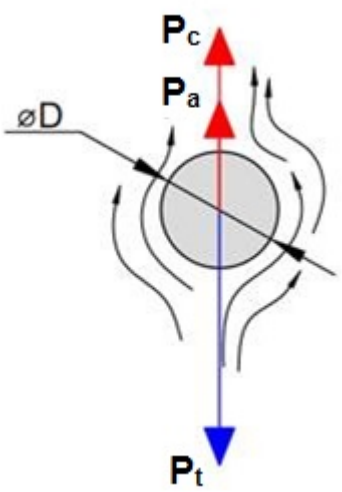


Рис. 1. Рівняння діючих сил на частку при осадженні у фільтрі[34]

$$P_t - P_a - P_C = m \cdot (dv/dt)$$

де:

$$P_t = m_m \cdot g = \rho_0 \cdot V \cdot g = \rho_m \cdot (3.14 \cdot d^3)/6 \cdot g;$$

$$P_a = m_p \cdot g = \rho_p \cdot V \cdot g = \rho_p \cdot (3.14 \cdot d^3)/6 \cdot g;$$

$$P_C = \zeta \cdot F_X \cdot (\rho_p \cdot v^2)/2;$$

$(\rho_p \cdot v^2)/2$ – кінетична енергія частинки;

ζ – коефіцієнт опору;

ρ_m – щільність твердої частинки, $кг/м^3$;

ρ_p – щільність рідини, $кг/м^3$;

v – швидкість руху частинки, $м/с$;

F_X – золотий переріз, тобто найбільший розтин тіла площиною, перпендикулярною до напрямку руху (для сферичної частинки $F_X = (3.14 \cdot d^2/4), м^2$.

Час розгону частинки, як правило, малий, і вона швидко виходить на режим руху з постійною швидкістю, тому можна без втрат знехтувати правою частиною рівняння $m \cdot (dv/dt)$, прийнявши її за 0. Звідси отримаємо:

$$P_t - P_a - P_C = 0$$

або

$$\left[\rho_m \cdot (3.14 \cdot d^3)/6 \cdot g\right] - \left[\rho_p \cdot (3.14 \cdot d^3)/6 \cdot g\right] - \left[\zeta \cdot F_X \cdot (\rho_p \cdot v^2)/2\right] = 0$$

$$v^2 = 4/3 \cdot \left[g \cdot d \cdot (\rho_m - \rho_p)\right] / \left[\zeta \cdot \rho_p\right].$$

Режим осадження також робить істотний вплив на визначення підсумкової швидкості осадження. Для кожного з режимів, турбулентному, перехідному чи ламінарному, в якому рідина обтікає частку, величина коефіцієнта опору розраховується по-різному, а отже, змінюється і формула розрахунку швидкості осадження. Це робить розрахунок швидкості за отриманою формулою незручним, так як, не знаючи заздалегідь режим осадження, доводиться вдаватися до методу послідовних ітерацій при обчисленнях.

Існує інший метод розрахунку швидкості осадження, зав'язаний з використанням критерію Архімеда (Ar), фізичний зміст якого полягає у співвідношенні сил тяжіння, в'язкості і архімедового сили. Як і критерій Рейнольдса ($\Re$), критерій Архімеда має граничні значення, відповідні переходу з одного режиму в інший. Нижче наведена таблиця(таблиця 2) режимів осадження і відповідних їм значень $\Re$ і Ar, а також формул розрахунку коефіцієнта опору ζ[3].

Таблиця 2. Критерії Архімеда та Рейнольдса та їх залежність від режиму осадження

Режим	Ламінарний	Перехідний	Турбулентний
Значення $\Re$	$\Re < 2$	$2 < \Re < 500$	$\Re > 500$
Значення Ar	$Ar < 36$	$36 < Ar < 83000$	$Ar > 83000$
Формула коеф. опору (ζ)	$\zeta = 24/\Re$	$\zeta = 18{,}5/\Re^{0{,}6}$	$\zeta = 0{,}44$

Наведені вище формули відносяться до випадку осадження твердих частинок в рідині, але їх також можна застосовувати і для випадку осадження крапель рідини в газі. Однак потрібно мати на увазі, що швидкість осадження краплі може бути наполовину більше

швидкості осадження аналогічної за розмірами твердої частинки. Це обумовлено наявністю внутрішньої циркуляції рідини в краплі, яка знижується у разі присутності поверхнево-активних речовин або домішок. Краплі з незначною циркуляцією рідини називають "жорсткими"(а рідину «жорсткою») та їх поведінка може бути описана формулами, що використовуються для твердих частинок. Збільшення швидкості у незабруднених краплях також має межу, відповідну критичному діаметру краплі ($d_{кр}$). Величина діаметра краплі для розрахунку береться як діаметр сфери з об'ємом, рівним її об'єму. У крапель з діаметром більше критичного при осадженні спостерігається періодичне зміна форми, із-за чого їх називають осцилюючими(лат. *oscillum* – коливання)[4]. Наступні збільшення осциляційної краплі призводить до зворотного незначного зниження швидкості осадження.

Для малих значень критерію Рейнольдса ($\Re < 1$) швидкість осадження невеликих крапель може бути розрахована за рівнянням Адамара[5]:

$$v_0 = \left[g \cdot d^2 \cdot (\rho_д - \rho_c) \cdot (\mu_д + \mu_c) \right] / \left[6 \cdot \mu_c \cdot (3 \cdot \mu_д + 2 \cdot \mu_c) \right]$$

де:

$\rho_д$ – густина дисперсної середовища, $кг/м^3$;

ρ_c – щільність суцільного середовища, $кг/м^3$;

$\mu_д$ – динамічна в'язкість дисперсної середовища, $Па \cdot с$;

μ_c – динамічна в'язкість суцільного середовища, $Па \cdot с$.

Важливо відзначити, що всі раніше наведені розрахунки відносяться тільки до випадку вільного осадження, тобто осадження, при якому впливом на окрему дисперсну частинку збоку інших частинок можна знехтувати. Однак у промисловості випадки вільного осадження зустрічаються рідко, і в основному процесу відстоювання піддаються висококонцентровані дисперсні системи з різним гранулометричним складом. Осадження в таких умовах називають обмеженим. Між частинками (як одного, так і різного розміру) спостерігається тертя і взаємні зіткнення, із-за чого відбувається часткове вирівнювання їх швидкостей осадження, тобто виникає солідарне (колективне) осадження.

1.1.2.4. Осадження, в полі відцентрових сил. Відцентрова сила, що діє на частинку у фільтрі.

Серйозним недоліком стандартного процесу осадження є його обмежена рушійна сила – сила земного тяжіння. В цілях підвищення швидкості процесу він проводиться в полі відцентрових сил, яке може бути створено штучно і досягати більших значень у порівнянні з гравітаційним полем землі.

Поле відцентрових сил зазвичай створюється одним із двох способів: середовище подається у обертовий апарат, де середовищі так само передається обертальний рух (центрифугування), або обертальний рух надають самому потоку, в той час як апарат залишається нерухомим (циклонний процес). Як випливає з назви, для першого випадку використовуються осаджувальні центрифуги, а для другого – циклони (гідроциклони).

Відцентрова сила(рис .2), як рушійна сила процесу, може бути визначена за формулою:

$$P_ц = \left(m \cdot v_r^2\right) / r$$

де:

$P_ц$ – відцентрова сила, що діє на частинку, $Н$;

m – маса частинки, $кг$;

r – радіус кола обертання частинки, $м$;

v_r – лінійна швидкість обертання частинки, $м/с$.

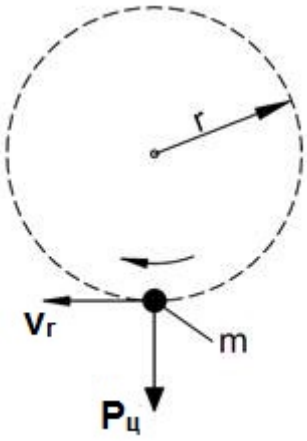


Рис. 2. Дія відцентрової сили на частинку.[34]

Для оцінки ефективності при відцентровому поділі, у порівнянні зі стандартним, вводиться така величина як фактор поділу ($Ф_n$), рівна відношенню впливу на одну і ту ж частку відцентрової сили і сили тяжіння:

$$Ф_n = P_ц / P_m = \left[\left(m \cdot v_r^2\right)/r\right] / \left[m \cdot g\right] = \left[P_r^2\right] / \left[r \cdot g\right]$$

де:

$P_m = m \cdot g$ – сила тяжіння, що діє на частинку з масою m.

Оскільки в разі обертових машин часто використовують кутову швидкість замість лінійної, проведемо ряд перетворень, щоб висловити фактор поділу через частоту обертання. Лінійна швидкість і частота пов'язані наступною формулою:

$$v_r = 6.28 \cdot r \cdot n$$

де:

n – частота обертання частинки (апарату), c^{-1}.

Тепер, підставляючи отриманий вираз у формулу для фактора поділу, отримаємо:

$$\Phi_n = (6.28 \cdot r \cdot n) 2 / (r \cdot g) = \frac{(4 \cdot 3.14^2 \cdot n^2 \cdot r)}{g}.$$

З отриманого рівняння добре видно, що більший приріст фактора поділу досягається за рахунок збільшення частоти обертання, а не діаметра центрифуги або циклону. Величина фактора поділу може сильно відрізнятися від апарата до апарата, що обумовлено різним їх застосуванням і призначенням. В цілому, для циклонів Φ_n має порядок сотень, а для центрифуг, в яких набагато легше досягти великих кутових швидкостей, рахунок йде на тисячі.

1.2. Класифікація фільтрів, їх переваги та недоліки.

Фільтри використовувані у гідравлічних системах(далі будуть розглядатися тільки такі) мають певну класифікацію. Їх можна розділити на такі типи:

1. Механічні;
2. Магнітні;
3. Гравітаційні;
4. Відцентрові.
5. Фільтри нового покоління.

Давайте розглянемо більш детально кожен тип фільтрів та розпишемо їх переваги та недоліки.

1. Механічний тип фільтрів

В данному типі процес очищення оснований саме на явищі фільтрації. Це один з найпростіших фільтрів і його перевагою є простота конструкції та легкозамінність фільтрелементу. Фільтрелемент в такій конструкції має вигляд порожнистого циліндричного катриджа, до якого у середину подається забрудненна рідина та після її проходження наскрізь ми отримуємо очищенну рідину. Основним недоліком данного типу фільтру можна відзначити невеликий строк роботи фільтрелемента та у різних конструкціях велику вартість його заміни. На рис. 3 зображений приклад механічного фільтра.

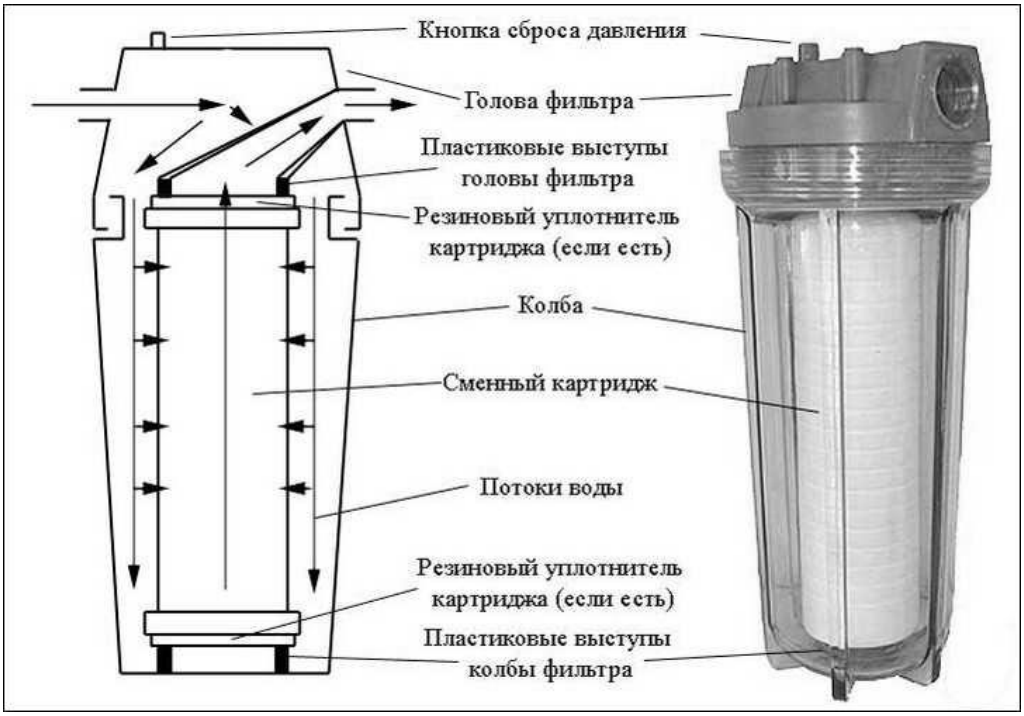


Рис. 3. Приклад механічного фільтра[33]

Також необхідно зазначити, що фільтрелементи можуть бути виконанні з різних матеріалів та компоновок, а саме:

- паперові;

Фільтрлементи виконані із паперу(рис. 4).

Рис. 4. Паперові фільтрелементи[32]

- сітчасті;

Фільтрелемент виконаний у вигляді сітки з металу(рис. 5).

Рис. 5. Сітчастий фільтр[31]

- пластинчасті та ін.

Даний фільтр виконаний за допомогою компоновки деякої кількості дисків з різним розміщенням прохідних отворів(рис. 6).

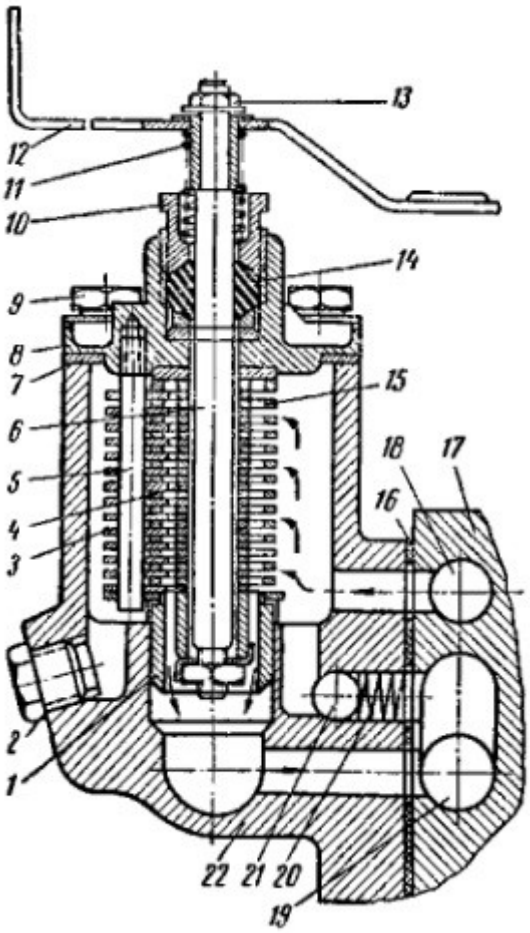


Рис. 6. Пластинчастий фільтр[30]

2. Магнітний тип фільтрів

В цьому типі фільтрів використовується прицип намагнічення постійним або електромагнітом феромагнітних домішок з рідини та тим самим її очищення від них. Перевагою даного фільтра можна відзначити досить великий строк роботи. Але великим недоліком є неможливість фільтрування інших видів домішок з рідини.

3. Гравітаційний тип фільтрів

В даному типі фільтрація відбувається завдяки силі гравітації. Тобто домішки з більш високою густиною осідають та тим самим рідина очищується.

Найкращим прикладом даного фільтра можна представити використання баку як фільтра, у якому рідина в процесі відстоювання, відфільтровується від важких домішок.

Основною та мабуть єдиною перевагою даного фільтра можна відзначити великий строк служби. Але при цьому, виникає багато недоліків:

- Точність фільтрації рідини дуже низька;
- Неможливість під`єднання даного типу фільтра до магістралі.

4. Відцентровий тип фільтрів

В цьому типі фільтрування відбувається завдяки силам інерції. При протіканні рідини крізь відцентровий фільтр потік рідини закручується та домішки з більшою густиною починають рухатися швидше та відділяються від рідини у спеціальну ємність. Такий тип фільтру має переваги у тому, що він має великий строк роботи та можливість використання в магістралях. Але основним недоліком можна зазначити невелику точність філтрації.

5. Фільтри нового покоління

5.1 Фільтри з хімічною регенерацією

Даний тип фільтрів відноситься до фільтрів нового покоління, оскільки він не тільки фільтрує рідину, але й має можливість відновлювати свої фільтруючі елементи за рахунок процесу регенерації. Такі фільтри мають великі переваги перед звичайними фільтрами, оскільки вони можуть працювати необмежену кількість часу. Але для цього вони потребують додатковий час на процес відновлення фільтрувального елементу та головне вони потребують постійного поповнення регенераційного концентрату.

5.2. Ультразвукові кавітаційні фільтри

Кожен фільтр-елемент після деякого часу роботи, зібравши велику кількість бруду, виходить з ладу і потребує заміни. Саме тому було винайдено ультразвуковий кавітаційний фільтр (рис. 7).

Ультразвуковий кавітаційний фільтр – фільтр, за внутрішньою конструкцією схожий на звичайний, але ззовні оточений ультразвуковими випромінювачами, які діючи на стінку фільтра, викликають його вібрацію, яка у свою чергу діє звуковим тиском на робочу рідину у фільтрі з деякою частотою коливань. Коливання звукового тиску у робочій рідині викликає виникнення ультразвукової (акустичної) кавітації.

Робоча рідина, знаходячись під дією явища ультразвукової кавітації спричинює очищення фільтрелементу від бруду та домішок.

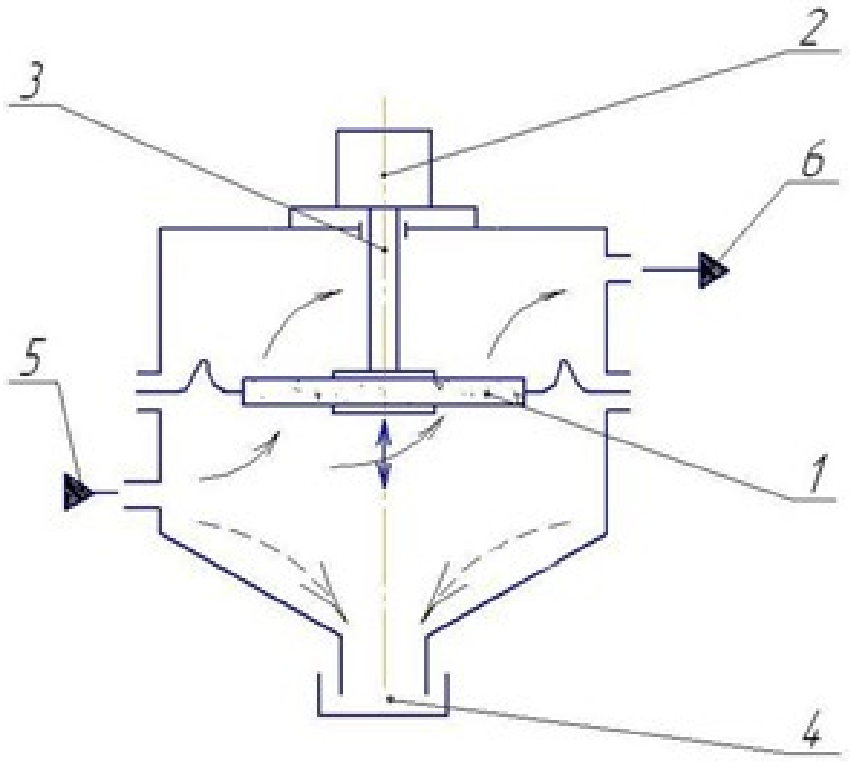


Рис. 7. Ультразвуковий фільтр з підведенням ультразвукової хвилі до фільтруючої перегородки (1 – фільтруюча перегородка; 2 – магнітострикційний вібратор повздовжніх коливань; 3 – хвиле-відвід; 4 – брудоприймач; 5 – підвід рідини; 6 - відвід рідини)[15]

Але як відомо, кавітаційний пухирьок має дуже велику питому енергію. Це призводить до того, що не тільки бруд та домішки руйнуються, а також і поверхня фільтрелементу. Саме тому виникає необхідність у проведені дослідів з визначення тривкості основних металів, з яких виробляють фільтрелементи.

При використанні явища ультразвукової кавітації у ультразвукових кавітаційних фільтрах має місце руйнування поверхні фільтрелементу. Тому виникає необхідність розробки фільтру з легкозамінного фільтрелементу.

1.3. Технічна пропозиція.

Як було вище сказано виникає необхідність розробки фільтру з легкозмінним фільтрелементом та заодно забезпечення йому досить довгострокового строку служби.

Для вирішення даної проблеми було винайденно ідею використання проволоки, викладеної у різьбову проточку з дейким відносно стабільним зазором. На рис. 8 зображена ідея патенту на винахід №108589[7].

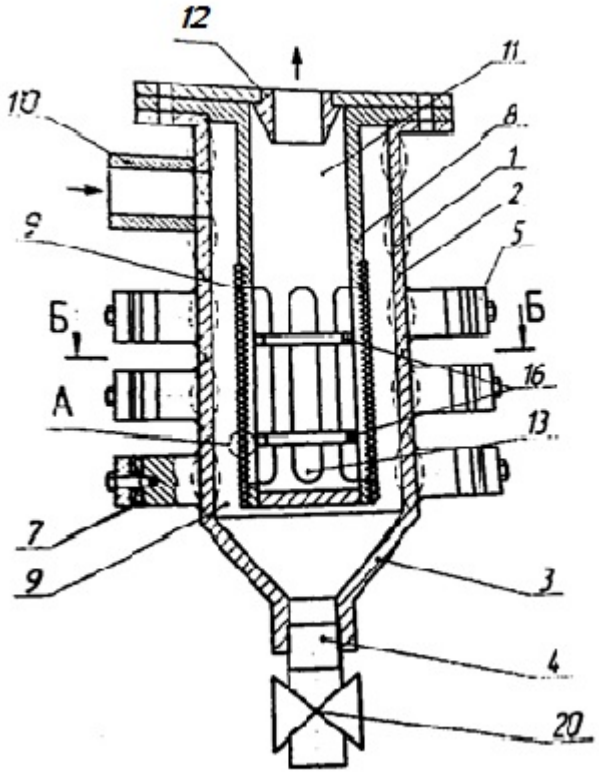


Рис. 8. Патент №108589.[7]

У даному патенті було запропоновано використовувати фільтрелемент на основі труби, на якій виточена різьба та по якій протунуто проволоку. У цій трубі вирізані вікна, через які буде проходити очищена рідина. Але у цьому патенті мною були помічені проблему конструктивного протягнення проволоки.

ВИСНОВОК

Описавши усі види існуючих фільтрів та проаналізувавши їх переваги та недоліки можна сказати, що ультразвуковий кавітаційний фільтр має найбільш вигідну позицію серед

усіх фільтрів. Крім того, що він може проводити фільтрацію рідини з найбільш можливою тонкістю фільтрації, цей фільтр має регенеративні функції фільтрелементу, може проводити знезараження рідини та навіть забезпечувати дегазацію рідини.

Але після представлення усіх переваг у використанні ультразвукових кавітаційних фільтрів, виникає необхідність постановки проблем щодо розробки, проведення експериментальних та теоретичних досліджень, розрахунків на економічну вигідність(проведення розрахунків на стартап проект) даного фільтру та забезпечення умов охорони праці при його роботі:

1. проведення експериментальних досліджень з пошуку найбільш тривкого матеріалу для використання у робочій поверхні фільтрелементу на вже існуючому стенді;
2. проведення розрахунків випромінювачів ультразвукових коливань;
3. проведеннння міцнисних розрахунків корпусу фільтру на тривкість до внутрішнього тиску, тобто розрахунку необхідної товщини стінки;
4. проведення міцнисних розрахунків на тривкість фільтрелементу до ультразвукової(акустичної) вібрації, в якій він знаходиться під час впливу ультразвукової кавітації на його стінки;
5. проведення гідравлічних розрахунків фільтру, а саме його пропускної здатності, підбору робочих значень тиску;
6. розробки констукції ультразвукового кавітаційного фільтру;
7. розробки стартап проекту;
8. оцінки дотримки умов та правил охорони праці.

РОЗДІЛ ІІ. Експериментальне дослідження ультразвукового кавітаційного фільтру.

2.1. Стенд дослідження тривкості металів в ультразвуковому полі.

Як було сказано вище, дослідження стійкості матеріалів під дією гідродинамічної кавітації вже мають місце. Оскільки при використанні кавітаційних фільтрів фільтрелементи знаходяться під дією кавітації, а саме ультразвукової кавітації, то виникає необхідність проведення додаткових дослідів з перевірки стійкості матеріалів в ультразвуковому полі.

Необхідність побудови стенду для проведення цих досліджень мала місце при початку роботи над цим проектом. Над створенням даного стенду та проведенням дослідженнь працювали Боровков О. В., як студент 4 курсу кафедри ПГМ ММІ, Зілінський І. В., як аспірант кафедри ПГМ ММІ та керівник проекту д. т. н., проф., зав. каф. Луговський О. Ф. Стенд представляв собою металічне кільце, до якого з 4-х сторін були приварені випромінювачі ультразвукових коливань, які діючи на кільце, викликали виникнення кавітації у рідині всередині. Кільце накривалося кришками з оргскла та ущільнення, які забезпечували деякий замкнутий об’єм. У цьому об’ємі знаходилося кріплення для стержня з металу (рис. 9), який і перевірявся на стійкість до руйнуючої сили ультразвукової кавітації. Також до системи були приєднані манометри до та після системи і витратомір після системи для забезпечення однакових параметрів при проведені досліджень.

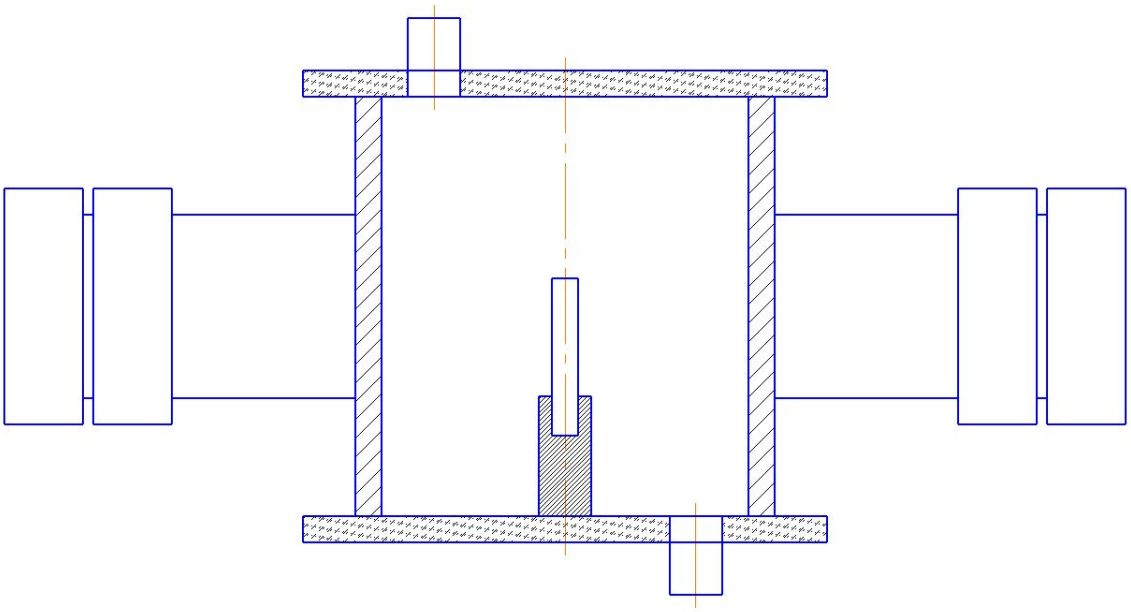


Рис. 9. Камера ультразвукового кавітаційного дослідження

2.1.1. Підготовка стенду. Повірка вимірювальних приладів.

Перед початком роботи на стенді необхідно перевірити виконання правил безпеки при його використанні, а саме:

- перевірити герметичність усіх з’єднань, наповнюючи усі трубопроводи та камери робочою рідиною, тобто водою;
- перевірити стенд на електробезпеку:

- забезпечити відстань між перетворювачем частоти та ультразвуковою кавітаційною камерою відстань від 1 м, оскільки коротке замикання може викликати пошкодження робочих елементів стенду, а також може спричинити ураження струмом для людини, яка працює з стендом;

- перевірити та забезпечити необхідну відстань між контактами, які відходять від електродів ультразвукових випромінювачей, аби зберегти їх від короткого замикання, яке може спричинити пошкодження п’єзокерамічних елементів випромінювача ультразвукових коливань.

- перевірити на дієздатність усі вимірювальні прилади та зробити їх повірку.

2.1.1.1. Повірка манометрів.

Для повірки робочих пружинних манометрів допускається застосування таких зразкових приладів:

- Вантажо-поршневих манометрів класу точності 0,05 і 0,2;
- Пружинних манометрів класу точності 0,16 і 0,25.

Повірка манометрів на високий тиск проводиться або способом порівняння з показаннями зразкових пружинних манометрів, або змішаним способом.

Для звіту показань виконують повірку на декількох значеннях тиску. Розмір створеного тиску встановлюють на зразковому приладу, і відраховують показання по приладу, що перевіряється. Потім при отриманій тарувальній таблиці будують графік залежності тиску на зразковому приладі та тиску на приладі, що перевіряється.

2.1.1.2. Повірка витратоміру.

Найпростішим методом повірки витратоміра є метод використання вимірювальної ємності. У цьому методі використовується мірна ємність деякого об’єму, наприклад об’ємом 1 л. При витіканні робочої рідини із витратоміру, який показує деяку величину витрати, яку записують до таблиці тарування, рідина потрапляє у вимірювальну ємність. Під час наповнення вимірювальної ємності до 1 л, проводиться замір часу наповнення, який після наповнення ємності також записується у тарувальну таблицю. Після цього будується графік залежності показань витратоміру до реальної витрати, заміряної методом вимірювальної ємності.

2.1.2. Порядок проведення досліду.

2.1.2.1. Проведення досліду на спрощеному стенді.

Після проведення перевірок на техніку безпеки користування стендом та повіркою вимірювальних приладів можна переходити до проведення досліду.

Маючи повністю зібраний стенд спрощеного виду, принципова схема якого зображена на рис. 10, ми приступаємо до роботи.

Попередньо перед проведенням випробувань зважуємо стержень на високоточних вагах та записуємо дані до таблиці.

Відкривши усі крани, чекаємо поки наповниться ємність УЗ. Після цього прикриваючи кран Кр1, та спостерігаючи за показаннями витратоміра, досягаємо витрати приблизно рівної 2л/хв та при цьому слідкуємо за показаннями манометрів М1 та М2. Як тільки необхідна витрата робочої рідини була досягнута, переходимо до випробувань, а саме включаємо перетворювач частоти у мережу 220 В та вмикаємо кнопку на його корпусі, попередньо виставивши повзунок на значення 300 Вт та включивши таймер на необхідний нам період часу дослідження або використовуємо секундомір для замірювання часу роботи стенду з дослідження стійкості матеріалів до ультразвукової кавітаційної ерозії.

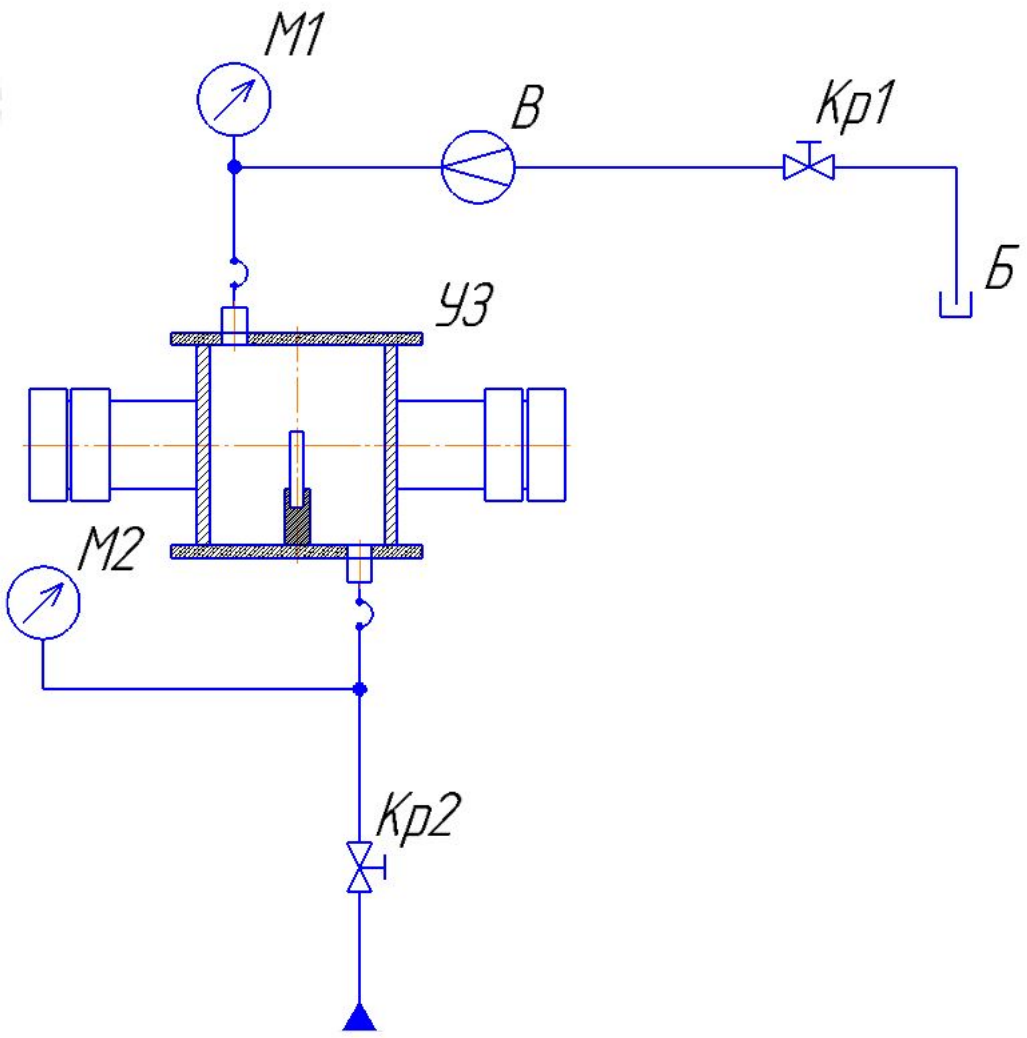


Рис. 10. Стенд для дослідження кавітаційної стійкості матеріалів. Схема гідравлічна принципова.

Після дзвінку таймера, що свідчить про закінчення часу випробувань, вимикаємо кнопку на корпусі перетворювача та відключаємо його від мережі 220 В, за для електробезпеки робітника та елементів стенду.

Тепер необхідно спустошити камеру УЗ, для вилучення з неї стержню. Для цього закриваємо кран Кр2 та повністю відкриваємо кран Кр1. Після того, як камера УЗ звільнилася від робочої рідини, можна вилучати стержень для зважування його на високоточних вагах.

При зважуванні його на високоточних вагах серії АДВ-200, зображених на рис. 11, отримуємо значення маси стержню та записавши значення до таблиці вимірювань проводимо порівняння отриманого значення маси стержня до попереднього заміру, та записуємо різницю до таблиці для подальшого будування графіку втрат маси.

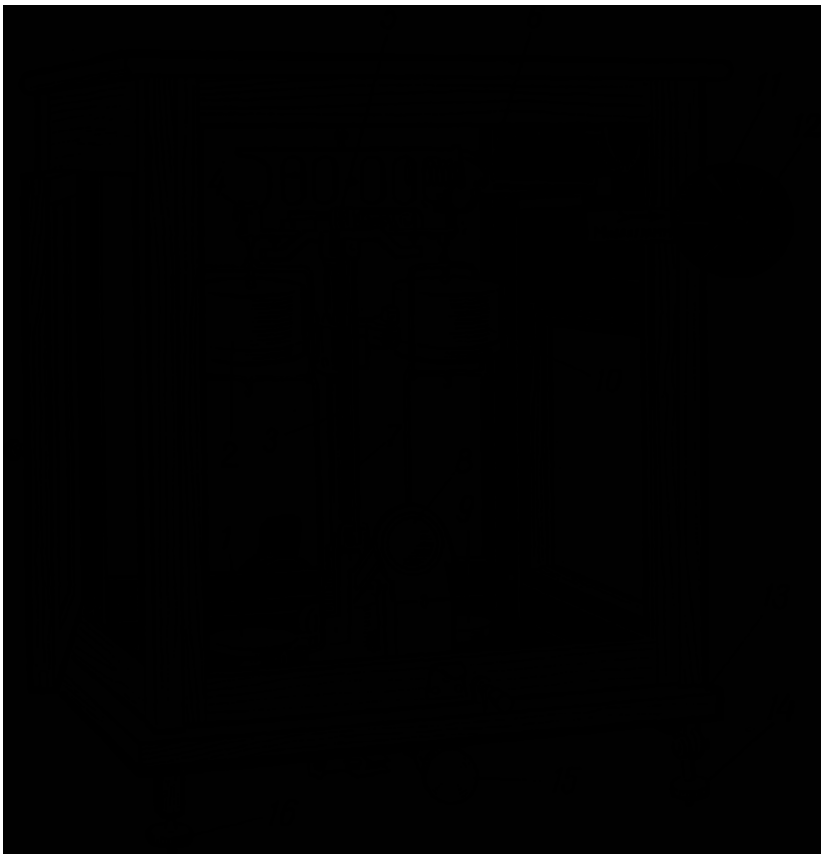


Рис. 11. Ваги високоточні серії АДВ-200[28]

2.1.2.2. Проведення досліду на стенді з замкнутою системою циркуляції робочої рідини.

Після проведення перевірок на техніку безпеки користування стендом та повіркою вимірювальних приладів можна переходити до проведення досліду.

Маючи повністю зібраний стенду з замкнутою системою циркуляції робочої рідини, принципова схема якого зображена на рис. 12, ми приступаємо до роботи.

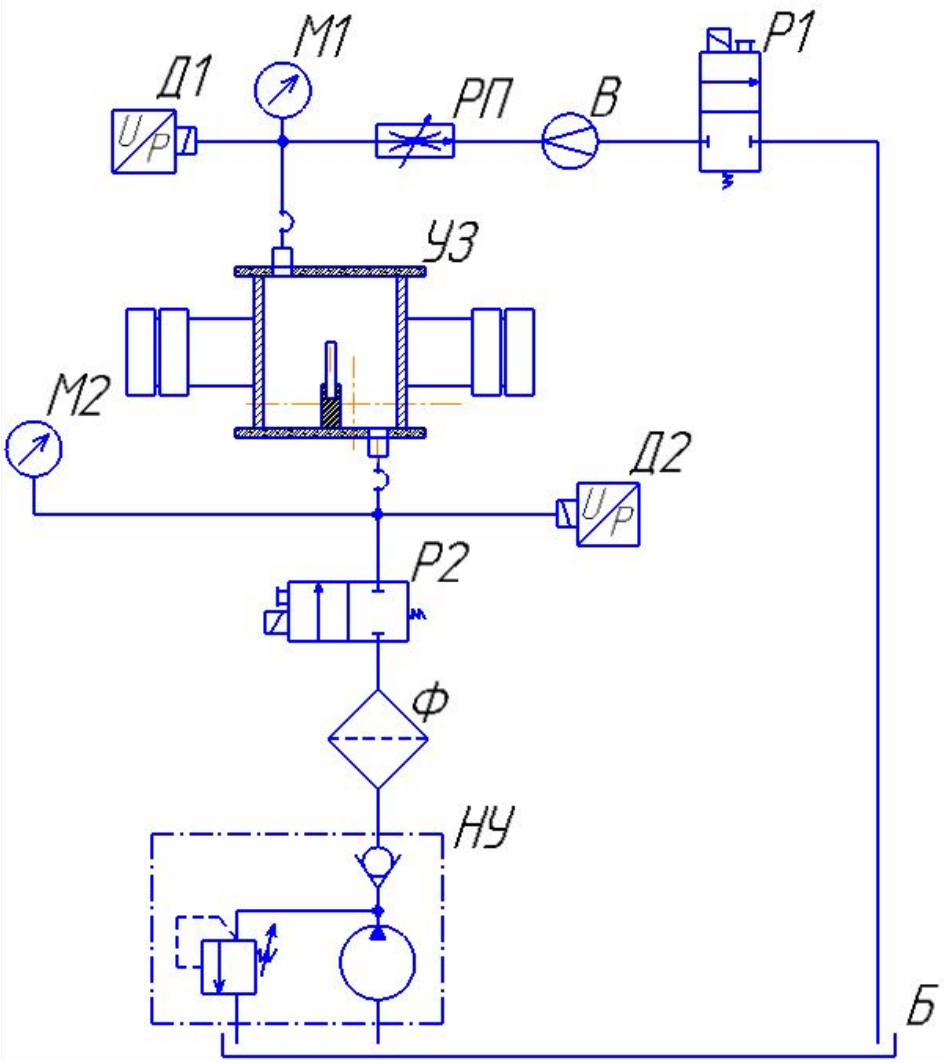


Рис. 12. Стенд дослідження кавітаційної стійкості матеріалів. Схема електрогідравлічна принципова

Попередньо перед проведенням випробувань зважуємо стержень на високоточних вагах АДВ-200 та записуємо дані до таблиці. Відкривши усі розподільники вручну, чекаємо поки наповниться ємність УЗ. Після цього запускаємо контролер, який керує автономним

процесом замкнутої циркуляції робочої рідини у камері ультразвукового кавітаційного впливу. Програма виконує такі основні дії:

1. При поданні сигналу на кнопку вмикання замкнутої системи циркуляції робочої рідини вмикається програма.

2. Після включення програми подає сигнал до електромагніту розподільнику Р2, який відкриває його, що забезпечує проходження робочої рідини до камери УЗ.

3. Поки камера наповнюється за деякий встановлений час на контролері, програма подає сигнал до електромагніту розподільнику Р1, який його закриває та забезпечує дозаповнення робочої рідини у камері УЗ.

4. Після того як камера повністю заповнюється, про що свідчить зростання показів на манометрах М1 та М2, від датчиків Д1 та Д2 надходить сигнал до контролера. Він тим часом, відключає сигнал від електромагніту розподільнику Р2, завдяки чому він закривається.

5. Як тільки спливає час, встановлений у контролері як час нагріву рідини у камері УЗ під дією кавітації, програма виконує процес заміни рідини, який описаний у пунктах 2-4.

Таким чином, програма встановлена у контролер виконує функцію автономного охолодження робочої рідини у камері ультразвукового кавітаційного впливу.

Як тільки програма буде включена до роботи, можна приступати до випробувань на стійкість матеріалів до ультразвукової кавітаційної ерозії. Тому, включаємо перетворювач частоти у мережу 220 В та вмикаємо кнопку на його корпусі, попередньо виставивши повзунок на значення 300 Вт та включивши таймер на необхідний нам період часу дослідження або використовуємо секундомір для замірювання часу роботи стенду з дослідження кавітаційної стійкості матеріалів. Після дзвінку таймера, що свідчить про закінчення часу випробувань, вимикаємо кнопку на корпусі перетворювача та відключаємо його від мережі 220 В, за для електробезпеки робітника та елементів стенду.

Тепер необхідно спустошити камеру УЗ, для вилучення з неї стержню. Для цього натискаємо кнопку завершення роботи автономної системи охолодження робочої рідини у камері ультразвукового кавітаційного впливу, яка включає додаткову програму на контролері, принцип дії якої описано нижче:

1. Після включення додаткової програми, контролер подає сигнал до електромагніта розподільника Р2, який відчиняється, та відключає сигнал від електромагніта розподільника Р1, який зачиняється та забезпечує вільний прохід робочої рідини до баку. Цей крок забезпечую охолодження стержню, оскільки під дією кавітації він також нагрівається і потребує охолодження, для забезпечення безперешкодного вилучання його із кріплення.

2. Після того, як програма деякий час, встановлений у контролері, як час охолодження стержню після знаходження під впливом ультразвукового поля, програма виконує операції по звільненню камери УЗ від робочої рідини, а саме, спричинює контролеру відключити сигнал від електромагніту розподільнику Р2, який закрившись, відрізає потік робочої рідини від камери УЗ.

Після того, як камера УЗ звільнилася від робочої рідини, можна вилучати стержень для зважування його на високоточних вагах.

При зважуванні його на високоточних вагах серії АДВ-200(рис. 11), отримуємо значення маси стержню та записавши значення до таблиці вимірювань проводимо порівняння отриманого значення маси стержня до попереднього заміру, та записуємо різницю до таблиці для подальшого будування графіку втрат маси.

2.2. Дослідження явища гідродинамічної кавітації.

На сьогоднішній день вже було проведено схожий дослід. Дослідження кавітаційної ерозії конструктивних матеріалів проводилися з метою визначення оптимальних параметрів режимів очищення агрегатів гідроприводу від забруднення. Знання часу інкубаційного періоду кавітаційної ерозії конструктивних матеріалів необхідно для того, щоб при кавітаційному очищенні не пошкодити саму поверхню, що очищується.

При визначенні режимів роботи кавітаційного генератора коливань тиску необхідно також враховувати те, що в процесі роботи кавітаційного генератора коливань тиску відбувається руйнування проточної частини самого кавітаційного генератора внаслідок кавітаційної ерозії. Тому у цьому досліді були проведені необхідні випробування і отримані данні, використані для визначення найбільш стійкого конструктивного матеріалу кавітаційного генератора коливань тиску.

У якості об’єктів дослідження використані експериментальні пластини типу А із різних сплавів, що виконані у вигляді шайб із зовнішнім діаметром 25 мм, внутрішнім діаметром 4 мм (рис. 13) і експериментальні пластинки типу Б без отвору з товщиною від 0,7 до 2 мм (рис. 14).

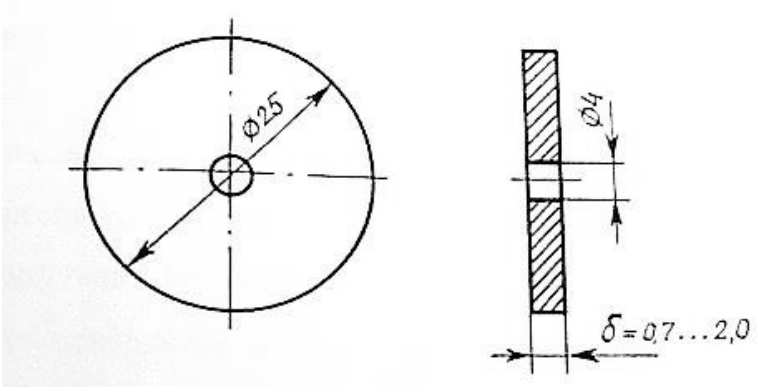


Рис. 13. Експериментальна шайба типу А для дослідження кавітаційної ерозії.[22]

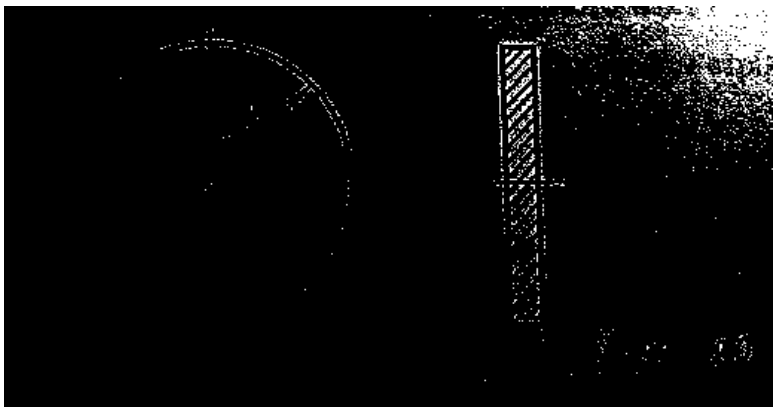


Рис. 14. Експериментальна шайба типу Б для дослідження кавітаційної ерозії.[22]

У даному досліді замість використання ультразвукової кавітації було використано гідродинамічну кавітацію. Взагалі кавітація ще дуже погано дослідження сфера науки, тому невідомо яким чином відрізняється гіднодинамічна кавітація від ультразвукової. Але на мою думку, можна впевненно сказати, що потужність схлопування кавітаційних пухирьків набагато менша. Тому необхідно проведення дослідів з тривкості металів до ерозії в ультразвуковому полі.

2.3. Дослідження явища ерозії металу Д16Т в ультразвуковому полі.

Після виконання підготовки до проведення дослідів на стенді, тобто виконання повірки вимірювальних пристроїв, та ознайомлення з порядком роботи на стенді з замкнутою системою подачі рідини були проведені досліди. Ці досліди були провденні студентом 6 курсу кафедри ПГМ ММІ Боровковим О.В. та аспірантом кафедри ПГМ ММІ Зілінським А.І. під керівництвом д. т. н., проф., зав. каф. Луговського О. Ф.. У даному

досліду досліджували втрату маси стержню, виробленого з метали Д16Т зарахунок його ерозії в ультразвуковому полі. Усі отримані дані були занесені до таблиці 3.

Таблиця 3. Результати досліджень

Час випробування t, хвилин	**10**	**20**	**30**	**40**	**60**	**80**	**120**
Втрата маси стержню Δm, мг	2,125	3,193	2,267	5,035	8,172	8,038	16,225
	2,825	3,843	3,297	5,675	8,832	8,648	16,805
	3,410	4,113	4,222	6,265	9,512	9,513	17,465
Середня втрата маси стержню $\Delta m_{ср}$, мг	2,787	3,717	3,262	5,658	8,838	8,733	16,832

Стержень знаходився під дією ультразвукової кавітації протягом 10, 20, 30, 40, 60, 80 та 120 хв. Після кожного випробування замір маси був повторений 3 рази для забезпечення найбільш точних показників.

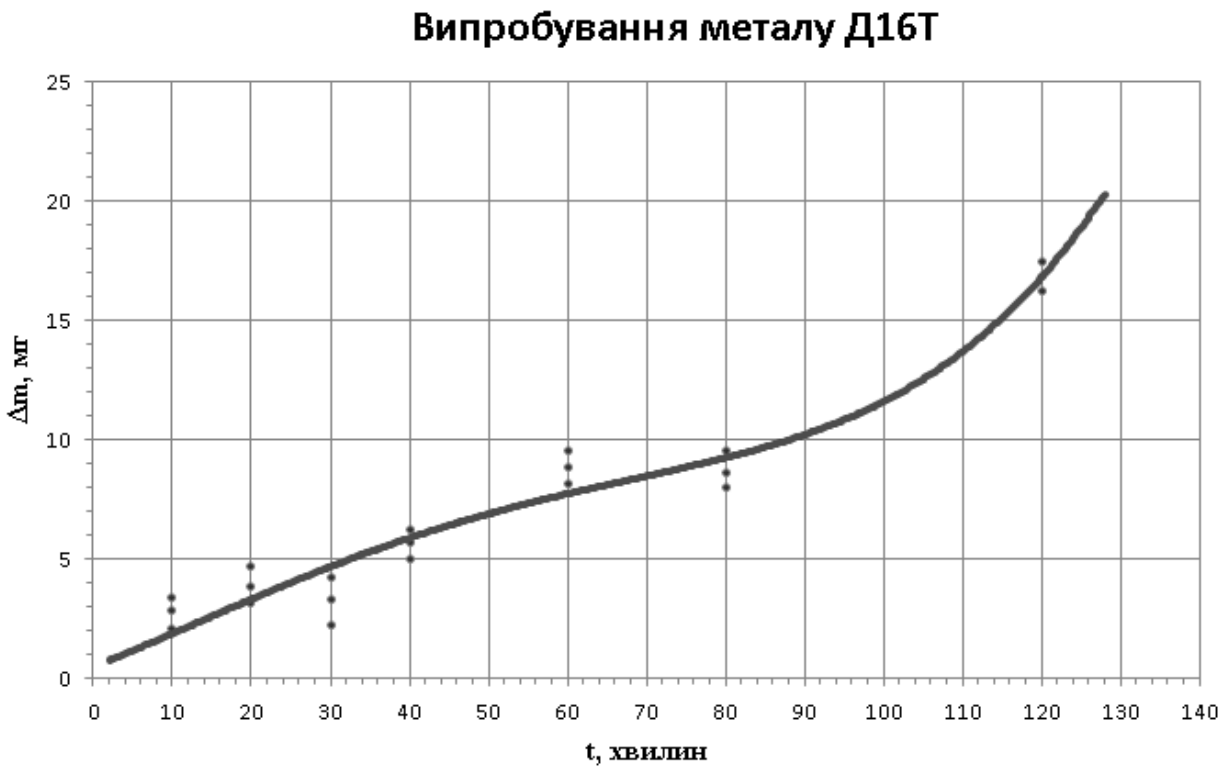


Рис. 15. Графік залежності втрати маси стержнем від часу для металу Д16Т.

По цьому досліду було побудовано графік залежності втрати маси стержнем від часу в вигляді поліному 4 ступеню. Загалом можна сказати, що було помічено втрату маси у стержня зробленого з металу Д16Т за дві години на 50 мг. На рис. 15 зображено графік залежності втрати маси стержнем від часу для металу Д16Т.

Після того, як графік залежності був побудований, було помічено, що після 30 хвилин кут кривизни поліному починає змінюватись, а це означає, що стержень почав піддаватися ерозії в ультразвуковому полі та втрата маси з часом почала зростати. Це дало нам поштовх для проведення додаткових дослідів та пошуку причин такого поведіння металу Д16Т.

Виявилося, що метал Д16Т має одну перевагу, яка забезпечує йому захист від ерозії в ультразвуковому полі – оксидна плівка Al_2O_3. Це означало, що при випробуванні стержню в ультразвуковому полі, першою ступеню ерозії було руйнування оксидної плівки Al_2O_3, та тільки потім самого металу Д16Т.

Після виконаних висновків було проведено повторні досліди, при яких теорія підвердилася. Дійсно, при випробуванні металу Д16Т в ультразвуковому полі на протязі 30 хвилин, маса металу майже не змінювалася.

ВИСНОВОК

Після проведення дослідів та отримання остаточних даних можна сказати, що метал Д16Т може бути найбільш вигідним матеріалом для виготовлення фільтрелементу в ультразвуковому кавітаційному фільтрі, але за умови, що при роботі даного фільтру знадобиться використання двох фільтрів для забезпечення безперервної системи. При умові, що поки один фільтр працює протягом 30 хвилин, інший знаходиться в стані спокою, та фільтрелемент піддається процесу окислення, що в свою чергу забезпечую відновлення оксидної плівки металу Д16Т, з якого буде зроблена проволока фільтрелементу.

РОЗДІЛ ІІІ. Розрахунок ультразвукового кавітаційного фільтру.

3.1. Розрахунок ультразвукових резонансних приводів-випромінювачів із складовими п'єзоелектричними перетворювачами.

В основі застосованого ультразвукового резонансного випромінювача[6] лежить півхвильовий перетворювач Ланжевена, у якому в якості джерела ультразвукових коливань використана п'єзоелектрична керамічна шайба. Застосування п'єзокераміки доцільно, оскільки хімічні параметри сучасної кераміки забезпечують їй практично в два с половиною рази більший коефіцієнт корисної дії у порівнянні з звичайними магнітострикційними перетворювачами.

Методика розрахунку розглянутого ультразвукового технологічного обладнання для кавітаційної обробки рідких технологічних середовищ має основу на рекомендаціях, викладених у роботах [8–15].

Півхвильовий перетворювач коливань згідно з розрахунковою схемою (рис. 16) складається з послідовно складених і механічно стислих випромінюючої накладки, п’єзокерамічного пакету шайб і частотопонижуючої накладки.

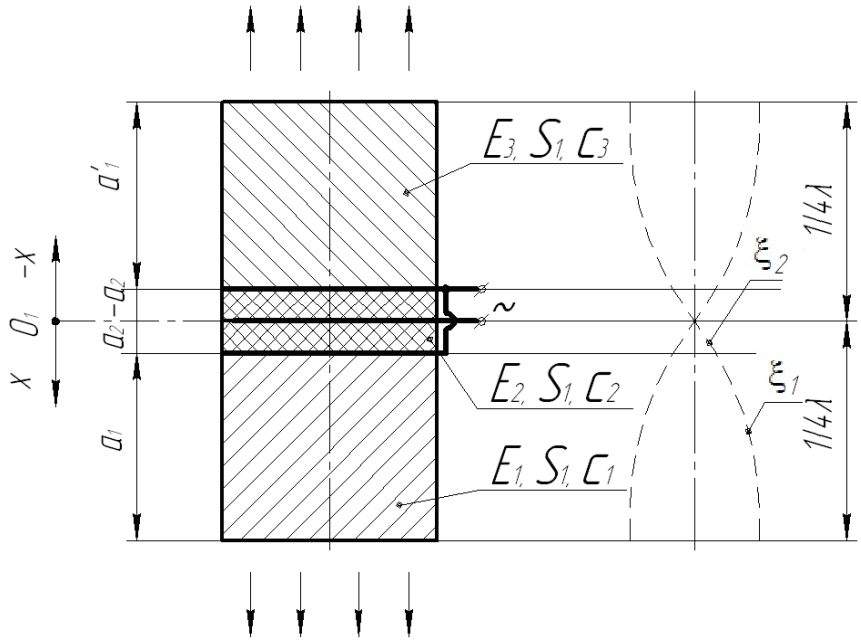


Рис. 16. Розрахункова схема півхвильового п'єзоелектричного перетворювача[17]

В загальному вигляді рівняння поздовжніх коливань п'єзоелектричного перетворювача можна представити так:

$$S\frac{\partial^2\xi}{dt^2}=c^2\frac{\partial}{\partial x}\left(S\frac{\partial\xi}{\partial x}\right),$$

(3.1)

де ξ – поздовжнє переміщення, c – швидкість звуку, S – площа поперечного перерізу, x – напрям поширення хвиль.

Для перетворювача, який здійснює гармонійні коливання і має свою певну частоту, рівняння (3.1) можна вирішити таким чином:

$$\xi(x,t)=\varepsilon(x)(P\sin\omega t+Q\cos\omega t),$$

де $\omega=2\pi f$, f – частота коливань.

Тоді, для накладки і п’єзокерамічної шайби можна записати:

$$\xi_1(x,t)=\left(A\cos\frac{\omega}{c_1}x+B\sin\frac{\omega}{c_1}x\right)\sin(\omega t+\phi)$$

(3.2)

та

$$\xi_2(x,t)=\left(C\cos\frac{\omega}{c_2}x+D\sin\frac{\omega}{c_2}x\right)\sin(\omega t+\phi),\qquad(3.3)$$

де c_1 і c_2 – швидкість звуку в матеріалах накладки і п'єзоелектричної шайби відповідно.

Вибираючи в розрахунковій схемі (рис. 16) початок координат в точці O_1, граничні умови для системи можна запсати у вигляді:

$$\xi_2=0 \quad \text{при} \quad x=0;$$

(3.4)

$$\frac{\partial \xi_1}{\partial x}=0 \quad \text{при} \quad x=a_1+a_2 \;;$$

(3.5)

$$\xi_1=\xi_2 \quad \text{при} \quad x=a_2 \;, \qquad (3.6)$$

де a_1 , E_1 , S_1 та a_2 , E_2 , S_2 – товщина, модуль пружності при розтягу і площа торцевої поверхні накладки і п'єзоелектричної шайби відповідно.

Враховуючи умови (3.4) можна з рівняння (3.3) отримати:

$$c=0 \;. \qquad (3.7)$$

Тоді:

$$\xi_2(x,t)=D\sin\frac{\omega}{c_2}x\sin(\omega t+\phi) \;. \qquad (3.8)$$

Враховуючи умови (3.5) дозволяє привести рівняння (3.2) до такого вигляду:

$$B\cos\frac{\omega}{c_1}(a_1+a_2)=A\sin\frac{\omega}{c_1}(a_1+a_2) \;.$$

Звідки:

$$B=Atg\frac{\omega}{c_1}(a_1+a_2) \;.$$

(3.9)

Підставляючи (3.9) в рівняння (3.2), отримуємо

$$\xi_1(x,t)=A\left[\cos\frac{\omega}{c_1}x+\sin\frac{\omega}{c_1}xtg\frac{\omega}{c_1}(a_1+a_2)\right]\sin(\omega t+\phi) \quad . \qquad (3.10)$$

Враховуючи першу половини граничних умов (3.6) маємо можливість переписати рівняння (3.8.) і (3.10.) у такому виді:

$$D\sin\frac{\omega}{c_2}a_2=A\left[\cos\frac{\omega}{c_1}a_2+\sin\frac{\omega}{c_1}a_2tg\frac{\omega}{c_1}(a_1+a_2)\right] .$$

Звідки:

$$D=\frac{A}{\sin\frac{\omega}{c_2}a_2}\left[\cos\frac{\omega}{c_1}a_2+\sin\frac{\omega}{c_1}a_2tg\frac{\omega}{c_1}(a_1+a_2)\right] \quad . \qquad (3.11)$$

Друга половина граничних умов (3.6) після диференціювання рівняннь (3.8) і (3.10) дає нам записати таке:

$$E_1S_1\frac{A}{c_1}\left[\cos\frac{\omega}{c_1}a_2tg\frac{\omega}{c_1}(a_1+a_2)-\sin\frac{\omega}{c_1}a_2\right]=E_2S_2\frac{D}{c_2}\cos\frac{\omega}{c_2}a_2 \quad . \qquad (3.12)$$

Суцільне рішення рівнянь (3.11) і (3.12) дозволяє отримати таке рівняння:

$$\frac{E_1S_1c_2}{E_2S_2c_1}=\frac{ctg\frac{\omega}{c_2}a_2\left[\cos\frac{\omega}{c_1}a_2+\sin\frac{\omega}{c_1}a_2tg\frac{\omega}{c_1}(a_1+a_2)\right]}{\cos\frac{\omega}{c_1}a_2tg\frac{\omega}{c_1}(a_1+a_2)-\sin\frac{\omega}{c_1}a_2} \quad . \qquad (3.13)$$

Вирішуючи рівняння (3.13), можна отримати рівняння розрахунку товщини частотопонижуючої накладки:

$$a_1 = \frac{c_1}{\omega} arctg \frac{E_2 S_2 c_1 ctg \frac{\omega}{c_2} a_2 + E_1 S_1 c_2 tg \frac{\omega}{c_1} a_2}{E_1 S_1 c_2 - E_2 S_2 c_1 ctg \frac{\omega}{c_2} a_2 tg \frac{\omega}{c_1} a_2} - a_2 .$$

(3.14)

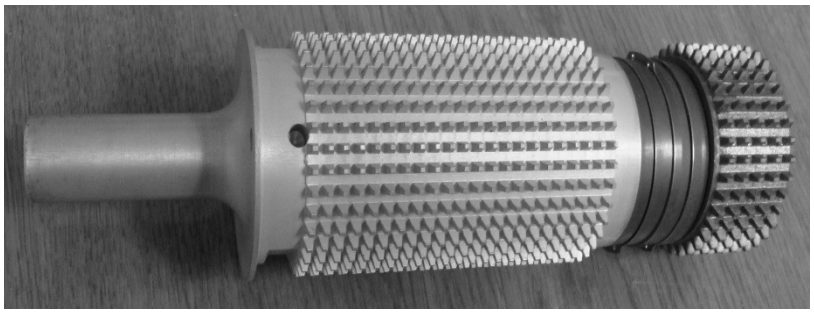
Якщо випромінююча і частотопонижуюча накладки будуть виготовлені з того ж самого матеріалу і будуть мати однаковий діаметр, отримаємо, що $a_1 = a_1'$.

У цьому випадку п'єзоелектричний перетворювач буде мати спроможність випромінювати однаокві коливання в обидві сторони.

Після розгляненя симетричного п'єзоелектричного перетворювача можна побудувати акустичні схеми однохвильових або півхвильових ультразвукових кавітаторів з підвищеною інтенсивністю коливань.

У п'єзоелектричних півхвильових перетворювачах складові частини зазвичай роблять з різного матеріалу, намагаючись забезпечити виконання умови $\rho_1 c_1 > \rho_3 c_3$, де ρ_1 та ρ_3 – щільність матеріалу накладок; c_3 – швидкість звуку в матеріалі випромінюючої накладки. У цьому випадку торець демпфуючої накладки буде коливатися з меншою амплітудою, ніж торець випромінюючої накладки. Тепер для визначення товщини випромінюючої накладки необхідно використати формулу (3.14), змінивши в ній величини E_1 і c_1 відповідно на E_3 і c_3 .

а)



б)

Рис. 17. Ультразвукові кавітатори із ступінчастими трансформаторами коливальної швидкості (а –півхвильова акустична схема, б – однохвильова акустична схема.)[17]

При необхідності збільшення амплітуди коливань випромінюючого торця накладки до критичних значень застосовують трансформатори коливальної швидкості, в якості яких використовують ступінчасті (рис. 17), експоненціальні, конічні, катеноідальні та інші види акустичних концентраторів, які забезпечують збільшення амплітуди коливань за рахунок різниці площ торців, вхідного і вихідного.

Найбільш поширеним у застосуванні та технологічним у виконанні є ступінчастий трансформатор коливальної швидкості[16–22], коефіцієнт трансформації якого має таке значення:

$$K = \frac{S_\delta}{S_M},$$

де S_δ – площа вхідного торця, S_M – площа вихідного торця.

Методика розрахунку ультразвукового кавітатора побудованого, наприклад, на основі півхвильово-акустичною схеми базується на розрахунковій схемі, наведеній на рис. 18.

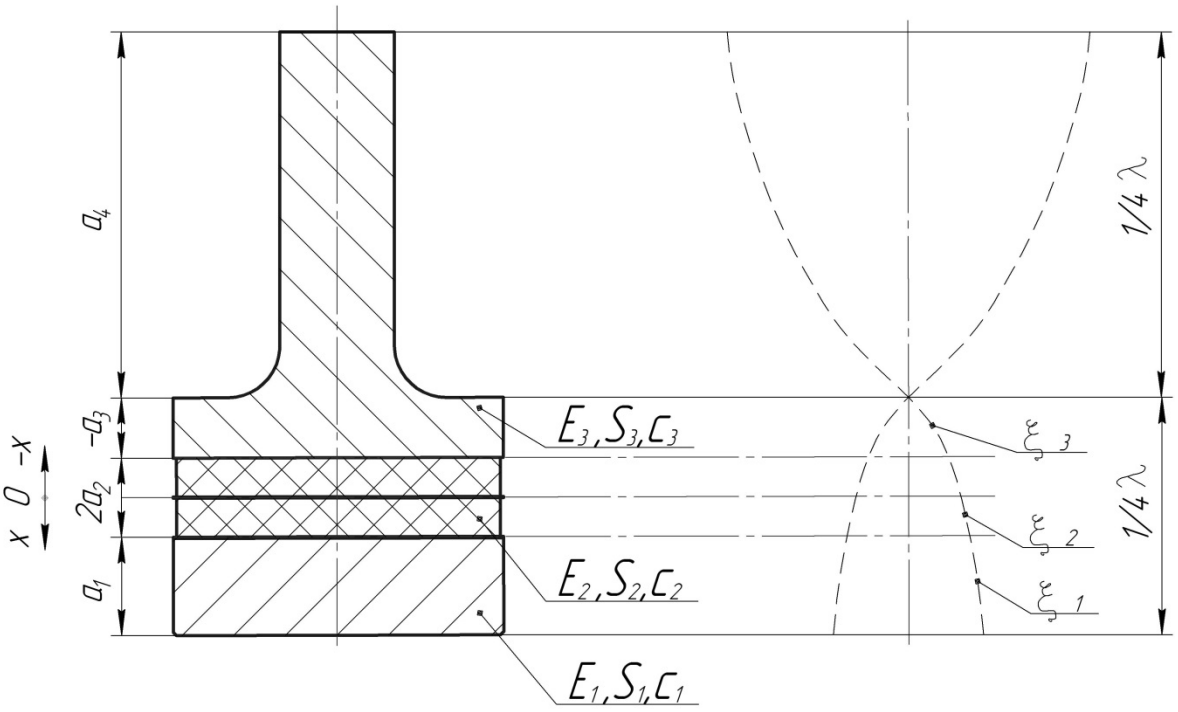


Рис. 18. Розрахункова схема кавітатора з півхвильовою акустичною схемою і ступінчастим трансформатором коливальної швидкості[18]

Для такої системи, у разі порушення роботи гармонійних коливань, вирішення загальних рівняннь (3.1) поздовжніх коливань можна записати таки чином:

$$\xi_1(x,t)=\left(A\cos\frac{\omega}{c_1}x+B\sin\frac{\omega}{c_1}x\right)\sin(\omega t+\phi) \tag{3.15}$$

$$\xi_2(x,t)=\left(C\cos\frac{\omega}{c_2}x+D\sin\frac{\omega}{c_2}x\right)\sin(\omega t+\phi) \tag{3.16}$$

$$\xi_3(x,t)=\left(Q\cos\frac{\omega}{c_3}x+G\sin\frac{\omega}{c_3}x\right)\sin(\omega t+\phi) \tag{3.17}$$

Граничні умови для коливальної системи відповідно до розрахункової схеми (рис. 18) можна записати таким чином:

$$\xi_3=0 \quad \text{при} \quad x=-a_3 \ ; \tag{3.18}$$

$$\xi_2 = \xi_3 \; ¿ \Big| ¿¿¿ \quad \text{при} \quad x = 0 \; ; \tag{3.19}$$

$$\xi_2 = \xi_1 \; ¿ \Big| ¿¿¿ \quad \text{при} \quad x = 2a_2 \; ;. \tag{3.20}$$

$$\frac{\partial \xi_1}{\partial x} = 0 \quad \text{при} \quad x = a_1 + 2a_2 \; . \tag{3.21}$$

Маючи на увазі умову (3.18) можна отримати з рівняння (3.17) таке:

$$Q \cos \frac{\omega}{c_3} a_3 = G \sin \frac{\omega}{c_3} a_1 \quad \text{або} \quad Q = Gtg \frac{\omega}{c_3} a_3 \; . \tag{3.22}$$

При цьому рівняння (3.17) матиме вигляд:

$$\xi_3(x,t) = G \left(\sin \frac{\omega}{c_3} x + tg \frac{\omega}{c_3} a_3 \cos \frac{\omega}{c_3} x \right) \sin(\omega t + \phi) \; . \tag{3.23}$$

Перша половина граничних умов (3.19) з рівняннь (3.16) і (3.23) допомагає отримати такий результат:

$$C = Gtg \frac{\omega}{c_3} a_3 \; . \tag{3.24}$$

Друга половина граничних умов (3.19) після диференціювання рівняннь (3.16) і (3.23) дозволяє отримати ці рівняння в такому виді:

$$E_2 S_2 \frac{D}{c_2} = E_3 S_1 \frac{G}{c_3} \quad \text{або} \quad \frac{D}{G} = \frac{E_3}{E_2} \frac{S_1 c_2}{S_2 c_3} \,. \qquad (3.25)$$

Тоді, суцільне вирішення рівнянь (3.24) і (3.25) допомагає отримати:

$$\frac{D}{C} = \frac{E_3}{E_2} \frac{S_1 c_2}{S_2 c_3 tg \frac{\omega}{c_3} a_3} \,. \qquad (3.26)$$

Гранична умова (3.21) дозволяє нам рівняння (3.15) представити в такому вигляді:

$$B = A tg \frac{\omega}{c_1} (a_1 + 2a_2) \,. \qquad (3.27)$$

При врахуванні (3.27) в рівнянні (3.15) воно матиме вигляд:

$$\xi_1(x,t) = A \left[\cos \frac{\omega}{c_1} x + tg \frac{\omega}{c_1} (a_1 + 2a_2) \sin \frac{\omega}{c_1} x \right] \sin(\omega t + \phi) \,. \qquad (3.28)$$

Маючи на увазі першу половину умов (3.20) рівняння (3.16) та (3.28) запишемо як:

$$C \left(\cos \frac{\omega}{c_2} 2a_2 + \frac{D}{C} \sin \frac{\omega}{c_2} 2a_2 \right) = A \left[\cos \frac{\omega}{c_1} 2a_2 + tg \frac{\omega}{c_1} (a_1 + 2a_2) \sin \frac{\omega}{c_1} 2a_2 \right] \,. \qquad (3.29)$$

Друга половина граничних умов (3.20) дає нам змогу, після диференціювання записати рівняння так:

$$C \left(\frac{D}{C} \cos \frac{\omega}{c_2} 2a_2 - \sin \frac{\omega}{c_2} 2a_2 \right) = A \frac{E_1 S_1 c_2}{E_2 S_2 c_1} \left[tg \frac{\omega}{c_1} (a_1 + 2a_2) \cos \frac{\omega}{c_1} 2a_2 - \sin \frac{\omega}{c_1} 2a_2 \right] \,. \qquad (3.30)$$

Поділ виразу (3.29) та (3.30), а також врахування співвідношення (3.26) дає нам можливість отримати:

$$a_3 = \frac{c_3}{\omega} arctg \frac{E_3 S_1 c_2 \left(N \cos \frac{\omega}{c_2} 2a_2 - \sin \frac{\omega}{c_2} 2a_2 \right)}{E_2 S_2 c_3 \left(N \sin \frac{\omega}{c_2} 2a_2 + \cos \frac{\omega}{c_2} 2a_2 \right)}, \qquad (3.31)$$

де $$N = \frac{E_2 S_2 c_1 \left[\cos \frac{\omega}{c_1} 2a_2 + tg \frac{\omega}{c_1} \left(a_1 + 2a_2 \right) \sin \frac{\omega}{c_1} 2a_2 \right]}{E_1 S_1 c_2 \left[tg \frac{\omega}{c_1} \left(a_1 + 2a_2 \right) \cos \frac{\omega}{c_1} 2a_2 - \sin \frac{\omega}{c_1} 2a_2 \right]}.$$

Для визначення поздовжнього розміру за допомогою формули (3.31) необхідно задатися необхідними величинами товщини частотознижуючої накладки і матеріалом, з якого вона буде виготовлена, а також вибрати геометричні та характеристичні параметри п'єзокерамічних кілець.

Поздовжній розмір a_4, ступені малої площі трансформатора коливальної швидкості (рис. 18) можна визначити із залежності

$$a_4 = \frac{c_3}{4f}.$$

Враховуючи складність проведення даних розрахунків було написано программу, яка допомогає облегчити розрахунки. Її було використано для розрахунку кавітатора використаного на стенді дослідження ерозії матеріалів в ультразвуковому полі(рис. 19).

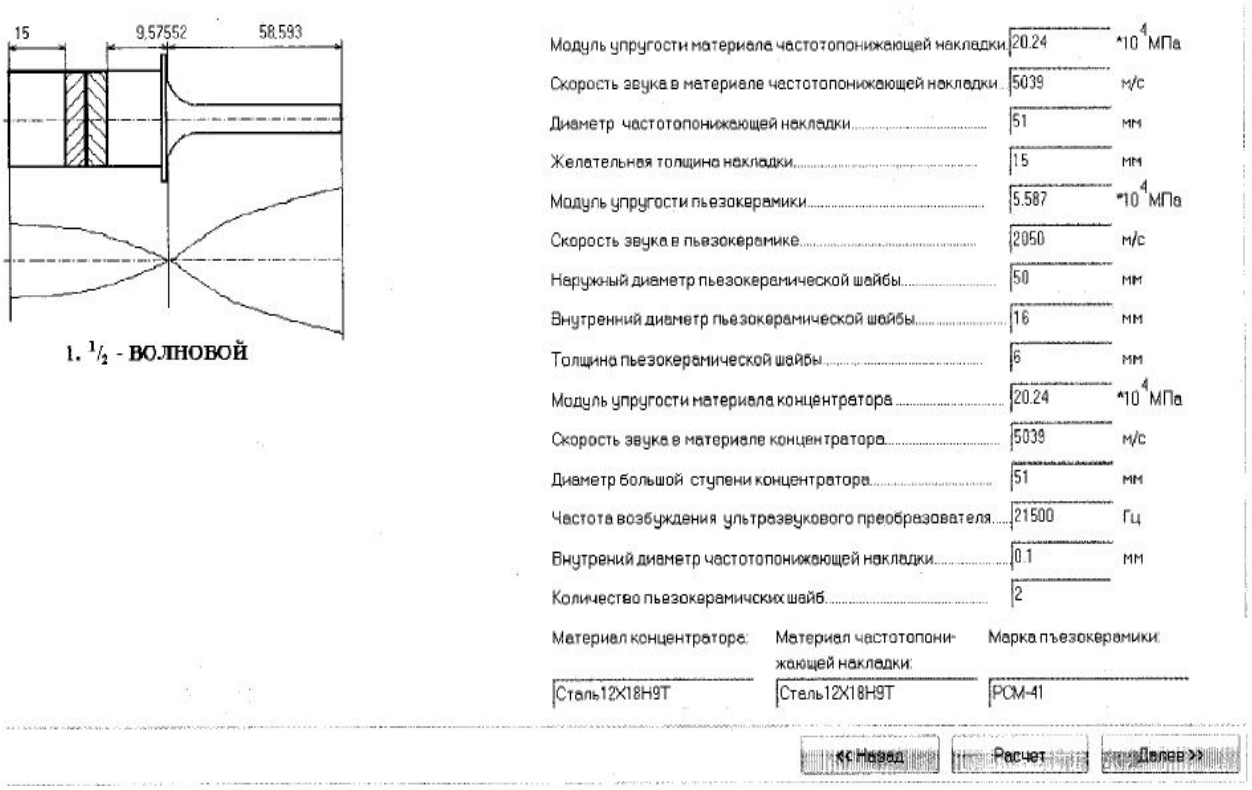


Рис. 19. Програма для розрахунку диспергатора півхвильового

3.2. Розрахунок міцності матеріалів ультразвукового кавітаційного фільтру.

Як відомо, будь-який фільтр має три основні параметри:

- точність фільтрації;
- пропускна спроможність;
- перепад тиску на вході/виході.

Підемо по порядку:

1. Точність фільтрації – цей параметр забезпечується фільтрелементом, тобто зазором між фільтруючими елементами. В УКФ дану функцію виконує проволока з деякого металу, намотана на трубу з прорізями з зазором необхідним для вирішення задачі замовника даного фільтру. Вважаючи, що на фільтрелемент діє розповсюджена сила тиску, можна знехтувати розрахунками труби фільтрелементу.

Але у УКФ окрім звичайних сил тиску діють ще акустичні сили, так звані акустичні вібрації, які викликають у рідині виникнення явища кавітації. Саме це явище потребує більш докладного дослідження. Але яким чином можна порівняти проволоку у формі циліндру та літак? Дуже просто, оскільки на літаку, для забезпечення можливості польоту встановленні

двигуни, які у процесі роботи викликають дуже великі вібрації усієї конструкції літака. Але ви мені скажете, що це не акустичні вібрації. Це правда, оскільки акустичні вібрації викликають не самі двигуни, а потік гарячого повітря, який виходить з двигуна, який забезпечує літаку тягову силу.

Розрахувавши фільтрелемент на тривкість до акустичної вібрації виникає необхідність проведення додаткових розрахунків. Оскільки під час впливу кавітації на будь-яку металічну поверхню виникає явище сриву часток металу з його поверхні. Для фільтрелементу з дроту це викликає виникнення дуже небезпечної для гідросистеми проблеми. З часом під дією кавітації та під явищем зриву, зазор між дротом становится більше та викликає зменшення точності фільтрації. Це може призвести до дуже поганих наслідків, таких як руйнування гідравлічних апратів та приводів, а також в кінці кінців до блокування системи та виходження з ладу.

Тому необхідно провести розрахунок на тривкість металу дроту під час дії кавітації та розрахувати срок служби одного фільтрелементу. Щодо сроку служби, то в основі розрахунку використовується поняття частоти впливу, яка притаманна не тільки розрахункам в авіації, а й в усіх інших галузях машинобудування.

Тривкість матеріалу дроту можна розрахувати завдяки використання принципу дії кавітаційного пухирька на поверхню металу. Якщо враховувати, що в момент зхлопування пухирька він всеж-таки має форму сфери, та під час його дії поверхня стикання його з металом має форму круга, можна використати розрахунок дії локальних навантажень на оболочку.

2. Пропускна спроможність – цей параметр забезпечується в основному параметрами підводу та відводу рідини до фільтру, та майже не потребує розрахунку на міцність. Але оскільки ніякий пристрій не може виникнути просто так, виникає необхідність провести гідравлічний розрахунок фільтру.

3. Перепад тиску на вході/виході – параметр, який забезпечується підводом рідини з насосу або з гідросистеми до фільтру з деякою величиною тиску, та на протязі роботи фільтру, під час проходження рідиною крізь фільтр частина тиску втрачається, тобто перетворюється в інші види енергії, та на виході ми вже маємо інше значення тиску. Таким чином забезпечується перепад тиску.

По причині наявності даного параметру виникає необхідність розрахунку УКФ на міцність, а саме розрахунку на міцність корпусу фільтру(чи зможе при даному вхідному тиску витримати корпус та забезпечити необхідний перепад).

3.2.1. **Розрахунок товщини стінки корпусу ультразвукового кавітаційного фільтру.**

За основу розрахунку було взято принцип розрахунку оболонок під дією ріномірного тиску.[23] Розрахунок сполучень зводиться до визначення внутрішніх зусиль та саме розрахунку на міцність. При розгляді корпусу фільтру як оболочки, тобто враховуючи що товщина стінки $\delta \le 0{,}2\,R$, де R – радіус кривизни оболочки, на неї діють кільцеві σ та продольні(меридіальні) τ напруження(рис. 20).

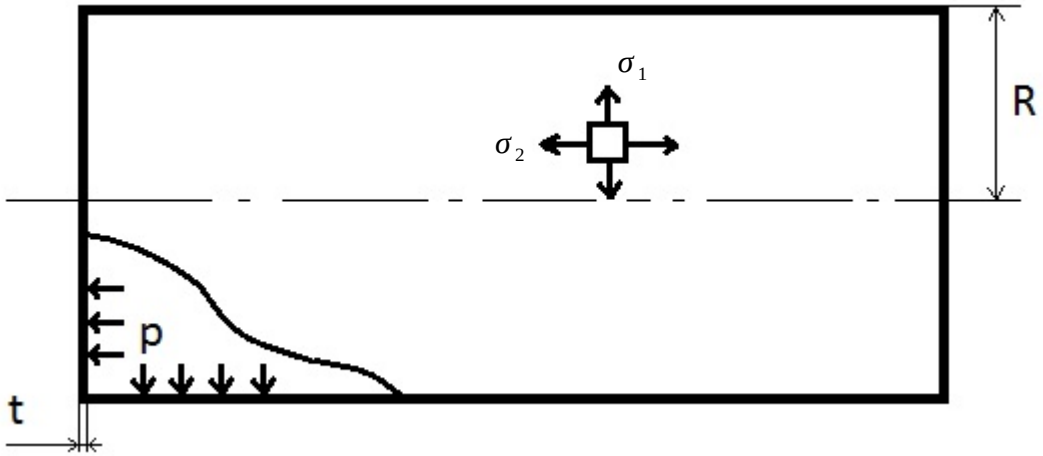


Рис. 20. Кільцеві та продольні напруження, які діють на оболочку

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot R}{t}; \sigma_2 = \frac{p \cdot R}{2 \cdot t}$$

Для розрахунку необхідної товщини стінки УКФ, перетворимо формули розрахунку допустимих напружень на:

$$t = \frac{p \cdot R}{[\sigma]}; t = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma]}$$

де σ, τ – допустимі напруження для конкретного матеріалу.

При конструюванні УКФ було обрано нержавіючу сталь 12Х18Н10Т як матеріал для корпусу фільтру. Його допустимі напруження мають такі значення:

$$[\sigma] = 198\,МПа$$

Маючи допустимі значення напружень та відомі при конструюванні радіус корпусу фільтру $R = 50\,мм$ і робочий тиск системи $p = 100\,am = 9.8\,МПа$ визначимо необхідну з рознахунку на міцність товщину стінки корпусу фільтру, використовуючи першу формулу з формул розрахунку допустимих напружень:

$$t = \frac{p \cdot R}{[\sigma]} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 9.8 \cdot 10^{6}}{198 \cdot 10^{6}} = 2.47\,мм \approx 2.5\,мм$$

Одже для забезпечення нормальної роботи УКФ необхідною товщиною стінки корпусу фільтру з розрахунку на міцність при робочому тиску 100 атмосфер є 2.5 міліметри.

3.2.2. Розрахунок тривкості фільтрелементу під дією акустичної вібрації.

За основу розрахунку було взято принцип розрахунку впливу акустичних вібрацій на міцність конструкції.[24] Для розрахунку стійкості матеріалу до акустичної вібрації головним чином є визначення деякого коефіцієнту k:

$$k = \frac{\sigma_x}{[\sigma]}$$

де σ_x – деяке значення напружень, які діють на матеріал;

$[\sigma]$ – допустимі напруження для матеріалу.

У свою чергу σ_x має визначатися як напруження яке діє за певних параметрів середовища та матеріалу, таких як коефіцієнт демпфування γ, спектральна густина потужності $S(\omega)$[25, 26, 27] та максимальне навантаження при кавітації σ_0:

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma'^2} = \sqrt{\frac{\pi}{4\gamma} \cdot \omega \cdot S(\omega) \cdot \sigma_0^2}$$

Спектральна густина потужності $S(\omega)$ – функція, яку ще називають енергетичним спектром сигналу, що описує розподіл потужності сигналу в залежності від частоти, тобто

потужність, що припадає на одиничний інтервал частоти. Має розмірність потужності$[Bm]$, поділений на частоту$[c^{-1}]$, тобто енергії[Дж].

Нехай $x(t)$ – сигнал, що розглядається на проміжку часу$[0;\tau]$. Тоді енергія сигналу на даному інтервалі рівна:

$$E_\tau = \int_0^\tau x^2(t)\,dt$$

Маючи на увазі теорему Парсеваля(сума (або інтеграл) квадрата функції дорівнює сумі (або інтегралу) квадрата результату перетворення) E_τ можна представити у вигляді:

$$E_\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} \left|F_\tau(\omega)\right|^2 d\omega$$

де

$$F_\tau(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\tau x(t) e^{-i\omega t}\,dt$$

$F_\tau(\omega)$ – перетворення Фур'є для функції $x(t)$(інтегральне перетворення однієї комплекснозначної функції дійсної змінної на іншу).

При $\tau \to +\infty$, середня потужність буде мати вигляд:

$$W = \lim_{\tau \to +\infty} \frac{E_\tau}{\tau} = \int_{-\infty}^{+\infty} \lim_{\tau \to +\infty} \frac{\left|F_\tau(\omega)\right|^2}{\tau} d\omega$$

В цьому випадку $S(\omega)$ буде рівна:

$$S(\omega) = \lim_{\tau \to +\infty} \frac{\left|F_\tau(\omega)\right|^2}{\tau} = \lim_{\tau \to +\infty} \frac{\left|\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\tau x(t) e^{-i\omega t}\,dt\right|^2}{\tau}$$

Тепер маючи усі змінні сформуємо остаточну формулу визначення коефіцієнту стійкості:

$$k=\frac{\sqrt{\frac{\pi}{4\gamma}\cdot\omega\cdot\lim\limits_{\tau\to+\infty}\frac{\left|\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_0^{\tau}x(t)e^{-i\omega t}dt\right|^2}{\tau}\cdot\sigma_0^2}}{[\sigma]}$$

Приймаючи, що сигнал $x(t)$ має вигляд $\sin(t)$ отримаємо:

$$k=\frac{\sqrt{\frac{\pi}{4\gamma}\cdot\omega\cdot\lim\limits_{\tau\to+\infty}\frac{\left|\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_0^{\tau}\sin(t)e^{-i\omega t}dt\right|^2}{\tau}\cdot\sigma_0^2}}{[\sigma]}$$

Тепер зробимо підстановки відомих нам значень для металу Д16Т:

- $\omega=22000\,Bm;$
- $\tau=1\,год=3600\,c\,;2\,год=7200\,c\,;3\,год\,;4\,год\,;$
- $\gamma=200\div400\approx300;$
- $\sigma_0=10^9\,Па;$
- $[\sigma]=370\cdot10^6\,Па$

$$k=\frac{\sqrt{\frac{\pi}{4\cdot300}\cdot22000\cdot\lim\limits_{\tau\to+\infty}\frac{\left|\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_0^{\tau}\sin(t)e^{-i\cdot22000\cdot t}dt\right|^2}{\tau}\cdot(10^8)^2}}{370\cdot10^6}=¿$$

Для τ:

- $\tau=1\,год=3600\,c\,;k=2.82\cdot10^{-10}$
- $\tau=2\,год=7200\,c\,;k=1.99\cdot10^{-10}$
- $\tau=3\,год=10800\,c\,;k=1.63\cdot10^{-10}$
- $\tau=4\,год=14400\,c\,;k=1.41\cdot10^{-10}$

Отримавши результативне значення даного коефіцієнту для погодинної роботи УКФ ми можемо побудувати графік залежності $k(\tau)$(рис. 21).

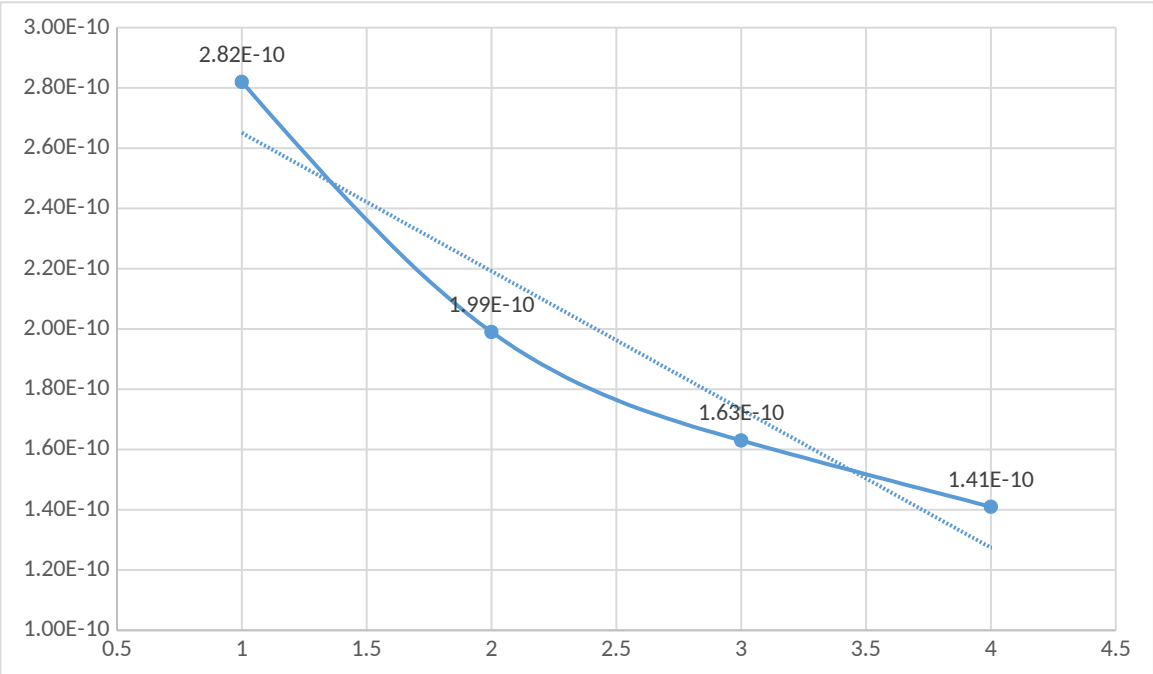


Рис. 21. Графік залежності $k(\tau)$

Цей графік показує нам, що з плином часу пружні деформації металу Д16Т послаблюються та починається активне його руйнування. Але цей розрахунок має лише теоретичне бачення проблеми впливу кавітації на матеріал фільтрелементу, тому і виникає необхідність експериментального дослідження тривкості матеріалів до кавітаційного впливу.

3.3. Розрахунок гідравліки ультразвукового кавітаційного фільтру.

Основним параметром будь-якого фільтру є втрата тиску на ньому, оскільки для забезпечення правильної роботи гідросистеми необхідно правильно підібрати насосну станцію, яка в свою чергу забезпечить систему необхідним для її нормальної роботи тиском. Тому перейдемо до розрахунку втрат тиску на ультразвуковому кавітаційному фільтрі.

Гідравлічні втрати в гідролініях складаються із втрат на гідравлічне тертя Δp_T, втрат у місцевих опорах Δp_M і втрат у гідроапаратах $\Delta p_{ГА}$. В нашому випадку розраховуються втрати тиску у фільтрі, а це означає що необхідно змоделювати принципову схему системи для представлення фільтру як гілролінія із змінами напрямку потоку рідини,

тобто місцевими опорами та руху рідини через дросель(сітку фільтрелементу), тобто втрат на гідроапаратах(рис. 22).

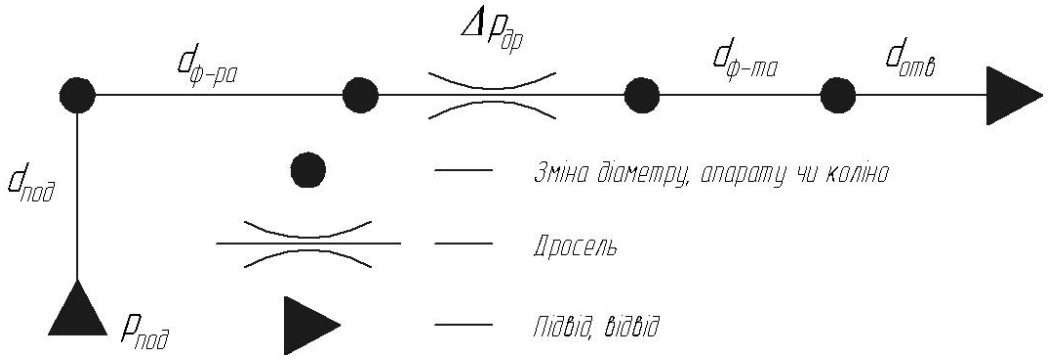


Рис. 22. Модель фільтру в вигляді принципової схеми гідролінії

Втрати тиску на тертя:

$$\Delta p_T = \frac{0{,}5 \cdot \lambda \cdot l \cdot \rho \cdot v^2}{d_T},$$

де λ - коефіцієнт тертя; l - довжина ділянки; ρ - щільність; v - середня швидкість рідини, d_T - діаметр труби або шланга.

Коефіцієнт тертя λ залежить від режиму течії рідини й визначається по числу Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{v \cdot d_T}{\nu},$$

де ν - кінематична в'язкість рідини.

При ламінарному русі рідини ($\mathrm{Re} < 2320$):

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}.$$

Враховуючи можливість звуження і викривлення перерізу труби при практичних розрахунках приймають:

$$\lambda = \frac{75}{\mathrm{Re}}.$$

При турбулентному русі ($\mathrm{Re} \geq 2320$) коефіцієнт тертя λ залежить від числа Рейнольдса, й від відносної шорсткості стінок каналу. Сталеві труби мають шорсткість $\Delta = 0,03\,мм$, труби з кольорових металів вважають практично гладкими.

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\mathrm{Re}}}.$$

В нашому випадку існує чотири ділянки:

1. $d_{под}$ – трубка підводу рідини до фільтру.
2. $d_{ф-ра}$ – труба фільтру.
3. $d_{ф-та}$ – труба фільтрелементу.
4. $d_{отв}$ – трубка відводу очищеної рідини з фільтру.

Розрахуємо втрати на гідравлічне тертя на кожній з цих ділянок та занесемо отримані дані до таблиці 4:
(швидкість рідини приймаємо 0.8 як середню для гідросистем)

- перша ділянка ($l = 0,105\,м$)

коефіцієнт Рейнольда:

$$\Re = \frac{0.8 \cdot 0.04}{1004 \cdot 10^{-6}} = 14 < 2320$$ – ламінарний режим.

коефіцієнт Дарсі:

$$\lambda = \frac{75}{14} = 5.36;$$

втрати на гідравлічне тертя:

$$\Delta p_m = \frac{0.5 \cdot 5.36 \cdot 0.105 \cdot 1000 \cdot (0.8)^2}{0.04} = 22,5\,кПА.$$

- друга ділянка ($l = 0,640\,м$)

коефіцієнт Рейнольда:

$$\Re = \frac{0.8 \cdot 0.098}{1004 \cdot 10^{-6}} = 78 < 2320$$ – ламінарний режим.

коефіцієнт Дарсі:

$$\lambda = \frac{75}{78} = 0.96;$$

втрати на гідравлічне тертя:

$$\Delta p_m = \frac{0.5 \cdot 0.96 \cdot 0.640 \cdot 1000 \cdot (0.8)^2}{0.098} = 2\,кПА.$$

- третя ділянка ($l = 0{,}504\ м$)

коефіцієнт Рейнольда:

$$\Re = \frac{0.8 \cdot 0.06}{1004 \cdot 10^{-6}} = 48 < 2320$$ – ламінарний режим;

коефіцієнт Дарсі:

$$\lambda = \frac{75}{48} = 1.56;$$

втрати на гідравлічне тертя:

$$\Delta p_m = \frac{0.5 \cdot 1.56 \cdot 0.504 \cdot 1000 \cdot (0.8)^2}{0.06} = 4{,}2\,кПА.$$

- четверта ділянка ($l = 0{,}184\ м$)

коефіцієнт Рейнольда:

$$\Re = \frac{0.8 \cdot 0.0245}{1004 \cdot 10^{-6}} = 20 < 2320$$ – ламінарний режим;

коефіцієнт Дарсі:

$$\lambda = \frac{75}{20} = 3.75;$$

втрати на гідравлічне тертя:

$$\Delta p_m = \frac{0.5 \cdot 3.75 \cdot 0.184 \cdot 1000 \cdot (0.8)^2}{0.0245} = 9\,кПА.$$

Сумарні втрати на гідравлічне тертя:

$$\Delta p_m = \sum \Delta p_{m_i} = 37.7\,кПа = 0.0377\,МПа.$$

Таблиця 4. Результати розрахунків втрат на тертя

Номер ділянки	$l, м$	$d_T, мм$	$v, м/с$	Re	λ	$\Delta p_T, МПа$
1	0,105	40	0,8	14	5,36	0,0225
2	0,64	98		78	0,96	0,002
3	0,504	60		48	1,56	0,0042
4	0,184	24,5		20	3,75	0,009
						0,0377

При $\mathrm{Re} > 10^5$ коефіцієнт тертя практично не залежить від $\Re$ і можна прийняти $\lambda = 0,02$. Втрати на місцевих опорах визначимо по формулі:

$$\Delta p_M = 0,5 \cdot \rho \cdot \xi \cdot v^2$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору. Для коліна рівний 0,12.

Визначимо втрати на місцевих опорах, а саме втрату тиску на коліні $d_{под}$–$d_{ф-ра}$:

$$\Delta p_м = 0.5 \cdot 1000 \cdot 0.12 \cdot (0.8)^2 = 0,0000384\,МПа.$$

Тепер взвши до уваги втрату тиску на дроселі $\Delta p_{га} = 0.3$ знайдемо сумарну втрату тиску на фільтрі:

$$\Delta p = \Delta p_m + \Delta p_м + \Delta p_{га} = 0,0377 + 0,0000384 + 0,3 = 0,34\,МПа.$$

ВИСНОВОК

Після проведення усіх необхідних розрахунків можна сказати, що залишається тільки розробити конструкторську документацію по ультразвуковому кавітаційному фільтру та після цього, зробити опис приципу його роботи. У наступному розділі буде приведено принцип по якому був сконструйований даний фільтр да яким чином він працює.

РОЗДІЛ IV. Конструкція ультразвукового кавітаційного фільтру.

4.1. Принцип конструювання ультразвукового кавітаційного фільтру.

У даній роботі запропоновано виконання проточки не у різьбовому форматі, а у вигляді проточки з круглим перетином. Це вирішує вищевказану проблему. На рис. 23 зображено загальний вигляд фільтелементу з проточкою для проволоки.

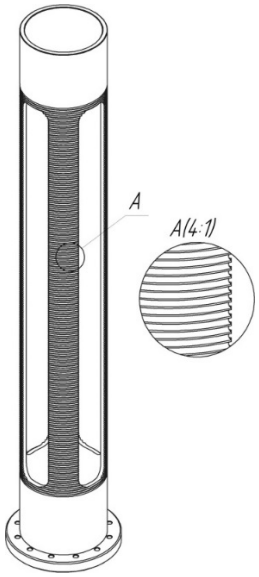


Рис. 23. Загальний вигляд фільтелементу з проточкою для проволоки.

Далі на рис. 24 зображений загальний вигляд фільтру з використанням фільтрелементу з проточкою для проволоки.

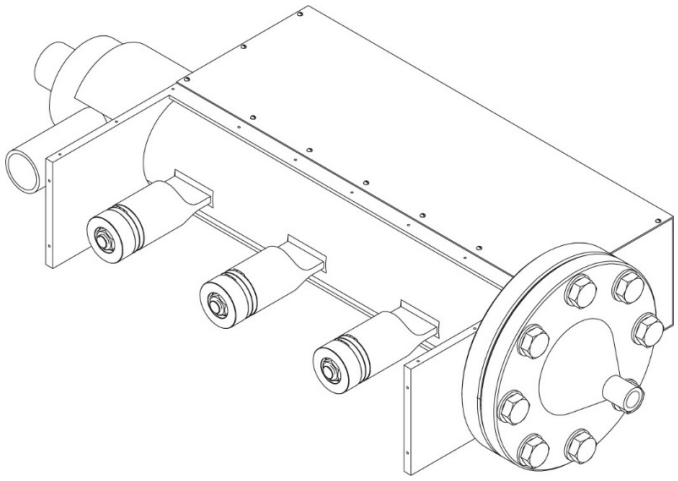


Рис. 24. Загальний вигляд фільтру з використанням фільтрелементу з проточкою для проволоки.

4.2. Принцип роботи ультразвукового кавітаційного фільтру.

Тепер маючи розроблений УКФ з легкозмінним фільтрелементом, необхідно зрозуміти як він працює. Для цього наведено його принципову схему на рис. 25.

Принцип роботи УКФ:

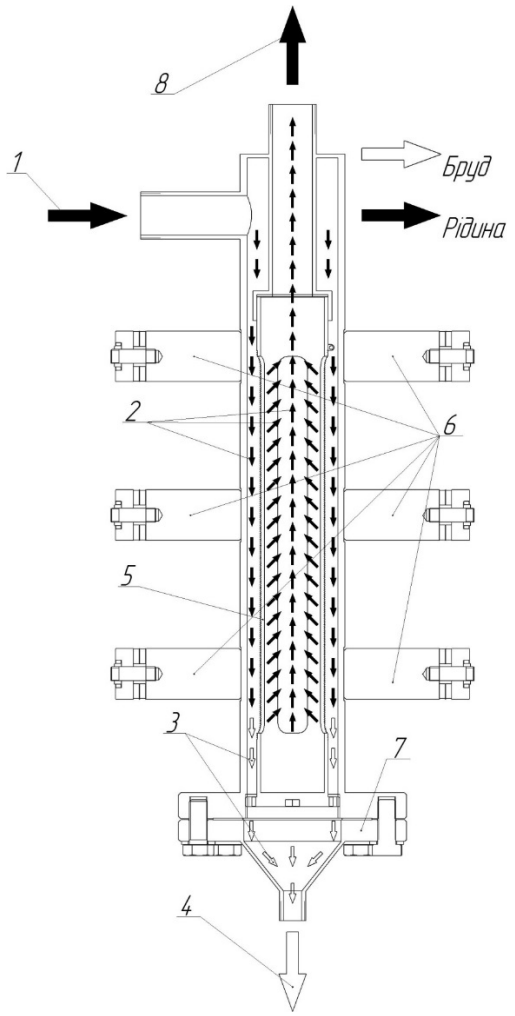


Рис. 25. Принципова схема УКФ з легкозмінним фільтрелементом (5 – фільтрелемент; 6 – випромінювачі ультразвукових коливань; 7 – кришка скиду бруду.)

Рідина потрапляючи за напрямком 1 у фільтр йде скрізь фільтрелемент 5 та забезпечується фільтрування через сітчату(фільтруючу) поверхню. Напрямок току рідини позначений стілками 2. У той самий час випромінювачі 6 діючи на поверхню фільтру, який виконаний з металічної труби, тобто має круглий перетин, викликають у його середині явище кавітації, викликаної дією вібрації стінок фільтра на рідину. Це викликає виникнення руйнівної сили кавітаційних пухирьків на поверхні фільтрелементу, що забезпечує його очищення від накопиченого бруду та забезпечує тим самим його регенеративними функціями.

Очищений бруд опадає уздовш стрілок 3 та відводится згідно напрямку 4, де встановленно гідравлічний клапан, який й деякі проміжки часу відчиняю проток та скидує накопичений на дні бруд. Очищенна рідина тим самим прямує згідно напрямку стрілки 8.

Кришка 7 забезпечує можливість легкої заміни фільтрелементу у разі зношення проволоки на ньому.

ВИСНОВОК

Після розробки фільтру, оформлення конструкторської документації, проведення усіх необхідних розрахунків та отримання експериментальних даних з дослідження та знаходження найбільш тривкого металу до ерозії у ультразвуковому полі, виникає необхідність розробки стартап-проекту, який має показати, що дана розробка та проведені розрахунки і дослідження мають перспективу розвитку, як технлогічну, так й економічну.

РОЗДІЛ V. Стартап проект «Ультразвуковий кавітаційний фільтр».

Метою даного розділу є проведення маркетингового аналізу стартап – проекту для того, щоб визначити принципові можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

5.1. Опис ідеї проекту.

У таблиці 5 надано інформацію про зміст ідеї стартапу, можливі напрямки застосування, вигода, яку отримає споживач.

Таблиця 5. Опис ідеї стартап - проекту

Зміст ідеї стартапу	Напрямки застосування	Вигоди для споживача
Використання ультразвукового кавітаційного фільтру у різноманітних промисловостях	1. Харчова промисловість 2. Машинобудівна промисловість 3. Хімічна промисловість 4. Інші види промисловостей	Зменшення витрат на обслуговування, забезпеччення безперервної роботи промисловості

У таблиці 6 зроблено аналіз технічних та економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями аналогів.

Таблиця 6. Визначення характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Звичайні фільтри	Регенераційні фільтри			
1	Витрати на обслуг., грн./3 міс.	200	570-750	1620-2280			+
2	Вартість, тис.грн	10-20	2-35	10-40		+	
3	Безперерв. роботи	+	-	-			+

Аналіз слабких, нейтральних та сильних сторін технічних та економічних характеристик ідеї дозволяє зробити висновок, що ідея використання нового типу фільтрів може бути конкурентоспроможною.

5.2. **Технологічний аудит ідеї проекту.**

Оскільки ідея проекту полягає в використанні ультразвукового кавітаційного фільтру, тобто нової технології, то аудит може мати такі варіанти рішення: .

- використання звичайних чи регенераційних фільтрів, але це викликає необхідність зупинки виробництва чи витрати часу на заміну вичерпаного фільтрелементу(зайва витрата часу);
- заміна вичерпаного фільтрелементу викликає необхідність додаткових капіталовитрат(падіння величини прибутку).

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.

Визначивши ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проекту, сплануємо напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

5.3.1. Аналіз попиту.

Проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 6).

Таблиця 7. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	0,5 млн.
3	Динаміка ринку	Стабільна
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	5%

За таблиці 7 видно, що за попереднім оцінюванням є ринок привабливим для входження.

5.3.2. **Визначення потенційних груп клієнтів.**

Надалі визначимо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та зформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 8).

Таблиця 8.Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Підвищення ефективнсоті фільтрів, подовження строку служби	1. Харчова промисловість 2. Машинобудівна промисловість 3. Хімічна промисловість 4. Інші види промисловостей	1. Різні вимоги до точності фільтрації 2. Необхідність знезараження, дегазації	1. Великий строк служби; 2. Можливість виконання додаткових функцій; 3. Надійність 4. Окупність в найкоротші строки

5.3.3. Аналіз ринкового середовища.

Після визначення потенційних груп клієнтів проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиця 9–10). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 9. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Вартість	Необхідність придбання двох апаратів для забезпечення безперебійної роботи	Відмова від покупки
2	Нова технологія	Неготовність до використанння нових технологій у промисловості	Відмова від покупки

Таблиця 10. Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії

п/п			
1	Забезпечення безперебійної роботи	Зменшуються витрати на заміну відпрацьованих фільтрелементів	Придбання фільтрів на усі етапи промисловості
2	Великий строк роботи	Швидка окупність	Розповсюдження ідеї використання даного фільтру

5.3.4. Аналіз пропозиції.

Далі проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 11).

Таблиця 11. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції – чиста	Нова технологія	Вільне розповсюдження ідеї
2. Рівень конкуренції – міжнародний	Вихід на міжнародний ринок	Можливість швидко окупити капіталовкладення інвесторів та забезпечення гідної співпраці з ними
3. За галузевою ознакою – міжгалузева	Спроба виходу на інші види ринку	Можливість розвитку підприємства, розширення штату
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Існування більш простих видів фільтрів	Конкуренція між різними видами фільтрів, які можуть виконувати однакові функції.
5. За характером конкурентних переваг – неціновa	Нова технологія – «вічний фільтр»	Підтримка технології, розробка аддонів
6. За інтенсивністю – не марочна	Головний атрибут – довговічність	Підтримка старих споживачів

5.3.5. **Аналіз конкуренції у галузі.**

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (таблиця 12).

Таблиця 12. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
На ринку спостерігається тенденція до збільшення кількості підприємств(споживачів) і посилення конкуренції на ринку.	Бар'єрів входу на ринок не існує. Вартість організації бізнесу сягає 50 тисяч доларів	Необхідність пошуку постачальників не є основною проблемою. Якість виробів достатня.	Споживачі розповсюджені по усьому світу.	Не існує або коштують великих затрат ресурсів.

5.3.6. Обгрунтування факторів конкурентноспроможності.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в п. 5.3.5 (таблиці 12), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиці 6), вимог споживачів до товару (таблиці 8) та факторів маркетингового середовища (таблиці 9–10) визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформимо за таблицею 13.

Таблиця 13. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Нова технологія	Забезпечення розвитку підприємств, відкриття нових границь.
2	Ціна	Швидка окупність від використання продукту.
3	Маркетинговий бюджет	Від розміру маркетингового бюджету залежить здатність здійснювати маркетингову стратегію підприємства. Маркетингові заходи мають забезпечувати інші конкурентні переваги такі, як рівень диференціації, лояльності, репутація виробника, дистрибуція та просування.

5.3.7. SWOT–аналіз.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 14).

Складемо перелік ринкових загроз та ринкових можливостей на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 14. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Нова технологія. 2. Підвищення строку служби. 3. Дешевизна обслуговування.	Слабкі сторони: 1. Відсутність існуючих інвесторів. 2. Стратегія не має практичного застосування, необхідне моделювання.
Можливості: 1. Можливість виходу на світовий ринок. 2. Можливість збільшення обсягів продаж за рахунок підключення інших видів збиту.	Загрози: 1. Можливе винайдення нових технологій. 2. Загроза підвищення цін на продукт унаслідок підвищення цін на сировину та її дефіциту.

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.

5.4.1. Вибір цільових груп споживачів

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 15).

Таблиця 15. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Харчова промисловість	+	високий	низька	висока
2	Машинобудівна	+	високий	низька	висока

	промисловість				
3	Хімічна промисловість	+	високий	низька	висока
Обрані всі три цільові групи потенційних споживачів(перший крок до розвитку підприємства).					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) визначена стратегія охоплення ринку: компанія працює із всім ринком, пропонуючи стандартизовану програму (включно із характеристиками товару/послуги), а це означає, що вона використовує диференційований маркетинг.

5.4.2. Визначення базової стратегії розвитку.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (таблиця 16).

Таблиця 16. Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розвиток ринку	Масовий маркетинг	Низькі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів і одночасно хороший захист проти товарів-замінників	Стратегія лідерства по витратах
2	Розвиток товару	Диференційований маркетинг	Відмітні властивості товару і завойована прихильність клієнтів захищають фірму і від товарів-замінників	Стратегія диференціації
3	Більш глибоке проникнення на ринок	Концентрований маркетинг	Задоволення потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж	Стратегія спеціалізації

			конкуренти	

На основі таблиці 16 було обрано базову стратегію розвитку - стратегія диференціації.

5.4.3. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

Наступним, виберемо стратегію конкурентної поведінки (таблиця 17).

Таблиця 17. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	+	+	-	Стратегія лідера
2	-	+	-	Стратегія виклику лідера
3	-	-	+	Стратегія наслідування лідеру
4	+	-	-	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі таблиці 17 обираємо стратегію лідера.

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.

5.5.1. Ключові переваги потенційного товару.

Першим кроком зформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 18 підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Нова технологія	Забезпечення	Безперебійна робота

		більшої ефективності підприємства	
2	Великий строк служби	Ресурсозбереження	Дешевизна обслуговування

5.5.2. Визначення меж встановлення ціни.

Наступним кроком визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 19).

Таблиця 19. Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
15-50 тис. грн.	2-75 тис. грн.	2 млн. грн.	10-15 тис. грн.

5.5.3. Розробка системи збуту.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 20):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 20. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту

Характерно для наукомістких галузей зі специфічним і (або) дорогим товаром, який може бути придбаний обмеженим числом споживачів, які потребують специфічних компонентах для свого специфічного фінального продукту (машинобудування з виробництвом за індивідуальними замовленнями або дрібними серіями).	Просування на ринок подібних продуктів в рамках даної системи збуту не вимагає будь-якої широкої реклами. Швидше потрібно одного разу з'ясувати, хто з потенційних покупців інновацій може в них потребу і яка поточна платоспроможність даного клієнта.	Канал нульового рівня	Канал складається з виробника, який продає свій товар безпосередньо споживачам (через відділ збуту, збутові філії, мережу фірмових магазинів, посилкову торгівлю тощо)

5.5.4. Розробка концепції маркетингових комунікацій.

Останньою складової маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 21).

Таблиця 21. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Наукомісткі	Включають в	Конкурентне	Отримати	Головними

галузі зі специфічним і (або) дорогим товаром, який може бути придбаний обмеженим числом споживачів	себе пряму поштову розсилку, замовлення по друкованим каталогам і продаж в режимі он-лайн.	позиціонування, яке базується на демонстрації переваг товарів підприємства над товарами конкурентів.	можливість у кілька разів збільшити обсяг продажу своїх товарів	елементами структури реклами є тема реклами і девіз рекламної кампанії.

ВИСНОВОК

Було проведено аналіз можливості ринкової комерціалізації проекту. За результатами аналізу було виявлено, що технологічна реалізація проекту можлива, визначені його сильні та слабкі сторони, конкурентні позиції на ринку фільтраційних технологій.

Даний ринок є привабливим для входження через велику довговічність технології та низькі витрати на обслуговування. З огляду на потенційні групи клієнтів, не дуже великі бар’єри входу на ринок, через унікальність технології, у порівнянні з товарами конкурентів, даний проект можна вважати перспективним для впровадження.

РОЗДІЛ VI. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Охорона праці - це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

У даному розділі дипломного проекту на тему «Підвищення ефективності ультразвукового кавітаційного фільтру» буде розглянуто питання, які стосуються безпеки роботи стенду для дослідження тривкості матеріалів в ультразвуковому полі:

1. оцінка приміщення, де проходять випробування;
2. аналіз мікрокліматичних умов;
3. система опалення виробничого приміщення;
4. освітлення виробничого приміщення;
5. розрахунок природного освітлення;
6. розрахунок штучного освітлення;

7. електробезпека;

8. пожежна безпека;

9. режими праці та відпочинку при роботі з ПК

Таблиця 22. Загальна характеристика комплексу

Небезпечні і шкідливі чинники, що наявні в конструкції виробу або виявляються при його експлуатації	Наявність шкідливих, небезпечних або токсичних речовин.	ні
	Наявність шуму	так
	Наявність небезпек при роботі установки	так
	Наявність можливості ураження людини електричним струмом	так

6.1. Оцінка приміщення.

Виробниче приміщення(таблиця 22), де працює стенд для дослідження тривкості матеріалів в ультразвуковому полі, має наступні параметри:

1. висота $h=2.5\,м$;

2. довжина $l=5\text{м}$;

3. ширина $b=6\text{м}$.

Таким чином, визначимо площа і об'єм виробничого приміщення:

$$S=b\cdot l \quad ; \qquad (6.1)$$

$$S=6\cdot 5=30\text{м}^2 \quad ;$$

$$V=b\cdot l\cdot h \quad ; \qquad (6.2)$$

$$V=6\cdot 5\cdot 3{,}5=75\,м^3 \quad .$$

У приміщенні для дослідження тривкості матеріалів в ультразвуковому полі працює 1 працівник. Таким чином, маємо таку площу і об'єм приміщення, які припадають на одну людину:

$$S'=30\,м^2 \quad ; \qquad V'=75\,м^3$$

Таким чином, порівнюємо фактичні дані щодо площі та об'єму, які припадають на одного робітника, з нормативними (див. таблицю 23).

Таблиця 23. Порівняння фактичних і нормативних даних щодо площі й об'єму приміщення на одного працівника.

Параметри	Нормативні	Фактичні
Площа, $м^2$	Чи не менше 6	30
Об'єм, $м^2$	Чи не менше 71,5	75

Таким чином, бачимо, що параметри виробничого приміщення, де проходить дослідження тривкості матеріалів в ультразвуковому полі, а саме розміри цього приміщення, які припадають на одного працівника, в цілому відповідають нормативним параметрам площі й об'єму приміщення на одного працівника.

6.2. Аналіз мікрокліматичних умов.

Розглянемо вплив параметрів мікроклімату виробничого приміщення, в якому проводиться дослідження тривкості матеріалів в ультразвуковому полі.

Основним нормативним документом, який визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДБН В.2.5-67:2013[8].

У даному приміщенні маємо такі фактори мікроклімату:

1. температура повітря:

- в холодну пору року $t' = 22°C$;
- в теплу пору року $t'' = 23°C$;

2. вологість повітря: 40-60% незалежно від пори року;

3. швидкість руху повітря:

- в холодну пору року $\upsilon' = 0,15 м/с$;
- в теплу пору року $\upsilon'' = 0,3 м/с$.

Мікроклімат даного виробничого приміщення забезпечується за допомогою приточно-витяжної вентиляції. Оптимальна температура повітря підтримується взимку за рахунок центрального опалення, а влітку - за допомогою кондиціонерів Daikin FWT02CT.

У цьому виробничому приміщенні відбувається робота, яка відноситься до категорії Іб, тобто легка робота.

Далі порівняємо фактичні параметри мікроклімату приміщення з нормативами, і ці дані зведемо в таблицю 24.

Таблиця 24. Оптимальні норми температур, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення.

Фактори мікроклімату	Нормативні		Фактичні	
	Холодний період року ($t<+10°C$)	Теплий період року ($t\geq+10°C$)	Холодний період року ($t<+10°C$)	Теплий період року ($t\geq+10°C$)
Температура, $°C$	21 - 23	22 - 24	22	23
Вологість,%	40 - 60	40 - 60	40 - 60	40 - 60
Швидкість руху повітря, м/с	Не більше 0,2	Не більше 0,3	0,15	0,3

Таким чином, ми бачимо, що фактичні параметри мікроклімату даного виробничого приміщення відповідають нормативним параметрам ГОСТ 12.1.005-88.

6.3. Освітлення виробничого приміщення.

У даному виробничому приміщенні природного освітлення недостатньо, тому також використовується штучне загальне освітлення, при якому лампи розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) з урахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення).

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 маємо такі норми освітлення залежно від характеру роботи (див. таблицю 25).

Таблиця 25. Норми штучного та природного освітлення виробничих приміщень.

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розпізнавання, мм	Контраст	Розряд роботи	Фон	Мінімальна освітленість, лк
Висока точність	0,3 ... 0,5	середній	III	Середній	300
Середня точність	0,5 ... 1,0	середній	IV	Середній	200
Мала точність	> 5,0	середній	V.	Середній	150

У процесі дослідження тривкості матеріалів в ультразвуковому полі виконуються зорові роботи малої точності. Таким чином, мінімальна освітленість даного виробничого приміщення становить 150 лк.

Основним показником природного освітлення є коефіцієнт природного освітлення. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006[9] значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) для даного виробничого приміщення, розташованого в IV поясі світлового клімату, визначається за формулою:

$$e_н^{\text{IV}} = e_н^{\text{III}} \cdot m \cdot c \quad , \qquad (6.3.)$$

де $m = 0{,}9$ - Коефіцієнт світлового клімату; $c = 0{,}85$ - Коефіцієнт сонячності; $e_н^{III} = 3{,}0$ - Значення КПО в III поясі світлового клімату.

Таким чином, маємо:

$$e_н^{\text{IV}} = 3{,}0 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}85 = 2{,}295 \quad .$$

Маємо бічне освітлення, при якому, відповідно до СНіП II-4-79, норма природного освітлення по зоровій роботі малої точності становить $e_н = 1{,}0$.

Таким чином, для даного виробничого приміщення маємо достатньо природного освітлення.

При розрахунку штучного освітлення використовуємо метод світлового потоку.

Метод світлового потоку призначений для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь. Цей метод враховує як прямий світловий потік, так і відбитий від стін і стелі.

Світловий потік лампи $Ф_л$ визначають за формулою:

$$Ф_л = \frac{E \cdot S \cdot k_з \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta}, \qquad (6.4.)$$

де E - нормована освітленість, яка для стенду для дослідження тривкості матеріалів в ультразвуковому полі (загальне спостереження за ходом виробничого процесу) за нормами штучного та природного освітлення виробничих приміщень (відповідно до «Будівельних норм і правил» - СНіП II-4-79) знаходиться в межах 70 -30 *лк;* приймаємо $E = 50\ лк$; S - площа освітлюваного приміщення; приймаємо $S = 30\ м^2$; $k_з$ - Коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення і старіння ламп ($k_з = 1{,}3 \ldots 1{,}8$), Приймаємо $k_з = 1{,}5$; Z - коефіцієнт нерівномірності освітленості *(Z* = 1,1 ... 1,15), приймаємо Z = 1,15; N - кількість світильників; для даного приміщення, приймаємо N = 2; n - кількість ламп у світильнику, приймаємо n = 2; η - Коефіцієнт використання світлового потоку, приймаємо $\eta = 0{,}8$.

Таким чином, маємо:

$$Ф_л = \frac{50 \cdot 30 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}15}{2 \cdot 2 \cdot 0{,}8} = \frac{2587.5}{3.2} = 808{,}59\ лм .$$

6.4. Електробезпека.

Класифікація приміщення з точки зору небезпеки ураження людини електричним струмом.

Умови, характерні для даного приміщення:

- За ступенем ураження електричним струмом дане приміщення відноситься до категорії сухих - з середньою відносною вологістю повітря не вище 60%.
- у повітрі можуть бути наявні частинки, що проводять струм.

Підсумовуючи, характеризуємо клас приміщення – “з особливою небезпекою”, згідно з ПУЕ.

Для установки використовується однофазного мережа змінного струму 220В.

Причинами ураження людей електричним струмом можуть бути:

- раптове торкання струмопровідних частин, що знаходяться під напругою;

- поява напруги на відключених струмопровідних частинах, на яких працює людина, внаслідок помилкового включення установки;

При роботі даного пристрою, який розташований у виробничому приміщенні, передбачено наступні заходи з електробезпеки:

- нормування опору ізоляції: маємо опір ізоляції не менш 0,5 *МОм;*
- наявність захисного заземлення, опір контуру якого повинно бути не більше 4,0 *Ом,* причому всі з'єднання в контурі заземлення повинні виконуватися тільки зварюванням;
- рубильники для відключення струму в разі непередбачених обставин повинні бути розташовані в доступному видному місці, підхід до них повинен бути вільний.

Задачею заземлення являється усунення небезпеки ураження людей струмом при замиканні на корпус. Принцип дії заземлення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання, тобто замикання між фазним та нульовим проводами з метою створення високого струму, здатного забезпечити спрацювання захисту та тим самим автоматично відключити пошкоджену установку від мережі.

6.5. Пожежна безпека.

Відповідно до ОНТП 24-86 дане виробниче приміщення за класифікацією по вибухонебезпечному і пожежної безпеки відноситься до категорії «Д», тобто в ньому знаходяться негорючі речовини і матеріали в холодному стані.

Для запобігання розповсюдження пожежі приміщення обладнане засобами пожежної зв'язку та сигналізацією за ГОСТ 12.1.004-84 і телефоном загальноміської мережі для зв'язку з пожежною охороною.

Пожежна сигналізація в даному приміщенні електрична, основою якої є фотоелектрична сигналізація (фотореле). Фотоелектрична сигналізація спрацьовує в слідстві затемнення димом світлового променю, спрямованого на елемент.

У даному приміщенні передбачено також наявність таких засобів пожежогасіння, як:

- вогнегасники ОУ-5, ОУ-8, ОПС-10;
- пожежна простирадло з брезенту і азбесту;
- ящик з порошкоподібною сухою сумішшю (суміш піску з флюсом).

Виробниче приміщення також додатково забезпечено протипожежними стінами, тобто перекриттями, які повинні спиратися на фундамент, встановлюватися на всю висоту

приміщення, перекривати всі конструкції. Вони повинні бути вище даху не менше ніж на 60см. У протипожежних перекриттях прокладають вентиляцію та димові канали так, щоб у місцях їх розміщення межа вогнестійкості протипожежної стіни з кожного боку каналу була не менше 2,5 ч.

У разі пожежі повинна бути забезпечена можливістю евакуації людей, які перебувають у даному виробничому приміщенні, через евакуаційні виходи. Двері повинні відкриватися в бік виходу з об'єкту.

Складемо таблицю (таблиця 26) щодо нормативних значень параметрів евакуаційних виходів і фактичних значень параметрів евакуаційних виходів, які розташовані в даному виробничому приміщенні.

Таблиця 26. Параметри евакуаційних виходів

Характеристики	Нормативні значення	Фактичні значення
Висота дверних проходів, м	не менш 2м	2 м
Ширина дверних проходів, м	не менш 0,8 м	0,8 м
Ширина проходу для евакуації, м	не менш 1м	1 м
Ширина коридору, м	не менш 2м	2м
Кількість виходів, шт	2	2
Висота поручнів сходів, м	не менш 0,9 м	1 м
Ширина сходів, м	не менш 1м	1,2 м

Таким чином, як ми бачимо, фактичні значення основних параметрів евакуаційних виходів даного виробничого приміщення в цілому відповідають нормативним.

6.6. Вибухобезпека.

Для визначення безпечності виробництва від вибуху пропану треба задатися основними параметрами розрахунку:

- відстань до ємності з пропаном – 800 м;
- маса пропану – 300 т.

Тепер перейдемо до розрахунків. Визначимо, у яку зону осередку вибуху потрапляє наш об'єкт:

Радіус зони 1:

$$R_i = 17,5\sqrt[3]{Q, м,} = 17,5\sqrt[3]{300} = 17,5 \cdot 6,7 = 117\ м < 800\ м.$$

Радіус зони 2:

$$R_2 = 17\,R_1 = 1,7 \cdot 117 = 199\ м < 800\ м,$$

тобто наш об'єкт під час можливої аварії потрапить у 3-тю зону осередку вибуху.

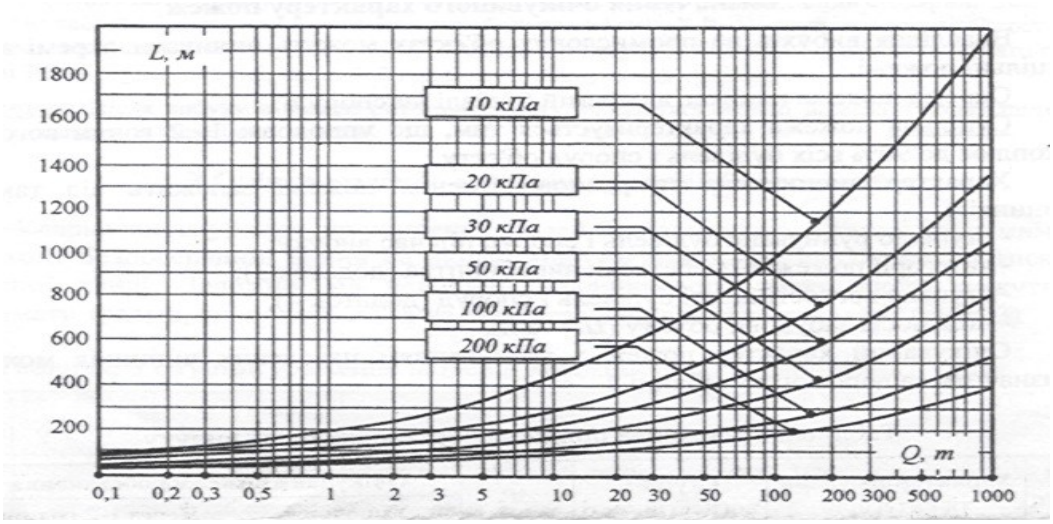


Рис. 26. Графік залежності надлишкового тиску Δp від кількості пропану Q і відстані до центру вибуху L.

2. Для зони 3 за допомогою графіків (рис. 26) знаходимо величину надлишкового тиску ударної хвилі на відстані $L = 800\ м$ від центра вибуху Q = 300 т пропану. Це буде $\Delta P = 25\ кПа$.

3. З додатка А визначаємо, що будівля зі збірного залізобетону від ударної хвилі з надлишковим тиском 25 кПа отримає середні руйнування. З додатка Б визначаємо, якого характеру руйнування очікуються під час можливої аварії.

Висновок: Під час аварії на вибухонебезпечному об'єкті з вибухом 300 т пропану будівля цеху може отримати середні руйнування. З додатка Б визначаємо, що це: *руйнування даху, *внутрішніх перегородок, *вибиті двері та вікна, *у капітальних стінах можливі тріщини.

6.7. Режими праці та відпочинку при роботі з ПК.

Гігієнічні вимоги до параметрів виробничого середовища включають вимоги до параметрів мікроклімату, освітлення, шуму й вібрації, рівнів електромагнітного та іонізуючого випромінювання.

У виробничих приміщеннях на робочих місця із ПК мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості й рухливості повітря (ГОСТ 12.1.005–88, СН 4088–86) (таблиця 27).

Таблиця 27. Норми мікроклімату для приміщень з ПК.

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, С, не більше	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	легка – 1а	22-24	40-60	0,1
	легка – 1б	21-23	40-60	0,1
Тепла	легка – 1а	23-25	40-60	0,1
	легка – 1б	22-24	40-60	0,2

Як джерела світла для штучного освітлення мають застосовуватись переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ. У разі влаштування відбитого освітлення у виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях допускається застосування метало-галогенних ламп потужністю 250 Вт. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК, мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 (таблиця 28).

Таблиця 28. Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот.[29]

Вид трудової діяльності	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньогеометричними частотами, Гц									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Рівні звуку, еквівалентні рівні звуку, дБА/дБАекв.
Програмісти ЕОМ	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Оператори в залах обробки інформації на ЕОМ та оператори комп'ютерного набору	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
В приміщеннях для розташування шумних агрегатів ЕОМ	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

ВИСНОВОК

Після перевірки усіх підрозділів та зрівнявши їх результати із стандартами України, можна зробити висновок, що усі норми відповідають стандартам окрім шумозахисту. Для рішення цього питання необхідно забезпечити робітників засобами захисту від шуму таких, як шумо-ізолюючі навушники.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Ультразвуковий кавітаційний фільтр – нова, конкурентноспроможна та багатофункціональна технологія. Після проведення класифікації конкурентних товарів, було помічено, що даний пристрій може зайняти головну, тобто основну, позицію на ринку збуту фільтрувальних апаратів робочих рідин для використання у всіх видах промисловостей по всьому світу.

Після проведення розрахунків, експериментальних досліджень, маркетингових оцінок, розробки стартап-проекту та забезпечення умов охорони праці, можна з впевненістю заявити, що ультразвуковий кавітаційний фільтр готовий до експериментальних перевірок, сертифікації та організації його виробництва та розповсюдження.

Для забезпечення впевненого виходу на ринок необхідно пройти багато додаткових ступенів, але з технічної сторони, він готовий до експлуатації. Крім того, він забезпечений умовами низької вартості виробництва, оскільки матеріали використані при конструюванні мають низьку ціну та принцип виробництва не потребує складних операцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Й. Опейда. Глосарій термінів з хімії. / Опейда Й., Швайка О. – Д, 2008, с. 91, 105, 124, 515, 738 с.
2. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004—2013.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ Под ред. М. О. Штейнберга. — 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1992. — С. 10.
4. «Словарь иностранных слов, вошедших в состав русского языка». Составлен по Энциклопедическому Словарю Ф. Павленкова, с соответствующими сокращениями в объяснении слов и добавлениями в их числе. 2-е изд. Ф. Павленкова. 1907
5. Владимиров В. С., Жаринов В. В. Уравнения математической физики. — Физматлит, 2004.
6. Луговський О.Ф Дослідження кавітаційного поля в циліндричній камері з ультразвуковими випромінювачами на утворюючій поверхні / ., А. В. Мовчанюк, В. І. Чорний // Промислова гідравліка і пневматика. - 2004. - № 1 (3). – с. 35-38.
7. Висновок про видачу патенту № UA 2004010079; 08.01.2004; Чорний В.І., Луговський О.Ф., Мовчанюк А.В. Пристрій для обробки рідини в потоці.
8. Луговський О.Ф. Методика розрахунку ультразвукового кавітаційного апарата з проточною камерою // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2003. - № 1 (27). - с. 50-56.
9. Луговський О.Ф. Методика розрахунку ультразвукового диспергатора з радіально-згинними коливаннями до систем підготовки паливно-повітряної суміші / О. Ф. Луговський, В. І. Чорний // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Машиностроение.- 1999. - Вип. 34. - с. 79 –87.
10. Луговський О.Ф. Підвищення ефективності циліндричних ультразвукових кавітаційних камер / О. Ф. Луговський, О. М. Яхно, А. В. Мовчанюк, В. І. Чорний // Промислова гідравліка і пневматика. - 2005. - № 1 (7). - с. 17-20.
11. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле / Пер. с англ. Л.Г Корнейчука / Под ред. Э.И.Григолюка.- М.: Машиностроение, 1985.- 424 с.
12. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Пер. с яп. Л.Масленникова / Под ред. И.И.Портнова, В.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 424 с.
13. Луговський О.Ф., Мовчанюк А.В., Чорний В.І. Особливості проектування ультразвукових кавітаційних камер обмеженого об’єму, що утворені плоскими

поверхнями // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Машиностроение. - 2003. - Вип. 44. - с. 228–233.

14. Rayleigh // Phil. Mag. – 1917. – Vol. 34. – №200. – 94-97 p.
15. Мак Кормик. Кавитация, обусловленная свободным вихрем, сходящим с несущей поверхности // Труды общества американских инженеров-механиков. Серия Д, Техническая механика, ИП, 1962. - т. 84, № 3. - с. 74-75.
16. Корнфельд М. Упругость и прочность жидкостей. – ГИТТЛ, 1951. – 231с.
17. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хеммит Ф. Кавитация. – М.: Мир, 1974. – 688 с.
18. Kermeen R.W., Mac Graw Y.T., Parkin B.R. Mechanism of Cavitation Inception and the related Scale effects Problem, Transactions of the ASME, 77. - 1955.
19. Daily Y.W., Johnson V. Turbulence and Boundary Layer Effects on Cavitation from Gas Nuclei, Cavitation in Hydrodynamic.. – London. - 1956.
20. Flynn H.G. Physics of acoustic cavitation in liquids. In “Physical Acoustics”, v. 1B. W. Mason (Ed.), N.Y., 1964. (Перевод: Флинн Г. Физика акустической кавитации в жидкостях. - В кн.: Физическая акустика. / Под ред. У. Мєзона. - Т.1,часть Б.- М.: Мир, 1967. - С.7-138 .
21. Биркгоф Г., Царантонелло Э. Струи, следы и каверны. – М.: Мир, 1964. – 466 с.
22. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. – М.: Наука, 1979. – 656 с.
23. Лизин В. Т. Проектирование тонкостенных конструкций: Учеб. пособие для студентов вузов / В. Т. Лизин, В. А. Пяткин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : «Машиностроение», 1994, с. 196-197, 248-253, 384 с.
24. Стригунов В. М. Расчет на прочность фюзеляжей и герметических кабин самолетов / В. М. Стригунов. – М. : «Машиностроение», 1994, с. 269-270, 273-275, 288 с.
25. Гольденберг Л. М., Матюшкин Б. Д., Поляк М. Н. Цифровая обработка сигналов: Справочник. — М.: Радио и связь, 1985.
26. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. — М.: Мир, 1982.
27. Прокис Дж. Цифровая связь = Digital Communications / Кловский Д. Д.. — М.: Радио и связь, 2000. — С. 62-63. — 800 с.
28. С курсом аналитической химии // TEXTARCHIVE.RU URL: http://textarchive.ru/c-1893781-pall.html
29. М. П. Гандзюк Основи охорони праці. К.: 2011.
30. В. К. Свешников, А. А. Усов Станочные гидроприводы. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1988.

31. Сетчатый фильтр фланцевый // URL: http://www.ktto.com.ua/water/fsf
32. Гидравлический фильтр // PROMAUTOSNAB URL: https://promautosnab.ru/blog/8-gidravlicheskie-filtry
33. Механическая очистка воды // ARMEDA FILTER URL: http://argofilter.ru/stati/ochistka/59-mehanicheskaya-ochistka-vody.html
34. Расчет и подбор фильтров // ENCE GmbH URL: http://oil-filters.ru/filters_calculation_and_selection/

ДОДАТКИ

Додаток А

Ступінь руйнування об'єкта залежно від надлишкового тиску ударної хвилі вибуху ΔP, *кПа*

№ пор.	Елементи об’єкта	Ступінь руйнувань			
		слабкі	середні	сильні	повні
1 Виробничі, адміністративні будівлі та споруди					
1	Бетонні та залізобетонні будинки та споруди, антисейсмічні конструкції	25...35	80...120	150...200	200
2	Споруди з легким металевим каркасом і безкаркасні конструкції	10...20	20...30	30...50	50...70
3	Промислові будівлі з металевим каркасом	10...20	20...30	30...40	40..50
4	Споруди зі збірного залізобетону	10...20	20...30	-	30...60
5	Складські цегляні будівлі	10...20	20...30	30...40	40...50
7	Адміністративні багатоповерхові будівлі з металевим або залізобетонним каркасом	20...30	30...40	40...50	50...60
8	Цегляні малоповерхові будівлі (один-два поверхи)	8...15	15...25	25...35	35...45
9	Цегляні малоповерхові будівлі (три поверхи)	8...12	12...20	20...30	30...40
2 Деякі види обладнання					
1	Верстати важкі	25...40	40...60	60...70	-
2	Верстати середні	15...25	25...35	35...45	-
3	Верстати легкі	6...15	-	15...25	-
4	Підйомні крани та кранове обладнання	20...30	50...70	-	80...90
5	Електродвигуни	30...50	50...70	-	80...90
6	Трансформатори	20...30	30...50	50...60	60
7	Контрольно-вимірювальні прилади	5...10	10...20	20...30	30
3 Комунально-енергетичне обладнання					
1	Газгольдери та наземні резервуари хімічних речовин	15...20	20...30	30...40	40
2	Наземні металеві резервуари та ємності	30...40	40..70	70...90	90
3	Кабельні наземні мережі	10...30	30...50	50...60	60
4	Трубопроводи наземні	20	50	130	-
5	Трубопроводи на естакадах	20...30	30...40	40...50	-

Додаток Б

Характеристика руйнувань будівель і обладнання

№ пор.	Ступінь руйнувань	Виробничі та адміністративні будівлі	Промислове обладнання (верстати, двигуни, прилади та ін.)
1	Слабкі	Руйнування заповнень дверних та віконних прорізів, зривання покрівлі даху.	Пошкодження окремих елементів обладнання, важелів керування, вимірювальних приладів
2	Середні	Руйнування даху, легких внутрішніх перегородок, у капітальних стінах з’являються тріщини	Пошкодження та деформація основних деталей, електропроводки, приладів автоматики, тріщини в трубопроводах
3	Сильні	Значна деформація несучих конструкцій, руйнування більшої частини перекриттів та стін	Зміщення фундаменту і деформація основних деталей, розриви в кабельних мережах і трубопроводах