

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО

“ ___ ” _____ 2025 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та
роботизовані механічні системи»**

спеціальності 131 Прикладна механіка

**на тему: Підвищення продуктивності ультразвукових дисператорів з
розпиленням в тонкому шарі** _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи МА-11

_____ Білий Дмитро Михайлович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник д.т.н., проф. Луговський О.Ф. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з охорони праці _____ д.т.н., проф. Луговський О.Ф. _____

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з технології машинобудування к.т.н., доц. Кореньков В.М. _____

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент д.т.н., проф. Данильченко Ю.М. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО
(підпис)

“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту

_____ Білий Дмитро Михайлович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Підвищення продуктивності ультразвукових дисператорів з розпиленням в тонкому шарі

керівник проєкту: д.т.н, проф. Луговський О.Ф.

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

затверджена наказом по університету від “29” 05 2025 року № 1835-с

2. Термін подання студентом проєкту до 16.06.2025

3. Вихідні дані до проєкту: Робоча частота: 20,7 кГц; Вихідна потужність : 160 Вт; Напруга живлення постійного струму: 12 В.

4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Відомі способи розпилення рідини для отримання дрібнодисперсного аерозолю. Розділ 2. Фізичні основи ультразвукового розпилення рідини. Розділ 3. Проблеми підвищення продуктивності технологічного процесу ультразвукового розпилення. Розділ 4. Розрахунок ультразвукових резонансних приводів повздовжніх переміщень для розробки та проектування диспергатору. Розділ 5. Розробка експериментального стенду та проведення дослідів з однохвильовим

ультразвуковим розпилювачем. Розділ 6. Технологічний розділ. Розділ 7. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо)

Пояснювальна записка, 2 складальні креслення, деталювання, 3д модель розпилювача, відео фіксація дослідницької частини_____.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Охорона праці	<u>д.т.н, проф.</u> <u>Луговський О.Ф</u>		
2. Технологія машинобудування	доц. Кореньков В.М.		

7. Дата видачі завдання 07.04.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання до дипломного проекту.	07.04.2025	
2	Проходження переддипломної практики.	14.04-17.05.2025	
3	Дослідження та опрацювання літератури.	14.04-25.04.2025	
4	Початок роботи над дипломним проектом.	26.04.2025	
5	Попередній захист роботи.	04.06.2025	
6	Перевірка проекту на плагіат.		
7	Доопрацювання дипломного проекту.		
8	Захист проекту		

Студент

_____ (підпис)

Керівник проекту

_____ (підпис)

Дмитро БЛІЙ
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Олександр ЛУГОВСЬКИЙ
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Пояснювальна записка до дипломного проєкту

на тему: Підвищення продуктивності ультразвукових дисператорів з
розпиленням в тонкому шарі.

Анотація

Дипломний проект присвячений підвищенню продуктивності ультразвукових дисператорів із розпиленням в тонкому шарі для використання в мехатронних системах. Обсяг текстової частини становить 100 сторінок, робота містить 18 ілюстрацій, 8 фотокарток, які були зроблені під час дослідницької частини роботи, 14 аркушів з кресленнями, без додатків, перелік літературних посилань включає 44 бібліографічних найменування.

Метою проекту є аналіз і вдосконалення роботи ультразвукових дисператорів шляхом дослідження фізичних принципів, розрахунку однохвильового резонансного приводу та експериментальної перевірки. Використано методи теоретичного аналізу, розрахунків за наявними методиками та експериментальні дослідження. Проведено експерименти в двох режимах подачі рідини: на обидві поверхні розпилюючого елемента, тільки на внутрішню поверхню розпилюючого елемента. Провівши дослідження ми змогли переконатись в підвищенні продуктивності. Результати досліджень показали, що подача на обидві поверхні ефективніша, але має свої недоліки у вигляді створення із зовнішньої поверхні хаотичного факелу. В те же час при розпиленні з внутрішньої поверхні факел був чіткий, але продуктивність на порядок меншою за розпилення з двох поверхонь.

Рекомендується застосувати розробку в медичних, сільськогосподарських і промислових системах для зволоження, нанесення покриттів та інгаляційної терапії. Результати можуть бути впроваджені для оптимізації роботи в мехатронних системах.

Ключові слова: ультразвукове розпилення, тонкий шар, продуктивність, диспергатор, однохвильовий привід, трубчаста поверхня розпилення, аерозоль, дисперсність, мехатронні системи, ефективність.

Annotation

The thesis project is devoted to improving the performance of ultrasonic dispersers with thin-layer spraying for use in mechatronic systems. The text part consists of 100 pages, the work contains 18 illustrations, 8 photographs taken during the research part of the work, 14 sheets with drawings, without appendices, the list of references includes 44 bibliographic titles.

The aim of the project is to analyse and improve the performance of ultrasonic dispersers by studying the physical principles, calculating the single-wave resonant drive and conducting experimental testing. The methods of theoretical analysis, calculations using existing techniques and experimental research were used. Experiments were conducted in two modes of fluid supply: to both surfaces of the spraying element and only to the inner surface of the spraying element. After conducting the experiments, we were able to confirm the increased productivity. The results of the research showed that supply to both surfaces is more effective, but has its drawbacks in the form of creating a chaotic spray from the outer surface. At the same time, when spraying from the inner surface, the spray was clear, but the productivity was an order of magnitude lower than when spraying from two surfaces.

It is recommended to apply the development in medical, agricultural and industrial systems for humidification, coating and inhalation therapy. The results can be implemented to optimise the operation of mechatronic systems.

Keywords: ultrasonic spraying, thin film, productivity, disperser, single-wave drive, tubular spraying surface, aerosol, dispersibility, mechatronic systems, efficiency.

Зміст

Вступ	9
Мета дипломного проекту	10
Задачі	10
Розділ 1. Відомі способи розпилення рідини для отримання дрібнодисперсного аерозолю	11
1.1. Гідравлічний спосіб розпилення	11
1.2. Пневматичний спосіб розпилення.....	13
1.3. Механічний спосіб розпилення	15
1.4. Електростатичний спосіб розпилення.	17
1.5. Пульсаційний спосіб розпилення.....	19
1.6. Розпилення з попереднім газонасиченням рідини	21
1.7. Акустичний (ультразвуковий) спосіб розпилення	23
1.8. Висновки до розділу 1	26
Розділ 2. Фізичні основи ультразвукового розпилення рідини	28
2.1. Загальна характеристика ультразвукового розпилення.....	29
2.2. Механізм розпилення в тонкому шарі.....	29
2.2.1. Фізична модель процесу.....	29
2.2.2. Фактори які впливають на процес розпилення.....	31
2.3. Механізм розпилення в ультразвуковому фонтані	31
2.3.1. Фізична модель процесу.....	31
2.3.2. Фактори які впливають на процес розпилення.....	32
2.4. Порівняння режимів розпилення	33
2.5. Висновки до розділу 2	34
Розділ 3. Проблеми підвищення продуктивності технологічного процесу ультразвукового розпилення.....	36
3.1. Шляхи підвищення продуктивності	37
3.2. Перспективи розвитку технології ультразвукового розпилення рідини	40
3.3. Висновки до розділу 3	41

					ДП.1102.00.000 ПЗ			
Змін.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата	Підвищення продуктивності ультразвукових дисператорів з розпиленням в тонкому шарі.	Лист.	Лист	Листів
Розроб.	Білий						7	100
Перевір	Луговський					ММІ, НТУУ «КПІ ім.І.Сікорського»		
Реценз								
Н. Контр.								
Чтверд								

Вступ

Сучасні технологічні процеси в таких галузях, як медицина, сільське господарство, приладобудування та харчова промисловості, потребують створення дрібнодисперсного аерозолю для забезпечення високої ефективності зволоження, нанесення покриттів, інгаляційної терапії та інших застосувань. Ультразвукове розпилення вирізняється серед інших методів, завдяки високій дисперсності, монодисперсності аерозолю та можливості точного керування параметрами процесу, що робить його перспективним для використання в автоматизованих макаронних системах. Проте аналіз літературних джерел і досвіду провідних підприємств показує, що продуктивність ультразвукових диспергаторів залишилась обмеженою через складність рівномірної подачі рідини, втрати енергії, конструктивні обмеження та нестабільність процесу. Це обґрунтовує необхідність удосконалення ультразвукових диспергаторів для підвищення їхньої ефективності.

Основні проектні рішення в даній роботі спрямовані на аналіз фізичних принципів ультразвукового розпилення, використання наявних методик для розрахунку однохвильового резонансного приводу та експериментальну перевірку роботи спроектованого диспергатора з трубчастою поверхнею розпилення. Удосконалення конструкції та режимів роботи диспергатора дозволить підвищити продуктивність, зменшити втрати рідини та забезпечити стабільність процесу. Напрямки досліджень включають оцінку впливу різних режимів подачі рідини на продуктивність і форму аерозольного факелу.

Результати роботи можуть бути використані для застосування розробленого диспергатора в способі очищення води за допомогою ультразвуку. Також розроблене рішення можливо впровадити в широкий спектр автоматизованих мехатронних систем.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		9

Мета дипломного проекту

Метою дипломного проекту є підвищення продуктивності ультразвукових диспергаторів з розпиленням у тонкому шарі шляхом модифікації для використання в автоматизованих мехатронних системах.

Задачі

Для розв'язання поставленої мети потрібно розв'язати так задачі:

- Провести аналіз відомих способів розпилення рідини та порівняти ультразвуковий метод з іншими, щоб показати його перевагу для застосування в автоматизованих системах.
- Розібратись з фізичними основами ультразвукового розпилення, для визначення факторів, що впливають на продуктивність.
- Проаналізувати проблеми підвищення продуктивності ультразвукових диспергаторів і запропонувати вирішення даної проблеми.
- Виконати розрахунок повздовжніх розмірів резонансного ультразвукового приводу. Спроекувати розрахований розпилювач за допомогою CAD систем.
- Розробити експериментальний стенд, провести дослідження роботи диспергатора. Знайти продуктивність спроектованого розпилювача, щоб переконатись в правильності вибору запропонованого вирішення проблеми.
- Розробити технологічний процес виготовлення ключової деталі.
- Оцінити небезпечні фактори при роботі з диспергатором і розробити заходи з охорони праці для забезпечення безпеки на етапах виробництва, експлуатації та обслуговування.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		10

Розділ 1

Відомі способи розпилення рідини для отримання дрібнодисперсного аерозолію

Розпилення рідини є основним технологічним процесом, який відіграє значну роль у багатьох галузях промисловості, таких як хімічна, фармацевтична, медична, сільськогосподарська, енергетична, приладобудівна, радіоелектронна та харчова. Основною метою розпилення рідини полягає в отриманні дрібнодисперсного аерозолію, сукупності дрібних крапель рідини, які забезпечують високу ефективність технологічних процесів, таких як зволоження повітря, нанесення покриттів, створення паливно-повітряної суміші, інгаляційна терапія, сушіння розчинів, обробка поверхонь, тощо. Найважливішими параметрами аерозолію є розмір дисперсності (розмір крапель), форма факелу розпилення, продуктивність та стабільність процесу розпилення. Параметри перераховані вище визначають якість кінцевого продукту та ефективність технологічного процесу. В наші дні промисловість дедалі більше орієнтується на автоматизовані мехатронні системи, які потребують точного керування параметрами розпилення і високої надійності апаратури. В даному розділі детально розглядаються основні відомі способи розпилення, фізичні принципи, конструктивні особливості, переваги та недоліки, можливі застосування в мехатронних системах. Особливу увагу приділено ультразвуковому розпиленню як найбільш перспективному методу для створення дрібнодисперсних аерозолів.

Даний розділ був написаний по знанням які я почерпнув з монографії яка зазначена в списку літератури під номером [1]. Під час написання я звертався до підручника щоб переконатись в правильності написання.

1.1. Гідравлічний спосіб розпилення

Гідравлічний спосіб розпилення базується на витіканні рідини під високим тиском через сопло невеликого діаметру. За допомогою тиску (0,5-10 МПа) рідина розпадається на краплі, таким чином утворюючи аерозоль.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		11

Основні параметри, що впливають на даний процес включають в себе діаметр і геометрію сопла в яке подається рідина, тиск рідини, в'язкість та поверхневий натяг рідини. Дисперсність аерозолю зазвичай становить 100-500 мкм, яка залежить від конструкції сопла та умов роботи. При проходженні через сопло, рідина зазнає турбулентного розпаду за допомогою високої швидкості потоку рідини і взаємодії з навколишнім середовищем. Енергія тиску перетворюється в кінетичну енергію потоку, яка сприяє дробленню рідини на краплі [1, 2].

На рис.1.1 представлена схема гідравлічного способу розпилення.

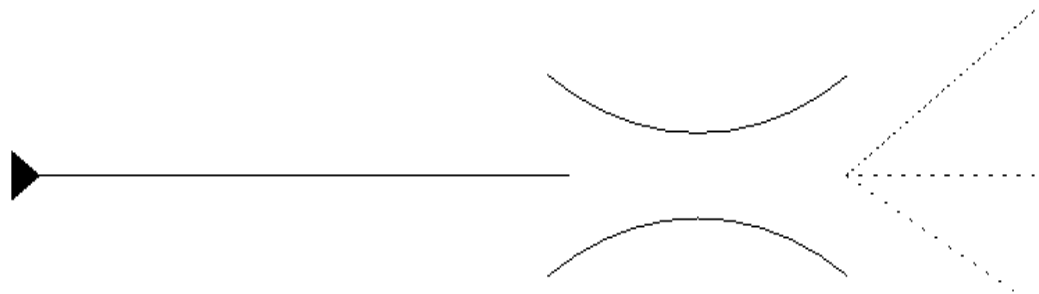


Рис.1.1.Гідравлічний спосіб розпилення.

Переваги та недоліки гідравлічного способу наведені в табл.1 [1, 2].

Табл.1

Переваги	Недоліки
Простота конструкції розпилювачів.	Великий розмір крапель, що обмежує використання в процесах які потребують високої дисперсності.
Висока ефективність що дозволяє обробляти великі обсяги рідини.	Високе споживання енергії через створення значного тиску.

Можливість роботи з рідинами різної в'язкості за умови відповідного тиску.	Складність точного регулювання дисперсності та форми аерозольного факелу.
Низька собівартість обладнання.	Чутливість до забруднень сопла, що може призвести до зниження ефективності.

Гідравлічні розпилювачі широко використовуються в системах зрошення в сільському господарстві, фарбування в автомобільній промисловості та також у паливних системах двигунів внутрішнього згорання. Їх інтеграція в мехатронні системи обмежена через низьку точність керування, параметрами аерозолі та складність автоматизації процесу [1, 3].

1.2. Пневматичний спосіб розпилення

Пневматичний спосіб розпилення використовує енергію стисненого газу, наприклад повітря, азоту, тощо, для дроблення рідини на краплі.

Рідина подається в зону високошвидкісного газового потоку, де внаслідок турбулентної взаємодії рідина розпадається на аерозоль. Дисперсність крапель залежить від швидкості газу, тиску (0,1-1 МПа) та співвідношення витрати рідини та газу. Також впливає конструкція сопла на розмірність крапель [1, 2]

Газовий потік з високою швидкістю, створює зону низького тиску, що сприяє втягуванню рідини та її розпаду. Турбулентні вихори та напруження на зсув в потоці починають дробити рідину на маленькі краплинки [1, 4].

На рис.1.2 показана схема пневматичного способу розпилення.

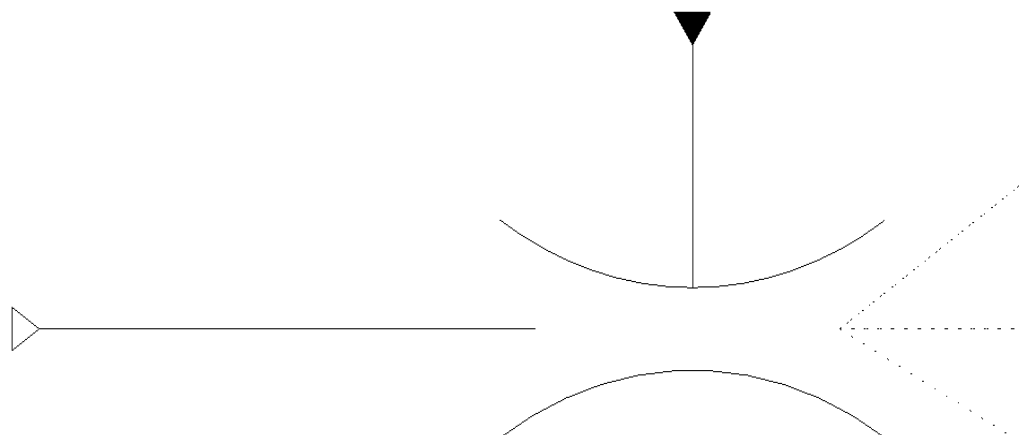


Рис.1.2. Пневматичний спосіб розпилення.

В Табл.2 неведені переваги та недоліки пневматичного способу розпилення [1, 5].

Табл.2

Переваги	Недоліки
Можливість отримання дрібнішого аерозолю(50-200 мкм) порівняно з гідравлічним способом.	Високе споживання стисненого газу.
Простота реалізації в системах, де є доступ до стисненого газу.	Шумність роботи пристроїв, що може бути проблемою в медичних або лабораторних умовах.
Гнучкість у регулюванні продуктивності.	Складність забезпечення стабільної дисперсності при зміні умов роботи.
Ефективність при роботі з рідинами середньої в'язкості.	Потреба в додатковому обладнанні для підготовки стисненого газу.

Пневматичні розпилювачі застосовуються в системах нанесення покриттів, зволоження повітря в теплицях, а також в медичних інгаляторах. Використання в мехатронних системах ускладнене через потребу в стисненому газі та складність точного електронного керування [1, 5].

1.3. Механічний спосіб розпилення

Даний спосіб базується на використанні обертових елементів, таких як диски, турбіни або барабани для дроблення рідини. Рідина подається на поверхню яка обертається зі швидкістю 1000-10000 об/хв, і під дією відцентрових сил починає розпадатись на краплі. Дисперсність аерозолу залежить від швидкості обертання, діаметру диска, в'язкості та поверхневого натягу рідини. Розмір крапель становить від 50 до 300 мкм.

Відцентрова сила викидає рідину з поверхні обертового елемента, формуючи тонку плівку яка в свою чергу розпадається на краплі ,внаслідок нестабільності поверхні та взаємодією з навколишнім середовищем [1, 4, 8].

Схема механічного способу розпилення представлено на рис.1.3.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		15

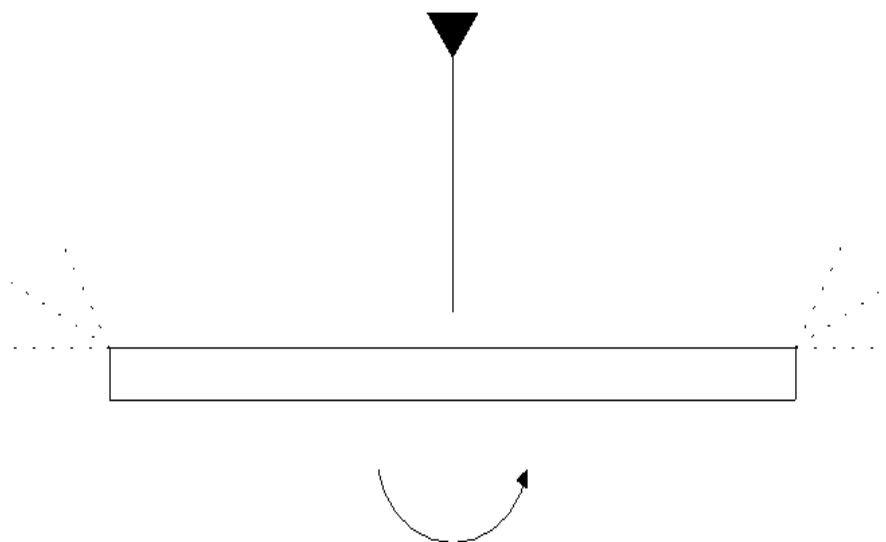


Рис.1.3. Механічний спосіб розпилення.

Переваги та недоліки механічного способу розпилення наведені в Табл.3 [1, 6].

Табл.3

Переваги	Недоліки
Отримання аерозолі з високою дисперсністю.	Складна конструкція через наявність рухомих елементів які підвищують ризик зносу.
Висока продуктивність, яка дозволяє обробляти великий обсяг рідини.	Обмежена точність регулювання дисперсності та форми факелу.
Простота масштабування для промислових застосувань.	Високі вимоги до балансування рухомих елементів для уникнення вібрацій.

Незалежність від джерел стисненого газу чи високого тиску.	Обмежена ефективність при роботі з рідинами високої в'язкості.
--	--

Розпилювачі даного способу використовуються в сільському господарстві(обприскувачі для внесення добрив та пестицидів), фармацевтичній промисловості (сушіння розчинів у розпилювальних сушарках). Інтеграція в мехатронні системи ускладнена через велику складність електронного керування та потребу в частому технічному обслуговуванні [1, 7].

1.4. Електростатичний спосіб розпилення

Електростатичний спосіб розпилення використовує електричне поле для отримання дрібнодисперсного розпилення. Рідина заряджається за допомогою електроду і під дією електростатичних сил розпадається на дрібні краплі. Розмір крапель (10-100 мкм) залежить від напруги яка подається (10-100 кВ), електропровідності рідини та конструкції розпилювального пристрою.

Електричне поле створює заряд на поверхні рідини, що призводить до розпаду на краплинки через кулонівські сили. Заряджені краплі рухаються в електричному полі, за допомогою чого і формують спрямований аерозольний факел [1, 9].

На рис.1.4. показана схема для електростатичного способу розпилення.

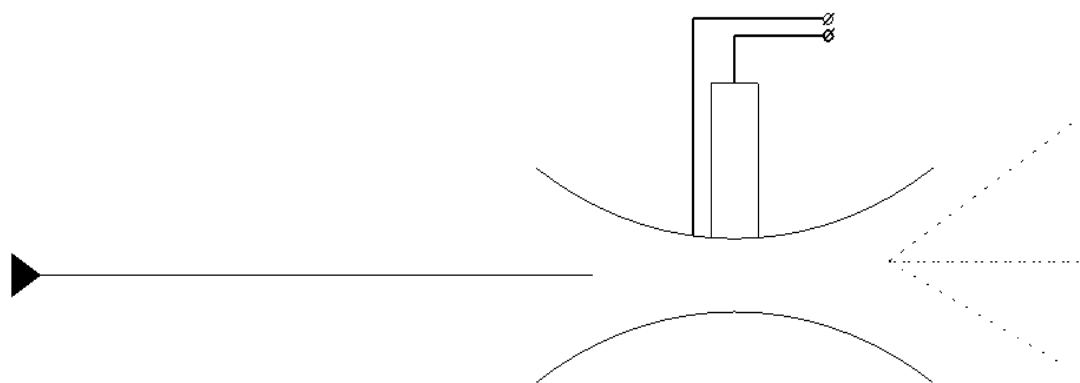


Рис.1.4.Електростатичний спосіб розпилення.

В таблиці під номером 4 наведені переваги та недоліки електростатичного способу розпилення [1, 9].

Табл.4

Переваги	Недоліки
Висока дисперсність аерозолю яка підходить для прецизійних застосувань.	Обмеження типу розпилювальної рідини через потребу в електропровідності.
Можливість тонкого керуванням траєкторією крапель.	Складна конструкція через високовольтне обладнання.
Ефективне енергоспоживання порівняно з іншими методами.	Чутливість до зовнішніх електромагнітних полів, що може впливати на стабільність процесу.
Висока ефективність нанесення аерозолю на поверхні завдяки електростатичному притягуванню.	Високі вимоги до безпеки через застосування високої напруги.

Даний вид розпилювачів застосовується в системах нанесення фарб (зазвичай в автомобільній промисловості), прецизійного зрощення в сільському господарстві та медичних інгаляторах. Використання в мехатронних системах перспективна, завдяки можливості електронного керування, але потребує складного високовольтного обладнання та захисту від електромагнітних полів з навколишнього середовища [1, 4, 10].

1.5. Пульсаційний спосіб розпилення

Пульсаційний спосіб передбачає періодичне введення енергії в рідину, яка призводить до її розпаду на краплі. Це може бути реалізовано через вібраційні механізми, імпульсні насоси або електромеханічні приводи. Розмір крапель варується від 20 до 150 мкм і залежить від частоти імпульсів, амплітуди коливань і фізико-хімічних властивостей рідини.

Періодичні імпульси створюють нестабільність на поверхні рідини, що сприяє її розпаду на краплі. Енергія імпульсів перетворюється в кінетичну енергію крапель, формуючи аерозоль [1, 11].

Приклад схеми пульсаційного способу розпилення наведено на рис.1.5.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		19

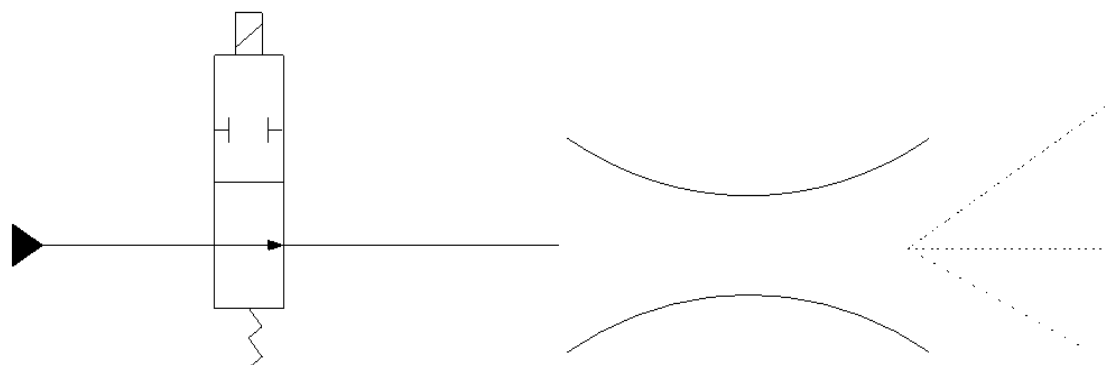


Рис.1.5.Пульсаційний спосіб розпилення.

Переваги та недоліки даного способу наведені в таблиці 5 [1, 11].

Табл.5

Переваги	Недоліки
Можливість отримання Дрібнодисперсного аерозолю.	Складність забезпечення стабільності імпульсів рідини.
Висока ефективність при Низькому електроспоживанні.	Обмежена продуктивність порівняно з іншими способами.
Простота регулювання параметрами аерозолю.	Потреба в точному налаштуванні обладнання для забезпечення стабільної роботи.
Можливість точного дозування рідини.	Обмежена продуктивність при роботі з високов'язкими рідинами.

Дані розпилювачі використовуються в системах точного дозування (лабораторне обладнання), медичних інгаляторах і системах нанесення тонких покриттів. Інтеграція в мехатронні системи перспективна завдяки можливості електронного керування, але потребує вдосконалення механізмів генерації імпульсів [1, 23]

1.6. Розпилення з попереднім газонасиченням рідини

Даний спосіб передбачає насичення рідини газом (вуглекислим газом, азотом) перед розпиленням. Насичення газом знижує поверхневий натяг рідини, полегшуючи її розпад на краплинки. Розмір крапель становить від 50 до 200 мкм і залежить від ступеня насиченості рідини газом, тиску та конструкції сопла.

Розчинений газ при виході рідини з сопла розширюється, створюючи мікропухирці, які в свою чергу сприяють поробленню рідини на дрібні краплинки. Зниження поверхневого натягу полегшує процес розпаду.

На рис.1.6 продемонстрована схема з попереднім газонасиченням рідини [1, 12].

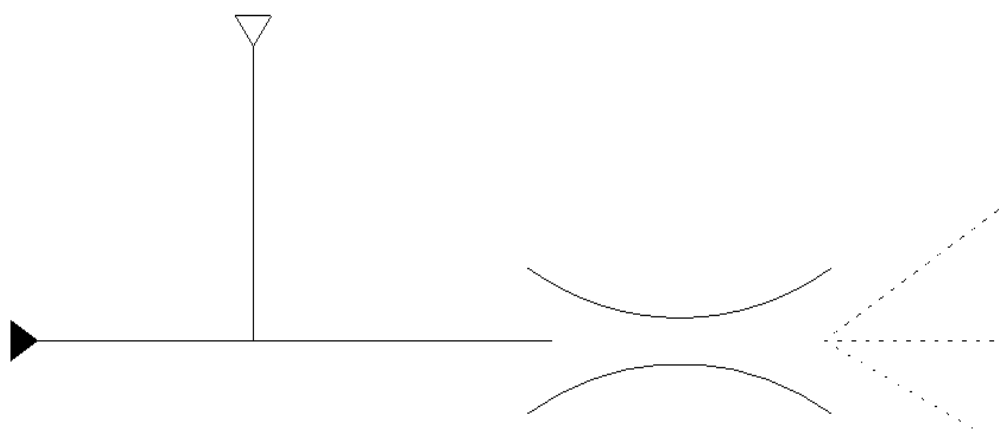


Рис.1.6. Умовне позначення.

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

21

1.7. Акустичний (ультразвуковий) спосіб розпилення

Акустичний спосіб розпилення (більш відомий як ультразвуковий спосіб розпилення), базується на використанні ультразвукових коливань частотою від 20 кГц до 2 МГц , для подрібнення рідини на дрібні краплі. Ультразвукові хвилі створюють кавітаційний ефект, акустичні течії та звукокапілярний ефект , які сприяють утворення аерозолі з розміром

крапель від 0,5 до 10 мкм. Вагомою перевагою є те, що даний спосіб розпилення створює монодисперсність аерозолі, коли розмір крапель залежить від робочої частоти розпилювача та поверхневого натягу рідини.

Ультразвукові коливання, введені в рідину через п'єзоелектричний перетворювач, створюють нестабільність на її поверхні. Це призводить до утворення мікрокрапель унаслідок кавітаційних пухирців, що колапсують, і акустичних течій, які викидають рідину в повітря. Розмір крапель визначається за формулою Ленгмура:

$$d \approx 0,34 \cdot \left(\frac{8\pi\sigma}{\rho f^2} \right)^{1/3}$$

де, d-діаметр крапель, σ - поверхневий натяг , ρ -густина рідини, f- частота ультразвуку [1, 14, 15].

На рис.1.7 вказана схема акустичного (ультразвукового) розпилення.

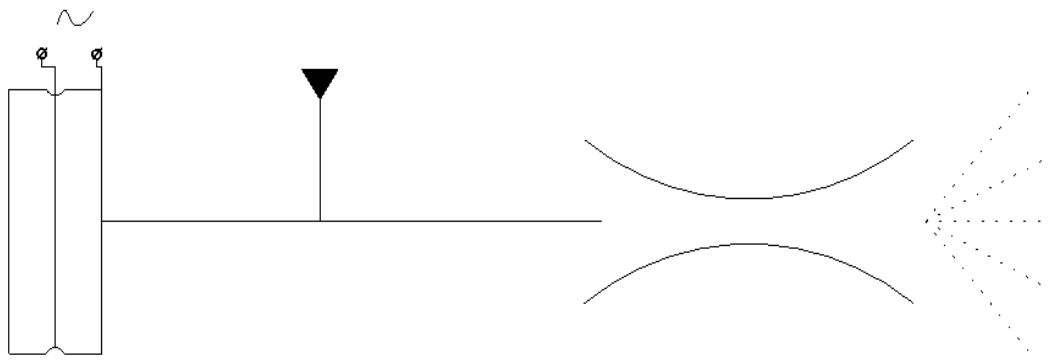


Рис.1.7. Ультразвуковий спосіб розпилення.

Переваги та недоліки вказані в табл.7 [1, 16].

Табл.7.

Переваги	Недоліки
<p>Висока дисперсність і монодисперсність аерозолю, що є ідеально для прецензійних застосувань</p>	<p>Складність конструкції ультразвукових перетворювачів, що потребує високої точності виготовлення.</p>
<p>Низьке енергоспоживання порівняно з іншими видами розпилення.</p>	<p>Обмежена продуктивність порівняно з гідравлічними системами, що робить метод менш ефективним для великих обсягів рідини.</p>

Можливість точного електронного керування параметрами розпилення (частота, амплітуда, продуктивність).	Потреба в точному налаштуванні частоти та амплітуди коливань для забезпечення стабільної роботи.
Відсутність рухомих частин, підвищує надійність і довговічність системи.	Можливе нагрівання рідини в зоні розпилення, що може впливати на її властивості.
Ефективність при роботі з рідинами різної в'язкості, включаючи високов'язкі речовини.	
Мінімальний шум під час роботи, що є ключовим для медичних та лабораторних застосувань.	

Ультразвукове розпилення має широкий спектр застосувань завдяки своїм унікальним характеристикам. У медичній галузі даний вид розпилення використовується для створення аерозолів ліків, із

дисперсністю від 0,5 до 10 мкм, що необхідно для інгаляційної терапії альвеол і бронхіол. У тепличних комплексах ультразвукові диспергатори забезпечують зволоження з дисперсністю 0,5-5 мкм, запобігаючи пошкодженню рослин великими краплями. У приладобудуванні метод застосовується для нанесення тонких покриттів на кремнієві пластини з дисперсністю 5-15 мкм. У харчовій промисловості ультразвукове розпилення використовується для зволоження продуктів, наприклад, у ковбасному виробництві (дисперсність 10-30 мкм). Завдяки можливості інтеграції з електронними системами керування, ультразвукові

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		25

диспергатори є ідеальними для автоматизованих мехатронних систем. Наприклад, у системах штучного мікроклімату для медичних камер вони забезпечують стабільне насичення аерозолем ліків без заміни тиску чи температури [1, 4, 17].

1.8. Висновки до розділу 1

Аналіз відомих способів розпилення рідини показав, що кожен із зазначених способів розпилення має свої переваги та недоліки. Гідравлічний спосіб розпилення забезпечує високу продуктивність і простоту конструкції, але характеризується низькою дисперсністю та високим енергоспоживанням, що обмежує його використання в прецизійних задачах. Пневматичний спосіб дозволяє отримати дрібніший аерозоль ніж в гідравлічному способі, але має потребу в стисненому газі, що ускладнює автоматизацію та підвищує гучність системи. Механічний спосіб ефективний для обробки великих обсягів рідини, проте складність конструкції та знос рухомих елементів знижують його надійність в автоматизованих системах. Електростатичний спосіб розпилення пропонує високу дисперсність і точне керування, але вимагає складного високовольтного обладнання та має обмежений тип рідини для розпилення. Пульсаційний спосіб забезпечує дрібнодисперсний аерозоль, але має низьку продуктивність і потребує точного налаштування. Розпилення з газонасиченням покращує дисперсність порівняно з вище перерахованими методами, але залежить від стабільної подачі газу та додаткового обладнання.

Зі всіх вищеперерахованих методів, ультразвуковий спосіб розпилення вирізняється унікальною комбінацією характеристик: дисперсністю, монодисперсністю, низьким енергоспоживанням, відсутністю рухомих елементів і можливістю точного електронного керування. Ці переваги роблять його найкращим серед розглянутих методів для застосування в автоматизованих мехатронних системах, де потрібна

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		26

висока точність, надійність та енергоефективність. Ультразвуковий спосіб розпилення забезпечує стабільний і контрольований процес, що є критично важливим для медичних, сільськогосподарських і промислових застосувань.

З огляду на вищезазначене, ультразвуковий спосіб розпилення є найбільш перспективним для подальшого дослідження та вдосконалення в рамках дипломного проекту. Подальші розділи будуть присвячені аналізу фізичних принципів ультразвукового розпилення, розробки удосконаленої конструкції диспергатора для підвищення продуктивності та експериментальній перевірці його ефективності роботи.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		27

Розділ 2

Фізичні основи ультразвукового розпилення рідини

Ультразвукове розпилення є передовою технологією, яка використовує високочастотні акустичні коливання для створення дрібнодисперсного аерозолю. Цей метод відрізняється від інших високою точністю контролю розмірністю крапель, енергоефективністю та можливістю роботи з різними видами рідин, що робить даний метод незамінний для медицини, сільського господарства, приладобудування, та інших галузей де він використовується. В даному розділі розглядаються фізичні принципи які лежать в основі для ультразвукового розпилення, з акцентом на два ключові режими роботи:

- Розпилення в тонкому шарі.
- Розпилення в ультразвуковому фонтані.

До уваги беруться механізми утворення дрібнодисперсного аерозолю, ролі кавітації, акустичних течій та звукокапілярного ефекту, а також факторам, що впливають на розмір і розподіл крапель.

Даний розділ дипломного проекту базується на поглинутих знаннях з монографії, яка зазначена в списку літератури під номером [1]. Під час написання я перевіряв правильність написання спираючись на дану літературу.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		28

2.1. Загальна характеристика ультразвукового розпилення

Ультразвукове розпилення базується на передачі енергії високочастотних коливань (20 кГц-2 МГц) у рідинне середовище через п'єзоелектричний або магнітострикційний перетворювач. Ці коливання викликають низку фізичних явищ, які сприяють розпаду рідини на дрібні краплі. Основними ефектами що забезпечують розпилення під дією ультразвукових коливань є утворення та руйнування на поверхні рідини капілярних хвиль кінцевої амплітуди [1, 18].

Розмір крапель утриманих у процесі, залежить від частоти коливань,

поверхневого натягу густини та в'язкості рідини. Важливою особливістю ультразвукового розпилення є можливість отримання монодисперсного аерозолю, тобто отримання крапель однакового розміру, що забезпечує високу повторюваність технологічних процесів [1, 16].

Ультразвукове розпилення відбувається різними способами, метод залежить від конструктивних особливостей диспергатора та умов процесу. У даному розділі ми розглядаємо більш детально два основні режими: розпилення в тонкому шарі та розпилення у фонтані [1, 13, 19].

2.2. Механізм розпилення в тонкому шарі

2.2.1. Фізична модель процесу

Розпилення в тонкому шарі найбільш ефективний метод ультразвукового диспергування, що дозволяє отримати дрібнодисперсний аерозоль із високою продуктивністю. В даному виді розпилення рідина подається на поверхню випромінювача, який в свою чергу здійснює коливання з високою частотою (зазвичай в діапазоні 20-100 кГц). Товщина шару рідини становить від кількох мікрометрів до

кількох міліметрів, що забезпечує ефективну взаємодію ультразвукових коливань з рідиною [1, 20].

Основними фізичними процесами, що забезпечують розпилення в тонкому шарі, є [1, 13, 21]:

• **Акустична кавітація.** Змінний тиск, створений ультразвуковими хвилями, призводить до утворення мікроскопічних бульбашок у рідині. Під час фази низького тиску бульбашки розширюються, а під час фази високого тиску, різко стискаються і колапсують. Колапс бульбашок генерує локальні ударні хвилі та мікрострумені, які розривають рідину на дрібні фрагменти.

• **Капілярні хвилі.** Ультразвукові коливання викликають утворення стоячих хвиль на поверхні рідинної плівки. Ці хвилі, відомі як капілярні, мають довжину, пропорційну частоті коливань і фізичним властивостям рідини. При досягненні критичної амплітуди гребні хвиль стають нестабільними, що призводить до відриву крапель.

• **Локальні течії.** Акустичні коливання створюють мікротечії в рідині, які сприяють транспортуванню крапель із зони розпилення в навколишнє середовище.

Процес розпилення можна уявити таким чином: рідина, розподілена тонким шаром на поверхні випромінювача, зазнає інтенсивних коливань. У зонах максимальної амплітуди утворюються кавітаційні бульбашки, які при колапсі створюють турбулентні потоки. Одночасно капілярні хвилі на поверхні рідини досягають нестабільного стану, і краплі відриваються від гребенів хвиль. Утворений аерозоль виноситься в газове середовище за рахунок акустичних течій або зовнішнього потоку повітря [1]. Розмір крапель у тонкому шарі визначається частотою ультразвуку та властивостями рідини. Щоб оцінити діаметр крапель використовується формула яка зазначена в п. 1.7 1-го розділу. З даної формули видно те що зі збільшенням частоти розмір крапель зменшується, що дозволяє отримувати аерозоль з малою дисперсністю (0,5-10 мкм) [1, 16].

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.2.2. Фактори які впливають на процес розпилення

Ефективність розпилення в тонкому шарі залежить від кількох параметрів [1, 20]:

- Товщина рідинного шару. Надто товстий шар знижує інтенсивність кавітації через поглинання ультразвукової енергії, тоді як надто тонкий шар може призвести до недостатньої подачі рідини.
- Частота та амплітуда коливань. В'язкість і поверхневий натяг впливають на стабільність капілярних хвиль і легкість розпаду рідини.
- Конструкція випромінювача. Геометрія та матеріал випромінювача визначають розподіл акустичної енергії в рідині.

Розпилення в тонкому шарі вирізняється високою продуктивністю та можливістю отримання монодисперсного аерозолі. Цей метод є енергоефективним, так як енергія ультразвуку передається безпосередньо в тонкий об'єм рідини, мінімізуючи втрати, але для стабільної роботи потрібні системи точної подачі рідини та контролю товщини шару, що ускладнить конструкцію диспергатора [1, 22].

2.3. Механізм розпилення в ультразвуковому фонтані

2.3.1. Фізична модель процесу

Ультразвуковий фонтан- це режим розпилення, при якому рідина, що зазнає дії акустичних коливань, утворює спрямований струмінь (фонтан) над поверхнею рідинного резервуару. Цей метод часто застосовується в медичних інгаляторах, лабораторних системах і системах зволоження, завдяки простоті реалізації та можливості роботи з невеликими об'ємами рідини [1, 14].

Фізичні процеси, що лежать в основі розпилення у фонтані включають в себе [1, 13, 23]:

•**Радіаційний тиск.** Акустичні хвилі, які поширюються від випромінювача скрізь рідину до її поверхні, створюють нелінійний тиск, який змушує рідину підніматись у вигляді конічного струменю. Висота фонтану залежить від інтенсивності ультразвуку та властивостей рідини.

•**Кавітація у зоні струменю.** У верхній частині фонтану, де рідина утворює тонку плівку, ультразвукові коливання утворюють кавітаційні бульбашки. Колапс цих бульбашок створює мікрострумені, які розривають рідину на краплі.

•**Капілярні хвилі.** На поверхні струменю формуються нестабільні хвилі, які сприяють відриву крапель, подібно до розпилення в тонкому шарі.

•**Акустичні течії.** Потоки рідини, викликані ультразвуком, виносять утворені краплі в навколишнє середовище, формуючи аерозольний факел.

Даний процес можна описати таким чином: ультразвуковий випромінювач, який розташований в резервуарі з рідиною, створює акустичне поле, яке формує струмінь рідини над поверхнею. У зоні фонтану кавітаційні бульбашки та капілярні хвилі викликають розпад рідини на краплі, які в свою чергу виносяться в навколишнє середовище за рахунок акустичних течій або природньої конвекції. Розмір крапель у фонтані зазвичай становить від 1 до 15 мкм, що дещо більше, ніж у тонкому шарі, через меншу конвекцію енергії в зоні розпилення [1, 16].

2.3.2. Фактори які впливають на процес розпилення

Ефективність розпилення залежить від [1, 24]:

•**Інтенсивності ультразвуку.** Вища інтенсивність сприяє утворенню вищого фонтану, але може призвести до надмірного нагрівання рідини.

•**Рівня рідини в резервуарі.** Зміна рівня впливає на стабільність фонтану та розподіл акустичної енергії.

•**Фізичних властивостей рідини.** В'язкість і поверхневий натяг визначають легкість утворення струменя та розмір крапель.

•**Частота коливань.** Вищі частоти забезпечують дрібніші краплі, але потребують точного налаштування резонансних умов.

Розпилення в ультразвуковому фонтані є простішим у реалізації, оскільки не потребує складних систем подачі рідини. Даний метод вважається ефективним для роботи з рідинами середньої в'язкості та невеликими об'ємами. Однак продуктивність фонтану нижча за розпилення у тонкому шарі, а розмір крапель менш однорідний через нерівномірний розподіл енергії в струмені [1, 14].

2.4. Порівняння режимів розпилення

Розпилення в тонкому шарі та в ультразвуковому фонтані мають спільні фізичні моделі, але мають різницю в умовах реалізації та характеристиками аерозолю [1, 13, 16, 22]:

•**Продуктивність.** Тонкий шар забезпечує вищу продуктивність завдяки безперервній подачі рідини, тоді як фонтан обмежений об'ємом рідини в струмені.

•**Дисперсність.** У тонкому шарі досягається вища монодисперсність і менший розмір крапель порівняно з фонтаном.

•**Конструктивна складність.** Фонтан простіший у реалізації, але потребує стабільного рівня води, тоді як тонкий шар вимагає точної системи подачі.

•**Енергоефективність.** Тонкий шар є більш ефективним через локалізовану передачу енергії в тонку плівку рідини.

Ці два режими є дуже перспективними для мехатронних систем завдяки можливості електронного керування параметрами розпилення,

але вибір конкретного методу залежить від вимог до дисперсності, продуктивності та умов експлуатації [1, 14, 20].

2.5. Висновки до розділу 2

Аналіз фізичних моделей ультразвукового розпилення показав, що цей процес ґрунтується на взаємодії акустичної кавітації, капілярних хвиль і акустичних течій, які забезпечують утворення дрібнодисперсного аерозолю з високою точністю контролю. Розглянуто два основних режими ультразвукового розпилення: у тонкому шарі та в ультразвуковому фонтані. Кожен і цих способів має свої переваги та обмеження що визначають їхнє застосування в технологічних процесах.

Розпилення в тонкому шарі вирізняється високою продуктивністю, енергоефективністю та можливістю отримання монодисперсного аерозолю. Цей режим забезпечує ефективну передачу ультразвукової енергії в рідину завдяки контрольованій товщині шару, що сприяє інтенсивній кавітації та стабільному розпаду рідини на краплі. Він є оптимальним для прецензійних застосувань, таких як інгаляційна терапія, зволоження чи нанесення покриттів, хоча потребує точної системи подачі рідини.

Розпилення в ультразвуковому фонтані, навпаки, характеризується меншою продуктивністю через більші енергетичні втрати та складність формування стабільного аерозольного факелу, що робить його менш придатним для задач, де потрібна висока продуктивність.

З огляду на вищезазначене, для подальшої розробки системи та проектування в рамках цього дипломного проекту обраний режим розпилення в тонкому шарі. Цей вибір зумовлений його здатністю забезпечити високу продуктивність і стабільність процесу, а також детального вивчення яким чином відбувається розпилення з поверхонь вібратору. Аналіз того, яким саме чином розпилюється рідина з

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		34

поверхонь вібратора, дозволить оцінити вплив конструктивних і технологічних параметрів на якість аерозолю. Наступний розділ буде присвячений виявленню проблем які існують і перешкоджають підвищенню продуктивності ультразвукових диспергаторів.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		35

Розділ 3

Проблеми підвищення продуктивності технологічного процесу ультразвукового розпилення

Ультразвуковий спосіб розпилення рідини є передовою технологією, яка дозволяє створювати дрібнодисперсний аерозоль для багатьох сфер, таких як медицина, сільське господарство, харчова промисловість, приладобудування. Завдяки досягненню високої дисперсності, монодисперсності та можливості точного керування параметрами аерозолу, даний метод має значний потенціал в мехатронних системах [1]. Проте продуктивність процесу, тобто об'єм рідини, який можна перетворити в аерозоль за одиницю часу без втрати якості, обмежується рядом фізичних, конструктивних і технологічних факторів[1]. У цьому розділі розглядаються ключові проблеми, що стимулюють продуктивність ультразвукового розпилення, та пропонуються шляхи для вирішення, спираючись на знання отримані при аналізі технології.

Цей розділ був написаний за допомогою монографії під номером [1], даний підручник є в списку літератури.

Основні фактори, що обмежують продуктивність

Продуктивність ультразвукового розпилення залежить від здатності системи ефективно перетворювати рідину в аерозоль із сталими характеристиками.

Основні перешкоди включають [1, 13, 20, 22, 24]:

- Складність точної подачі рідини.** Для ефективного розпилення, особливо в тонкому шарі, необхідно забезпечити рівномірне надходження рідини на поверхню випромінювача. Якщо рідини буде забагато, товстий шар буде поглинати ультразвукову енергію, знизуючи

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		36

інтенсивність кавітації та розпаду рідини на дрібні краплинки .
Недостатня подача

обмежує об'єм аерозолі, що утворюється. Також недостатня подача буде викликати нагрівання розпилювача, що не ефективно впливає на розпилення. Товщина відіграє вирішальну роль у формуванні капілярних хвиль та кавітаційних бульбашок.

•**Втрата енергії.** Значна частина ультразвукової енергії може розсіюватись через нагрівання рідини або неоптимальний режим роботи. Наприклад, якщо частота коливань не відповідає резонансним характеристикам системи, ефективність передачі енергії знижується, що зменшує продуктивність.

•**Обмеження конструкції.** Більшість ультразвукових диспергаторів мають обмежену площу випромінювальної поверхні, що обмежує об'єм рідини який можливо обробити. До того, тривала робота може призводити до перегріву випромінювача, що впливає на стабільність та продуктивність роботи системи.

•**Нестабільність процесу.** Зміни зовнішніх умов таких як температура або рівень рідини в резервуарі, можуть призвести до порушення акустичного поля, що призведе до нерівномірного розпилення. Особливо це помітно в ультразвуковому розпиленні у фонтані, де стабільність дуже залежить від рівня рідини.

Ці фактори ускладнюють масштабування технології та її застосування в автоматизованих системах, що потребують високої продуктивності [1].

3.1. Шляхи підвищення продуктивності

Для вирішення проблем зазначених у п. 3.1 необхідно оптимізувати фізичні процеси, конструкцію обладнання та технологічні параметри[1].
Нижче розглядаються основні підходи для підвищення продуктивності.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		37

Удосконалення подачі рідини

Стабільна подача рідини є ключовою для забезпечення високої продуктивності. У розпиленні в тонкому шарі оптимальна товщина рідинного шару (зазвичай від кількох мікрметрів до міліметрів) дозволяє максимально використати енергію утворену ультразвуковим коливаннями для створення аерозолі. Для цього можна застосовувати насоси з регулюванням подачі рідини (з регулюванням витрати) або дозатори, якими можливо точно відрегулювати потік рідини [1, 4, 20].

Збільшення енергоефективності

Ефективність передачі ультразвукової енергії безпосередньо впливає на продуктивність. Для підвищення можна [1,13 ,20, 22]:

- **Налаштувати резонансний режим (або дуже близький до його).** Вибір частоти, що відповідає резонансним характеристикам випромінювача, дозволяє сконцентрувати енергію в зоні розпилення, зменшуючи теплові втрати. Це вимагає точного розрахунку параметрів системи, включаючи геометрію випромінювача та властивості рідини.

- **Збільшити амплітуду коливань.** Вища амплітуда сприяє інтенсивнішому утворенню кавітаційних бульбашок і капілярних хвиль, що прискорює розпад рідини на краплі. Проте це може викликати нагрівання випромінювача і тому потрібно використовувати теплоефективні матеріали.

- **Застосувати охолодження.** Для тривалої роботи диспергатора доцільно використовувати системи примусового охолодження, наприклад, рідинне або повітряне. Це дозволить підтримувати стабільну температуру випромінювача, запобігаючи зниженню продуктивності.

Модернізація конструкції диспергаторів

Конструкція ультразвукового диспергатора визначає його здатність обробляти великі об'єми рідини. Основні ідеї для в удосконалення системи [1, 4, 17, 20]:

- **Збільшення випромінюваної поверхні.** Збільшення площі

випромінювача дозволяє одночасно обробляти більший об'єм рідини, що підвищує продуктивність. Наприклад, у тепличних комплексах можна використовувати багатоточкові системи,, які забезпечують рівномірне розпилення на великій площі.

- **Модульний дизайн.** Створення диспергаторів з кількома випромінювачами дає змогу масштабувати продуктивність залежно від потреб. Такі системи легко інтегруються в автоматизовані системи, наприклад, у медичних камерах штучного мікроклімату.

- **Електронне керування.** Використання широтно-імпульсної модуляції для регулювання частоти та амплітуди коливань дозволяє точно налаштувати продуктивність у реальному часі, що робить систему гнучкою для різних умов.

Адаптація до властивостей рідини

Робота з високов'язкими рідинами вимагає спеціальних заходів. Одним із рішень є попереднє насичення рідини газом, наприклад, азотом, або вуглекислим газом, що знижує поверхневий натяг і полегшує розпад рідини на краплі. Крім того підігрів рідини може зменшити в'язкість, сприяючи ефективнішому розпиленню. Ці методи дозволяють розширити діапазон рідин, придатних для ультразвукового розпилення [1, 12].

Забезпечення стабільності процесу

Для стабільної роботи в різних умовах, наприклад у камерах з надлишковим тиском або при змінному рівні рідини, необхідно використовувати адаптивні системи керування. Датчики, які відстежують параметри аерозольного факелу, температуру та тиск, можуть автоматично

коригувати частоту коливань або подачу рідини (витрату насосу). Це особливо важливо для режиму роботи в ультразвуковому фонтані, де стабільність залежить від рівня рідини в резервуарі [1, 17, 24].

3.2. Перспективи розвитку технології ультразвукового розпилення рідини

Подальше вдосконалення даного виду розпилення спрямоване на створення універсальних систем, які поєднують високу продуктивність, енергоефективність і гнучкість. Перспективні напрямки включають в себе [1, 14, 17, 20]:

- Розробку інтелектуальних систем керування, які автоматично будуть оптимізувати параметри розпилення залежно від умов і типу рідини.

- Використання нових матеріалів для випромінювачів, які витримують інтенсивні коливання та високі температури, забезпечуючи довговічність системи.

- Інтеграцію ультразвукових диспергаторів з іншими технологіями, наприклад, газонасиченням або електричним керуванням, для підвищення продуктивності та розширення застосувань.

3.3. Висновки до розділу 3

Аналіз підвищення продуктивності ультразвукових диспергаторів показав, що основними обмеженнями є нерівномірна подача рідини, втрати енергії, конструктивні недоліки та нестабільність процесу розпилення. Ці фактори знижують ефективність творення дрібнодисперсного аерозолю та обмежують застосування диспергатору автоматизованих системах. Для подолання цих проблем необхідне вдосконалення конструкції диспергаторів, оптимізація режимів роботи та підвищення стабільності процесу.

В даному дипломному проекті буде використана трубчаста поверхня розпилення. З літератури [1, 13, 19] встановлено що трубчасті поверхні розпилення, які зазвичай використовуються в ультразвукових диспергаторах, виконуються довжиною від 20 мм до 50 мм і забезпечують ефективну передачу енергії та стабільне розпилення для частот від 20 до 100 кГц. Я пропоную модифікацію конструкції диспергатора, а саме збільшення довжини розпилюючої поверхні до 100 мм, що вдвічі перевищує типові значення для даної форми вібратору. Ця зміна в конструкції спрямована на збільшення площі розпилення, що має сприяти підвищенню продуктивності, шляхом обробки більшого об'єму рідини за одиницю часу.

Наступний розділ буде присвячений розробці та проектуванню диспергатору.

Розділ 4

Розрахунок ультразвукових резонансних приводів повздожніх переміщень для розробки та проектування диспергатору

Ультразвукові резонансні приводи повздожніх переміщень є важливим елементом для технологій, які потребують створення дрібнодисперсного аерозолю, наприклад, для розпилення рідини в тонкому шарі. Вони також застосовуються для отримання стабільних емульсій або для обробки рідини за допомогою кавітаційних ефектів. Такі приводи формують акустичні системи, де віброуюча поверхня покрита тонким шаром рідини, забезпечує розпилення. Для досягнення амплітуди коливань, достатньої для руйнування міжмолекулярних зв'язків у рідині, використовуються трансформатори коливальної швидкості, зазвичай у вигляді ступінчастих концентраторів, побудованою за однохвильовою акустичною схемою. Геометрія випромінювальної поверхні впливає на форму аерозольного факелу та визначає резонансну частоту п'єзоелектричного перетворювача в складі приводу [25].

Поверхня випромінювача може виконувати різні типи коливань, які впливають на ефективність розпилення та частотні характеристики системи. Основні режими включають [25]:

- **Повздожні коливання.** Поверхня рухається вздовж осі приводу, а резонансна частота залежить від п'єзоелектричного перетворювача та концентратора.
- **Згинальні коливання.** Виникають, якщо поверхня виконана у вигляді пластинки, що коливається перпендикулярно до своєї площини.
- **Радіально-згинальні коливання.** Характерні для кільцевих випромінювачів, поєднуючи радіальні та згинальні рухи.
- **Радіальні коливання.** Поверхня кільцевого вібратора розширюється та стискається радіально, забезпечуючи рівномірну амплітуду.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		42

Поверхня розпилення, яка має форму прямокутної пластинки і здійснює згинальні коливання, резонансна частота знаходиться за формулою [25, 27, 28]:

$$f_{\text{рез}} = \frac{K_{\text{ч}}^2}{2\pi l^2} \cdot c_n \cdot \frac{h}{\sqrt{12}}$$

де $K_{\text{ч}}^2$ - порядок частоти; l^2 - довжина пластинки; h - товщина пластинки; c_n - швидкість звуку в матеріалі пластинки.

Для перших мод коливань $K_{\text{ч}}$ приблизно дорівнює 4,730 та 7,853.

Якщо пластинка має не прямокутну форму розпилюючої поверхні, а у вигляді диску, резонансна частота знаходиться за формулою:

$$f_{\text{рез}} = \frac{K_{\text{в}}^2 h}{2\pi R_{\text{д}}^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{12(1-\nu)}}$$

де $K_{\text{в}}$ - власне число; $R_{\text{д}}$ - радіус диску; E - модуль пружності на розтягування матеріалу розпилюючої поверхні; ν - коефіцієнт Пуассона.

Так як в даній роботі використовується випромінююча кільцевої (трубчастої) форми розпилювального елемента. В нас будуть виникати радіально-згинальні коливання.

Резонансна частота для цього типу розпилювача визначається за формулою [25, 26]:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2r_{\text{сер}}^2 \pi} \cdot c \cdot \frac{h_{\text{к}}}{\sqrt{12}} \cdot K_{\lambda}$$

де $h_{\text{к}}$ - товщина кільця; $r_{\text{сер}}^2$ - середній радіус кільця, c - швидкість звуку в розпилюючій поверхні.

$$K_{\lambda} = \sqrt{\frac{i^2(1-i^2)^2}{1+i^2}}$$

В табл.8 наведені параметри i та K_{λ} .

Табл.8

i	4	5	6	7	8	9	10
K_{λ}	14,553	23,534	34,522	47,518	62,516	79,514	98,507

Якщо $i=0$, то це значить те що у кільці відсутні радіально-згинальні коливання і воно рухається як єдина маса.

Найбільша продуктивність розпилюючого елемента буде досягнута тільки при одній умові, при однаковій амплітуді коливань усієї поверхні що випромінює. При радіально-згинальному типу коливань поблизу вузлових утворених ліній трубчастого вібратору, амплітуди коливань буде недостатньо для реалізування розпилення в тонкому шарі. В такому випадку, щоб досягти максимальну продуктивність віброуючу трубчасту поверхню потрібно збуджувати радіальною модою коливань. Частота чистих радіальних коливань для трубчастої поверхні розпилення визначається за формулою:

$$f_k = \frac{1}{2r_{\text{сер}}\pi} \cdot c \quad (4.1)$$

Збудження поверхні розпилювального елемента буде відбуватись за допомогою п'єзоелектричного елемента (приводу), який в свою чергу складає в себе п'єзоелектричний перетворювач та трансформатор коливальної швидкості з утворенням однохвильової акустичної системи.

4.1. Розрахунок однохвильового приводу повздовжніх переміщень

Повздовжні коливання п'єзоелектричного складеного перетворювача можливо знайти за допомогою рівняння, яке можливо записати таким чином [28, 29]:

$$S \frac{\partial^2 U}{dt^2} = c^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(S \frac{\partial U}{\partial X} \right) \quad (4.1.1)$$

де U - повздовжнє переміщення; S - площа поперечного перерізу.

Для перетворювача, який здійснює гармонічні коливання і має власну частоту, рівняння (4.1.1) можна записати таким чином:

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

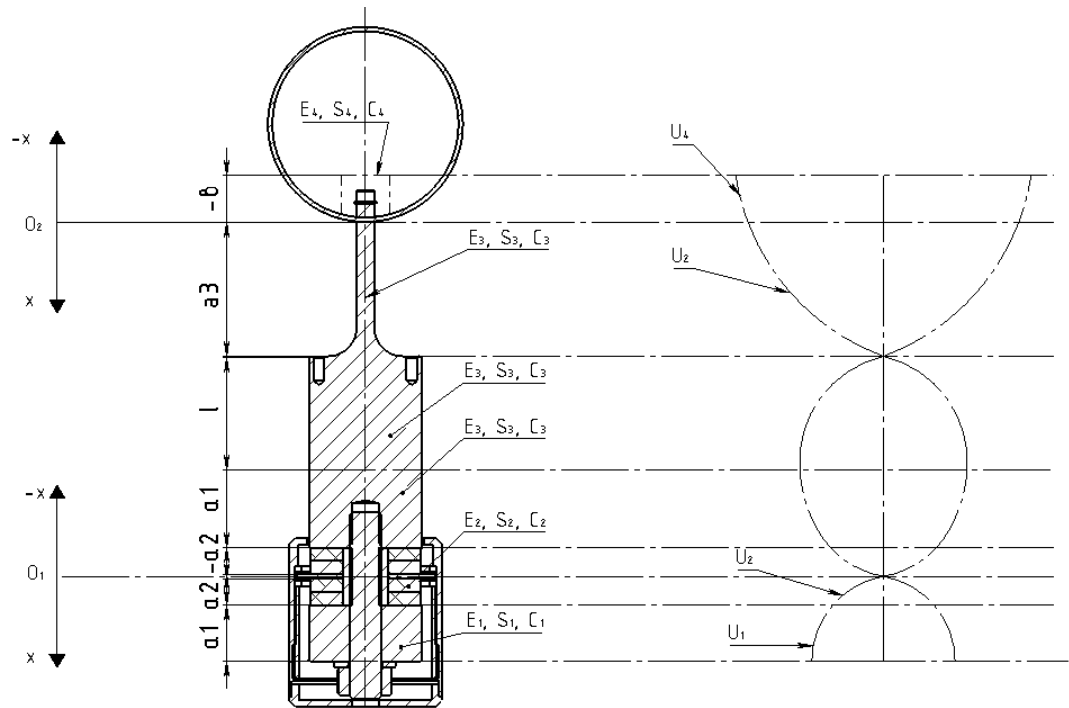


Рис. 4.1. Розрахункова схема вібраційного приводу повздовжніх переміщень з симетричним п'єзоелектричним перетворювачем.

Також умова (4.1.5) дозволяє нам записати рівність з рівняння(4.1.2):

$$A \cos \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) = B \sin \frac{\omega}{c_2} (a_1 + a_2) \quad (4.1.9)$$

А з рівності (4.1.9) можливо записати таке рівняння:

$$B = A \cdot \tan \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) \quad (4.1.10)$$

Підставивши в рівняння (4.1.2) замість B , рівняння (4.1.10) отримаємо вираз:

$$U_1(x, t) = A \left(\cos \frac{\omega}{c_1} x + \sin \frac{\omega}{c_1} x \cdot \tan \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) \right) \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.1.11)$$

Перша половина граничних умов зазначених у (4.1.6) та рівнянь (4.1.8) та (4.1.11), дає можливість записати такий вираз:

$$D \sin \frac{\omega}{c_2} a_2 = A \left(\cos \frac{\omega}{c_1} x + \sin \frac{\omega}{c_1} x \cdot \tan \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) \right) \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.1.12)$$

З метою спрощення можна вважати що концентратор коливань та накладка, яка прилягає до його, виготовлені з одного матеріалу. Це виконане для того щоб зменшити втрати.

Рівняння (4.1.1) можливо записати ще і для циліндра, маса якого дорівнює конструктивному елементу з розпилюючою поверхнею та шаром рідини на ній в такому вигляді:

$$U_4(x, t) = \left(C \cos \frac{\omega}{c_4} x + D \sin \frac{\omega}{c_4} x \right) \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.1.18)$$

де c_4 - швидкість звуку в матеріалі циліндра, рівнозначний за масою елементу з розпилюючою поверхнею.

Граничні умови з початку координат для коливальної системи у точці (O_2) можна записати таким чином:

Якщо $x = a_3$:

$$U_3 = 0. \quad (4.1.19)$$

Якщо $x = -b$:

$$\frac{\partial U_4}{\partial x} = 0 \quad (4.1.20)$$

Якщо $x = 0$:

$$\begin{cases} U_3 = U_4 \\ E_3 \cdot S_3 \cdot \frac{\partial U_3}{\partial x} = E_4 \cdot S_4 \cdot \frac{\partial U_4}{\partial x} \end{cases} \quad (4.1.21)$$

де E_4 - модуль пружності на розтяг матеріалу розпилюючого елементу; S_3 та S_4 -площі поперечного перерізу меншого за діаметром ступеню концентратора та рівнозначного йому циліндра; a_3 - довжина ступеню меншого діаметру концентратора; b - висота еквівалентного циліндру.

Підставивши умову (4.1.19) в рівняння (4.1.17) отримаємо наступне:

$$A \cos \frac{\omega}{c_3} a_3 = -B \sin \frac{\omega}{c_3} a_3$$

$$B = -\frac{A}{\tan \frac{\omega}{c_3} a_3} \quad (4.1.22)$$

З параметрами зазначеними вище тепер можливо визначити довжину більшого діаметру:

$$l = \frac{c_3}{\omega} \cdot \frac{(2n - 1)\pi}{2} \quad (4.1.29)$$

Так як ми виконуємо розпилюючу поверхню у вигляді кільцевого вібратору, об'єм тіла вібруючої поверхні визначається такою залежністю:

$$V = 2r_{\text{сер}} \cdot h \cdot H \cdot \pi \quad (4.1.29)$$

де H - висота кільцевої трубчастої вібруючої поверхні.

Масу можна записати такою залежністю:

$$m_k = \frac{E_4 \cdot r_{\text{сер}} \cdot h \cdot H \cdot \pi}{c_4^2} \quad (4.1.30)$$

Повну масу кільцевої вібруючої поверхні, потрібно розрахувати з врахуванням елементів кріплення до поверхні трансформатору, швидкості та шару рідини на поверхні розпилювання, потрібно записати таким чином:

$$m = \frac{E_4 \cdot 2r_{\text{сер}} \cdot h \cdot H \cdot \pi}{c_4^2} + m_{\text{кріп}} + m_{\text{шару}} \quad (4.1.31)$$

де $m_{\text{кріп}}$ - маса яка враховує елементи кріплення; $m_{\text{шару}}$ - маса яка враховує масу шару рідини.

Масу розпилювача, рівнозначного за масою $m_{\text{кріп}}$ та ; $m_{\text{шару}}$ можна записати вираз:

$$m' = \frac{E_4}{c_4^2} \cdot S_4 \cdot b. \quad (4.1.32)$$

Порівнявши два вирази які зазначені у (4.1.31) та (4.1.32) можна записати новий:

$$b = \frac{\frac{E_4 \cdot 2r_{\text{сер}} \cdot h \cdot H \cdot \pi}{c_4^2} + m_{\text{кріп}} + m_{\text{шару}}}{\frac{E_4}{c_4^2} \cdot S_4} \quad (4.1.33)$$

Якщо $i \neq 0$, то навантаження на ультразвуковий трансформатор швидкості буде тільки кільцева вібруюча поверхня. Дане навантаження буде визначатись радіально-згинальною напівхвилею.

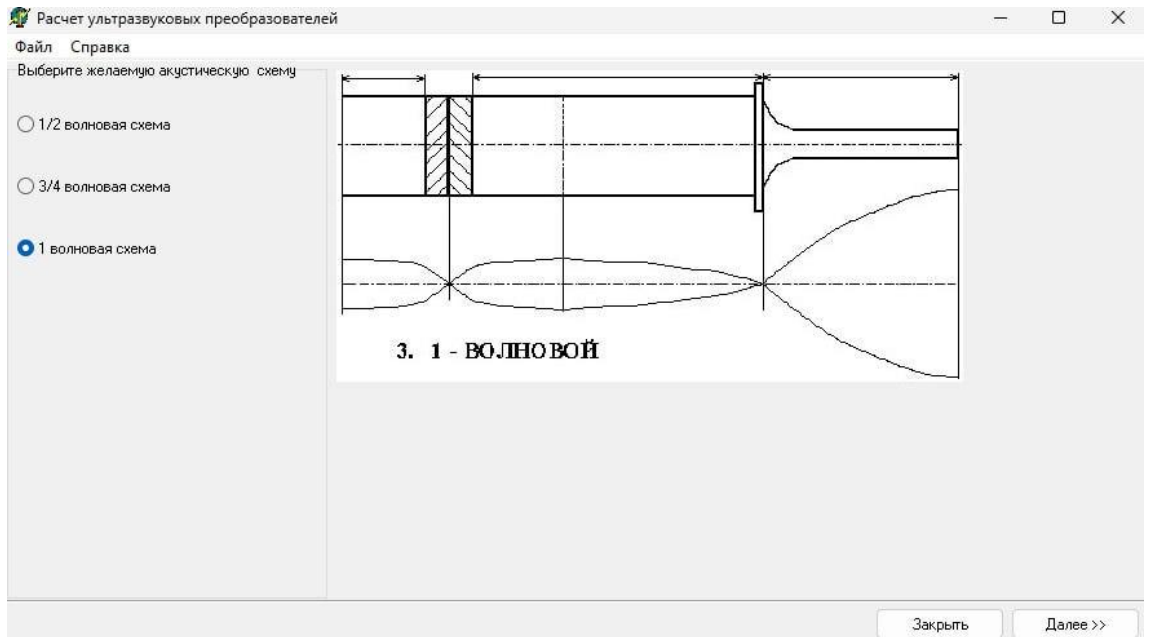


Рис.4.3. Вікно з розрахунковою схемою.

Після того як ми підтвердим свій вибір натиснувши на кнопку «Далі» в нас відкриється вікно яке зазначене на рис.4.4.

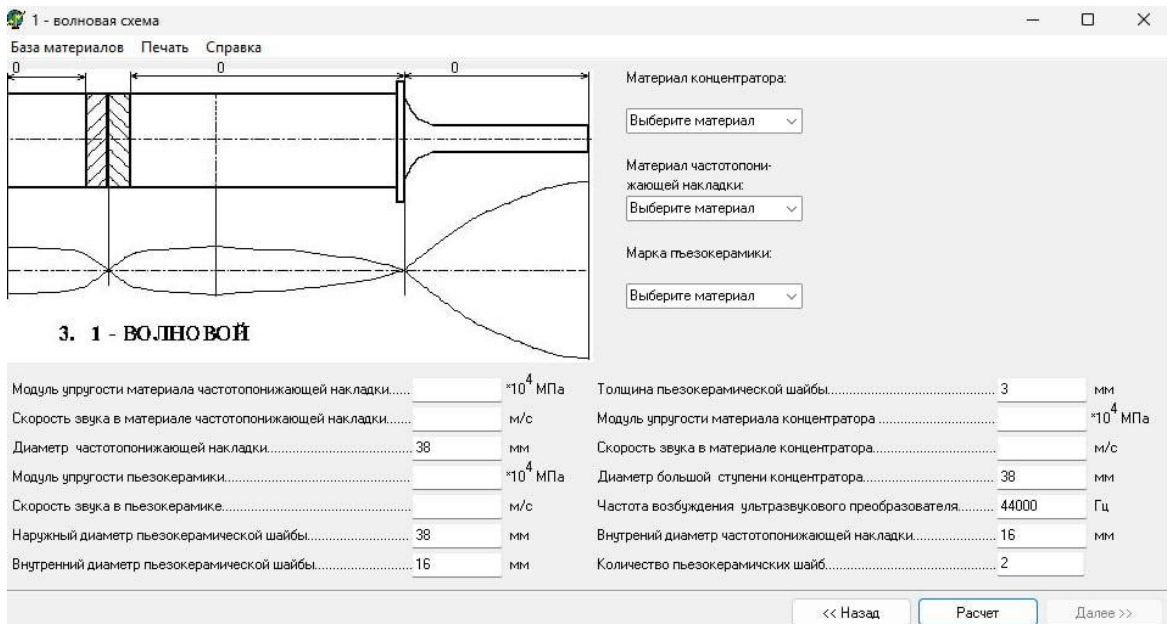


Рис.4.4. Наступний етап застосування програми

В цьому вікні ми повинні задати матеріали для таких конструктивних елементів (назви елементів і матеріали які були вибрані для обрахунку будуть вказані в табл.9):

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

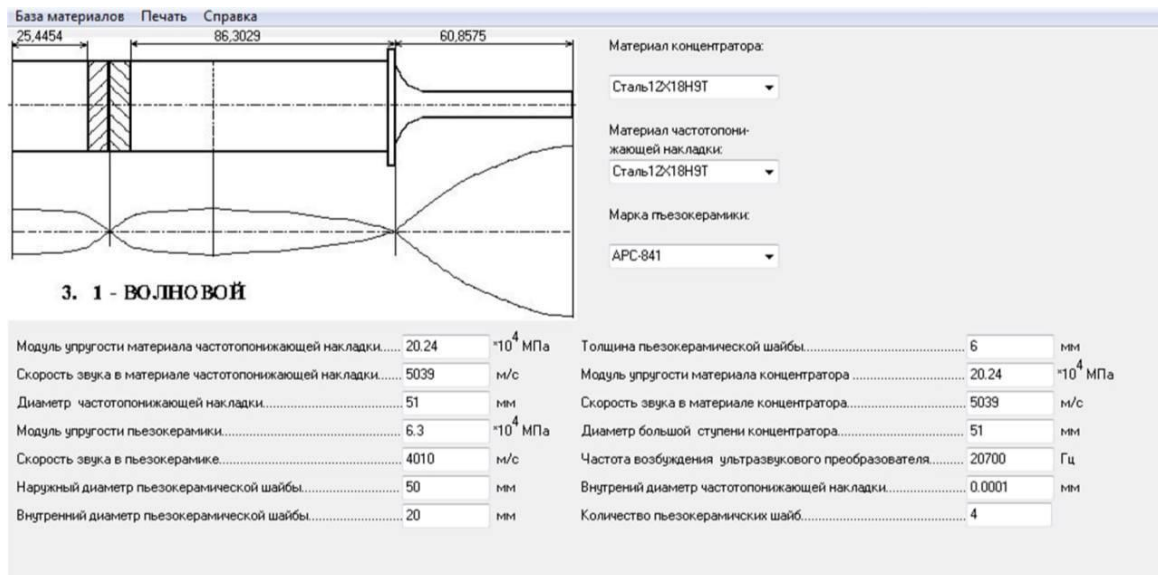


Рис.4.5. Розраховані параметри.

Дані параметри, які зазначені на рис.4.5, повністю будуть використані для проектування диспергатору в САД системах.

4.2. Проектування 3D моделі на основі програмного забезпечення SolidWorks

Після розрахунку, було вирішено спроектувати 3D модель, яка виконана масштабі 1:1, на базі програми SolidWorks. Модель розпилювача була виготовлена за допомогою функції «Збірка» з інших деталей, які потім будуть виноситись в деталювання. На рис. 4.6 представлена 3d модель повністю зібраного диспергатору.

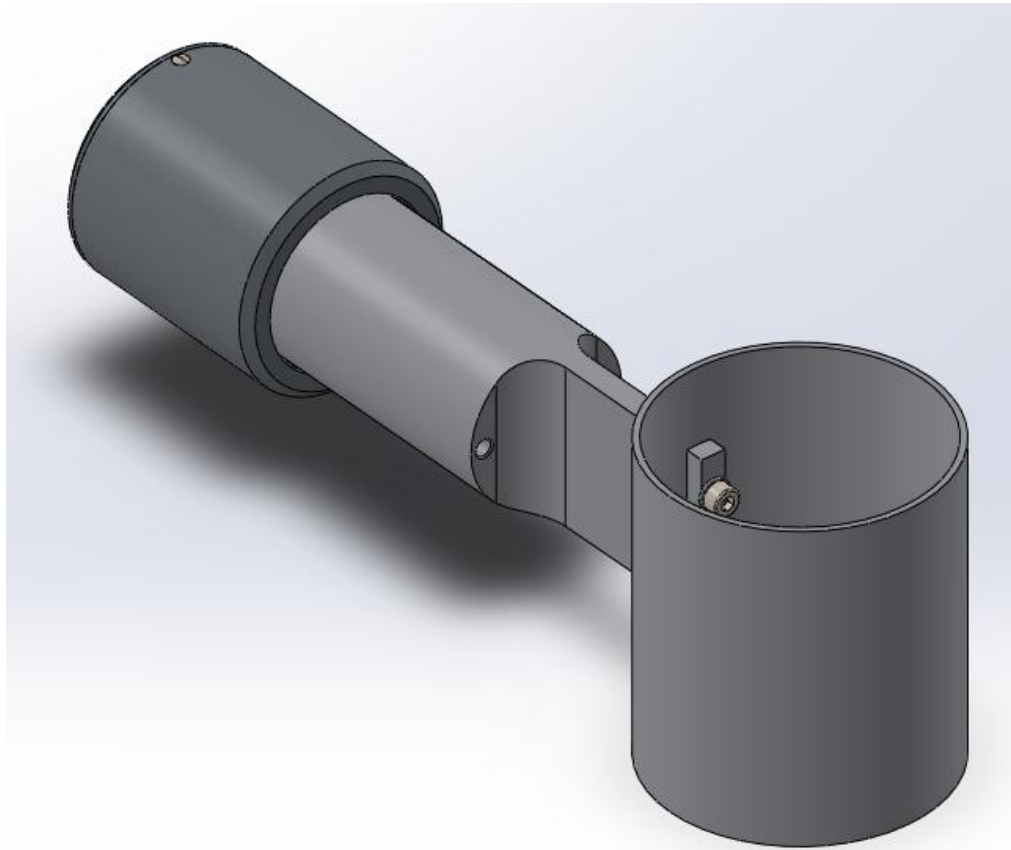


Рис.4.6. Розпилювач.

На рис. 4.7 представлений розріз 3D моделі диспергатор.

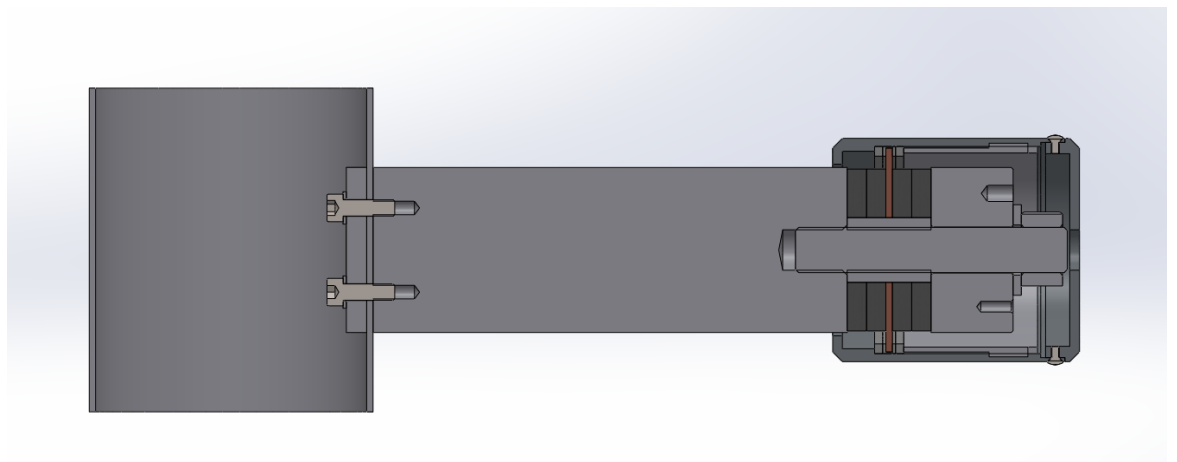


Рис.4.7. Розріз.

Далі для стабільної подачі рідини для ультразвукового диспергатору було спроектовано дозатор рідини. Він дозволяє контролювати товщину шару який подається на віброуючу поверхню(розпилюючу поверхню). На рис. 4.8 представлений дозатор в зборі.

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

55

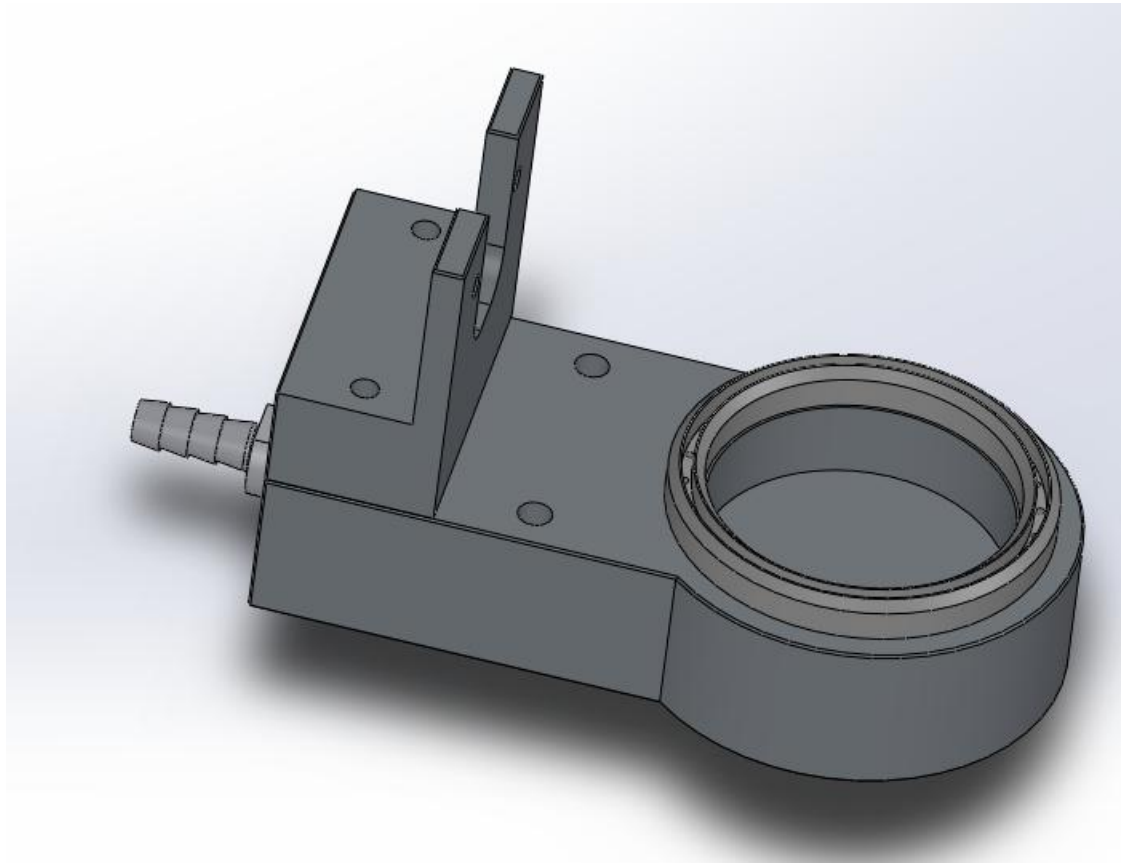


Рис.4.8. Дозатор рідини.

На рис.4.9 представлений розріз дозатору.

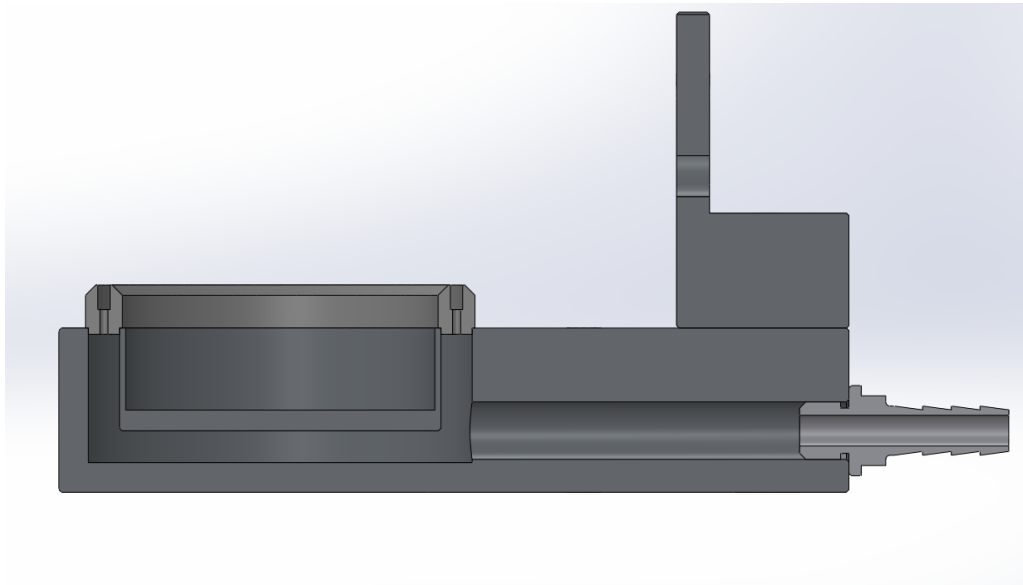


Рис.4.9. Розріз.

Поставивши в кронштейн диспергатор та прикрутивши його, вийшов наш ультразвуковий розпилювач. Він представлений на рис. 4.10.

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

56

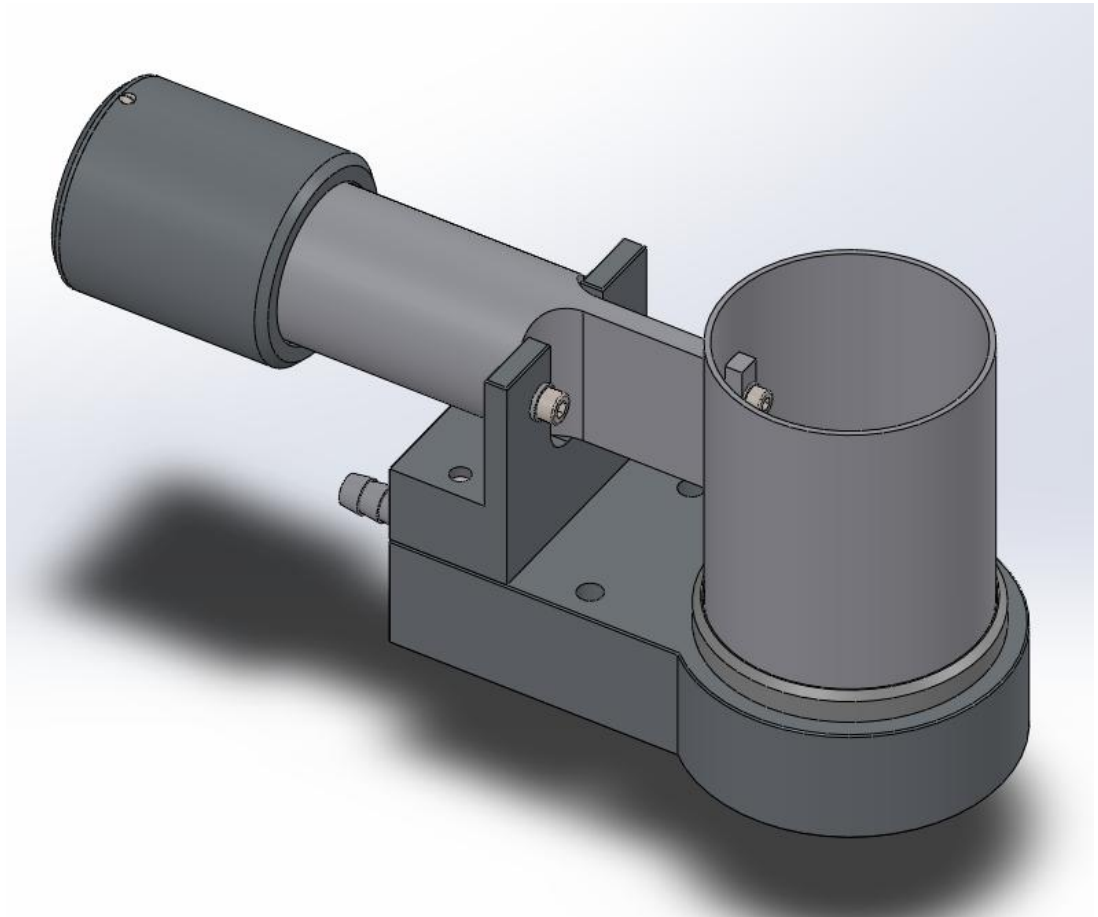


Рис.4.10. Ультразвуковий розпилювач

4.3. Висновки до розділу 4

Представлена методика у п.4.1 була використана для розрахунку повздовжніх розмірів ультразвукового розпилювача. На базі отриманих даних був спроектований розпилювач в 3D моделі в програмному забезпеченні SolidWorks. Конструкторську документацію спроектованого розпилювача можна передавати у виробництво. Для перевірки продуктивності спроектованого диспергатора потрібно розробити експериментальний стенд та провести експериментальні дослідження.

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

57

Розділ 5

Розробка експериментального стенду та проведення дослідів з однохвильовим ультразвуковим розпилювачем

5.1. Мета досліджень

Мета дослідження: визначити продуктивність спроектованого диспергатора зі збільшеною поверхнею розпилення (100 мм) для порівняння з стандартними поверхнями розпилення (20-50 мм) [1, 13, 19]. Оцінити якість подачі рідини в двох режимах роботи: на обидві поверхні розпилення, на внутрішню поверхню розпилюючого елемента.

5.2. Поставлені задачі

На дослідницьку частину були поставлені такі задачі:

- Зібрати експериментальну установку.
- Задати статичну подачу рідини (статичну витрату).
- Використовувати звичайну воду з під крану для розпилення.
- Визначити споживану потужність установки.
- При налаштуванні частоти коливань, максимально приблизитись до радіальної моди коливань.
- Виміряти продуктивність спроектованого розпилювача.

5.3. Розробка принципової схеми

На рис. 5.1 зображена принципова схема експериментального стенду, який використовувався для проведення дослідницької частини.

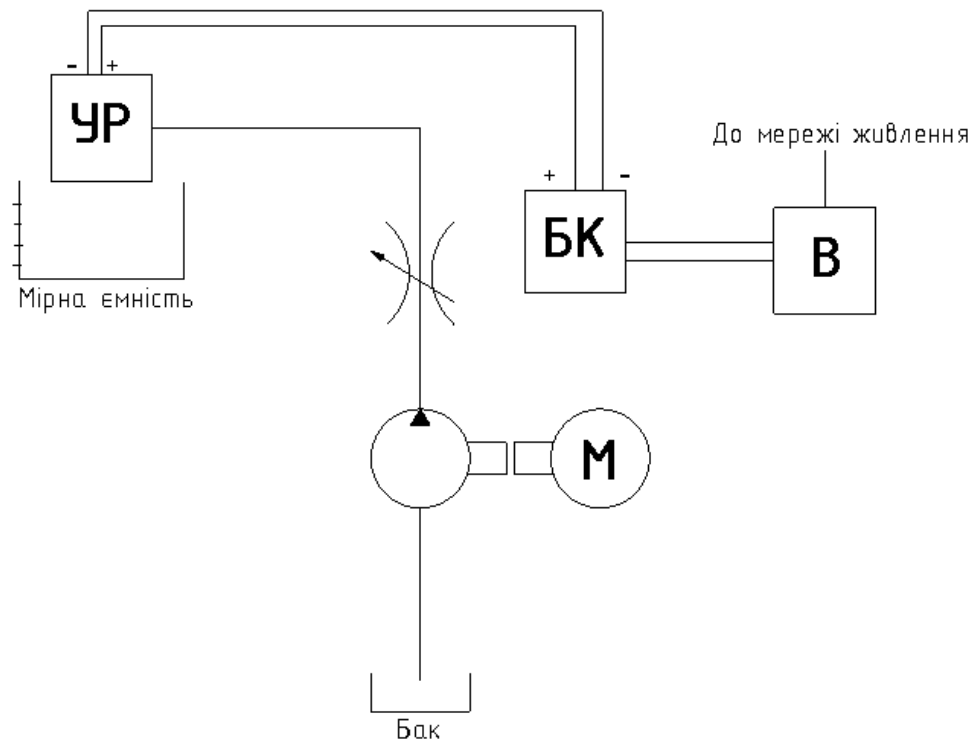


Рис.5.1. Принципова схема експериментального стенду.

На принциповій схемі показано яким саме чином була зібрана установка для експерименту.

Стенд включає в себе:

1. Бак з водою.
2. Насос (представлений на рис.5.3).
3. Регульований дросель.
4. Ультразвуковий розпилювач (представлений на рис.5.1).
5. Мірну ємність для заміру продуктивності (тобто який об'єм набереться за одиницю часу).
6. Блок керування ультразвуковим розпилювачем (рис.5.2).
7. Ватметр (представлений на рис.5.7).

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

59

5.4. Програма досліджень

Програма досліджень включає в себе такі етапи роботи.

- Збірка стенду: повна збірка стенду та перевірка правильності підключення блоку управління до розпилювача.
- Підготовка стенду: налаштування генератору на частоту, близьку до радіальної моди коливань; підключення насосу до дозатору рідини, перевірка на герметичність.
- Налаштування витрати: налаштування витрати насосу за допомогою мірної ємності та секундоміру.
- Проведення першого досліду (розпилення з обох поверхонь): запуск системи; контрольна перевірка справності обладнання; ввімкнення камери для відео фіксації; замір продуктивності; зняття показників з ватметра; замір температури перетворювача; фотографування форми факелу розпилення; тест на стабільність.
- Проведення другого досліду (внутрішня поверхня розпилення): перекидання потрапляння рідини на зовнішню поверхню розпилення; принцип проведення такий же як і в першому досліді.
- Розрахунок продуктивності: маючи об'єм, який набрався за одиницю часу, можна розрахувати об'єм рідини, який розпилює диспергатор за одиницю часу.
- Порівняння із відомою в техніці поверхнею розпилення.

5.5. Опис експериментальної установки

Всі досліді проводились на однохвильовому ультразвуковому розпилювачі з трубчастою поверхнею розпилення. Конструкція була розроблена на основі розрахунків які вказані в розділі 4. Розпилювач складався з п'єзоелектричного перетворювача, накладок для зниження частоти, ступінчастого концентратора та розпилюючої поверхні. Також було використано спосіб подачі рідини до самого розпилювача, який

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		60

виступав в ролі дозатору. Сам розпилювач з дозатором рідини показано на рис.5.2.



Рис.5.2. Розпилювач з дозатором.

Для забезпечення роботи розпилювача використовувався генератор ультразвукових коливань, показаний на рис.5.3.



Рис.5.3. Генератор ультразвукових коливань.

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

61

Рідина для розпилення була використана звичайна, з під крану, без будь-яких додаткових оброблень та не насичена газом.

Для стабільної подачі рідини використовувався невеликий водяний насос для акваріумів ,з можливістю регулювання подачі рідини. Даний насос був придбаний в інтернеті. Максимальна витрата яку міг подавати даний насос складала 240 л/хв. Насос показаний на рис.5.4.



Рис.5.4. Насос.

Також використовувався штатив, для того щоб зафіксувати конструкцію таким чином, щоб вода потрапляла на розпилюючу поверхню. Повністю зібрана конструкція стенду для дослідів представлена на рис.5.5.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		62



Рис.5.5. Дослідницький стенд.

5.6. Налаштування обладнання

Для виконання дослідів нам потрібно було налаштувати обладнання, а саме генератор ультразвукових коливань та витрату насосу.

Першим кроком налаштувань, нам потрібно підключити генератор до самого розпилювача та виконати пробний запуск, щоб перевірити чи працює наша система. Після перевірки на правильність роботи необхідно налаштувати частоту, близьку до радіальної моди коливань.

Другим кроком, ми беремо наш насос, та перевіряємо чи він працює. Перевіривши роботу, підключаємо насос за допомогою трубки до дозатору та проводимо експериментальний запуск установки.

Перші запуски нашої установки показали нам те, що витрата завелика для даного розпилювача та частоти. Підібравши витрату, за допомогою регулятора подачі, ми переконались в правильній роботі нашої системи.

Наступним кроком нам було необхідно дізнатись, скільки витрати подає саме наш насос. Для цього ми використовували ємність з відомим нам об'ємом та секундомір. За допомогою цих двох пристроїв ми могли заміряти за скільки часу набирається конкретний об'єм рідини. Подальший розрахунок і значення витрати яку ми подаємо будуть вказані нижче в розділах.

5.7. Проведення дослідів

Після налаштування нашої системи ми перейшли до безпосереднього проведення експериментів, щоб дослідити продуктивність однохвильового ультразвукового розпилювача з трубчастою поверхнею.

Так як нам була поставлена задача провести експерименти для різних поверхонь розпилення (зазначені в п.5.2), було вирішено проводити два різних експерименти, але з подібними налаштуваннями системи.

5.7.1. Розпилення з двох поверхонь

На першому етапі ми дослідили роботу розпилювача при подачі рідини на обидві поверхні розпилюючого елемента.

Для проведення дослідів нам потрібно було дізнатись яку саме витрату подає наш насос. Провівши декілька замірів по принципу ,який я розписав у п.5.3 та у п.5.4. Було визначено що об'єм у вимірювальній колбі, який дорівнює 0,25л, набирався приблизно за 20с. провівши 3 заміри ми переконались в точності, і за допомогою формули для знаходження об'ємної витрати змогли розрахувати скільки витрати подає наш насос:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5.7.1)$$

де V -об'єм який ми заповнюємо; t - час за який ми заповнюємо даний об'єм.

$$Q = \frac{0,25}{20} = 0,0125 \text{ л/с.}$$

Для зручності ми переводимо з л/с в л/хв:

$$Q = 0,0125 \text{ л/с} = 45 \text{ л/год.}$$

Далі ми повинні наблизитись до радіальної моди коливань, по розрахунках частота збудження ультразвукового перетворювача 20700 Гц, тобто ми повинні були приблизитись до цієї позначки, і ми до неї приблизились.

Наступним кроком ми запустили систему щоб побачити яким чином буде відбуватись розпилення з наших поверхонь. На рис.5.6. наведено фото яким саме чином розпилюється рідина з поверхні розпилювача.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		65



Рис.5.6. Розпилення з обох поверхонь.

Під час проведення досліду нашу електронну систему керування (рис.5.7) ми вмикали в мережу через ватметр (рис.5.8). Це було зроблено для того щоб зафіксувати потужність, яку споживає наш розпилювач в робочий момент.

Показники ватметра під час роботи системи показували значення від 158 Вт до 162 Вт. Було прийняте рішення кінцеве значення взяти як середнє цих двох значень, тобто 160 Вт.

Потужність яку споживав наш розпилювач дорівнює:

$$P = 160 \text{ Вт.}$$

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

66



Рис.5.7.Фото електроніки під час роботи системи.



Рис.5.8. Ватметр.

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

67

На рис.5.6 ми добре бачимо те, що розпилення з зовнішньої поверхні відбувається хаотично, тобто краплинки в більшості випадку відриваються перпендикулярно та розлітаються в різні боки. В той час як з внутрішньої поверхні аерозоль направлений факелом донизу. В цьому ми переконуємося в наступному досліді.

Також, серед поставлених задач було визначити продуктивність розпилення спроектованого розпилювача. Для того, щоб знайти продуктивність, ми розмістили під розпилювач мірну ємність для збору рідини після розпилення. Далі ми вмикали установку і робили замір на 20 с, після чого переливали в вимірювальну колбу, яку використовували для знаходження витрати, і дивились скільки рідини розпилилось за даний проміжок часу. Переливши воду, ми побачили, що об'єм в колбі становить 0,185 л і за допомогою формули (5.7.1) дізнались скільки рідини було розпилено за одиницю часу, тобто витрату, яку створює наш диспергатор.

$$Q = \frac{0,185}{20} = 0,00925 \text{ л/с.}$$

Для зручності ми переводимо з л/с в л/год:

$$Q = 0,00925 \text{ л/с} = 33,3 \text{ л/год.}$$

Стабільність роботи перевірялась протягом 10 хв. Частота була незмінною, продуктивність залишилась майже без змін 33,25 л/год.(скоріше всього похибка вимірювання). Температура перетворювача досягала близько +20°C (в кімнаті було +17°C), що також є прийнятним.

5.7.2. Розпилення з внутрішньої поверхні

Другим етапом дослідження було провести досліди коли подача рідини відбувається на внутрішню стінку розпилювача.

Так як при проведенні досліді, зазначеному в п.5.7.1, ми вже провели замір витрати насосу, при проведенні даного досліді витрату насосу ми не

змінювали, а залишили такою ж самою. Тобто, витрата, яку подавав насос до розпилювача, складає:

$$Q = 45 \text{ л/год.}$$

Частоту коливань для цього режиму ми також залишили незмінною з попереднім дослідом, оскільки вона була визначена як найближча до радіальної моди коливань.

Аналогічно до попереднього досліду ми запустили систему, але побачили що рідина потрапляє на обидві стінки розпилюючого елемента. Для вирішення цієї проблеми не було багато часу, і розробити заслінку для перекривання подачі часу не було.

Для того щоб якимось чином перекрити подачу рідини на зовнішню поверхню, було придбано дитячий пластилін та наліплено на зовнішнє кільце і стик з місцем, через яке подавалась вода на зовнішнє кільце. Дана модифікація системи ,дозволила нам перекрити подачу рідини на зовнішню поверхню, тим самим ми змогли зафіксувати яким саме чином розпилює тільки зовнішня поверхня. На рис.5.9 можливо побачити як саме відбувається розпилення.



Рис.5.9. Розпилення з внутрішньої поверхні.

Таким же чином наш електронний блок управління був підключений через ватметр для знаходження потужності, яку споживає розпилювач при даній конфігурації.

Показники ватметра під час роботи системи варіювались від 145 до 151 Вт. Мною було запропоновано взяти середнє значення (так як ми зробили в досліді зазначеному у п.5.7.1), яке дорівнювало 148 Вт. Тобто потужність яку споживає розпилювач при такій конфігурації становить:

$$P = 148 \text{ Вт.}$$

що є менше на 12 Вт. з попереднім дослідом.

На рис. 5.9 добре видно що розпилювач створює направлений аерозоль чітко вниз, з мінімальним відхиленнями в сторони (в межах похибки). Як я зазначав в п.5.7.1, ми все ж таки переконались, що внутрішня поверхня розпилює чітким факелом донизу.

Також мені була поставлена задача визначити продуктивність і для цієї поверхні розпилення. Аналогічним способом були проведені заміри об'єму рідини, яку розпилила дана поверхня за 20 с. Об'єм склав 0,135 л. За тією з самою формулою (5.7.1) ми можемо розрахувати продуктивність яка в нас виходить при розпиленні з однієї стінки розпилювача:

$$Q = \frac{0,135}{20} = 0,00675 \text{ л/с.}$$

Для зручності ми переводимо з л/с в л/год:

$$Q = 0,00675 \text{ л/с} = 24,3 \text{ л/год.}$$

Порівнявши це значення з минулим дослідом, можна зробити висновок що зовнішня поверхня розпилювача, за одну годину розпилює приблизно 15,3 л, що є добрим показником.

Стабільність роботи перевірялась таким же чином що і в попередньому досліді і повністю була ідентична картина. Частота була не змінною, продуктивність була майже без змін (24,23 л/год.), температура розпилювача була (приблизно +24°C), що є прийнятним.

5.8. Висновки до розділу

Аналіз результатів зі спроектованим ультразвуковим розпилювачем із трубчастою поверхнею розпилення довжиною 100 мм підтвердив високу ефективність у двох режимах роботи. У режимі подачі рідини на обидві поверхні розпилення продуктивність склала 33,3 л/год при споживаній потужності у 160 Вт. У режимі подачі лише на внутрішню поверхню розпилення продуктивність знизилась до 24,3 л/год при потужності 148 Вт. Частота коливань у обох режимах була максимально наближена до радіальної моди коливань, при перевірці на стабільність, температура диспергатору досягала +20°C при розпиленні з 2х поверхонь і +24°C при розпиленні з внутрішньої поверхні, що є припустимим для тривалої роботи.

Порівняння з літературними даними [1, 13, 19] показало, що відомі ультразвукові розпилювачі з трубчастою поверхнею розпилення довжиною 50 мм, які працюють на частотах 20-100 кГц, зазвичай мають продуктивність в межах 10-20 л/год. Наприклад, у джерелі [19] зазначено, що розпилювач довжиною 50 мм забезпечує продуктивність до 15 л/год при аналогічних умовах. Спроектований розпилювач у даному дипломному проекті, з подовженою поверхнею розпилення 100 мм досяг продуктивності 33,3 л/год (розглядається обидві поверхні розпилення), що значно перевищує літературні показники.

Отримані результати підтверджують, що розроблений диспергатор із трубчастою поверхнею довжиною 100 мм має вищу продуктивність порівняно із відомим аналогами, що показує його перспективність для застосувань в мехатронних системах, які потребують більшу продуктивність за відомі значення.

Розділ 6

Технологічний розділ

6. Порядок розробки технологічного процесу

Порядок який виконується при розробці технологічного процесу включає в себе такі етапи:

- Завдання на розробку технологічного процесу.
- Вибір заготовки.
- Розробка маршрутного технологічного процесу.
- Вибір різального інструменту.
- Оснащення операцій.
- Написання управляючих програм.

6.1. Завдання на розробку технологічного процесу

Назва деталі	«Випромінювач»
Службове призначення	Деталь є елементом конструкції ультразвукового розпилювача. Застосовується в медицині, сільському господарстві, приладобудуванні.
Матеріал	Сталь 12Х18Н9Т.
Замовлення	200 шт

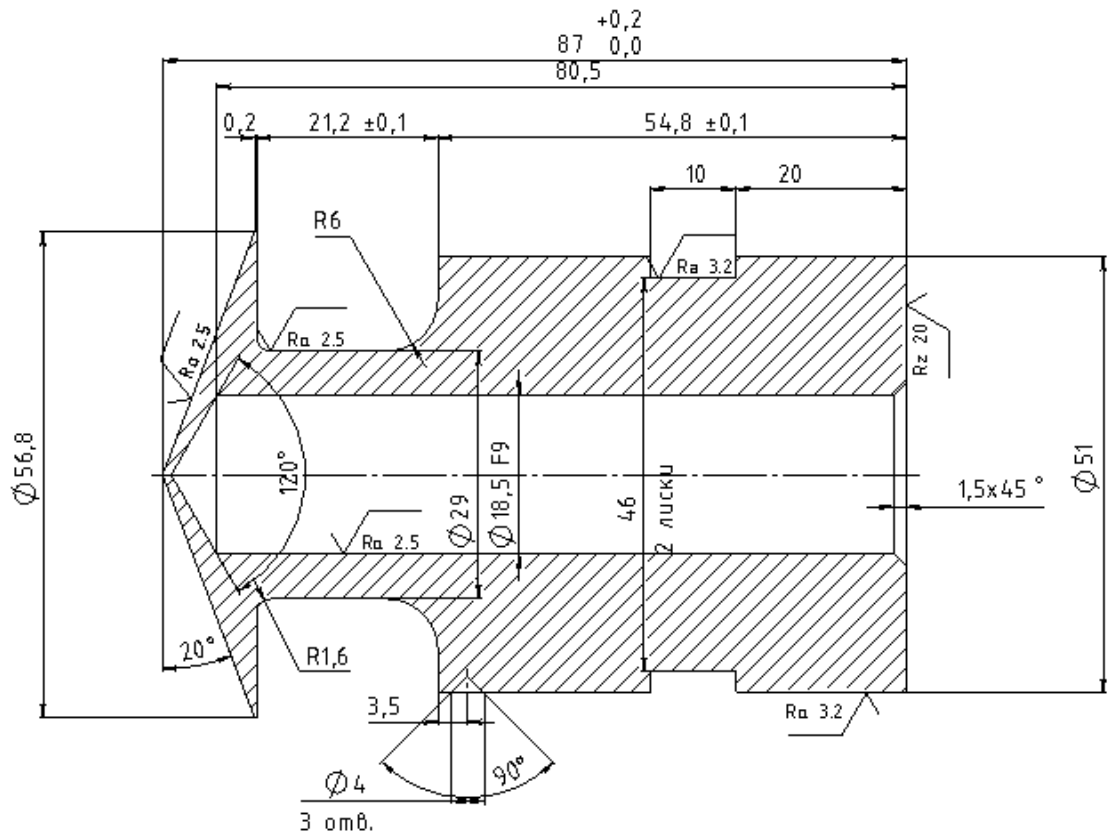


Рис.6.1. Ескіз деталі «Випромінювач»

При обробці даної деталі необхідно забезпечити симетричність отворів $\varnothing 4$, розташованих під кутом 120° відносно осі деталі.

Бічні поверхні корпусу $\varnothing 56.8$ повинні мати шорсткість $Rz 40$ мкм.

Внутрішній отвір $\varnothing 18.5$, який є базовою поверхнею, повинен мати шорсткість $Ra 2.5$ мкм.

Дві лиски з розміром 46 мм, на поверхні $\varnothing 51$ мм повинні мати шорсткість $Ra 3.2$ мкм.

Всі інші оброблювані поверхні (включаючи фаски, отвори $\varnothing 4$, поверхню $\varnothing 29$) повинні мати шорсткість $Rz 20$ мкм.

Найточніші розміри деталі:

Внутрішній отвір $\varnothing 18.5$ виконаний за допуском F9.

Всі інші поверхні наприклад, $\varnothing 29$, $\varnothing 4$, довжини 21.2 ± 0.1 , 54.8 ± 0.1 , 51 мм обробляються за 12 квалітетом точності.

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

74

6.2. Вибір заготовки

При виборі методу отримання заготовки в першу чергу враховують матеріал деталі, тип виробництва, якість поверхонь заготовки та її точність, а також можливості наявного обладнання. В нашому випадку найдоцільнішим є метод отримання заготовки токарним методом в поєнанні з фрезерувальним методом.

Призначення припусків виконується табличним методом [30-33].

Матеріал Сталь 12Х18Н9Т заковуємо на сайті:
<https://ambar.org.ua/krug-nerzhaviyuchyj-60-st-12h18n10t>.

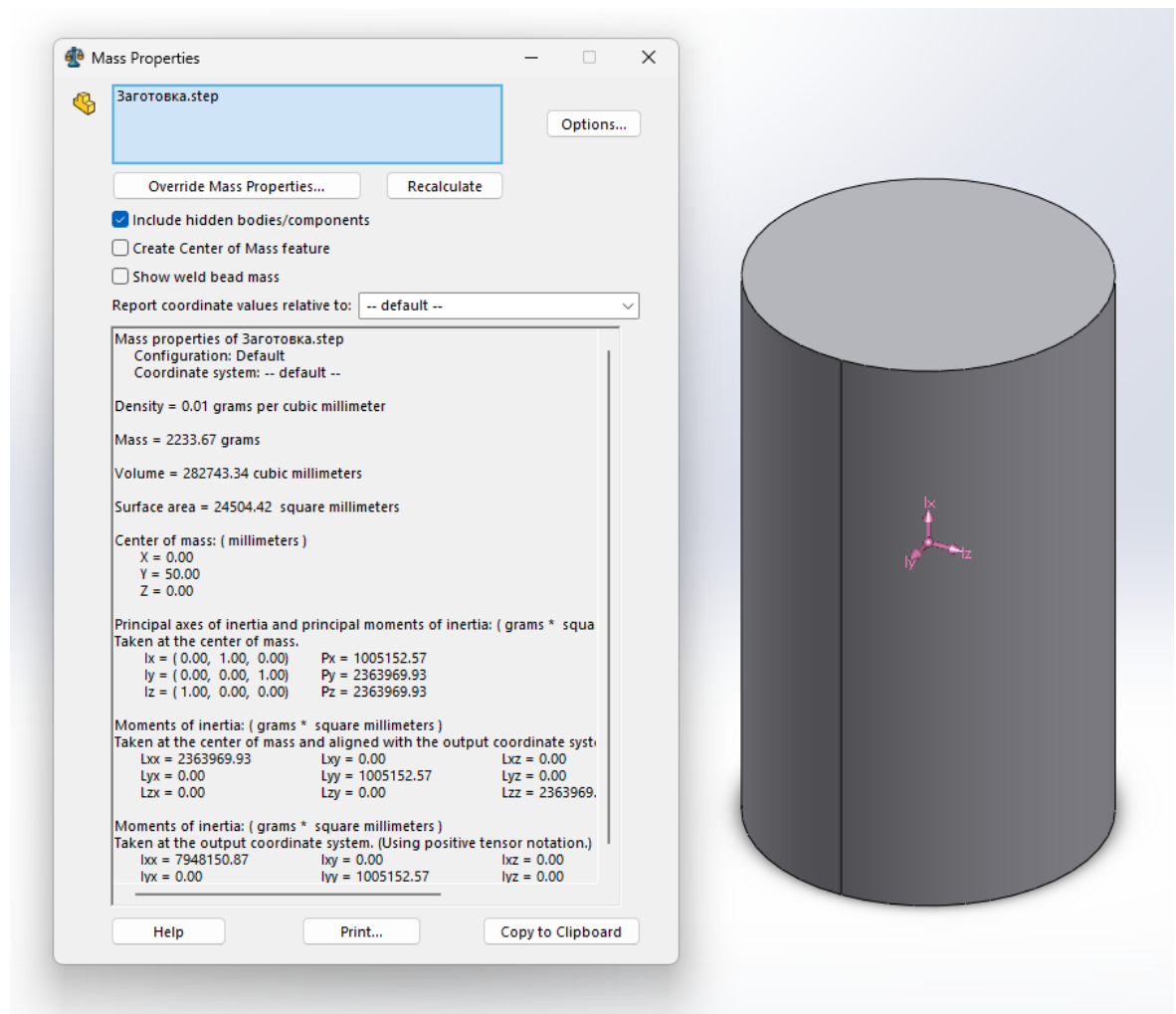


Рис.6.2. 3D модель її заготовки під токарні роботи (визначено масу – 2,23кг)

На даному сайті маса її заготовки дорівнює 2,25 кг.

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

75

Так як у нас партія на 200 заготовок, матеріалу закупаємо саме під них.

Ціна матеріалу на сайті під партію становить 73704 грн. з урахуванням ПДВ.

Ціна доставки по калькулятору нової пошти від адреси відправника до адреси отримувача складає 14868,52 грн.

Тобто ціна матеріалу з урахуванням доставки буде складати 88572,52 грн.

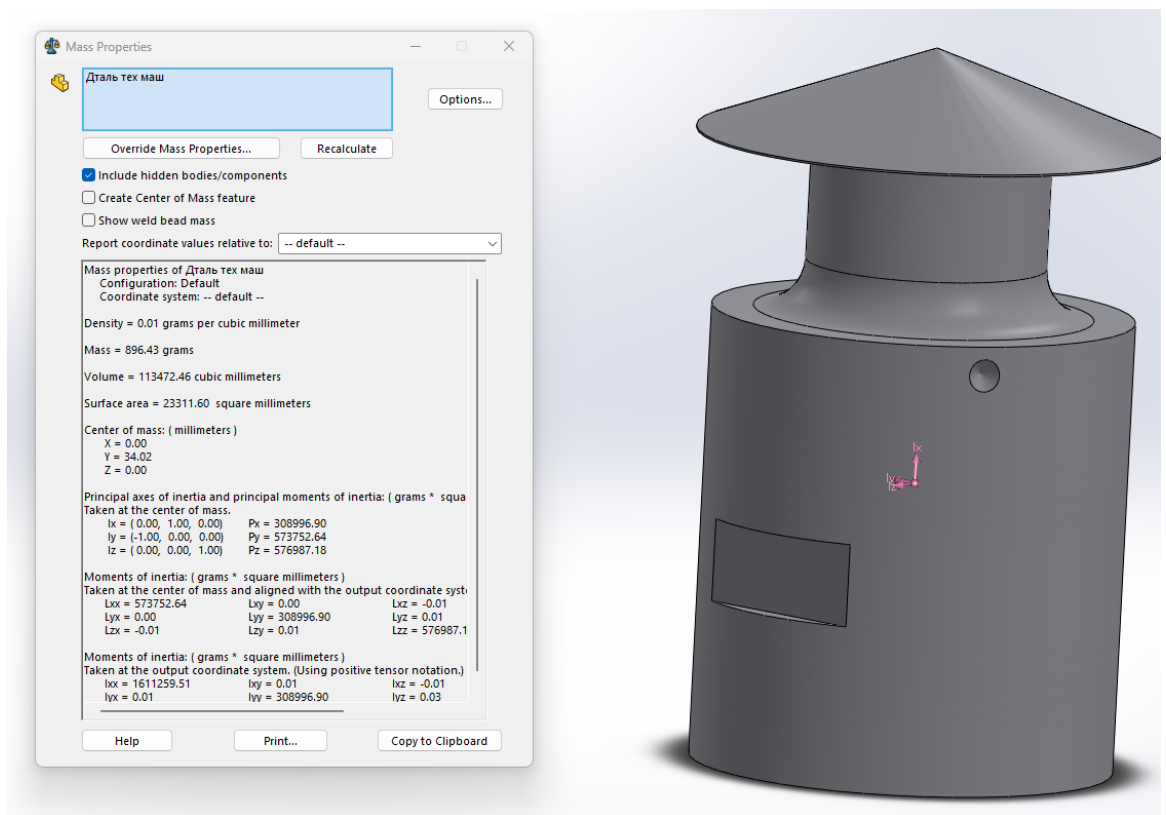


Рис.6.3. 3D модель заготовки деталі «Випромінювач» (визначено масу – 0,896 кг)

6.3. Розробка маршрутного технологічного процесу

Конструкція деталі поділяється на сукупність типових геометричних елементів, що виконують загальне функціональне призначення — забезпечення центрування, кріплення та передачі

навантажень у складі вузла. Основу геометрії становлять циліндричні зовнішні та внутрішні поверхні ($\varnothing 56.8$, $\varnothing 51$, $\varnothing 29$, $\varnothing 18.5$ Н9), плоскі торці, фаски, а також отвори та лиски.

Переважає частина обробки деталі виконується токарним методом, оскільки більшість поверхонь мають осьову симетрію (внутрішні та зовнішні циліндри, фаски, торці, піднутрення тощо). Разом з тим, окремі елементи конструкції вимагають фрезерної обробки — це дві протилежні лиски, розташовані на глибині 46 мм та мають ширину 10 мм, а також три отвори діаметром $\varnothing 4$ мм під гужони, розташовані по колу з рівним кутовим кроком 120° .

У машинобудівному виробництві накопичено значний досвід щодо вибору оптимальних маршрутів обробки типових поверхонь, що забезпечують необхідну точність розмірів і параметри шорсткості [30–33].

Для побудови маршруту оброблення деталі проведено ідентифікацію основних оброблюваних поверхонь (див. рис.6.4).

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		77

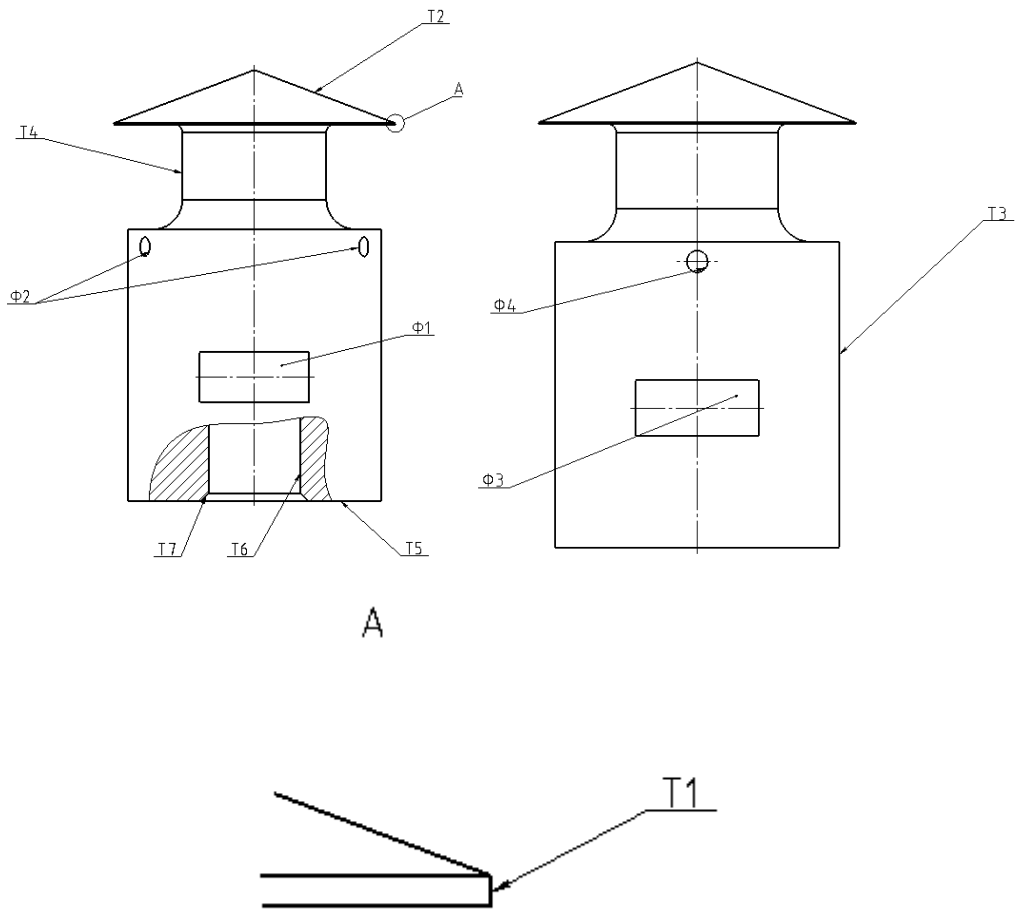


Рис.6.4. Нумерації поверхонь деталі

В табл.10 вказані типові технологічні послідовності оброблення поверхонь деталі.

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

78

Табл.10

Назва поверхні	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Типова технологічна послідовність оброблення поверхні	Характеристики якості поверхонь після оброблення	
	Точність розмірів IT	Параметр шорсткості Ra, мкм		Точність розмірів IT	Параметр шорсткості Ra, мкм
P0	IT12	Rz120	Відрізання	IT12	Rz120
T0	IT12	Rz80	Чорнове торцеве точіння(відрізання лишнього)	IT12	Rz120
T1	IT12	Rz80	Чорнове зовнішнє точіння	IT12	Rz80
T2	IT12	Rz40	Чорнове торцеве точіння	IT12	Rz80
T3	IT12	Rz40	Чорнове зовнішнє точіння	IT12	Rz80
T4	IT12	Rz80	Чорнове зовнішнє точіння	IT12	Rz80
T2	IT9	Ra 2.5	Чистове торцеве точіння	IT9	Ra2.5
T4	IT9	Ra2.5	Чистове зовнішнє точіння	IT9	Ra2.5
T1	IT10	Rz20	Чистове зовнішнє точіння	IT10	Rz20
T0,1	IT12	Rz80	Чорнове торцеве точіння(відрізання лишнього)	T0,1	IT12
T5	IT12	Rz80	Чорнове торцеве точіння	IT12	Rz80
T3	IT9	Ra3.2	Чистове зовнішнє точіння	IT9	Ra3.2
T6	IT11	Rz40	Свердління у суцільному металі	IT11	Rz40
T5	IT10	Rz20	Чистове торцеве точіння	IT10	Rz20
T7	IT10	Rz20	Чистове внутрішнє точіння	IT10	Rz20
Ф1	IT9	Ra2.5	Фрезерування	IT9	Ra2.5
Ф2	IT11	Rz40	Свердління у суцільному металі	IT11	Rz40
Ф3	IT11	Rz40	Свердління у суцільному металі	IT11	Rz40
T1	IT11	Ra3.2	Термічна обробка	IT11	Ra3.2
Ш1(T6)	IT8	Ra2.5	Шліфування внутрішнє	IT8	Ra2.5

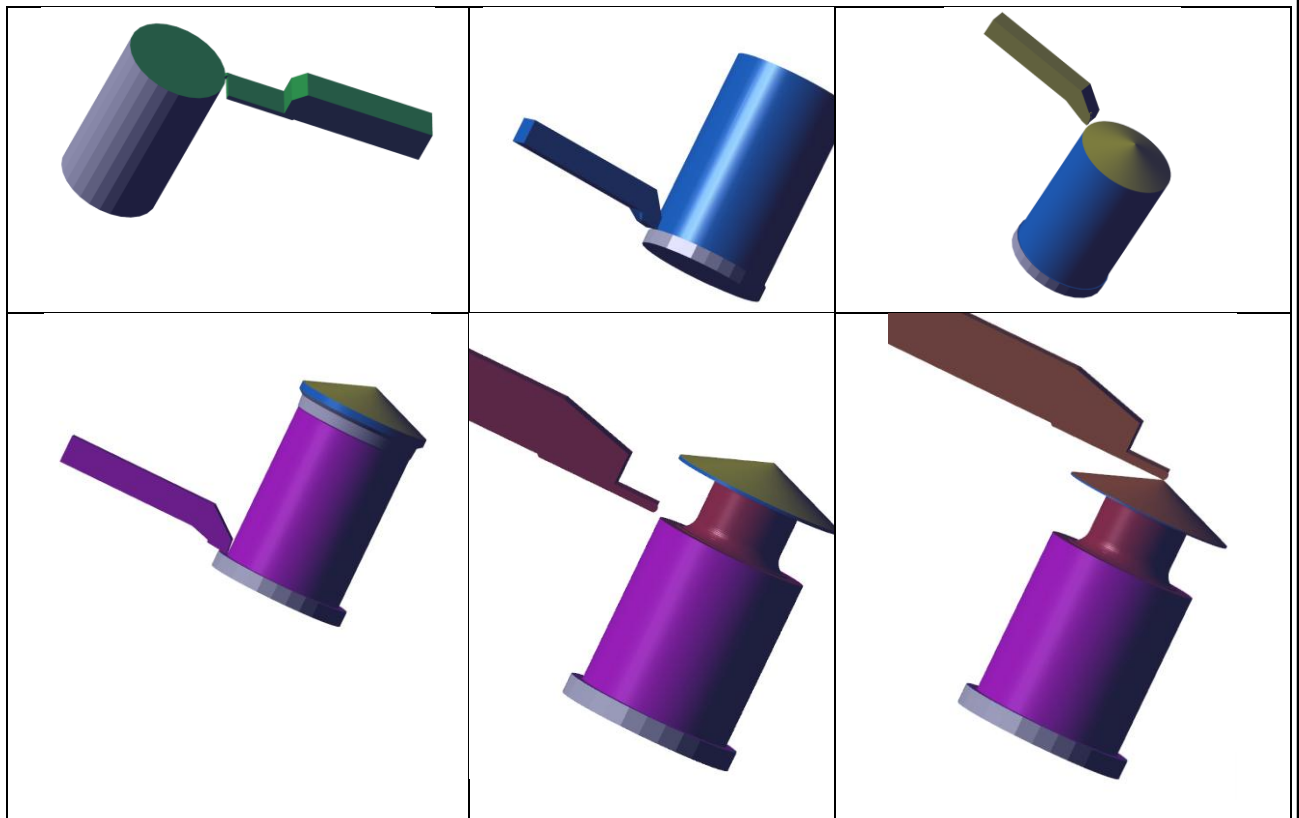
Для отримання твердості 170–207 НВ у ГОСТ 5632-72, зазвичай використовують наступний режим термообробки:

1. Поліпшення (загартування + відпуск):
 Нагрів: 840–860 °С
 Охолодження: у маслі
2. Відпуск (низький/середній):
 Нагрів: 500–600 °С
 Час витримки: 1–2 години
 Охолодження: на повітрі

Після такої обробки сталь матиме твердість 170–207 НВ, що забезпечує достатній баланс міцності та пластичності.

005 Токарна

Токарний верстат – HAAS ST-15Y

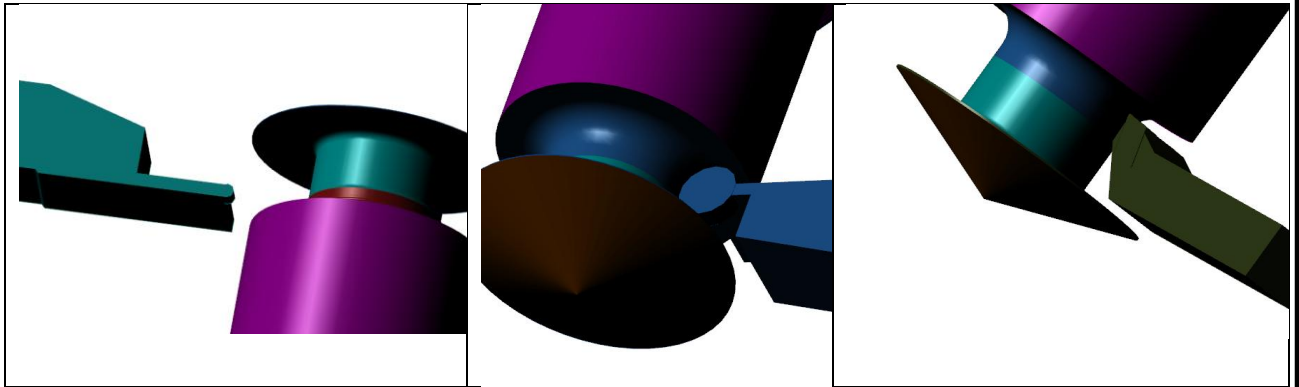


Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

ДП.1102.00.000 ПЗ

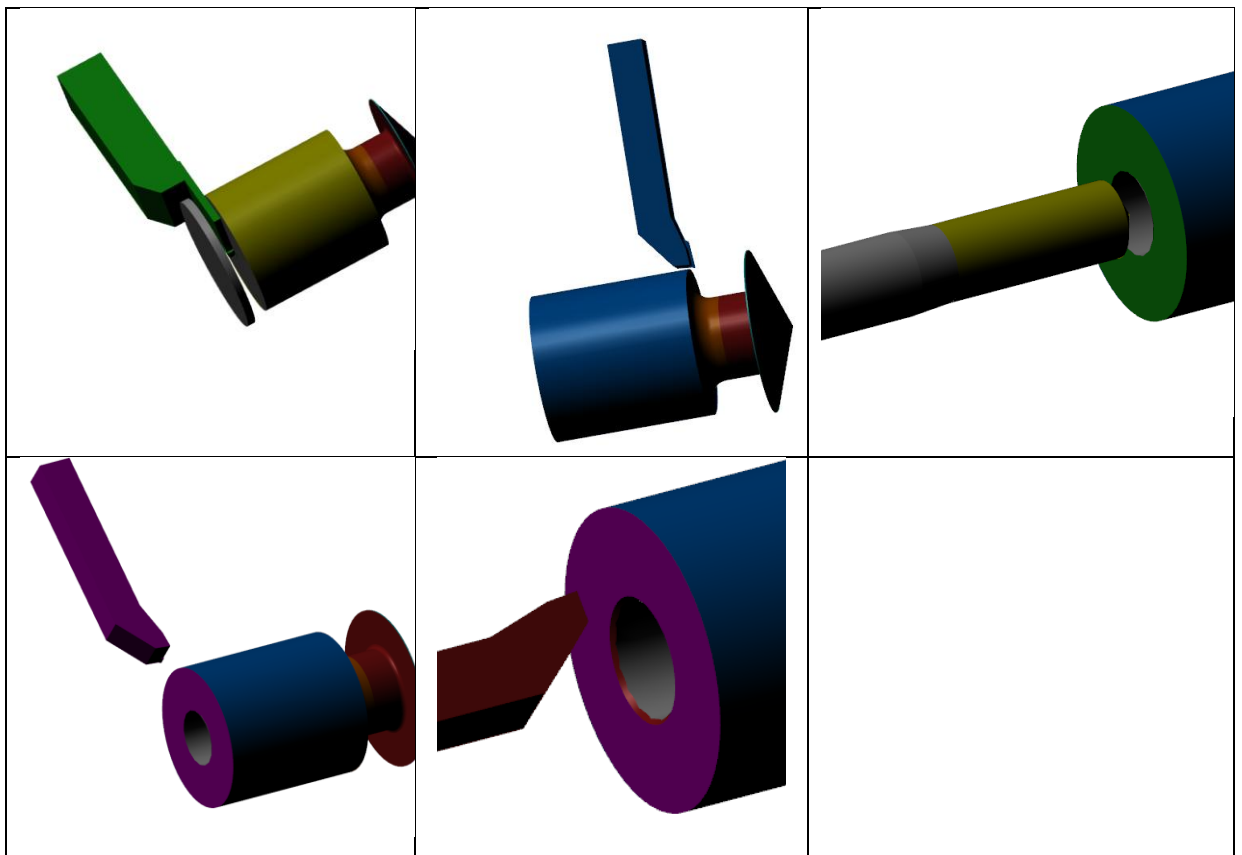
Арк .

80



010 Токарна

Токарний верстат – HAAS ST-15Y



015 Фрезерна

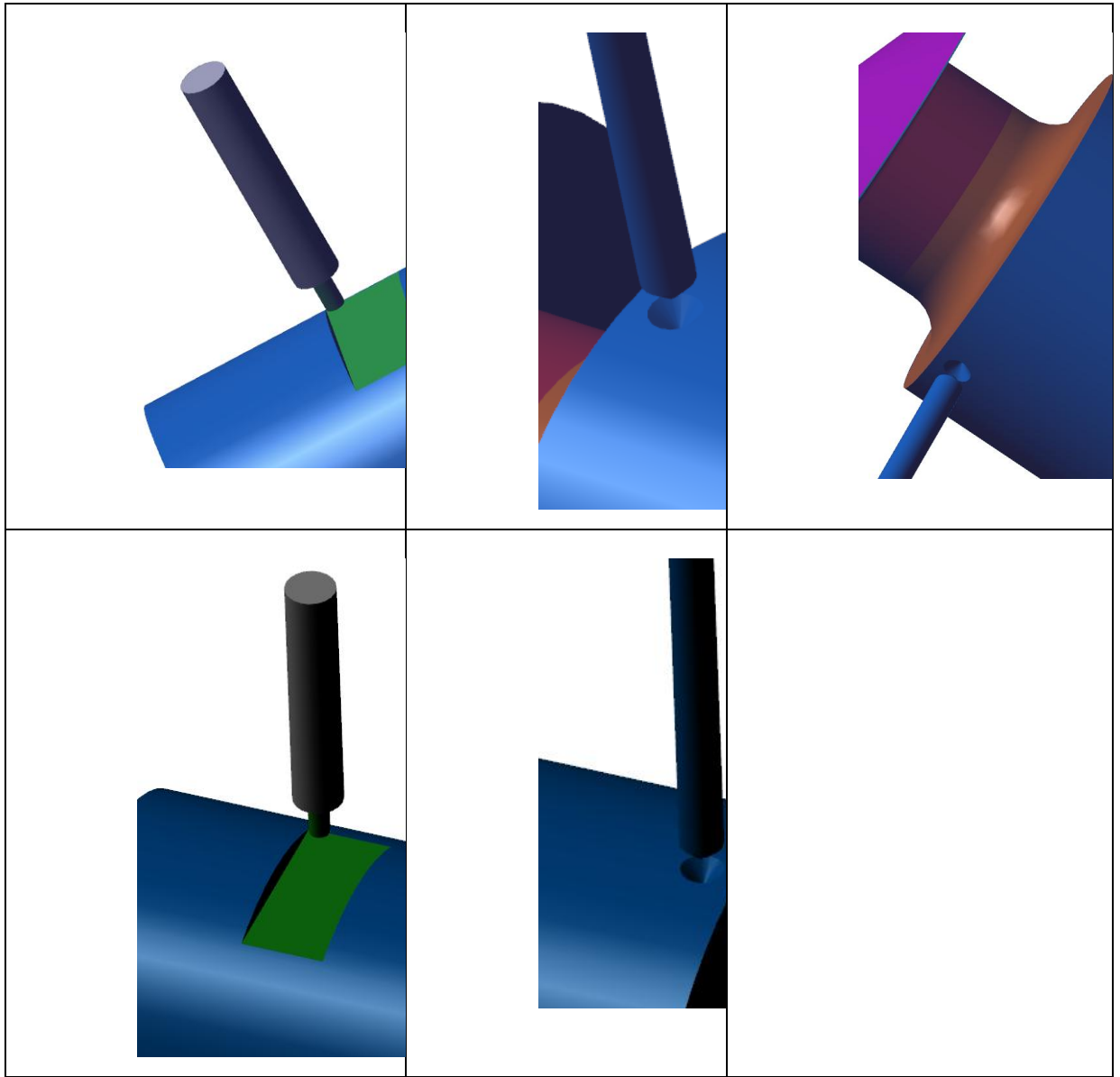
Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК – HAAS VF-3

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

81



6.4. Вибір різального інструменту. Розрахунок режимів різання

Визначаємо режими різання за каталогами та рекомендаціями наданими виробниками інструментів [37-39]:

• **Materials group**
 • **Usage recommendation:** Depicted by ISO colour code. Full dot = very well suited, circle = well suited
 • **Recommended cutting speed:** Cutting speed range V_c m/min. for medium-sized tool diameter.

material	steel			stainless steel			cast iron		titanium alloys	superalloys Fe/Ni-Co-based		aluminium		copper	graphite	hardened steel		
	< 700 N/mm ²	< 1000 N/mm ²	< 1400 N/mm ²	mart./austen.	austenitic	duplex	GG/GTS	GG	60-70	< 30 HRc	≥ 30 HRc	< 8 % Si	≥ 8 % Si	Cu alloy	200/1200	< 55 HRc	< 40 HRc	≥ 40 HRc
	●	●	○	●	●	○	●	○	●	○	○	●	●	●	○	○	○	○
	150-200	80-120	70-90	60-90	40-70	40-70	80-120	80-120	60-70	20-35	15-30	280-350	200-250	120-200	120-200	60-90	40-70	40-70

Cutting speed V_c m/min. Please adjust these guidelines according to clamping operation and machine set-up.

Main application area according to ISO

Groove milling Side milling

D h9 mm	F mm	L1 mm	L mm	D1 h5 mm	Z	Feed rate fz Steel < 1,000 N/mm ² mm/Z	Feed rate fz Steel < 1,000 N/mm ² mm/Z	Item no.
6.0	0.25	16	64	6.0	3	0.050	0.049	254015 0060
8.0	0.50	20	64	8.0	3	0.070	0.049	254015 0080

Для зручності, всі дані заносимо у звітну таблицю під номером 11.

Табл.11

Операція	Перехід	Інструмент	Глибина різання	Подача	Частота обертання	Швидкість різання
			h [мм]	F [мм/об]	N [об/хв]	V [м/хв]
T0	00,1	Різець Sandvik DCLNR 2020K12 пластина CNMG 120412-PM 4325	2,0 0,5	0.25 0.28	850 1000	150 130
T1	01	Різець Sandvik SCLCR 1212F09 пластина CCMT 09T304-PM 4325	1 0,5	0.1 0.1	1000 1000	120 120
T2	02	Різець Sandvik STGCR 1212F11 пластина TCMT 110204- PM 4325	0.5 0,2	0.07 0.08	1200 1200	140 120
T3	03	Різець Sandvik SCLCR 1212F09 пластина CCMT 09T304-PM 4325	1 0,5	0.1 0,08	1000 1000	120 140
T4	04	Різець Sandvik DCLNR 2020K12 пластина	2,0 0,5	0.25 0,18	850 850	140 160

		CNMG 120412-PM 4325				
T4	05	Різець Sandvik DCLNR 2020K12 пластина CNMG 120816-PM 4325	2,5 0,5	0.35 0,25	700 700	140 120
T4	06	Різець Sandvik DCLNR 2020K12 пластина CNMG 120818-PM 4325	2,0 0,5	0.3 0,2	650 650	110 130
T0,1	00,11	Різець Sandvik DCLNR 2020K12 пластина CNMG 120412-PM 4325	2,0 0,5	0.25 0.28	850 1000	150 130
T5	07	Різець Sandvik SCLCR 1212F09 пластина CCMT 09T304-PM 4325	1 0,5	0.1 0.1	1000 1000	120 120
T6	08	Центрувальне свердло 120° Ø18.5 мм Sandvik	3	0,15	800	50
Ф1	09	Свердло Sandvik CoroDrill 460- GM Ø2.5 мм	5	0,4	6360	50
Ф2	010	Центрувальне свердло Ø4 мм, кут 90° DIN 333-A / CoroDrill 860 Spot Drill	5	0,06	4000	50
Ф3	011	Центрувальне свердло Ø4 мм, кут 90° DIN 333-A / CoroDrill 860 Spot Drill	5	0,06	4000	50

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

84

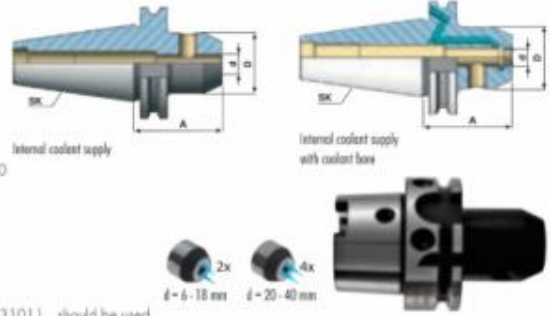
Milling cutter holding fixture, DIN 6359

DIN 6359

- For straight shanks, DIN 1835-B (WELDON)
- Alloyed case-hardened steel with a core tensile strength of min. 950 N/mm²
- Case-hardened to HRc 60 ± 2 (HV 700 ± 50), case depth 0.8 mm ± 0.2 mm, finished
- Prebalanced to G 6.3 at 15,000 rpm
- Taper angle tolerance quality < AT3 in accordance with DIN 7187 and DIN 2080
- Max. true-running accuracy < 0.005 mm
- Bore tolerance H4
- Supplied with clamping screw
- Additional shank designs and AD/B version available on request

DIN 69893 type A (HSK-A)

- Internal coolant supply
- When machining with internal coolant supply, a coolant transfer pipe with art.no. 431011... should be used



Shank	d mm	A mm	D mm	art.no.		€	
				art.no.	€	With coolant bores art.no.	€
HSK 50	6	65	25	434509 5006	84,-	434510 5006	94,-
HSK 50	8	65	28	434509 5008	84,-	434510 5008	94,-
HSK 50	10	65	35	434509 5010	84,-	434510 5010	94,-
HSK 50	12	80	42	434509 5012	84,-	434510 5012	94,-
HSK 50	14	80	44	434509 5014	84,-	434510 5014	94,-
HSK 50	16	80	48	434509 5016	84,-	434510 5016	94,-
HSK 50	18	80	50	434509 5018	84,-	434510 5018	94,-
HSK 50	20	80	52	434509 5020	84,-	434510 5020	94,-
HSK 63	6	65	25	434509 6306	84,-	434510 6306	94,-
HSK 63	6	100	25	434509 6406	99,-		
HSK 63	6	160	25	434509 6506	132,-		
HSK 63	8	65	28	434509 6308	84,-	434510 6308	94,-
HSK 63	8	100	28	434509 6408	99,-		
HSK 63	8	160	28	434509 6508	132,-		
HSK 63	10	65	35	434509 6310	84,-	434510 6310	94,-
HSK 63	10	100	35	434509 6410	99,-		
HSK 63	10	160	35	434509 6510	132,-		
HSK 63	12	160	42	434509 6412	132,-		
HSK 63	12	80	42	434509 6312	84,-	434510 6312	94,-
HSK 63	14	80	44	434509 6314	84,-	434510 6314	94,-
HSK 63	14	160	44	434509 6514	132,-		

Shank	d mm	A mm	D mm	art.no.		€	
				art.no.	€	With coolant bores art.no.	€
HSK 63	16	80	48	434509 6316	84,-	434510 6316	94,-
HSK 63	16	160	48	434509 6416	132,-		
HSK 63	18	80	50	434509 6318	84,-	434510 6318	94,-
HSK 63	18	160	50	434509 6518	132,-		
HSK 63	20	80	52	434509 6320	84,-	434510 6320	94,-
HSK 63	20	160	52	434509 6420	132,-		
HSK 63	25	110	63	434509 6325	92,-	434510 6325	102,-
HSK 63	32	110	72	434509 6332	98,-	434510 6332	108,-
HSK 63	40	125	80	434509 6340	112,-	434510 6340	122,-
HSK 100	6	80	25	434509 1006	117,-	434510 1006	137,-
HSK 100	8	80	28	434509 1008	117,-	434510 1008	137,-
HSK 100	10	80	35	434509 1010	117,-	434510 1010	137,-
HSK 100	12	80	42	434509 1012	117,-	434510 1012	137,-
HSK 100	14	80	44	434509 1014	117,-	434510 1014	137,-
HSK 100	16	100	48	434509 1016	117,-	434510 1016	137,-
HSK 100	18	100	50	434509 1018	117,-	434510 1018	137,-
HSK 100	20	100	52	434509 1020	117,-	434510 1020	137,-
HSK 100	25	100	65	434509 1025	136,-	434510 1025	145,-
HSK 100	32	100	72	434509 1032	142,-	434510 1032	149,-
HSK 100	40	105	80	434509 1040	154,-	434510 1040	177,-

Вимірювальні пристрої:



MITUTOYO SJ-210 PROFILOMETER

TOTAL SEAL SKU: MIT-SJ-210

PRICE: **\$3,248.75**

QUANTITY:

[ADD TO CART](#) [BUY WITH shop Pay](#)

[MORE PAYMENT OPTIONS](#)

Locking screw on bottom

Measurement range mm	Jaw length mm	Vernier mm/inch	art.no.	€	Calibration art.no.	€
150	40	0.05 x 1/128 inch	500207 0150	46,-	070101 0001	7,25



Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

ДП.1102.00.000 ПЗ

SARA Dial indicator

DIN 878 **0,01 mm**

- Matt chrome-plated metal housing
- Rotatable outer ring for zeroing
- Two adjustable inner tolerance marks
- Probe tip thread: M2.5
- Clamping shank \varnothing : 8 mm
- Optional ring clamp, self-locking or with clamping screw
- Supplied in moulded packaging

Measurement range mm	Division mm	External ring \varnothing mm	Ring clamping	art.no.	€	Calibration art.no.	€
10	0.01	58	No	510101 1002	19,95	070140 0001	11,50
10	0.01	58	Yes	510101 1005	19,95	070140 0001	11,50

5121

Compact dial indicator

Measurement range mm	Division mm	External ring \varnothing mm	Ring clamping	art.no.	€	Calibration art.no.	€
8	0.01	42	Yes	510102 0008	28,95	070140 0001	11,50

5121



51010110021002

Measurement range mm	Measurement depth mm	Groove depth A max. mm	Groove width mm	Error limit mm	Reading mm	Measuring probe mm	art.no.	€	Calibration art.no.	€
7-14	34	2.2	0.8	0.01	0.002	Carbide ball, 0.6	521017 0014	431,20	071001 0001	20,-
10-20	75	3.5	1.6	0.02	0.005	Carbide ball, 1.0	521017 0020	431,20	071001 0001	20,-
15-30	77	5.0	1.5	0.02	0.005	Carbide ball, 1.0	521017 0030	431,20	071001 0001	20,-
25-45	85	7.0	1.6	0.02	0.005	Carbide ball, 1.0	521017 0045	431,20	071001 0001	20,-
40-60	84	8.0	1.6	0.02	0.005	Carbide ball, 1.0	521017 0060	431,20	071001 0001	20,-
55-75	84	8.0	1.6	0.02	0.005	Carbide ball, 1.0	521017 0075	431,20	071001 0001	20,-
70-90	84	8.5	1.6	0.02	0.005	Carbide ball, 1.0	521017 0090	431,20	071001 0001	20,-
85-105	84	9.0	1.6	0.02	0.005	Carbide ball, 1.0	521017 0105	431,20	071001 0001	20,-

5123



5210170014

Graduator

- Open graduated semicircle made from normal steel
- 0 to 180° scale, 1° readings, locking screw
- Matt chrome-plated scale with an anti-glare finish

Protractor mm	Rail length mm	art.no.	€	Calibration art.no.	€
80	120	542001 0080	21,40	071501 0001	23,-
120	150	542001 0120	23,-	071501 0001	23,-
150	200	542001 0150	30,70	071501 0001	23,-
200	250	542001 0200	37,10	071501 0001	23,-
300	500	542001 0300	67,50	071501 0001	23,-

5139



542001 0150

5420010080

Radius gauge

- Concave and convex gauges for testing internal and external curves that form part of a circle
- Steel design with milled individual leaves
- Clamping screw for securing the leaves
- Cannot be calibrated

Radii mm	n mm	art.no.	€
1.0 - 7.0	1.0 to 3.0 - 0.25, from 3.0 - 0.5	548505 0017	12,90
7.5-15.0	7.5 to 15, 0 - 0.5	548505 0016	13,95
15.5-25.0	15.5 to 20.0 - 0.5, from 20.0 - 1.0	548505 0015	12,20



548505 0015

548505 0017

Эмн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

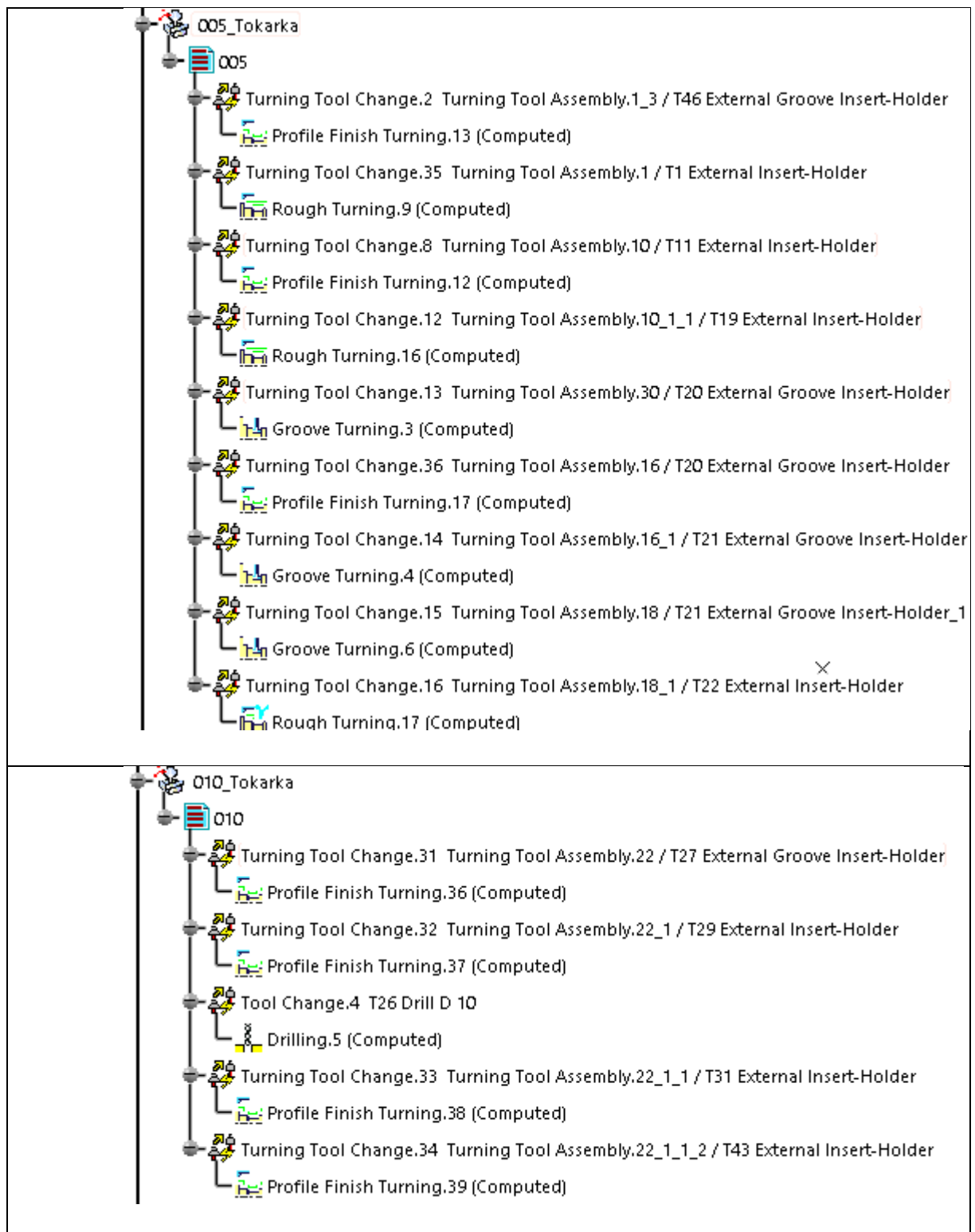
ДП.1102.00.000 ПЗ

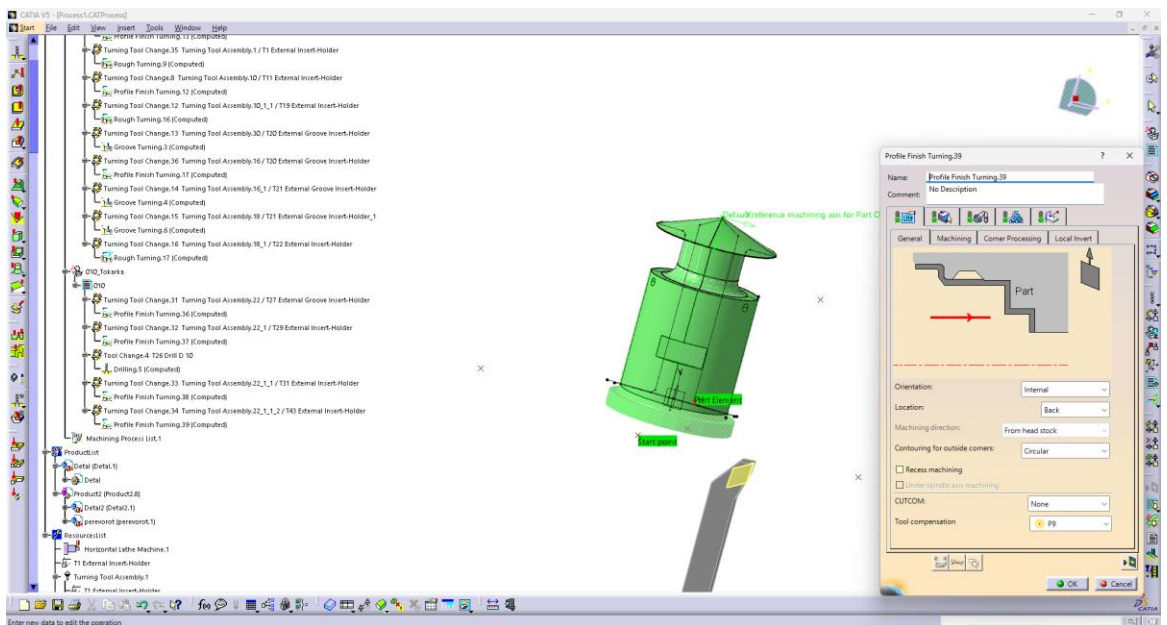
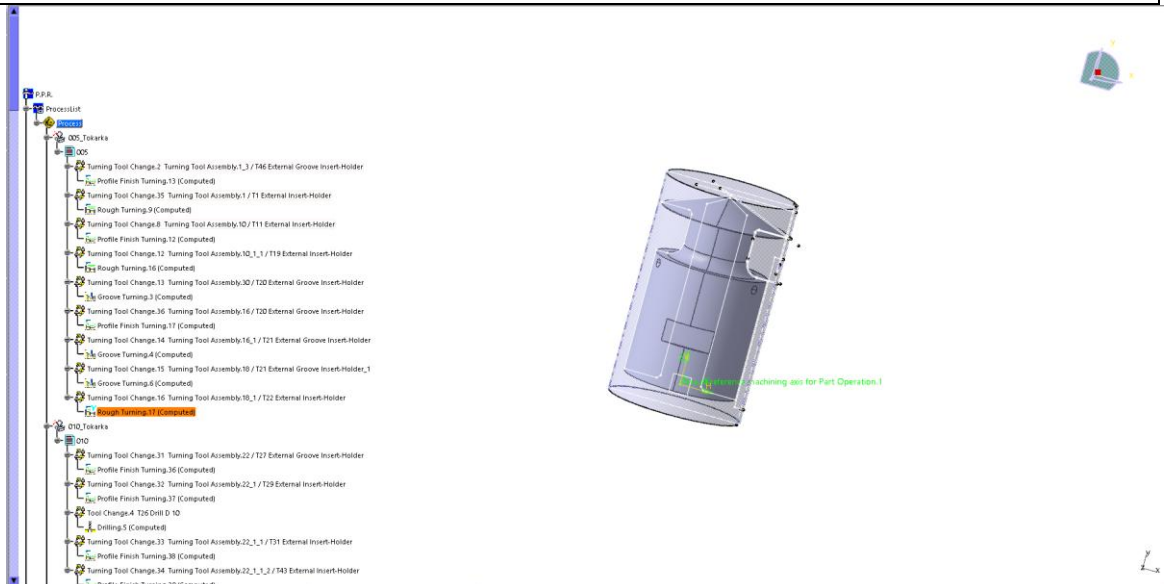
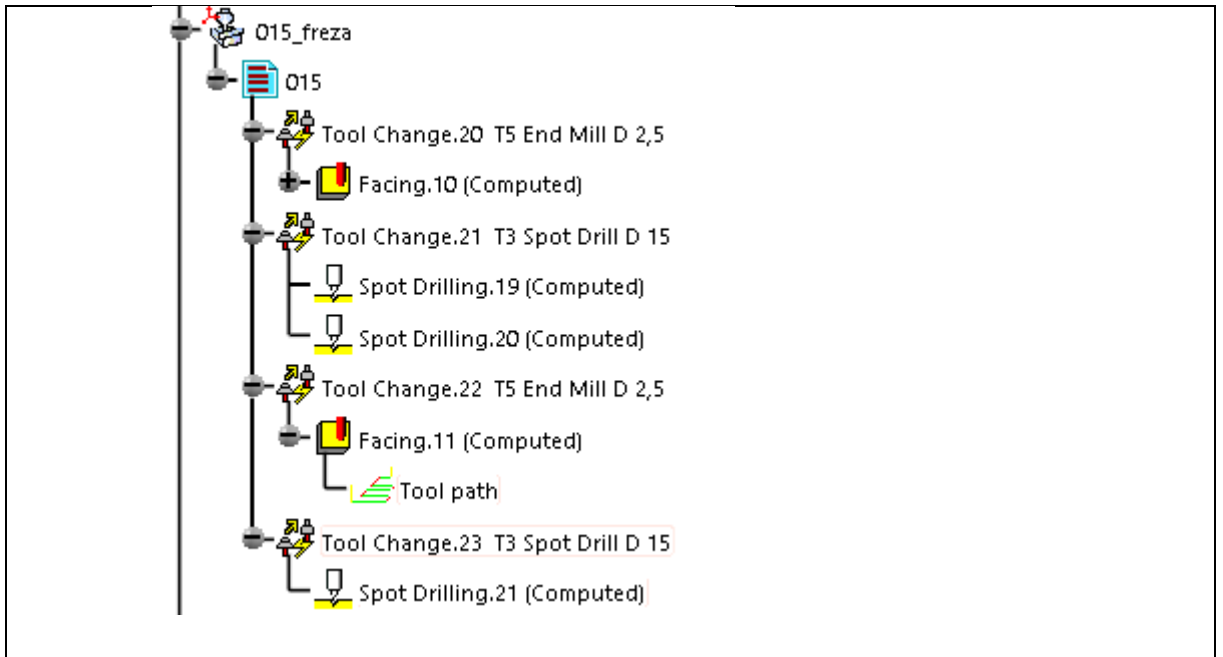
Арк .

87

6.6. Написання управляючих програм

Технологічний процес реалізовано в САМ-системі Catia у відповідності до загальних рекомендацій.



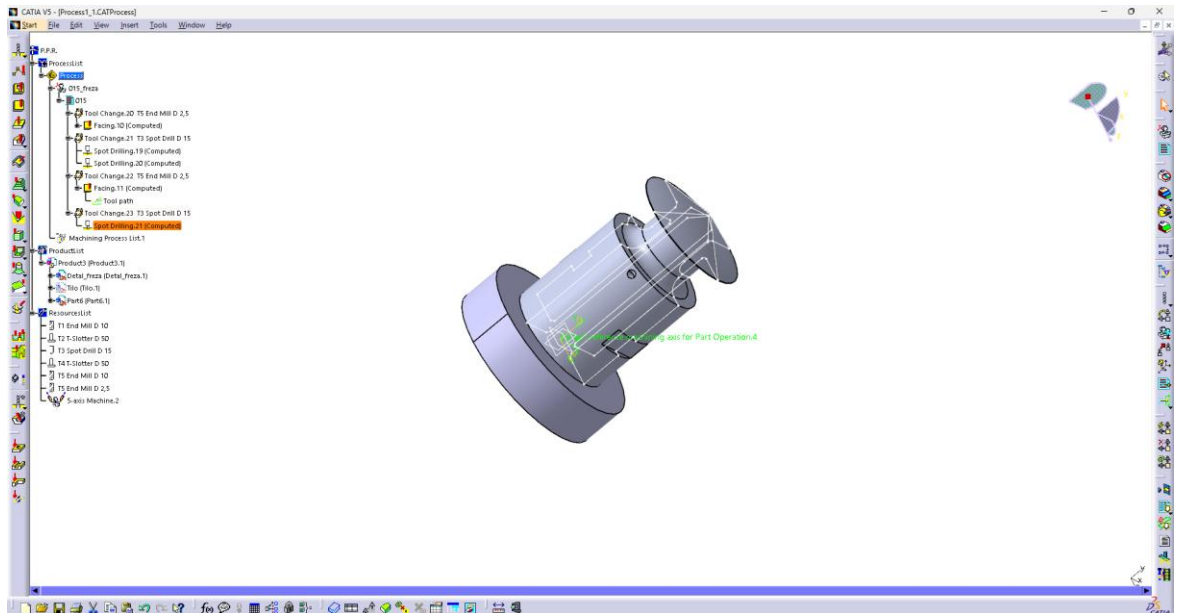


Эмн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

89



6.7. Розрахунок собівартості

1. Заготовка ціна(з урахуванням доставки(адреса-адреса)) – 88572,52 грн.,
 2. Вартість інструментів – 207641,2 грн.
 3. Вартість верстатних пристроїв - 28283,01 грн.
 4. Вартість вимірювальних пристроїв - 157910,79 грн.
- Вартість роботи – 10000 грн.
- Сума всіх пунктів – 492407,52 грн.

6.8. Висновок до розділу 6

У результаті проведення технологічних розрахунків було розроблено маршрут обробки деталі «Випромінювач» для серійної партії в кількості 200 штук. За підсумками:

1. Загальна вартість виготовлення партії склала 492407,52 грн. До неї входять витрати на заготовки, інструмент, оснастку, контрольно-вимірювальні прилади та оплату праці персоналу.

Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.1102.00.000 ПЗ

Арк .

90

2. Середній час виготовлення однієї деталі становить 20 хвилини, що свідчить про добре організований та ефективний технологічний процес.

3. Маса готової деталі після обробки дорівнює 888 грама, що відповідає технічним вимогам і гарантує належну функціональність виробу.

Проектований технологічний процес є доцільним для серійного виробництва й має потенціал для подальшої автоматизації або оптимізації окремих операцій. Підібрані режими обробки та обґрунтовані витрати забезпечують оптимальне поєднання якості продукції, економічної ефективності та часу виготовлення.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		91

Розділ 7

Охорона праці

7.1. Мета та нормативна база

Даний розділ розроблена з метою забезпечення безпечних умов праці під час виготовлення, випробувань, експлуатації та технічного обслуговування ультразвукового диспергатора з розпиленням в тонкому шарі, призначеного для використання в мехатронних системах. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» та інших нормативних актів, таких як ДСТУ EN 12100:2019 «Безпека машин. Загальні принципи конструювання», необхідно ідентифікувати потенційні небезпеки та розробити заходи для їх усунення та мінімізації [40].

Ультразвуковий диспергатор, розроблений у рамках цього проекту, працює з частотою 20,7 кГц, вихідною потужністю 160 Вт і напругою живлення 12 В. Він призначений для розпилення рідин у медичних, сільськогосподарських та промислових системах, що може створювати специфічні ризики для операторів.

7.2. Ідентифікація небезпечних і шкідливих факторів

Виробничий етап.

На етапі виготовлення диспергатора виникають такі ризики:

- **Механічні небезпеки.** Травмування під час механічної обробки деталей (наприклад випромінювача ДП.1102.02.000) на токарних і фрезерних станках через контакт із різальним інструментом або рухомими частинами.
- **Електричні ризики.** Ураження струмом під час складання п'єзоелектричного перетворювача (АСР-841) через несправність ізоляції.
- **Шумові впливи.** Перевищення рівня шуму (понад 85 дБ(А)) під

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		92

час роботи верстатів, що може негативно вплинути на слух працівників.

- **Пилові забруднення.** Утворення металевого пилю під час обробки деталей, що може спричинити подразнення дихальних шляхів.

Етап експлуатації та випробувань.

Під час експлуатації та роботи системи можливі такі фактори:

- **Ультразвукові коливання.** Вплив ультразвуку частотою 20,7 кГц, що може викликати дискомфорт або порушення слуху при тривалому впливі.

- **Вібрація.** Передача вібрацій від розпилювача на руки оператора, що може призвести до захворювань, таких як синдром Рейно.

- **Ризики розбризкування рідини.** При розпиленні з обох поверхонь (п.5.4.1) можливе хаотичне розбризкування рідини, що може призвести до контакту оператора з агресивними речовинами (якщо розпилювач розпилює такі речовини).

Технічне обслуговування.

- **Механічні травми.** Ризик защемлення пальців під час демонтажу (монтажу) компонентів, наприклад кришки (ДП.1102.06.000)

- **Хімічні фактори.** Контакт із залишками рідини, які можуть бути токсичними, під час чищення диспергатору.

7.3. Заходи щодо забезпечення безпеки

Організаційні заходи.

- Проведення обов'язкових інструктажів із безпеки праці (вступний, первинний, вторинний) для всіх працівників, залучених до роботи з диспергатором.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		93

- Обмеження часу безперервної роботи з пристроєм до 3х годин на зміну з обов'язковими перервами для зменшення впливу ультразвуку та вібрації [41].

- Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, таким як віброзахисні рукавиці, захисні окуляри, навушники з шумопоглинанням.

Технічні заходи.

На етапі виробництва забезпечити такі умови:

- Оснащення верстатів захисними кожухами для запобігання контакту з рухомими частинами.

- Використання систем пиловидалення для зменшення концентрації металевого пилю в робочій зоні [42].

- Забезпечення надійного заземлення електричних компонентів [40].

На етапі експлуатації:

- Встановлення захисного екрану навколо розпилюючої поверхні для запобігання розбризкування рідини при хаотичному факелі (п.5.4.1).

- Обмеження рівня ультразвукового випромінювання шляхом використання звукоізоляційних матеріалів у конструкції диспергатору.

На етапі технічного обслуговування:

- Використання інструментів із ізольованими ручками для роботи з електричними компонентами.

- Забезпечення зливу залишків рідини перед демонтажем для уникнення хімічного впливу.

Санітарно-гігієнічні заходи.

- Організація ефективної вентиляції у виробничих приміщеннях для підтримання чистоти повітря та видалення аерозолів [43].

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		94

- Забезпечення робочих місць достатнім освітленням (не менше 400 лк для точних робіт) [44].

- Надання засобів гігієни для рук після роботи з рідинами (мило, антисептики).

7.4. Вимоги до персоналу

- Працівники, які залучені до роботи з ультразвуковим диспергатором, повинні пройти медичний огляд для виявлення протипоказань до роботи з вібрацією чи ультразвуком.

- Допуск до роботи дозволяється лише особам старше 18 років, які мають відповідну кваліфікацію та пройшли навчання з безпечної експлуатації обладнання.

7.5. Висновки до розділу 7

Запропоновані заходи з охорони праці забезпечують безпечні умови для всіх етапів роботи з ультразвуковим диспергатором: від виробництва до експлуатації та обслуговування. Впровадження організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів дозволяє знизити травматизму, професійних захворювань і негативного впливу на здоров'я працівників, що відповідає вимогам чинного законодавства України та стандартам безпеки.

Список літератури

1. Луговський О. Ф. Ультразвукові технологічні процеси. Розпилення та екстрагування. Монографія / О. Ф. Луговський, А. В. Шульга, І. М. Берник, І. А. Гришко, А. В. Мовчанюк, А. І. Зілінський – К: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2022. – 285 с.
2. Lyashok A.V., Yakhno O.M., Lugovskoy O.F. Physical model of the process of ultrasonic liquid nebulization in a thin layer. Вісник НТУУ «КПІ», 2013, №67, с. 110–115.
3. Ляшок А.В., Луговський О.Ф. Дослідження ультразвукового розпилення рідини в тонкому шарі. Вібрації в техніці та технологіях, 2013, №2(70), с. 25–30.
4. Луговський О. Ф., Ляшок А. В., Пижигов Ю. О. Спосіб та пристрої для отримання рідинного аерозолю // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. Київ, 2011. № 61. Т. 1. С. 107–113. .
5. Ляшок А.В. Теоретичні основи ультразвукового розпилення рідин. Вісник НТУУ «КПІ», 2010, №60, с. 45–50.
6. Луговський О.Ф. Механічні методи розпилення рідин. Вісник НТУУ «КПІ», 2008, №55, с. 78–83.
7. Луговський О.Ф., Ляшок А.В. Основи ультразвукового розпилення. Вібрації в техніці та технологіях, 2005, №1(39), с. 12–18.
8. Мовчанюк А.В., Луговський О.Ф. Історичний огляд ультразвукового розпилення. Вісник НТУУ «КПІ», 2015, №72, с. 88–93.
9. Луговський О.Ф., Яхно О.М. Електростатичні методи розпилення в порівнянні з ультразвуковими. Вібрації в техніці та технологіях, 2011, №3(63), с. 33–38.
10. Lugovskoy A.F., Movchanyuk A.V., Chorniy V.I. Problems of building multipoint ultrasonic liquid nebulization systems. Вібрації в техніці та технологіях, 2003, №3(29), с. 3–8.

11. Lyashok A.V. Calculation methodology for an ultrasonic disperser for thin-layer nebulization. Вібрації в техніці та технологіях, 2012, Вип. 1(65), с. 15–20.

12. Lyashok A.V., Lugovskoy O.F. Controlling an ultrasonic fountain using pulse-width modulation. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, Київ, 2012, с. 161–162.

13. Луговський О.Ф., Чухраєв Н.В. Ультразвукова кавітація у сучасних технологіях: монограф. Київ. 2007. 244 с.

14. Lugovskoy A.F., Movchanyuk A.V., Chorniy V.I., Chukhrayev N.V. Possibilities of obtaining fine-dispersed aerosol in medical inhalers. Вісник НТУУ «КПІ», Серія машинобудування, 2000, Вип. 38, с. 163–168.

15. Lugovskoy A.F. Ultrasonic preparation of fuel mixtures for internal combustion engines. Вісник НТУУ «КПІ», Серія машинобудування, 1997, Вип. 32, с. 209–213.

16. Rajan R., Pandit A.B. Correlations to predict droplet size in ultrasonic atomization. Ultrasonics. 2001. 39, N 4. P. 235 – 255.

17. Ляшок А.В., Луговський О.Ф. Ультразвукове розпилення рідини у мехатронних системах штучного мікроклімату. Всеукраїнський науковотехнічний журнал «Промислова гідравліка і пневматика». 2011. №4 (34). С. 20 – 25.

18. Яхно О.М., Луговський О.Ф. Утворення мікрокрапель при ультразвуковому розпиленні. Вісник НТУУ «КПІ», 2014, №70, с. 55–60.

19. Lugovskoy A.F., Yakhno O.M. Ultrasonic spraying of liquids and its application in technological processes. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, 2004, Вип. 64, с. 49–55.

20. Ляшок А.В., Яхно О.М., Луговський О.Ф. Фізична модель процесу ультразвукового розпилення у тонкому шарі. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика». Чернігів, 2012. С. 28.

21. Fogler H.S., Timmerhaus K.D. Ultrasonic Atomization Studies. JASA, 39, №3'1966. P. 515.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		97

22. Ляшок А.В., Яхно О.М. Енергетична ефективність ультразвукового розпилення. Вібрації в техніці та технологіях, 2012, №4(68), с. 40–45.

23. Lyashok A.V., Yakhno O.M., Lugovskoy O.F. Energy model of the ultrasonic nebulization process in a thin layer. MOTROL, 2013, Vol. 15, No. 5, pp. 91–97.

24. Патент України №54053. Пристрій для ультразвукового розпилення рідини / Луговський О.Ф., Мовчанюк А.В., Кривко С.А., Гришко І.А.; заявник і патентовласник Луговський О.Ф. – № u201004879; заявл. 23.04.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. №20.

25. Луговський О.Ф. Апаратне забезпечення ультразвукових кавітаційних технологій. Монографія. /О.Ф. Луговський, А.В. Мовчанюк., І.М. Берник, А.В. Шульга, І.А. Гришко - К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавець ФОП Кушнір Ю.В., 2021. – 216 с.

26. Луговський О.Ф. Теоретичні основи коливань в ультразвукових системах. Вісник НТУУ «КПІ», 2009, №58, с. 30–35.

27. Lugovskoy A.F., Kolosov A.E. Methodology for calculating ultrasonic cavitation devices with emitting plates. Environmental Technologies and Resource Saving, 2005, №1, с. 59–67.

28. Луговський О.Ф., Мовчанюк А.В. Вібраційні ефекти в ультразвукових диспергаторах. Вібрації в техніці та технологіях, 2007, №2(45), с. 20–25.

29. Луговський А. Ф. Ультразвукова кавітація у сучасних технологіях/О. Ф. Луговський, Н. Ст. Чухраєв. - Київ : 2007. - 244 с.

30. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю. В. Технологія машинобудування. Підручник.: Житомир, ЖДТУ – 2005. – 835 с.

31. Якимов О.В., Марчук В.І., Якимов О.О., Ларшин В.П. Технологія машино- та приладобудування. Підручник: Луцьк, ЛДТУ – 2005.-710с.

32. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування: навчально-методичний посібник/О.У. Захаркін.– Суми: Вид-во СумДУ, 2004. – 98 с.

33. Основи технології машинобудування / І. Назаренко, А.Т.Свідерський, Р.І. Рибалко, О.П.Дєдов / Навчальний посібник. Київ, КНУБА, 2010. – 165 с.

34. Технологія обробки на верстатах з ЧПК [Текст] : навч. посіб. для студ. машинобуд. спец. вищ. техн. навч. закл. / Гевко Б. М. [та ін.] ; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя, Каф. технології машинобуд. та автомобілів. - Т. : Крок, 2014. - 131 с. : табл., рис. - Бібліогр.: с. 126-128. - 300 прим. - ISBN 978-617-692-168-4

35. Системи автоматизованого програмування верстатів з ЧПК [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / С. Л. Міранцов [и др.] ; Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ). - Краматорськ : ДДМА, 2012. - 151 с. - Бібліогр.: с. 125. - ISBN 978-966-379-549-2

36. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення [Текст] : навч. посіб. для студентів ВНЗ напрямів підгот. 050502- "Інженерна механіка" та 050503 - "Машинобудування" / Ю. М. Кузнєцов [та ін.]. - Київ ; Кременчук ; Севастополь : Точка, 2014. - 499 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 487-492. - ISBN 978-617-669-149-5

37. <https://abplanalp.ua> – верстати/оснастка/інструмент

38. <https://global.kyocera.com> - оснастка/інструмент

39. <https://www.sandvik.coromant.com> - оснастка/інструмент

40. ДСТУ EN 60204-1:2019. Безпека машин. Електричне обладнання машин. Частина 1. Загальні технічні вимоги.

41. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		99

42. ДСТУ ГОСТ 12.1.005:2008. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2008.

43. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.

44. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.

					ДП.1102.00.000 ПЗ	Арк .
Змн.	Арк .	№ докум.	Підпис	Дата		100