

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут імені акад. І. С. Гулого
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Олександр ГАВВА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»

на тему: Обґрунтування конструкції сепаратора пари у випарному апараті багатоступеневого дистилятора продуктивністю за чистою парою 500 кг/год

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОФ-2-5м

_____ Бруква Олексій Юрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник _____ Чепелюк Олена Олександрівна _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут імені акад. І. С. Гулога

Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма: Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАХФВ

_____ **Олександр ГАВВА**
“ _____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Бруква Олексій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Обґрунтування конструкції сепаратора пари у випарному апараті багатоступеневого дистилятора продуктивністю за чистою парою 500 кг/год

керівник роботи _____ Чепелюк О. О., доцент, кандидат технічних наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 20.11.2023 р. № 940-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2024

3. Вихідні дані до роботи $D_{\text{пар}} = 500$ кг/год; $D_{\text{вип}} = 370$ кг/год; $p_{\text{гр}} = 0,48$ МПа; $p_{\text{вт}} = 0,42$ МПа; $P_{\text{пр}} = 2,2$.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Анотація (українською та англійською мовами); Вступ; Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження; Моделювання процесу сепарування пари і аналіз результатів досліджень; Розрахункова частина; Технологія машинобудування; Охорона праці; Екологія; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу:

Слайди презентації: Актуальність теми; Сучасний стан наукової та практичної проблеми; Мета, завдання, об'єкт і предмети досліджень; Матеріали і методи досліджень; Результати досліджень та їх математично-статистичне оброблення, Висновки.

Креслення: Установа для дистиляції, випарний апарат, креслення модернізованого обладнання, (3-4 листи), результати науково-дослідної роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 21.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Розділи пояснювальної записки:		
	Вступ	10.11.2023	
	Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження	30.11.2023	
	Моделювання процесу сепарування пари і аналіз результатів досліджень	20.12.2023	
	Розрахункова частина	30.12.2023	
	Технологія машинобудування	11.01.2024	
	Охорона праці	20.01.2024	
	Екологія	20.01.2024	
	Висновки	27.01.2024	
	Презентація та креслення	1.02.2024	

Здобувач

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олексій БРУКВА

_____ (ім'я, прізвище)

Олена ЧЕПЕЛЮК

_____ (ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження процесу уловлення крапель води в парі аквадистильатора за допомогою краплевловлювача, оцінка ефективності краплевловлювача та запропонування вдосконалення.

У роботі було досліджено потік пари через змодельований краплевловлювач в пакеті програм SolidWorks за допомогою симуляції в SolidWorks Flow Simulation.

Було описано конструкцію аквадистильатора та технологічний процес аквадистильації. Створено 3D модель краплевловлювача, проведено симуляцію потоку пари та досліджено процеси, які відбувалися під час руху пари. Проведено розрахунки аквадистильатора. Описані заходи щодо вимог охорони праці та екології. Зроблені висновки за результатами дослідження та запропоновано покращена модель краплевловлювача.

Ключові слова: аквадистильатор, краплевловлювач, SolidWorks, вода, пара.

ABSTRACT

The purpose of the qualification work is to study the process of capturing water drops in the steam of an aqua distiller with the help of a drop catcher, to evaluate the efficiency of the drop catcher and to propose an improvement.

In the paper, the flow of steam through a modeled drop catcher in the SolidWorks software package was investigated using simulation in SolidWorks Flow Simulation.

The design of the water distiller and the technological process of water distillation were described. A 3D model of the drop catcher was created, a steam flow simulation was carried out, and the processes that occurred during steam movement were investigated. Calculations of the water distiller have been carried out. Described measures regarding the requirements of labor protection and ecology. Conclusions are drawn based on the results of the research and an improved model of the drop catcher is proposed.

Key words: water distiller, drop catcher, SolidWorks, water, steam.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБґРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1 Принцип роботи аквадистиляції.....	9
1.2 Обладнання для аквадистиляції.....	9
1.3 Вимоги до якості дистильованої води.....	10
1.4 Вимоги GMP до аквадистиляції.....	10
1.5 Конструкція системи управління.....	11
1.5.1 Система управління – Загальний опис.....	11
1.5.2 Загальний опис апаратного забезпечення.....	12
1.5.3 Принципи управління.....	12
1.6 Опис функціонування багатоступінчастого аквадистилятора.....	13
1.6.1 Функціонування багатоступінчастого аквадистилятора.....	20
2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРУВАННЯ ПАРИ І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	30
3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	43
Гідродинамічний та тепловий розрахунки.....	43
Розрахунки теплопередачі.....	45
Визначення швидкості циркуляції.....	46
4. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	54
Технологічний маршрут складання краплевловлювача.....	56
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	57
5.1 Основні небезпечні фактори при роботі з аквадистиляторами.....	57
5.2 Заходи з охорони праці при роботі з аквадистиляторами.....	57
5.3 Конкретні заходи з охорони праці при роботі з аквадистиляторами.....	58
5.4 Термічні травми.....	58
5.5 Хімічні травми.....	59
5.6 Електричні травми.....	60
5.7 Загальні заходи з охорони праці.....	61
6. ЕКОЛОГІЯ.....	63
6.1 Екологічні ризики при роботі з аквадистиляторами.....	63
6.2 Якість обладнання.....	63
6.3 Технічне обслуговування.....	64
6.4 Утилізація обладнання.....	64
6.5. Конкретні приклади.....	65
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Брицька О. Ю.	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст	222202.ДП.05.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

ВСТУП

Аквадистиляція – це процес дистиляції води, при якому вода нагрівається до температури кипіння, а її пари потім охолоджуються і конденсуються. Цей процес дозволяє видалити з води розчинені мінерали, солі та інші домішки.

У фармацевтичному виробництві аквадистиляція є важливою процедурою, оскільки вона дозволяє отримати воду, яка відповідає вимогам якості фармацевтичних препаратів. Вода використовується в багатьох фармацевтичних процесах, включаючи приготування ін'єкційних розчинів, виробництво таблеток та капсул, а також очищення обладнання.

Необхідність аквадистиляції у фармацевтичному виробництві обумовлена кількома факторами:

- Фармацевтичні препарати повинні бути вільними від домішок, які можуть бути шкідливими для здоров'я. Домішки можуть потрапити в воду з різних джерел, включаючи атмосферне повітря, трубопровідну воду та сировину, що використовується в процесі виробництва.
- Фармацевтичні препарати повинні бути стабільними у часі. Домішки можуть призвести до окислення або розкладання фармацевтичних препаратів, що може вплинути на їхню ефективність та безпеку.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепеляк О.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Брицька О. Ю.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> Вступ	222202.ДП.05.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/3

Вимоги GMP (Good Manufacturing Practices) до аквадистиляції у фармацевтичному виробництві включають:

- Вода для аквадистиляції повинна бути отримана з джерела, яке відповідає вимогам якості фармацевтичних препаратів. Це може бути дистильована вода, демінералізована вода або вода, очищена за допомогою інших методів.
- Аквадистиляційна установка повинна бути спроектована та побудована таким чином, щоб забезпечити ефективне видалення домішок з води.

Установка повинна складатися з таких компонентів:

- Теплообмінник для нагрівання води
- Сепаратор для відділення води від пари
- Конденсатор для конденсації парів води
- Фільтр для видалення дрібних часточок

Аквадистиляційна установка повинна належним чином обслуговуватися та контролюватися.

Це включає регулярне очищення та обслуговування установки, а також проведення аналізів води для визначення рівня домішок.

Існує два основних види аквадистиляції:

- Одноступенева аквадистиляція – це найпростіший вид аквадистиляції, при якому вода нагрівається до температури кипіння, а її пари потім охолоджуються і конденсуються. Цей метод дозволяє видалити з води більшість розчинених домішок, але не всі.
- Багатоступенева аквадистиляція – це більш ефективний метод, при якому вода проходить через кілька ступенів дистиляції. Це дозволяє видалити з води навіть найменш розчинні домішки.

В Україні аквадистиляція у фармацевтичному виробництві регламентується такими нормативними документами:

- ДСТУ 4145-2003. Вода для фармацевтичних препаратів. Загальні вимоги.
- GMP для фармацевтичної промисловості. Загальні вимоги до виробництва, контролю якості і зберігання лікарських засобів.

Ці нормативні документи встановлюють вимоги до якості води для фармацевтичних препаратів, а також вимоги до аквадистиляційних установок, які використовуються для отримання цієї води.

Цей процес дозволяє забезпечити безпеку та ефективність фармацевтичних препаратів для здоров'я пацієнтів.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Принцип роботи аквадистиляції

Принцип роботи аквадистиляції заснований на тому, що вода кип'ятиться при температурі 100 °С. При цьому з води випаровуються всі домішки, які мають нижчу температуру кипіння. Пари води охолоджуються в конденсаторі, де вони конденсуються у воду з кращими показниками чистоти.

1.2 Обладнання для аквадистиляції

Основними елементами обладнання для аквадистиляції є:

- Кип'ятильник. У кип'ятильнику вода нагрівається до температури кипіння.
- Конденсатор. У конденсаторі пари води охолоджуються і конденсуються.
- Збірник дистильованої води. У збірнику дистильована вода накопичується.

Крім основних елементів, обладнання для аквадистиляції може включати додаткові елементи, такі як:

- Фільтри. Фільтри служать для видалення з води домішок, які мають розміри, більші за розміри пор фільтру.
- Адсорбенти. Адсорбенти служать для видалення з води домішок, які мають розміри, менші за розміри пор адсорбентів.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепеляк О.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Брицька О. Ю.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 1. Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження	222202.ДП.05.001.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/14	

1.3 Вимоги до якості дистильованої води

Вимоги до якості дистильованої води, яка використовується у фармацевтичному виробництві, встановлюються нормативними документами. У Європі такими документами є стандарти ISO 3696 та EN 285. У США такими документами є стандарти USP та FDA 21 CFR Part 165.

Загальні вимоги до якості дистильованої води для фармацевтичного виробництва включають:

- Відсутність бактерій та інших мікроорганізмів.
- Відсутність органічних речовин, які можуть негативно впливати на якість лікарських засобів.
- Відсутність іонів важких металів, які можуть бути токсичними.
- Контроль якості дистильованої води

Якість дистильованої води контролюється за допомогою хімічних та мікробіологічних аналізів. Хімічні аналізи проводять для визначення вмісту органічних речовин, іонів важких металів та інших домішок. Мікробіологічні аналізи проводять для визначення наявності бактерій та інших мікроорганізмів.

1.4 Вимоги GMP до аквадистиляції

Вимоги GMP до аквадистиляції встановлюються нормативними документами, які регламентують виробництво лікарських засобів. У Європі такими документами є Директива 2003/94/EC та її додатки. У США такими документами є FDA 21 CFR Part 211.

Загальні вимоги GMP до аквадистиляції включають:

- Обладнання для аквадистиляції повинно бути спроектовано та виготовлено відповідно до вимог GMP.
- Обладнання для аквадистиляції повинно належним чином експлуатуватися та обслуговуватися.
- Вода, яка використовується для аквадистиляції, повинна відповідати вимогам якості.
- Процес аквадистиляції повинен бути належним чином документований.

1.5 Конструкція системи управління

1.5.1 Система управління – Загальний опис

Система управління включає логічну одиницю (програмовані логічні контролери – ПЛК) з багатофункціональною панеллю оператора та з периферійним обладнанням. Ці комплектуючі встановлені у шафі управління.

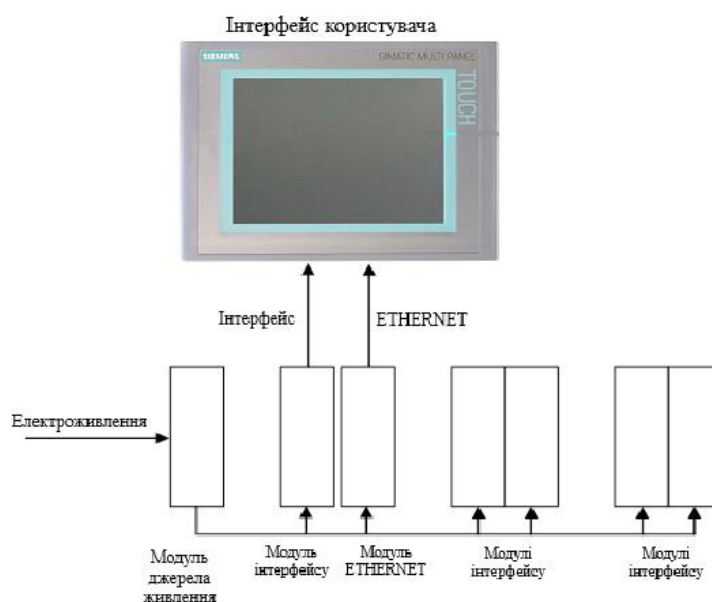


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи управління

1.5.2 Загальний опис апаратного забезпечення

Панель оператора є інтерфейсом користувача на базі Windows із сенсорним дисплеєм, що використовується для виведення інформації та вибору/визначення конфігурацій.

Усі значення параметрів зберігаються безпосередньо в пам'яті модуля центрального процесора (CPU-модуля), і таким чином зберігаються у разі переривання подачі електроживлення.

Модулі вводу/виводу (I/O-модулі) – стандартні модулі панелі оператора.

Для дискретних входів і виходів використовується напруга керування 24 В, постійний струм. Для аналогових входів та виходів використовуються сигнали 4-20 мА.

1.5.3 Принципи управління

Вимірювання температури

Вимірювальний елемент, що використовується в датчику температури – платиновий термометр опору, тип Pt100 Ω за стандартом ІЕС 751 Клас А. Точність некаліброваного датчика при 121°C становить +0.3°C з відтворюваністю не гіршою за 0.05% шкали вимірювань. Точність контуру калібрування при 121°C становить +0.15°C.

Система має перетворювачі температури, що виконують перетворення сигналу термометра опору в сигнал 4-20 мА для кожного аналогового значення температури, моніторинг якого виконує ПЛК.

Аналоговий струмовий сигнал, що відповідає вимірюваній температурі, надходить на канал аналогового входу ПЛК.



Рисунок 1.2 – Структурна схема вимірювача температури

1.6 Опис функціонування багатоступінчастого аквадистилятора

Загальна інформація

Багатоступінчастий аквадистилятор розроблений для виробництва апірогенного дистиляту з деіонізованої (DI), зворотноосмотичної (RO) води.

Конструкція обладнання передбачає безшумність, безпеку, простоту та виняткову надійність та гарантоспроможність. До його складу входять колони, конденсори, попередні нагрівачі, ємність для живильної води та інші периферійні компоненти.

Головним елементом устаткування є колони. Багатоступінчастий аквадистилятор містить від чотирьох до восьми колон залежно від моделі. Їх конструкція — простий механічний пристрій, що дозволяє виробляти високоякісну чисту пару і, далі, конденсувати її для отримання дистиляту. Цей процес випаровування та конденсації виконується покроково від першої до останньої колони. У кожній колоні утворюється чиста пара, яка

конденсується в дистилат. Таким чином, дистиляція відбувається шляхом конденсації чистої пари на виході кожної колони, починаючи з другої та закінчуючи останньою. Цей дистилат накопичується в трубопроводі збору дистилату і потім подається безпосередньо до конденсора.

Стандартно продуктивність по дистилату може бути змінена при роботі обладнання на постійному тиску пари, що нагріває, і змінюваному вручну, в допустимих межах, тиску заводської пари.

Влаштування багатоступінчастого аквадистиллятора

Багатоступінчастий аквадистиллятор складається з кількох колон, з'єднаних послідовно. Більша кількість колон в устаткуванні збільшує загальний ККД системи шляхом економії енергії, що виявляється у зниженні споживання охолоджувальної води та заводської пари, таким чином зменшуючи вартість експлуатації обладнання.

Збільшення ККД є результатом наступних двох чинників:

1. Температура води живлення послідовно підвищується при її протіканні через кожну колону, до попадання в першу колону. При додаванні додаткових колон, вода живлення поглинає більшу кількість енергії. Оскільки температура води живлення підвищується до точки кипіння, для випаровування потрібна менша кількість заводської пари.

2. Температура чистої пари та дистилату послідовно знижується при їх проходженні через кожну колону до попадання в конденсор. При додаванні додаткових колон до обладнання чиста пара і дистилат втрачають більше теплової енергії. Дане зменшення температур вимагає меншої кількості охолоджувальної води і дозволяє чистій парі і дистилату, що залишився,

сконденсуватися в конденсорі. На Рисунку 1.3 наведено графічне уявлення послідовного охолодження з додатковими колонами.

Даний графік зображує споживання середовищ (заводської пари та охолоджуючої води) по відношенню до виходу дистиляту (кг/год) з різною кількістю щаблів в обладнанні. У багатоступінчастому може бути від чотирьох до восьми ступенів, залежно від моделі обладнання.

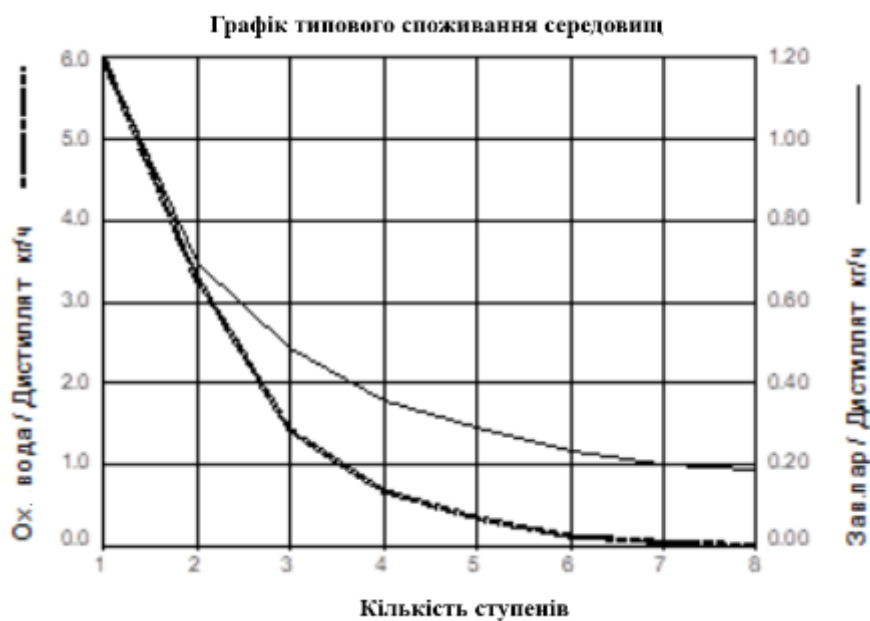


Рисунок 1.3 – Графік споживання середовищ

Кроки температури між колонами

Кроки температури між колонами можуть бути зображені в такому вигляді:

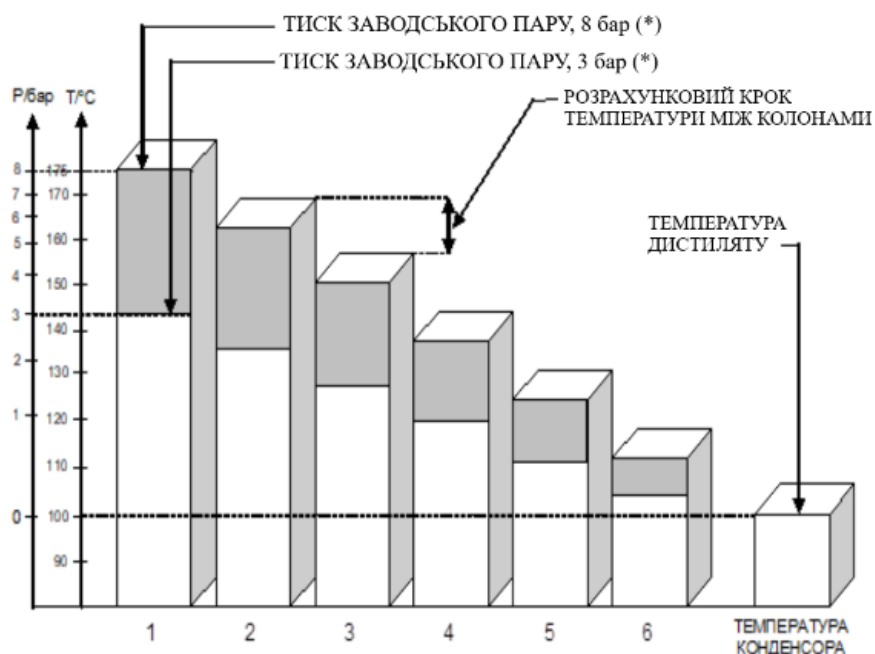


Рисунок 1.4 – Кроки температури між колонами

Даний графік вказаний для 6 колон.

P = Тиск насиченої заводської пари (бар)

T = Температура насиченої заводської пари (у градусах Цельсія)

Діапазон зміни тиску пари, що нагріває, в першій колоні становить від 3 до 8 бар (*).

Встановлення температури дистилляту налаштовується в інтерфейсі користувача (**).

Крок температури автоматично обчислюється ПЛК, залежно від температури пари, що нагріває, температури дистилляту і кількості ступенів (колон) в устаткуванні.

Багатоступеневий аквадистилятор може функціонувати при фіксованому тиску пари, що нагрівається, який налаштовується вручну регулятором тиску. Це дозволяє отримати постійну продуктивність дистилляту.

Контроль рівня в ємності

Багатоступеневий дистиллятор контролюється для підтримки постійної продуктивності, заснованої на заданому користувачем тиску пари, що нагріває. Заданий користувачем мінімальний («Пуск») та максимальний («Стоп») рівні в ємності використовуються для запуску та зупинки процесу дистиляції.

Під час холодного запуску (ємність для WFI порожня, рівень 0%) напрацювання дистилляту починається автоматично після виконання програм запуску в роботу при виборі функції ДИСТИЛЯЦІЯ або СКИДАННЯ в інтерфейсі користувача («ДИСТИЛЯЦІЯ обрана» або «СКИДАННЯ обране»). Після досягнення рівня зупинки (B) процес дистиляції зупиняється. Коли обсяг дистилляту впаде до рівня повторного запуску (A), процес дистиляції відновлюється.

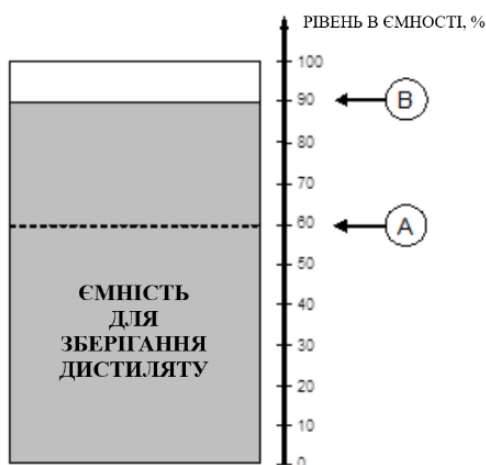


Рисунок 1.5 – Контроль рівня в ємності

A = Рівень запуску в ємності для дистилляту при нормальній роботі (вкл/викл контакт, що надається замовником (цифровий вхід)).

B = Рівень зупинки в ємності для дистилляту при нормальній роботі (вкл/викл контакт, що надається замовником (цифровий вхід)).

Колона 1

На Рисунку 1.6 зображено пристрій першої колони:

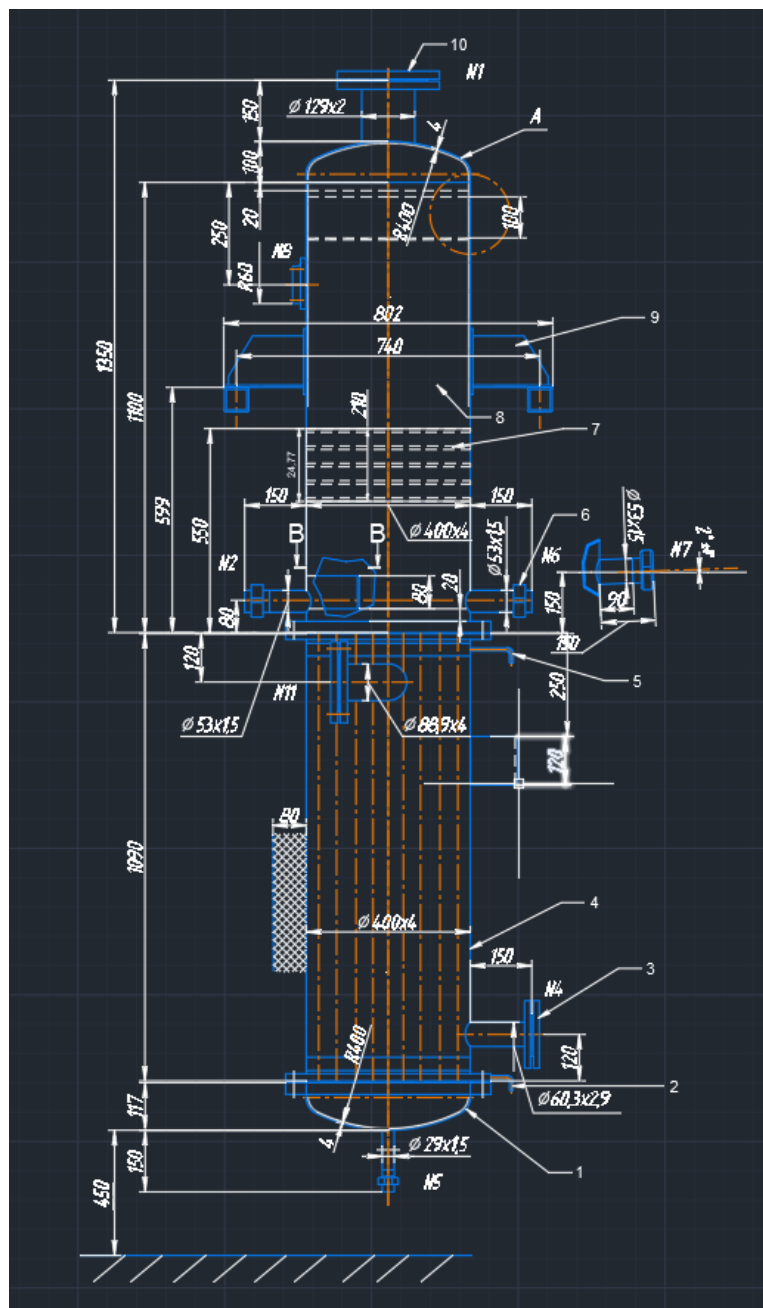


Рисунок 1.6 – Подвійна кожухотрубна колона

Наступні колони

На Рисунку 1.7 зображено пристрій наступних колон у перерізі:

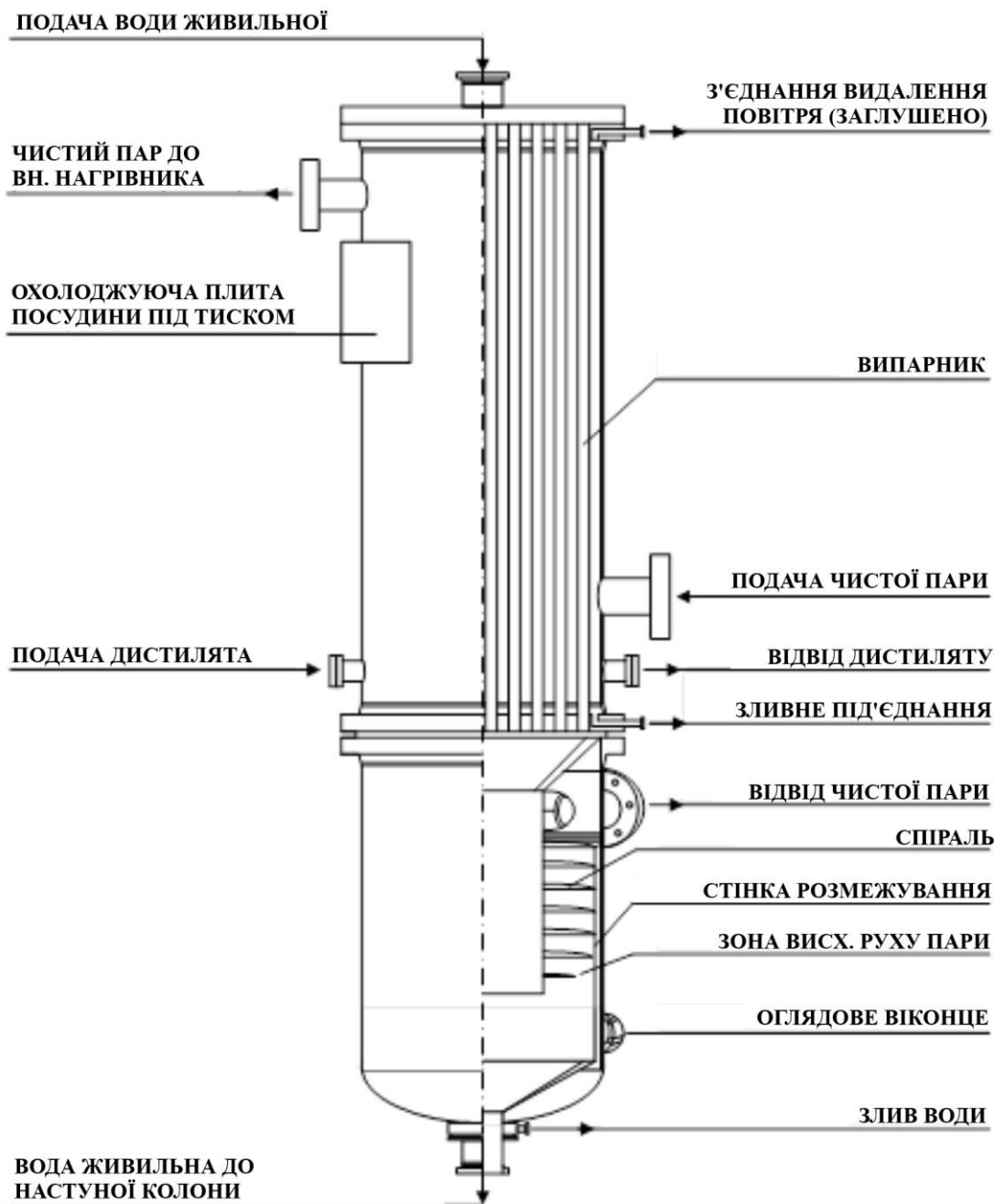


Рисунок 1.7 – Наступні колони

Випаровування живильної води в першій колоні

Спочатку живильна вода подається з системи попередньої підготовки через ємності для води, що живить, конденсори і попередні нагрівачі, в першу колону. Вода, що живить, перш ніж потрапити у верхню частину першої колони, ефективно поглинає теплову енергію в конденсорах і попередніх нагрівачах.

Живильна вода подається з верхньої частини колони через сопло розпилення живильної води та дифузійний лист і у вигляді дрібного водяного туману проходить у низхідному напрямку всередині поверхні труб. Плівка води, що утворилася, миттєво випаровується, нагрівається заводською парою на робочій стороні труб. Даний фазовий перехід води в пару істотно збільшує швидкість середовища з наближенням до дна колони.

Випаровування живильної води в наступних колонах

Решта живильної води, що не випарувалася в попередній колоні, протікає через сопло регулювання витрати у верхню частину наступної колони.

Живильна вода подається з верхньої частини колони через дифузійний лист у вигляді дрібного водяного туману, і проходить у низхідному напрямку всередині поверхні труб. Плівка води, що утворилася, миттєво випаровується, нагрівається чистою парою на робочій стороні труб. Даний фазовий перехід води в пару істотно збільшує швидкість середовища з наближенням до дна колони.

Відділення крапель

Коли пара, що містить краплі води, досягає дна колони, змінює напрямок на 180 градусів і починає рух вгору. Метою даної зміни напрямку є поділ випареної і не випареної частин живильної води. Частина живильної води, що випарувалася, рухається вгору від дна колони, а частина, що не випарувалася, потрапляє з дна колони в наступну колону.

Частина живильної води, що випарувалася, рухається вгору через сепаратор в зоні висхідного руху пари, вздовж напрямних спіральної форми, при цьому продовжуючи набирати швидкість. Мікроскопічні краплі, що залишилися, і пірогенні забруднення відкидаються відцентровою силою до зовнішньої стінки і видаляються через вертикальні отвори в стінках зони висхідного руху пари.

Відокремлені забруднення виводяться за допомогою зливу з простору між циліндричною стінкою зони висхідного руху пари та зовнішньою стінкою колони. Злив виконується у кожній колоні, що гарантує високу якість дистилляту на виході.

Видалення газу

Видалення газу з колони 1

Багатоступінчастий аквадистиллятор забезпечений пристроєм безперервного відділення газу в колоні 1. Вода, що подається в першу колону, проходить крізь форсунку розпилювача живильної води і простір відокремлювача газу. Гази відводяться через лінію видалення газу.

Видалення газу з лінії збору дистилляту

Багатоступінчастий аквадистиллятор забезпечує безперервне видалення газу з лінії збору дистилляту. З'єднання для видалення газу розміщується між останнім попереднім нагрівачем та конденсорами. Гази відводяться через лінію видалення газу.

Видалення газу з ліній зливу

Багатоступінчастий аквадистиллятор забезпечує безперервне видалення газу із випускних ліній зливу. Устаткування може містити декілька ліній видалення газу. Гази відводяться через лінію видалення газу.

Конденсори

Багатоступінчастий аквадистиллятор має два конденсори, встановлені в горизонтальному положенні.

Конденсор являє собою подвійну кожухотрубну конструкцію, що гарантує, що вода, що живить і охолоджує, не можуть контактувати з дистиллятом, що напрацьовується.

На Рисунку 1.8 зображено конструкцію конденсорів.

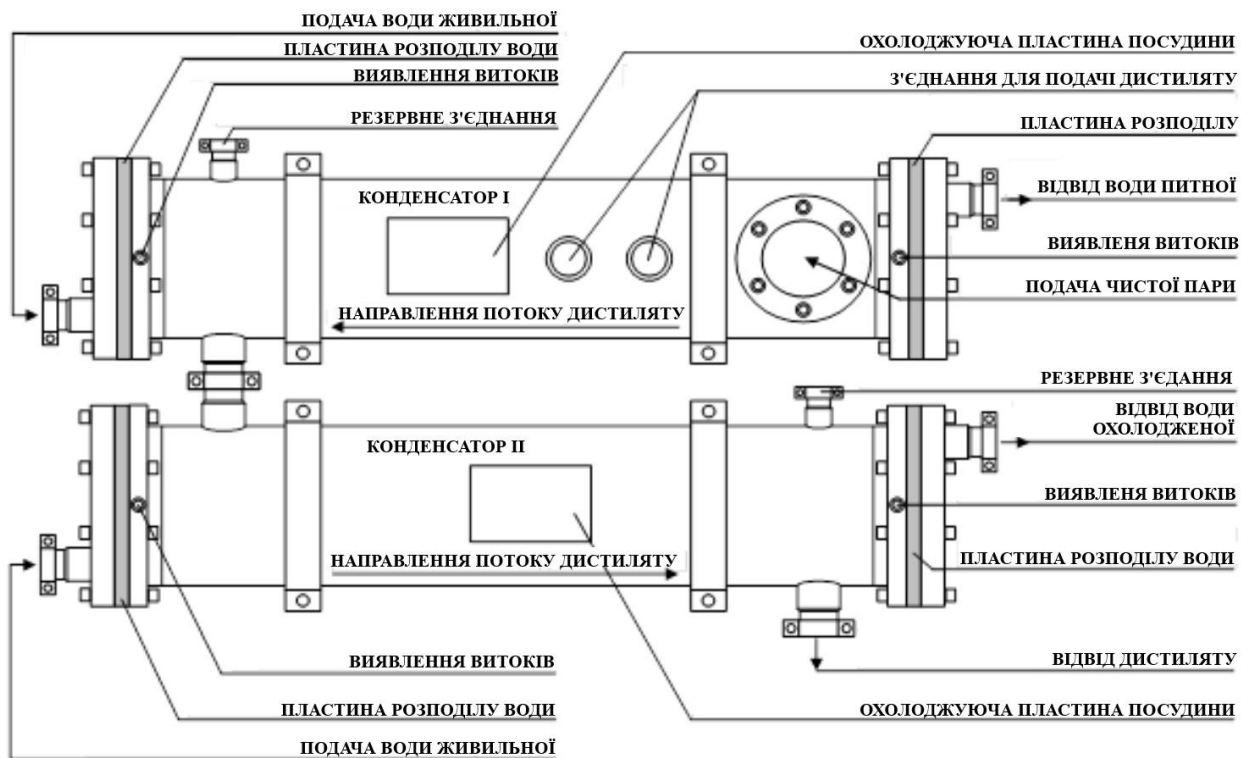


Рисунок 1.8 – Конденсатори I та II

Апірогенна чиста пара з останньої колони подається в конденсор, де відбувається її конденсація в дистилат. Дистильована вода на виході відповідає або перевищує вимоги Фармакопеї щодо води для ін'єкцій (WFI).

Конденсор призначений для:

1. Попереднього нагрівання живильної води
2. Регулювання температури дистилату на виході
3. Конденсації чистої пари в дистилат на виході останньої колони

Конденсор охолоджується в основному охолоджувальною водою, що номінально має температуру 15°C. Загальна потреба в охолодній воді залежить від кількості щаблів у багатоступінчастому аквадистилляторі та від температури охолоджувальної води. Контроль температури конденсора здійснюється повністю автоматично, при цьому уставка та параметри PID-

регулятора можуть бути змінені через інтерфейс користувача. Уставка, як правило, задається як значення, що трохи перевищує температуру кипіння води при атмосферному тиску. Це забезпечує низький позитивний тиск у конденсорі.

Конденсор має фільтр стерильного повітря, який усуває вплив на стерильність коливань тиску в конденсорі.

Злив

Невелика частина живильної води, що відокремлюється відцентровою силою від пари у вигляді крапель, містить усі забруднення, що відокремлюються від живильної води. Ця частина називається «Слив» (“Blowdown”) і становить приблизно 10-15% від продуктивності дистилляту, за відсутності протитиску (*) в лінії виходу дистилляту. Злив виводиться з кожної колони у загальний збірний трубопровід.

*При виконанні дистиляції з протитиском кількість зливу обчислюється наступним чином:

Протитиск 100 мБар = 1 м = вихід зливу 15%

Протитиск 200 мБар = 2 м = вихід зливу 20%

Протитиск 300 мБар = 3 м = вихід зливу 25%

Рівень концентрації та загальної кількості розчинених твердих речовин у зливі є дуже високим. Злив має високу хімічну активність та сприяє корозії. Злив слід скидати в заводську каналізацію і не використовувати для будь-яких інших цілей.

Принцип функціонування ємності для води живлення

Рівень води живлення в ємності контролюється поплавковим клапаном. У міру зниження рівня живильної води, поплавець відкриває впускний клапан, заповнюючи ємності живильною водою, до моменту підйому поплавця, що закриває впускний клапан. Поплавковий клапан спрацьовує при необхідності додавання води до ємності. Чим більше споживання дистилляту, тим менше часу займає робочий цикл поплавкового клапана. При низькому споживанні дистилляту робочий цикл поплавкового клапана має велику тривалість.

На Рисунку 1.9 показано конструкцію ємності для живильної води:

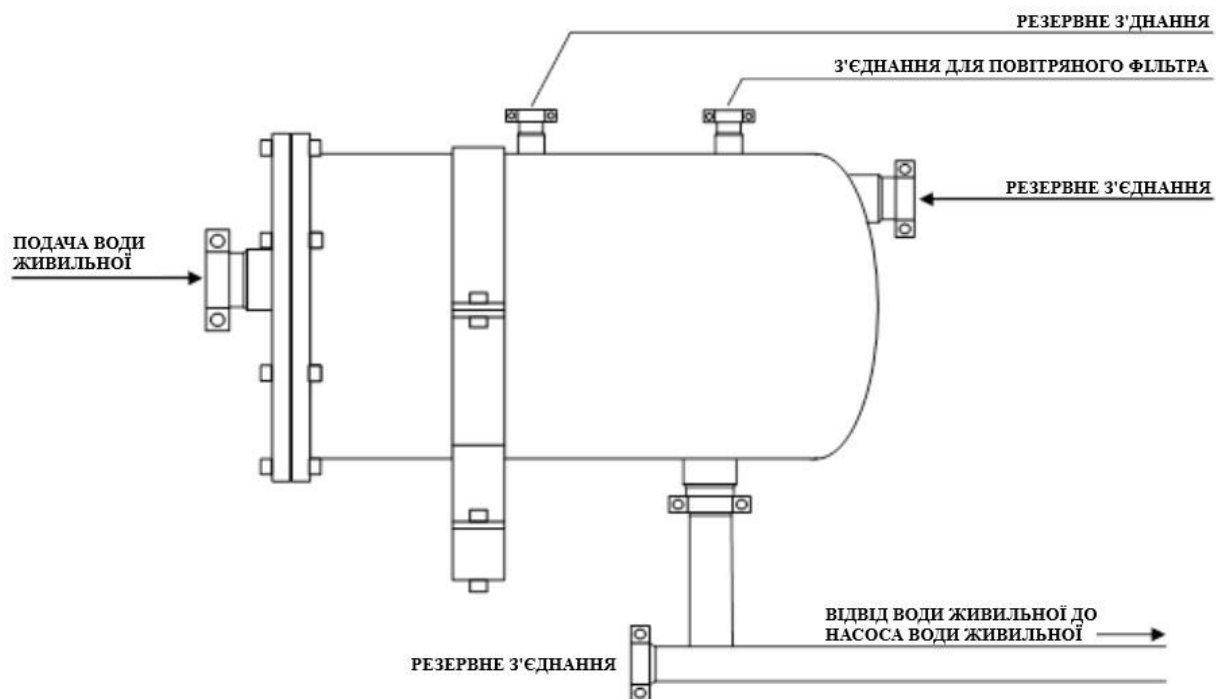


Рисунок 1.9 – Узагальнений вид конструкції ємності для живильної води

Попереднє нагрівання води живильної

Вода, що надходить в першу колону, попередньо нагрівається за допомогою теплообмінників, використовуючи наявну теплову енергію в попередніх нагрівачах.

Попередній нагрівач являє собою подвійну кожухотрубну конструкцію, що гарантує відсутність контакту між живильною водою і чистою парою або дистиллятом, що напрацьовується.

Конструкція попереднього нагрівача зображена на Рисунку 1.10.

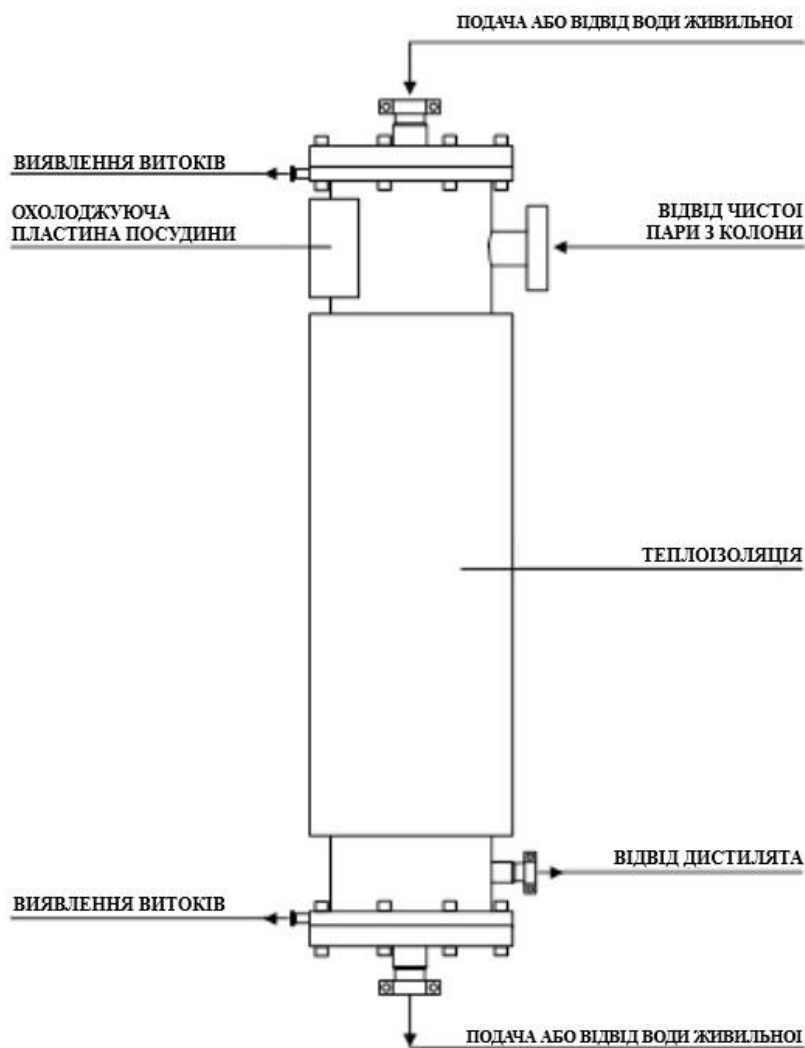


Рисунок 1.10 – Попередній нагрівач

Вимірювання якості живильної води

Якість води живлення постійно контролюється аналізатором якості, який постійно вимірює провідність або питомий опір і температуру води живлення при роботі обладнання. Датчик якості води живлення встановлений в лінію живильної води за допомогою з'єднання «tri-clamp».

Система вимірювання якості живильної води складається з наступних компонентів:

- Аналізатор провідності
- Датчик вимірювання провідності зі з'єднанням «tri-clamp»

Якщо виміряна провідність чи питомий опір перебувають поза заданого аварійного діапазону, то активується сигнал аварії і обладнання зупиняється.

Вимірювання якості дистилляту

Якість апірогенного дистилляту піддається постійному моніторингу аналізатором якості. Він безперервно вимірює провідність чи питомий опір дистилляту під час роботи устаткування. Вимірювальний датчик встановлений за допомогою з'єднання tri-clamp на вихідній лінії дистилляту.

Система вимірювання якості дистилляту складається з наступних компонентів:

- Аналізатор провідності
- Датчик вимірювання провідності зі з'єднанням «tri-clamp»
- Пробовідбірний кран (Скидання в каналізацію/Проба)

Якщо виміряна провідність чи питомий опір перебувають поза заданого аварійного діапазону, то активується сигнал аварії і обладнання зупиняється.

Схема стадій процесу

Стадії процесу багатоступінчастого дистилятора зображені на Рисунку 1.11.

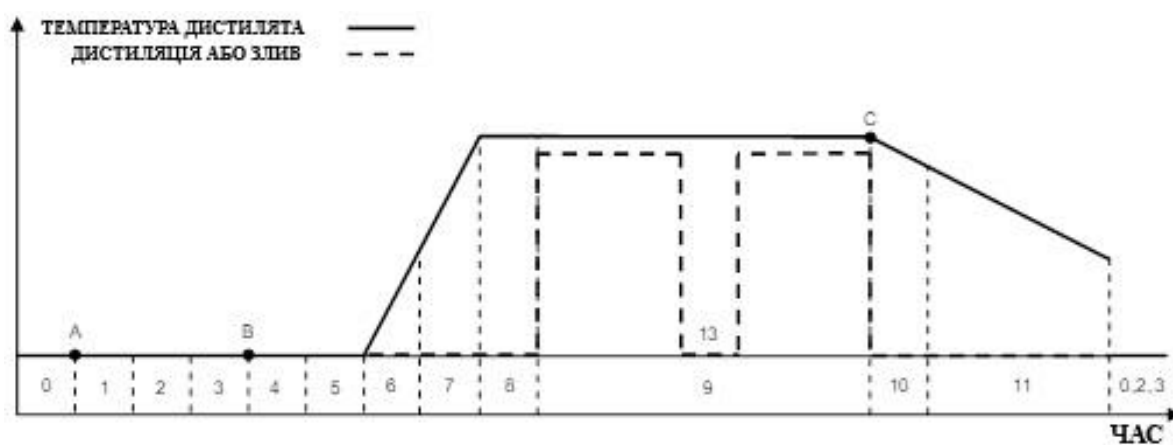


Рисунок 1.11 — Схема стадій процесу

Стадії процесу на графіку позначені такими номерами:

0 = Вимкнено електроживлення (очікування запуску)

1 = Ініціалізація

2 = Сервіс

3 = Очікування

4 = Заповнення трубопроводу

5 = Заповнення ємності для живильної води

6 = Попереднє нагрівання

7 = Нагрівання

8 = Санітизація

9 = Дистиляція

10 = Попереднє охолодження

11 = Охолодження

13 = Скидання

A = Вимикач з ключем "Мережа" ("Power") встановлено в положення "ВКЛ" ("ON/I").

B = Активована («Вибрана») функція «ДИСТИЛЯЦІЯ» або «СКИД» із сенсорної панелі (або сигнал запуску з ємності дистиляту, або сигнал віддаленого запуску, якщо є в системі).

C = Вимикач з ключем «Мережа» («Power») встановлено в положення «ВИМК» («OFF»), обидві функції «ДИСТИЛЯЦІЯ» та «СКИД» деактивовані, активний сигнал аварії або ємності для зберігання дистиляту заповнена (або сигнал аварійної зупинки, якщо є у системі).

2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРУВАННЯ ПАРИ І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

У цьому дослідженні було проведено комп'ютерне моделювання краплевлловлювача аквадистилятора за допомогою програмного пакету SolidWorks Flow Simulation. Модель краплевлловлювача розроблена за допомогою програмного пакету SolidWorks за габаритами об'єкта дослідження в існуючій установці, які становлять 400×210 мм.

Метою дослідження було:

- Оцінити ефективність краплевлловлювача
- Запропонувати вдосконалення за результатами

Створена 3D-модель краплевлловлювача в SolidWorks:

- Деталь краплевлловлювача з габаритами 400×210 мм (з існуючого краплевлловлювача);
- Товщина перегородок 10 мм;
- 20 отворів в кожній перегородці;
- 2 моделі перегородок (перегородка А, перегородка Б), розташовані в шаховому порядку на відстані 40 мм одне від одного;
- Всього 5 перегородок в краплевлловлювачі.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепеляк О.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Брицька О. Ю.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 2. Моделювання процесу сепарування пари і аналіз результатів досліджень	222202.ДП.05.002.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/14	

Процес дослідження

Після створення моделі краплевловлювача в SolidWorks, було застосовано програмний пакет SolidWorks Flow Simulation, за допомогою інструмента “Wizard” (Рисунок 2.1) було задано параметри проекту.

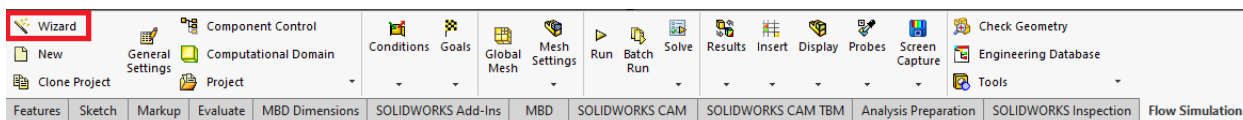


Рисунок 2.1 — Flow Simulation, інструмент “Wizard”

Предмет дослідження у вкладці Fluids було обрано “Steam”, пара (Рисунок 2.2).

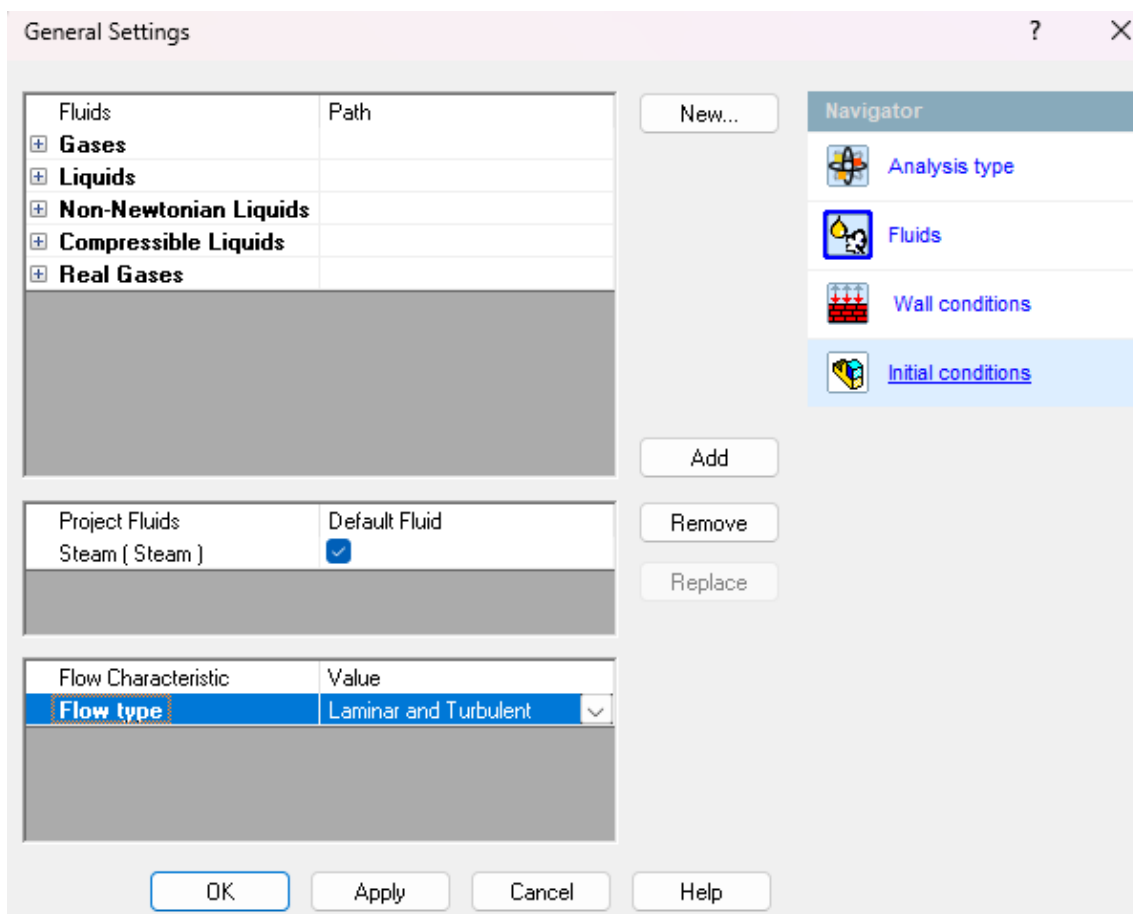


Рисунок 2.2 — Вибір предмету дослідження

Так як модель було зроблено у SolidWorks, Flow Simulation сприймає всі елементи моделі, як тверде тіло, що в подальшому при задані граничних умов, дозволяє не вказувати додатково стінки в граничних умовах і

достатньо вказати у властивостях стінок їх шорсткість. Встановлюємо рекомендовану шорсткість стінок 1.6 мкм у вкладці Wall conditions Загальних налаштувань проекту (Рисунок 2.3).

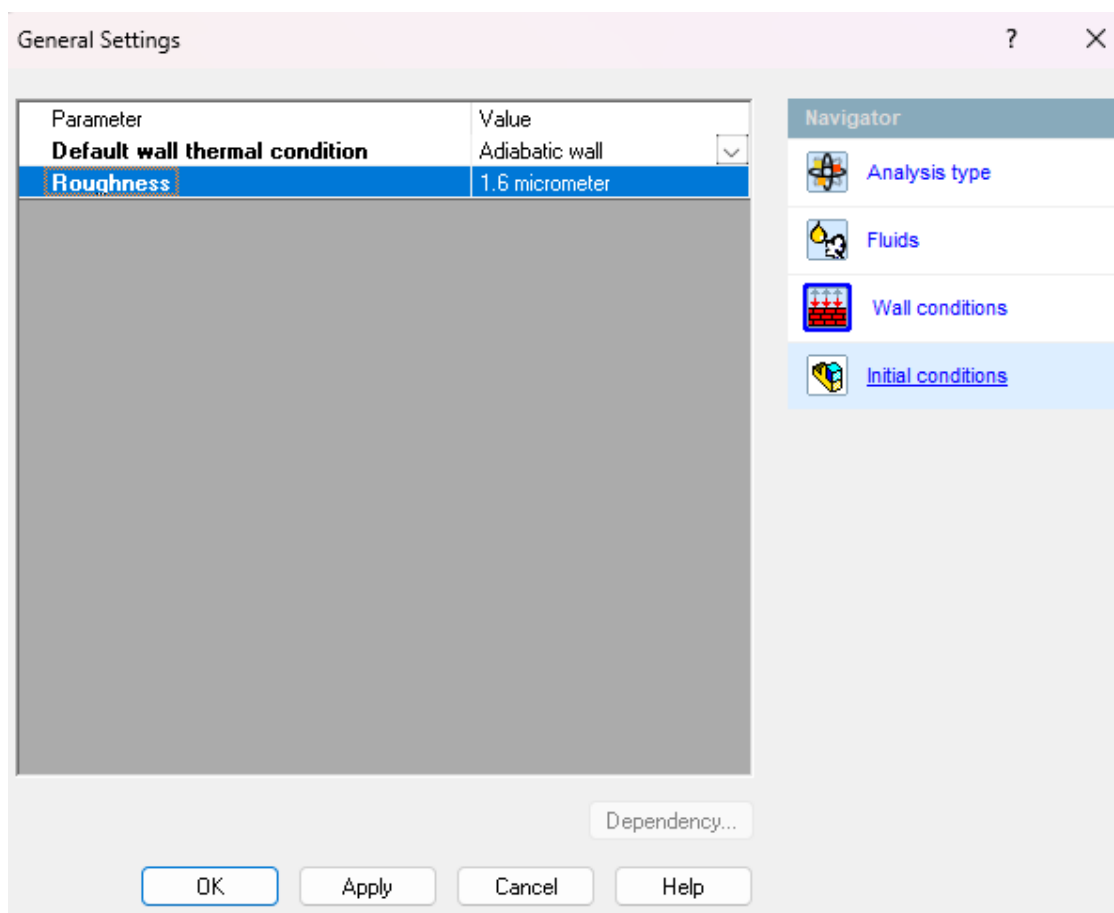


Рисунок 2.3 — Вибір параметрів стінок

Початкові умови для досліджень залишаємо стандартними (Рисунок 2.4), які є нормальними умовами за NIST (Національного інституту стандартів і технологій):

- 293.2 K (20 °C);
- 101325 Па (1 атм).

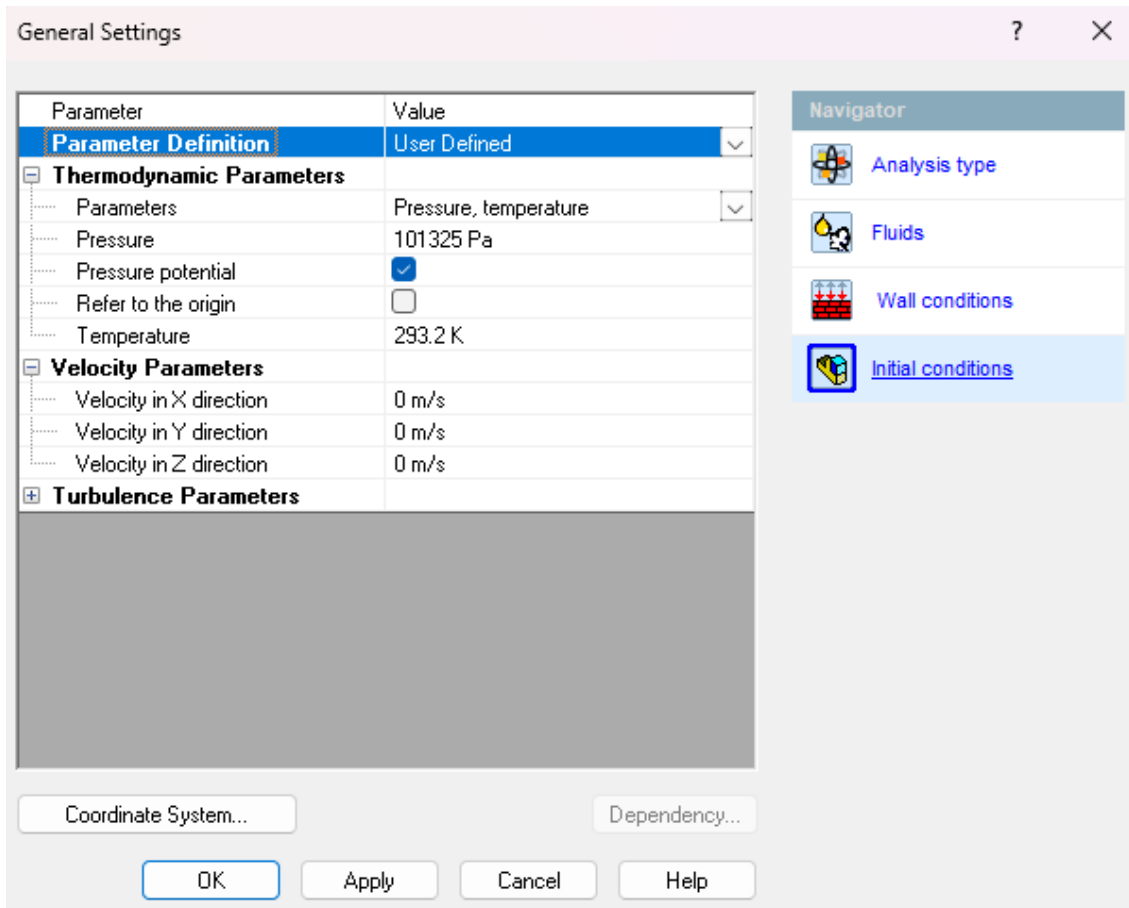


Рисунок 2.4 — Вибір початкових умов

Після налаштування проекту, було розпочато введення граничних умов.

З метою кращого візуального сприйняття та більш явного бачення перебігу симуляції було додано частини колони вище і нижче краплєвловлювача, по 200 мм з кожного боку.

Додавання частин колони дозволяє бачити краплєвловлювач в контексті всієї колони, це полегшує розуміння того, як краплєвловлювач впливає на потік пари; робить візуалізацію потоку пари більш чіткою, що полегшує виявлення проблемних зон і зон турбулентності. А також показує результати симуляції більш точними, так як модель буде враховувати вплив всієї колони на потік пари.

На вході було задано граничні умови за допомогою Total Pressure (Рисунок 2.5), вказавши температуру пари в 161 °C (зادля зменшення ризику

виникнення помилок при розрахунку через вказування значень, які містять не цілі числа, було вказано 434 К).

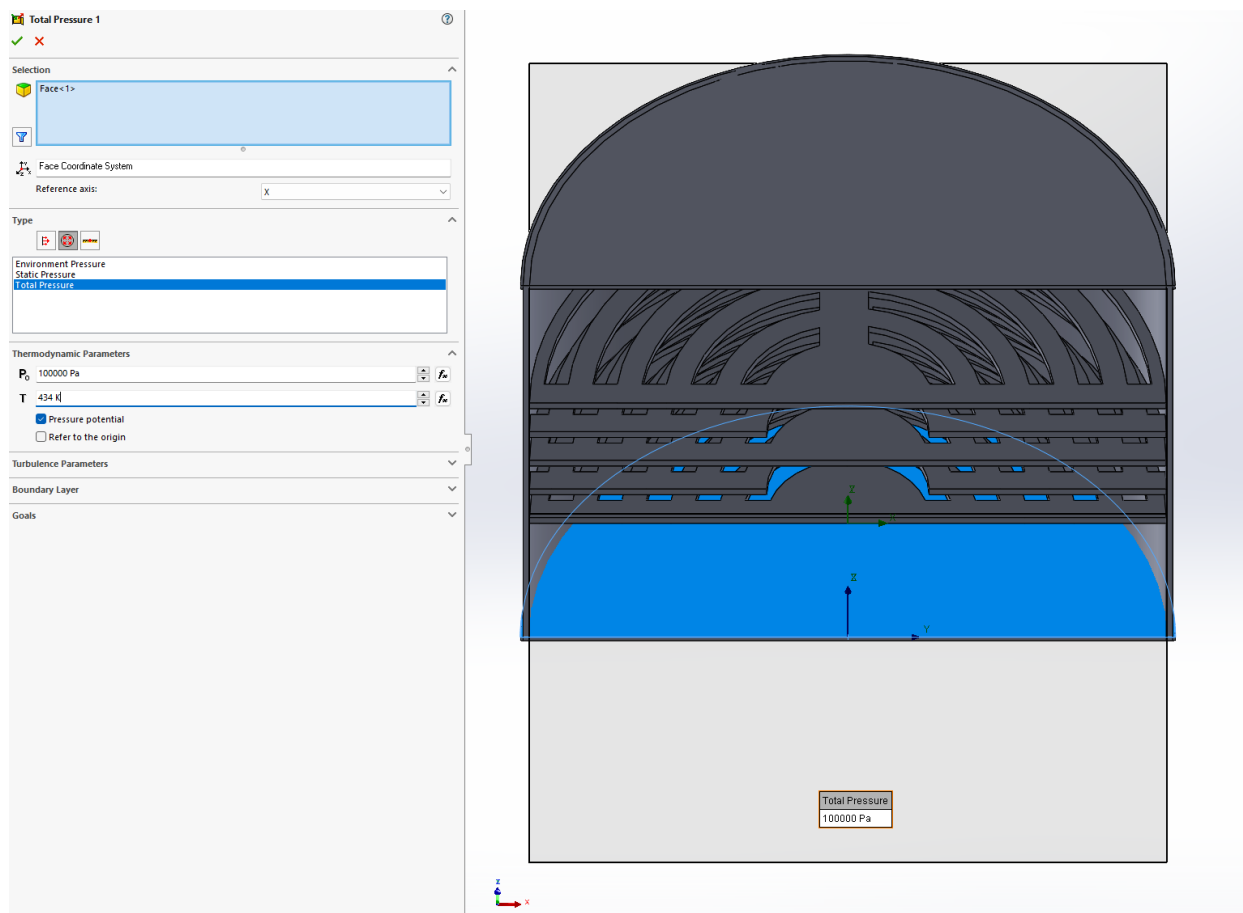


Рисунок 2.5 — Вибір граничних умов на вході

Граничні умови на виході були задані за допомогою Outlet Mass Flow (Рисунок 2.6), які дорівнювали 500 кг/годину, що при переведенні в систему розмірності програми, дорівнює 0.1389 кг/с.

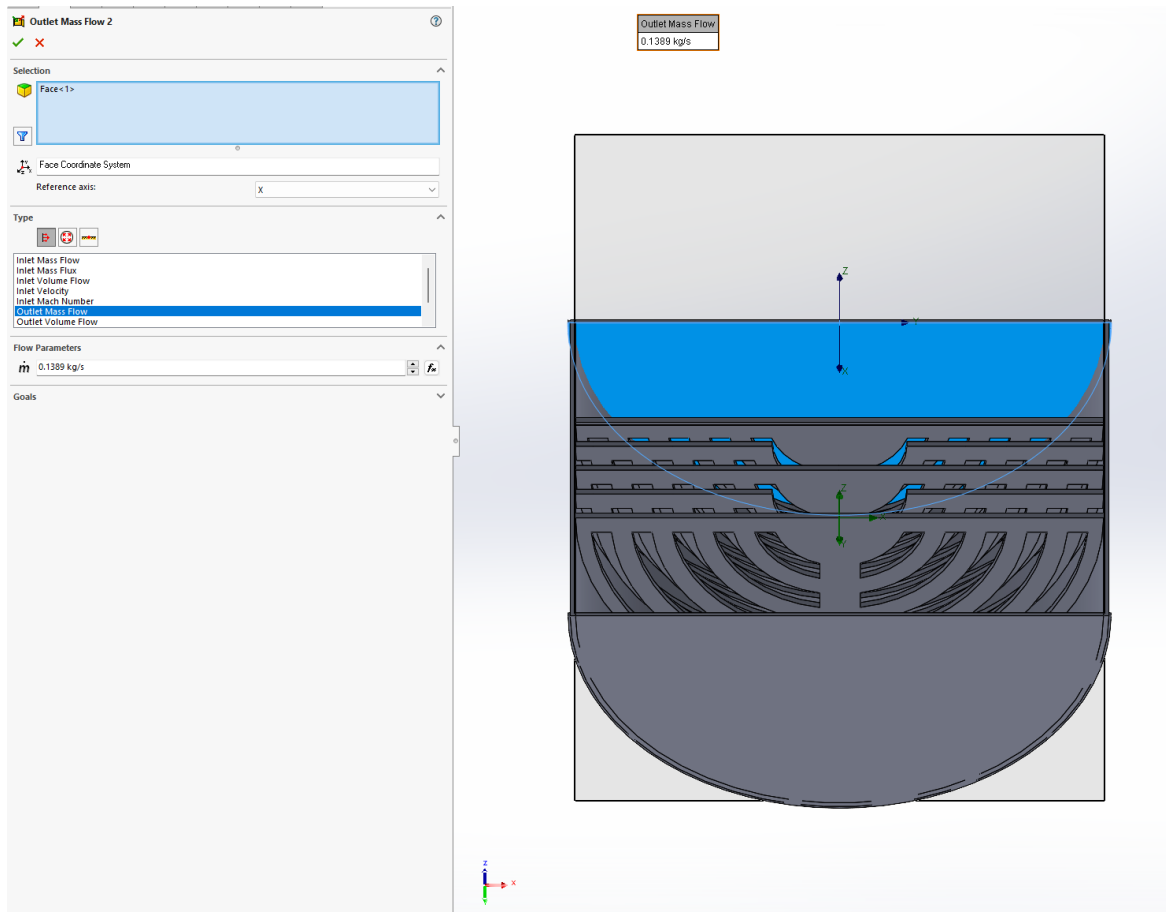


Рисунок 2.6 — Вибір граничних умов на виході

Після цього, так як немає необхідності задавати граничні умови стінок, запускаємо розрахунок.

Після закінчення процесу розрахунку, є можливість переглянути результати в різних варіаціях.

Рисунки 2.7, Рисунок 2.8, Рисунок 2.9 представлені у вигляді половинчастого розрізу об'єкта, дані показані в площині, яка знаходиться по центру об'єкта. Більш детальні значення будуть показані на графіках після них.

На Рисунку 2.7 можна побачити вектори напрямку потоку та його швидкості в різних ділянках досліджувальної частини аквадистилятора. Можна підтвердити, що симуляція руху працює коректно, так як рух пари направлений догори, змінює напрямки та має турбулентні місця. Це свідчить

про те, що програма бачить збірку як закритий простір та сприймає перегородки як перешкоди на шляху пари, а завихрення — наслідок можливостей програми детально робити розрахунки.

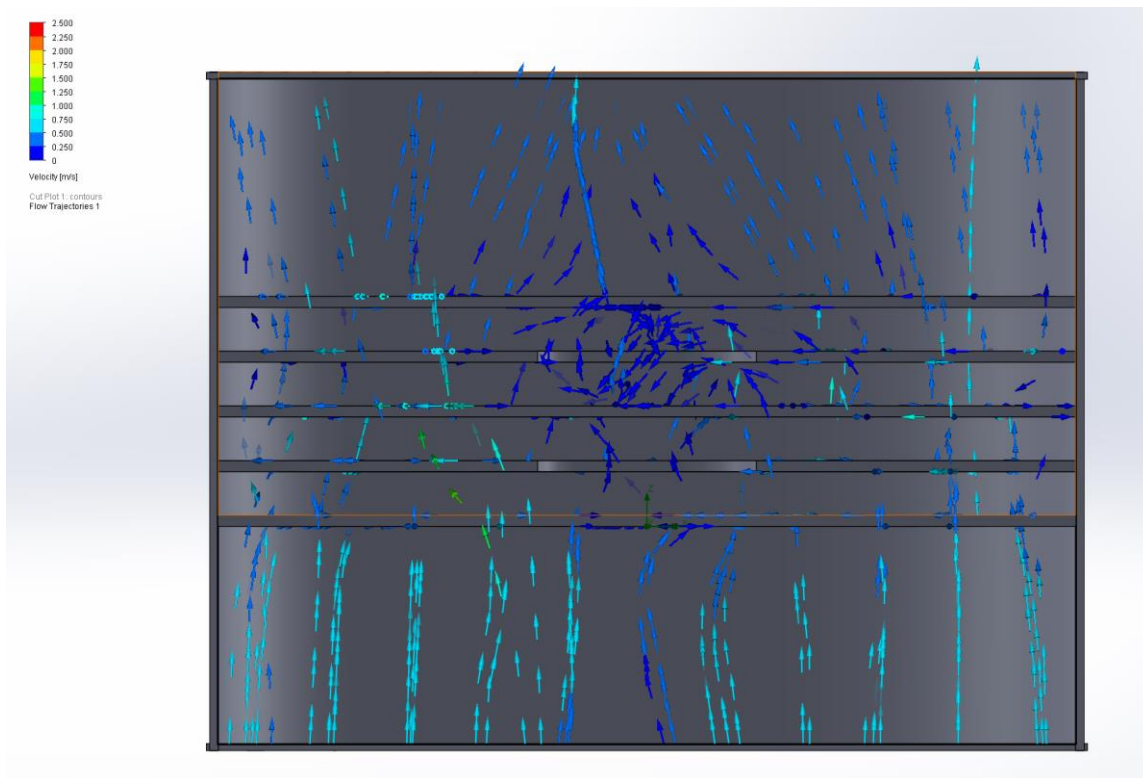


Рисунок 2.7 — Flow Trajectories за швидкістю

На Рисунку 2.8 можна побачити зміну швидкостей по площині та вектори напрямку потоку. Швидкість на початку становить 0,5–1,25 м/с, де рух потоку ще не зіткнувся з першою перегородкою. А по центру швидкість становить 0–0,5 м/с, так як по прямій траєкторії знаходиться перешкода, тому потік гальмується. Поступово швидкість знижується з кожною перегородкою, а після проходження усіх перегородок — швидкість поступово збільшується.

Також, в деяких місцях видно різку зміну швидкостей, або напрямку руху та певні завихрення, це свідчить про турбулентний характер руху.

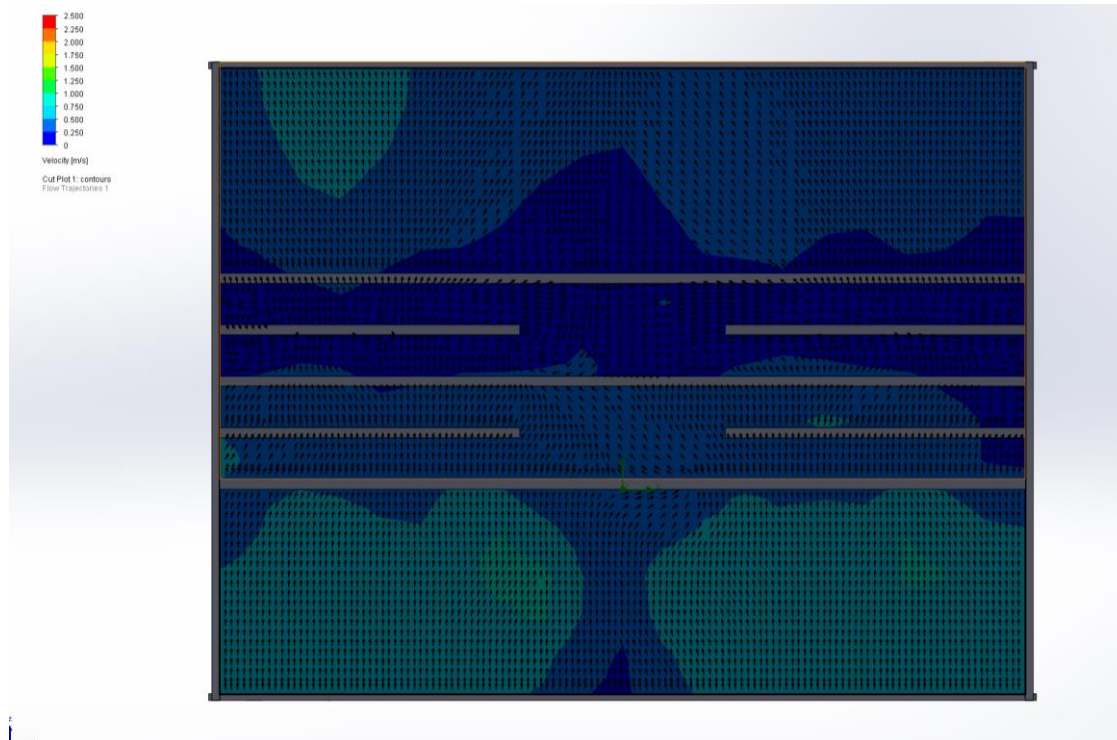


Рисунок 2.9 — Cut Plot за швидкістю

На Рисунку 2.9 можна побачити зміну температур по площині та вектори напрямку руху. Найбільшу температуру можна споглядати по центру перед першою перегородкою, це може бути обумовлене тим, що пара рухається в цьому місці повільніше та йде підвищення тиску. В цій ділянці температура досягає 510–600 K (237–327 °C). За першою перегородкою по центру спостерігається найнижча температура, 372–418 K (99–145 °C), це може бути обумовлене найменшою кількістю пари в цій ділянці і за рахунок теплообміну з першою перегородкою. Після проходження всіх перегородок, температура стабілізується і зберігається приблизно однаковою.

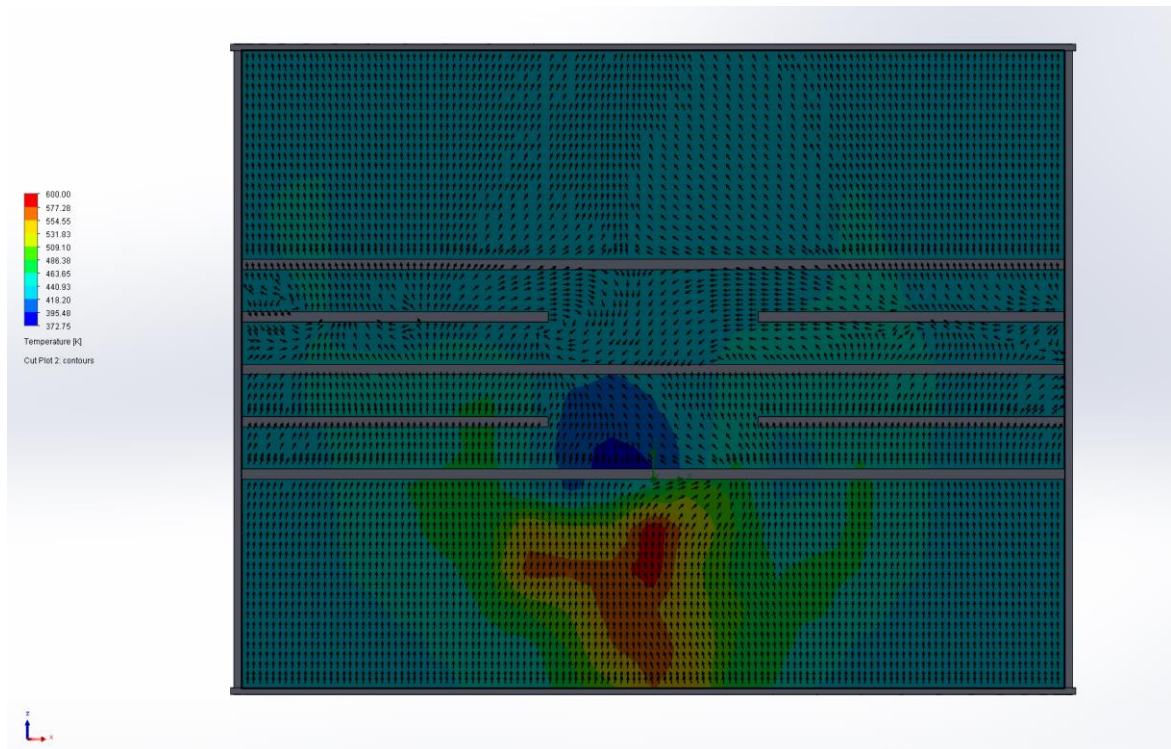


Рисунок 2.9 — Cut Plot за температурою

Для отримання більш детальних та коректних результатів, було створено контрольні точки в різних координатах. Точки робилися в різних площинах та проставлені в таких місцях, аби лінія не проходила крізь перегородки, але крізь отвори. Це зроблено, аби показати результати по руху потоку пари крізь отвори, а не по прямій лінії, при якій результати показувалися некоректно. Після створення контрольних точок, за допомогою 3D-ескізу було промальовано лінію (Рисунок 2.10). Використовуючи її, було створено графіки: Рисунок 2.12, Рисунок 2.13, Рисунок 2.14.

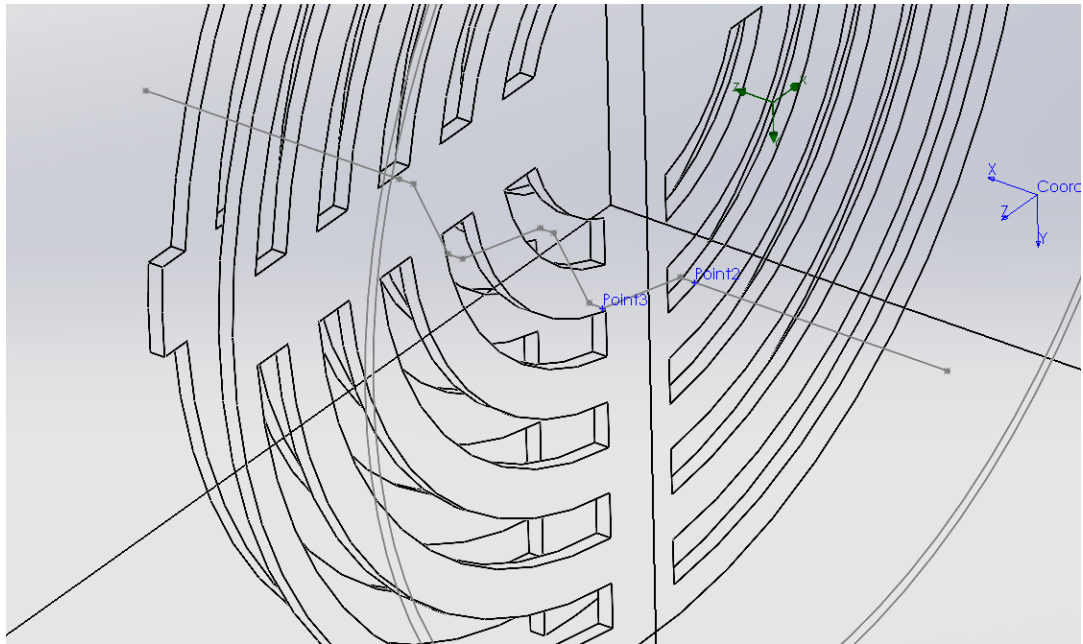


Рисунок 2.10 — Лінія по контрольним точкам за допомогою 3D-екскізі

Рисунок. 2.11 показує відстані від входу до кінця перегородок, в мм. Перша перегородка закінчується на відстані 215 мм, друга — 265 мм, третя — 315 мм, четверта — 365 мм, п'ята — 415 мм. Лінія зроблена в 3D-екскізі починається через 10 мм від входу і закінчується за 10 мм до виходу.

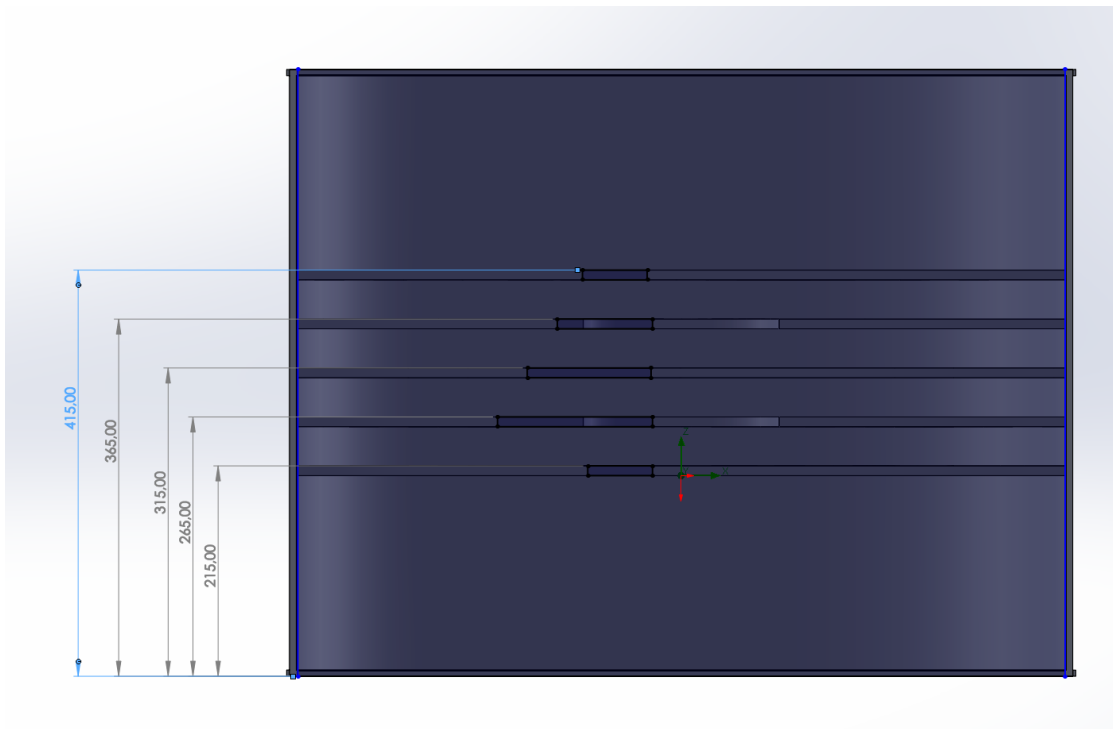


Рисунок 2.11 — Відстані від входу до перегородок

На графіку розподілу швидкості (Рисунок 2.12) можна побачити, що швидкість потоку пари знижується при наближенні до першої перегородки через значну кількість пари, яка врізається у неї і змінює свій напрям руху, що сповільнює пару, яка рухалася до отвору. Після проходження першої перегородки спостерігається збільшення швидкості, це можна пояснити тим, що відсутня пара, яка вдаряючись об перегородку змінює напрям та сповільнює пару, яка прямує до отвору. Швидкість між перегородками обумовлена перепадом тиску. А після виходу з краплевловлювача швидкість стабілізується.



Рисунок 2.12 — Графік розподілу швидкості по 3D лінії потоку пари

На графіку розподілу температур (Рисунок 2.13) можна побачити, що температура пари при наближенні до першої перегородки зменшується, а після тримається на одному рівні. Це можна пояснити теплообміном між парою та перегородками.

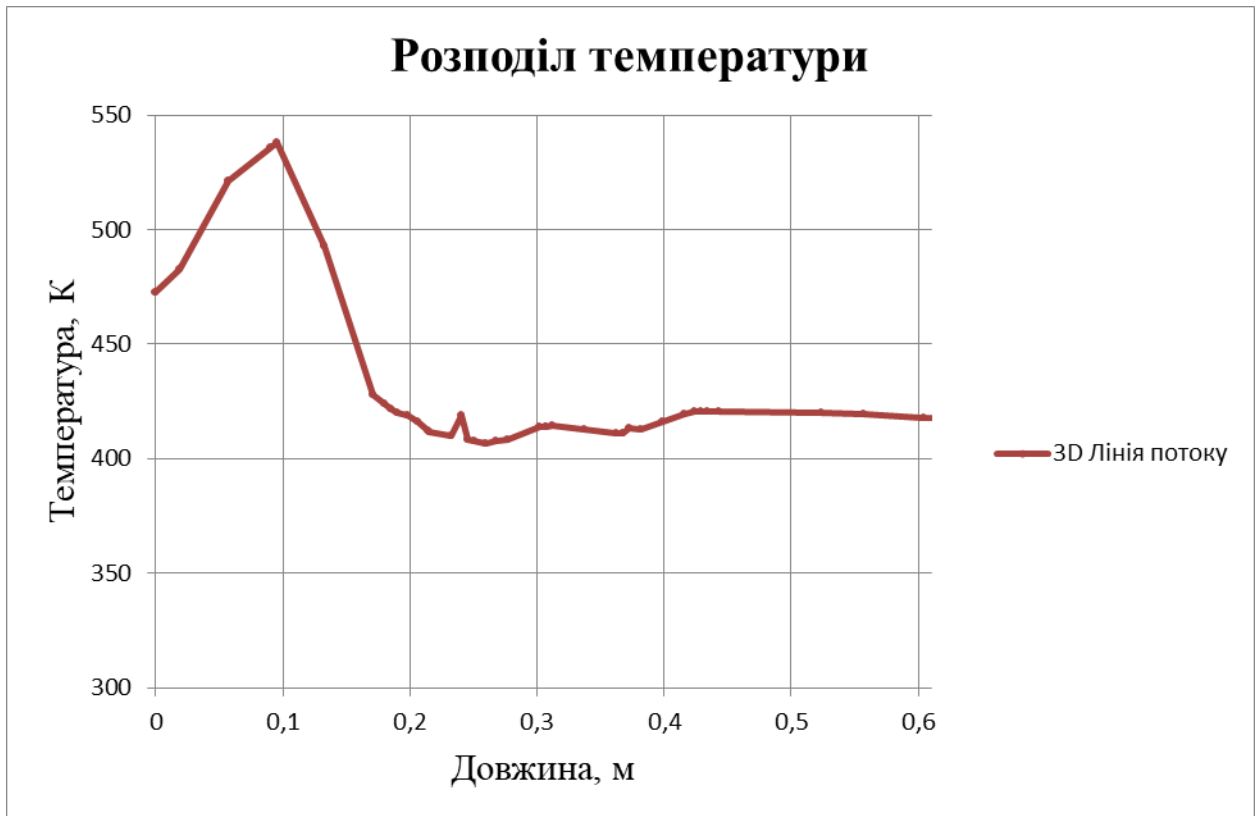


Рисунок 2.13 — Графік розподілу температури по 3D лінії потоку пари

На графіку розподілу масової частки конденсату (Рисунок 2.14) можна побачити, що наближаючись до першої перегородки конденсату стає більше, різке збільшення масової частки конденсату від 0, до 0,11 можна пояснити 2 факторами:

1. Тільки на вході в нас з'являється пара, яка поступово конденсується, що обумовлене граничними умовами симуляції. Саме тому важливо було додати частини колони, а не проводити симуляцію тільки в краплевловлювачі.
2. Перед першою перегородкою спостерігається скупчення пари, а отже й затримка пари перед першою перегородкою, підвищення температури.



Рисунок 2.14 — Графік розподілу масової частки конденсату по 3D лінії потоку пари

Висновок

Біля першої перегородки масова частка конденсату зменшується, це можна пояснити тим, що конденсат затримується на стінках, і подальше проходження перегородок знижує масову частку конденсату.

Також, можна побачити, що масова частка конденсату знижується до нуля на довжині приблизно 300–310 мм, а отже після проходження третьої перегородки (див. Рисунок 2.11) пара очищена від більшої частини домішок.

3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Гідродинамічний та тепловий розрахунки

Тепловий розрахунок випарника проводиться для визначення його продуктивності по воді $D_{вин}$ та коефіцієнта теплопередачі k за прийнятих умов. При проектуванні нового типорозміру випарника потрібно провести конструкторський розрахунок, після чого перевірити його за допомогою перевірного розрахунку. Розбіжність між прийнятими і розрахунковими значеннями коефіцієнта теплопередачі k має бути не більше 5–8%. Зменшення коефіцієнта теплопередачі свідчить про утворення відкладень на поверхнях гріючої секції.

Спочатку задаємо продуктивність випарника або коефіцієнт теплопередачі, а потім порівнюємо ці значення з розрахунковими. Якщо прийняті та розрахункові значення відповідно співпадуть, то можна вважати їх достовірними.

Проведемо тепловий розрахунок випарника для наступних умов:

- тиск гріючої пари $p_{сп} = 0,48$ МПа;
- тиск вторинної пари $p_{вт} = 0,42$ МПа;
- продуктивність за чистою парою $D_{пар} = 500$ кг/год;
- продуктивність по воді $D_{вин} = 370$ кг/год;
- продувка $P_{пр} = 2,2$ %.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепеляк О.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Брицька О. Ю.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 3. Розрахункова частина	222202.ДП.05.003.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/11	

Для прийнятих умов загальна кількість теплоти, що передається первинною парою:

$$\begin{aligned} Q &= D_{\text{вип}} \cdot (i''_{\text{вт}} - i'_{\text{вт}}) + D_{\text{вип}} \cdot (1 + P_{\text{пр}}/100) \cdot (i'_{\text{вт}} - i_{\text{в}}) = \\ &= \frac{370}{3600} \cdot (2760,5 - 420) + \frac{370}{3600} \cdot \left(1 + \frac{2,2}{100}\right) \cdot (420 - 380) \\ &= 244,8 \cdot 10^3 \text{ Дж/с,} \end{aligned}$$

де $i_{\text{вт}} = 380$ кДж/кг – ентальпія живильної води випарника;

$i'_{\text{вт}} = 420$ кДж/кг – ентальпія води при температурі насичення;

$i''_{\text{вт}} = 2760,5$ кДж/кг – ентальпія вторинної пари.

Потрібна поверхня теплообміну може бути визначена за формулою

$$A_{\text{т.вн}} = \frac{Q}{\Delta t_{\text{р}} \cdot k} = \frac{244,8}{15 \cdot 2,35} = 6,9 \text{ м}^2,$$

де температурний перепад між гріючою і вторинною парою такий:

$$\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{гр}} - t_{\text{вт}} = 161,3 - 146,3 = 15^{\circ}\text{C}$$

Коефіцієнти теплопередачі у випарниках даного типу зазвичай знаходяться в межах 2,21–2,52 кВт/(м²·°C). Прийmemo k , розрахований по відношенню до внутрішньої поверхні труб $A_{\text{т.вн}}$ гріючої секції випарника, $k = 2,35$ кВт/(м²·°C).

Гріюча секція зібрана з 280 труб діаметром 15×1,5 мм і довжиною 1,5 м. При роботі випарника теплопередача здійснюється на довжині труби:

$$L_{\text{акт}} = \frac{A_{\text{т.вн}}}{\pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot z} = \frac{6,9}{\pi \cdot 0,012 \cdot 280} = 0,65 \text{ м,}$$

де $d_{\text{вн}} = d - 2 \cdot \delta = 0,015 - 2 \cdot 0,0015 = 0,012$ м – внутрішній діаметр труби; $z=280$ – число труб гріючої секції.

Розрахунки теплопередачі

Щоб отримати значення k , необхідно визначити попередньо коефіцієнти тепловіддачі від пари, що конденсується, до зовнішньої стінки труби α_1 та від внутрішньої стінки до води, яка кипить всередині труб гріючої секції α_2 . Після цього можна обчислити швидкість циркуляції води ω_0 та визначити значення k за рівнянням:
 $k = \alpha_1 + \alpha_2 \omega_0$.

Визначення коефіцієнта тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки

При ламінарному русі плівки конденсату середній коефіцієнт тепловіддачі може бути визначений за формулою:

$$\bar{\alpha} = 1,18 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{g}{v^2}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot Re^{-\frac{1}{3}}$$

Тут Re – значення числа Рейнольдса для плівки конденсату на нижній кромці поверхні охолодження. Це значення визначається наступним виразом:

$$Re = \frac{q_{\text{зовн}} \cdot H}{r \cdot \rho_1 \cdot v} = \frac{28,4 \cdot 0,75}{2207 \cdot 923 \cdot 0,22 \cdot 10^{-6}} = 121,5,$$

де $v = 0,22 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ - кінематична в'язкість рідини; $q_{\text{зовн}} = 28,4 \text{ кВт}/\text{м}^2$

– щільність теплового потоку; $H = 0,75 \text{ м}$ – висота теплообмінної поверхні;

$r = 2207 \text{ кДж}/\text{кг}$ – теплота пароутворення; $\rho_1 = 923 \text{ кг}/\text{м}^3$ - густина рідини;

$\lambda = 67,88 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ - теплопровідність рідини

$$q_{\text{зовн}} = \frac{Q}{A_{\text{т.зовн}}} = \frac{244,8}{8,63} = 28,4 \cdot 10^3 \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

$$\text{де } A_{\text{т.зовн}} = A_{\text{т.вн}} \cdot \frac{d_{\text{зовн}}}{d_{\text{вн}}} = 6,9 \cdot \frac{15}{12} = 8,63 \text{ м}^2,$$

При значеннях Re більших за критичне ($Re_{\text{кр}} = 400$), перехід від ламінарної течії до турбулентної відбувається. Для плівки експериментальні дані починають відрізнятися від наведеної залежності при значеннях Re більших за 100. В вгріючих секціях випарників теплообмін протікає при порівняно

невисоких значеннях Re , і в цих умовах середнє значення можна визначити за формулою:

$$\bar{\alpha} = \lambda \cdot \left(\frac{g}{v^2}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{0,16 \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot Re}{Re - 100 + 63,2 \cdot Pr^{\frac{1}{3}} - 2 \cdot \left(\frac{9,81}{(0,22 \cdot 10^{-6})^2}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{0,16 \cdot 1,1643^{\frac{1}{3}} \cdot 121}{121,5 - 100 + 63,2 \cdot 1,1653^{\frac{1}{3}}}} = 11240 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

де Pr – критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{182,7 \cdot 10^{-6} \cdot 4,41 \cdot 10^3}{67,88 \cdot 10^{-2}} = 1,19,$$

де $\mu = 182,7 \cdot 10^{-6}$ Па·с – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини;

$c_p = 4,41$ кДж/(кг·К) – питома теплоємність рідини.

Всі теплофізичні величини визначались за температурі гріючої пари

$$t_{гр} = 161,3^\circ\text{С}.$$

Тепловіддача під час конденсації пари не залежить від матеріалу поверхні теплообміну у тих випадках, коли конденсат змочує поверхню і вона достатньо чиста і гладка. Але в умовах експлуатації труби покриваються шаром окисі. На чистих трубах коефіцієнти тепловіддачі більше, ніж на окислених сталевих.

Оскільки це являє собою термічний опір шару окису, та гальмуючою дією окисленої поверхні (внаслідок збільшення її шорсткості) на рух конденсатної плівки. За показниками для труб з вуглецевих сталей під тонким шаром накипу поправочний множник до коефіцієнтів тепловіддачі приймаємо рівним 0,67. Беручи до уваги, що при викристанні поверхня окислюється, отримаємо:

$$\alpha_1 = 0,67 \cdot \bar{\alpha}_1 = 0,67 \cdot 11240 = 7530,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Визначення швидкості циркуляції

Розрахунок втрат в підводячі лініях графоаналітично проводимо за нормативним методом, задаючись різними значеннями швидкості

циркуляції.. Точка перетину кривих визначає значення швидкості ω_0 , при якому корисний напір урівноважує опір руху води в підвідних лініях.

Приймаємо за швидкість циркуляції $\omega_0 = 1$ м/с. При даному значенні швидкості можемо визначити втрати в підвідній частині контуру. Ці втрати являють собою суму з втрат в зливній трубі і втрат на вхідних ділянках труб, де відсутнє пароутворення.

Площа перерізу зливної труби:

$$A_{\text{пр}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{т.вн}}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,144^2 = 0,016 \text{ м}^2,$$

де $D_{\text{т.вн.}} = D_{\text{т.зовн}} - 2 \cdot \delta_{\text{т}} = 0,15 - 2 \cdot 0,003 = 0,144$ м.

Швидкість води у зливній трубі:

$$\omega'_0 = \omega_0 \cdot \frac{z \cdot 0,785 \cdot d_{\text{вн}}^2}{A_{\text{пр}}} = 1 \cdot \frac{280 \cdot 0,785 \cdot 0,012^2}{0,0125} = 2,5 \text{ м/с.}$$

Втрати тиску при русі води в зливній трубі:

$$\Delta p_{\text{з.тр}} = \lambda_0 \cdot H_{\text{тр}} \cdot \frac{\rho' \cdot \omega_0'^2}{2} = 0,035 \cdot 1,8 \cdot \frac{931,4 \cdot 2,5^2}{2} = 183,4 \text{ Па,}$$

де $\rho' = 931,4$ кг/м³ – густина води при температурі вторинної пари;

$H_{\text{з.тр}} = 1,8$ м – висота зливної труби;

$\lambda_0 = 0,035$ - коефіцієнт тертя:

$$\lambda_0 = \frac{1}{(1,74 + 2 \log \left(\frac{r_1}{\delta_1} \right))^2} = \frac{1}{(1,74 + 2 \log \left(\frac{70}{0,75} \right))^2} = 0,035$$

де $r_1 = 0,07$ м – радіус зливної труби,

$\delta_1 = 0,75 \cdot 10^{-3}$ м – висота виступів шорсткості.

Втрати тиску на вході і виході зі зливної труби:

$$\Delta p_{\text{вх.в}} = (\xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{в}}) \cdot \frac{\rho' \cdot \omega_0'^2}{2} = (0,5 + 1) \cdot \frac{931,4 \cdot 2,5^2}{2} = 4366 \text{ Па,}$$

де $\xi_{\text{вх}} = 0,5$ - коефіцієнт місцевого опору на вході;

$\xi_{\text{в}} = 1$ - коефіцієнт місцевого опору на виході.

Втрати тиску на вході в труби гріючої секції:

$$\Delta p_{\text{вх.в}} = \xi_{\text{вх}} \cdot \frac{\rho' \cdot \omega_0'^2}{2} = 0,5 \cdot \frac{931,4 \cdot 2,5^2}{2} = 1455 \text{ Па,}$$

Втрати під час руху води на прямій ділянці:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_1 \cdot h_{\text{но}} \cdot \frac{\rho' \cdot \omega_0'^2}{2} = 0,75 \cdot 0,09 \cdot \frac{931,4 \cdot 1^2}{2} = 31,4 \text{ Па,}$$

де $h_{\text{но}} = 0,09$ м – висота нижньої ділянки труби, без обігріву.

Для визначення втрати на економайзерній ділянці, необхідно встановити її висоту $h_{\text{ек}}$. Ця величина визначається за наступним рівнянням:

$$h_{\text{ек}} = \frac{g \cdot \rho' \cdot (h_{\text{повн}} - h_{\text{но}}) \cdot (\partial i' / \partial p) - (\Delta p_{\text{оп}} + \Delta p_{\text{но}} + \Delta p_{\text{ек}}) \cdot (\partial i' / \partial p)}{\frac{4 \cdot q_{\text{вн}}}{\rho' \cdot \omega_0 \cdot d_{\text{вн}}} + g \cdot \rho' \cdot (\partial i' / \partial p)}$$

де $\Delta p_{\text{оп}} = \Delta p_{\text{з.тр}} + \Delta p_{\text{вх.в}} = 183,4 + 4366 = 4549,4$ Па;

$\Delta p_{\text{но}} = \Delta p_{\text{вх.тр}} + \Delta p_{\text{тр}} = 1455 + 31,4 = 1486,4$ Па;

$q_{\text{вн}} = k \cdot \Delta t_{\text{в}} = 2,35 \cdot 15 = 35,25 \cdot 10^3$ Вт/м²;

$(\partial i' / \partial p) = 7,82 \cdot 10^{-4}$ – зміна ентальпії води при температурі насичення в залежності від тиску при $p \rightarrow p_3$, де p_3 – це тиск в перерізі, де рідина закипає.

Для того, щоб врахувати втрати тиску на економайзерній ділянці, необхідно задатись значенням та за допомогою поступового наближення досягти того, щоб воно співпадало зі значенням, що визначається приведеною формулою.

Прийmemo $h_{\text{ек}} = 0,38$ м, тоді

$$\Delta p_{\text{ек}} = \lambda_1 \cdot h_{\text{ек}} \cdot \frac{\rho' \cdot \omega_0'^2}{2} = 0,75 \cdot 0,38 \cdot \frac{931,4 \cdot 1^2}{2} = 132,7 \text{ Па.}$$

Отже,

$$h_{\text{ек}} = \frac{9,81 \cdot 931,4 \cdot (1,8 - 0,075) \cdot 7,82 \cdot 10^{-4} - (4549,4 + 1486,4 + 132,7) \cdot 7,82 \cdot 10^{-4}}{\frac{4 \cdot 35,25}{931,4 \cdot 1 \cdot 0,012} + 9,81 \cdot 931,4 \cdot 7,82 \cdot 10^{-4}} = 0,379 \text{ м.}$$

Прийняте і розраховане значення $h_{\text{ек}}$ майже співпали. Тому можна вважати висоту економайзерної ділянки рівною 0,38 м, а втрати на ній:

$$\Delta p_{\text{ек}} = 132,7 \cdot \frac{0,379}{0,38} = 132,35 \text{ Па.}$$

Отже, загальний опір в підвідних лініях (до перерізу, в якому відбувається закипання потоку):

$$\Delta p_{\text{підв}} = \Delta p_{\text{оп}} + \Delta p_{\text{но}} + \Delta p_{\text{ек}} = 4549,4 + 1486,4 + 132,35 = 6168 \text{ Па.}$$

Визначаємо корисний напір при цій же швидкості $\omega_0 = 1 \text{ м/с}$. К-сть пари, що утворюється в одній трубці:

$$G_1'' = \frac{Q}{z \cdot r_2} = \frac{244,8}{280 \cdot 2213,1} = 3,95 \cdot 10^{-4} \text{ кг/с,}$$

де $r_2 = 2213,1 \text{ кДж/кг}$ – теплота пароутворення при температурі насичення.

Приведена швидкість пари на виході з труб гріючої секції:

$$\omega''_{\text{орозр}} = \frac{\omega''_{\text{ок}}}{z} = \frac{3,58}{2} = 1,79 \text{ м/с.}$$

При цьому значенні $\omega''_{\text{орозр}}$ витратний паровміст:

$$\beta_{\text{розр}} = \frac{\omega''_{\text{орозр}}}{\omega''_{\text{орозр}} + \omega_0} = \frac{1,79}{1,79 + 1} = 0,64.$$

Істинний об'ємний паровміст визначається за формулою наведеною нижче:

$$\phi_{\text{розр}} = \frac{\beta_{\text{розр}}}{1 + \frac{\omega^*}{\omega_{\text{сум.розр}}}} = \frac{0,64}{1 + \frac{6,24}{2,9}} = 0,21,$$

де $\omega^* = \omega_{\text{бул}} \cdot \psi_{\text{вз}} = 1,28 \cdot 2,79 = 6,24 \text{ м/с}$ – групова швидкість впливання бульбашок;

$\omega_{\text{сум.розр}} = \omega''_{\text{орозр}} + \omega_0 = 1,9 + 1 = 2,9 \text{ м/с}$ – швидкість суміші;

$\omega_{\text{бул}}$ - швидкість впливання однієї бульбашки в нерухомій рідині:

$$\omega_{\text{бул}} = 1,5 \cdot \sqrt[4]{g \cdot \sigma_t \cdot \frac{\rho' - \rho''}{(\rho')^2}} = 1,5 \cdot \sqrt[4]{9,81 \cdot 52,77 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{931,4 \cdot 1,916}{931,8^2}} = 1,3 \text{ м/с,}$$

де $\sigma_t = \sigma_0 - 0,146 \cdot t = 73,21 - 0,146 \cdot 140 = 52,77 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ – поверхневий натяг води;

$\psi_{\text{вз}}$ - фактор взаємодії:

$$\psi_{\text{вз}} = 1,4 \cdot \left(\frac{\rho'}{\rho''}\right)^{1,5} \cdot \left(1 - \frac{\rho''}{\rho'}\right)^5 = 1,4 \cdot \left(\frac{931,4}{1,916}\right)^{1,5} \cdot \left(1 - \frac{1,916}{931,4}\right)^5 = 4,6.$$

$$\Delta p_{\text{руш}} = g \cdot (\rho' - \rho'') \cdot \phi_{\text{розр}} \cdot h_{\text{пар}} = 9,81 \cdot (931,4 - 1,916) \cdot 0,2 \cdot 1,33 = 2425 \text{ Па}$$

де $h_{\text{пар}}$ – висота труби, по якій тече пароводяна суміш:

$$h_{\text{пар}} = H - h_{\text{но}} - h_{\text{ек}} = 1,8 - 0,09 - 0,38 = 1,33$$

На пароводяній лінії є втрати на тертя в самій трубі, місцеві втрати на виході та на прискорення потоку. За формулою наведеною нижче розраховуються втрати на тертя:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{тер}} &= \lambda_1 \cdot h_{\text{пар}} \cdot \frac{\rho^F \cdot \omega_0''}{2} \cdot \left[1 + \psi \cdot \frac{\omega_{\text{ок}}''}{2\omega_0} \cdot \left(1 - \frac{\rho''}{\rho^F}\right)\right] = \\ &= 0,75 \cdot 1,33 \cdot \frac{931,4 \cdot 1^2}{2} \cdot \left[1 + 1,5 \cdot \frac{1,79}{2 \cdot 1} \cdot \left(1 - \frac{1,916}{931,4}\right)\right] = 1086,89 \text{ Па} \end{aligned}$$

Втрати на виході потоку з труб складають:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{вих}} &= \xi_{\text{вих}} \cdot \frac{\rho' \cdot \omega_0^2}{2} \cdot \left[1 + \frac{\omega_{\text{ок}}''}{\omega_0} \cdot \left(1 - \frac{\rho''}{\rho'}\right)\right] = \\ &= 1,2 \cdot \frac{931,4 \cdot 1^2}{2} \cdot \left[1 + \frac{1,79}{1} \cdot \left(1 - \frac{1,916}{931,4}\right)\right] = 1557 \text{ Па} \end{aligned}$$

Втрати на прискорення розраховуються за формулою нижче:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{пр}} &= (\rho' \cdot \omega_0)^2 \cdot (y_2 - y_1) = (931,4 \cdot 1)^2 \cdot (1,45 \cdot 10^{-3} - 1,074 \cdot 10^{-3}) = \\ &= 326,18 \text{ Па} \end{aligned}$$

$$\text{де } y = \frac{x^2}{\rho'' \cdot \phi_k} + \frac{(1-x)^2}{\rho' \cdot (1-\phi_k)}.$$

Для перерізу, в якому рідина закипає, $x = 0$ і $\phi_k = 0$. Тож,

$$y_1 = \frac{1}{\rho'} = \frac{1}{931,4} = 1,074 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

У вихідному перерізі:

$$\omega_{\text{сум.к}} = \omega_{\text{ок}}'' + \omega_0 = 1,79 + 1 = 2,79 \text{ м/с};$$

$$\beta_K = \frac{\omega''_{ок}}{\omega''_{ок} + \omega_0} = \frac{2,79}{2,79 + 1} = 0,74;$$

$$\phi_K = \frac{\beta_K}{1 + \frac{\omega^*}{\omega_{сум.к}}} = \frac{0,74}{1 + \frac{6,24}{2,79}} = 0,23.$$

Ваговий паровміст в цьому перерізі складає:

$$x_K = \frac{\rho'' \cdot \omega''_{ок}}{\rho' \cdot \omega_0} = \frac{1,916 \cdot 2,79}{931,4 \cdot 1} = 5,7 \cdot 10^{-3},$$

$$y_2 = \frac{x_K^2}{\rho'' \cdot \phi_K} + \frac{(1 - x_K)^2}{\rho' \cdot (1 - \phi_K)} = \frac{(5,7 \cdot 10^{-3})^2}{1,916 \cdot 0,23} + \frac{(1 - 5,7 \cdot 10^{-3})^2}{931,4 \cdot (1 - 0,23)} =$$

$$= 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$$

Корисний напір розраховується за формулою нижче:

$$\Delta p_{кор} = \Delta p_{руш} - \Delta p_{тер} - \Delta p_{вих} - \Delta p_{пр} =$$

$$= 2425 - 1086,89 - 1557 - 326,18 = -545,07 \text{ Па.}$$

Проведемо такі ж розрахунки для різних значень ω_0 . Отримані значення занесемо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1. Показники опору в підвідних лініях і корисного напору від різних значень ω_0 .

ω_0	$\Delta p_{підв}$	$\Delta p_{кор}$
0,3	537	252
0,4	958	140,5
0,6	2173,5	-86,5
0,8	3904	-317
1	6168	-545,07

Будуючи криві зміни корисного напору і втрат в підвідних лініях залежно від ω_0 (Рисунок 3.1), будемо мати в точці перетину шукане значення швидкості циркуляції $\omega_0 = 0,383$ м/с.

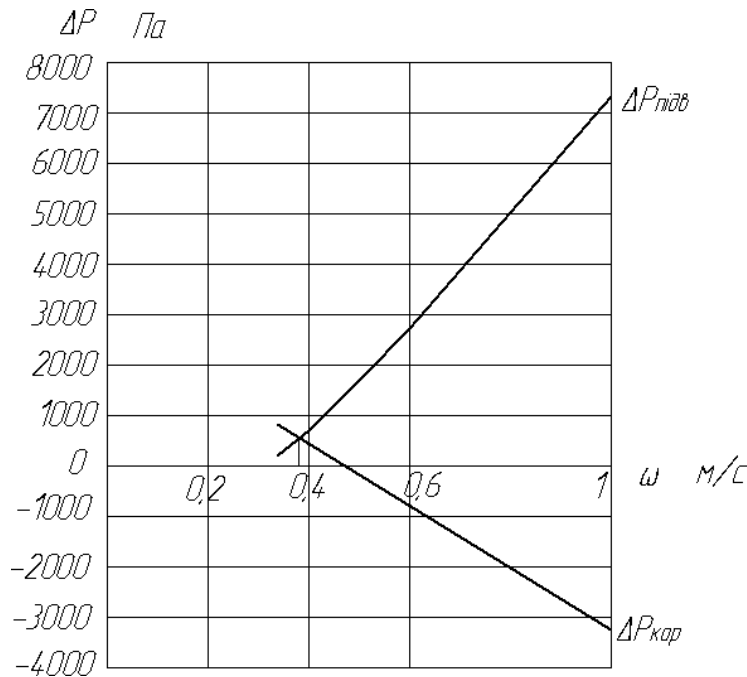


Рис. 3.1. Графік залежності зміни корисного напору та втрат від швидкості циркуляції

Визначимо швидкість циркуляції, використовуючи формулу наведену нижче:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \phi_{розп} \cdot h_{пар}}{z + \frac{\sum \Delta p_{руш.п}}{(\rho \cdot \omega_0^2)/2}} \cdot \left(1 - \frac{\rho''}{\rho'}\right)}$$

Обираємо значення $\omega_0 = 1$ м/с. При цьому значенні повний приведений коефіцієнт гідравлічного опору підвідної частини контуру визначається згідно формули нижче:

$$Z_{під.пр} = Z_{оп} \cdot \left(\frac{\omega_0''^2}{\omega_0}\right) + Z_{но} + Z_{ек} = 1,553 \cdot \left(\frac{3^2}{1}\right) + 0,564 + 0,708 = 15,25,$$

де $Z_{on} = \xi_{вх} + \lambda_0 \cdot H + \xi_{в} = 0,5 + 0,033 \cdot 1,6 + 1 = 1,553$ – повний коефіцієнт гідравлічного опору опускної ділянки;

$Z_{но} = \xi_{ex} + \lambda_1 \cdot h_{но} = 0,5 + 0,8 \cdot 0,08 = 0,564$ – повний коефіцієнт гідравлічного опору ділянки, яка не підігривається;

$Z_{ек} = \lambda_1 \cdot h_{ек} = 0,8 \cdot 0,885 = 0,708$ – повний коефіцієнт гідравлічного опору економайзерної ділянки.

Тому,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,21 \cdot 1,33}{15,25 + \frac{900,84 + 2654 + 563,7}{(931,4 \cdot 1^2)/2}} \cdot \left(1 - \frac{1,916}{931,4}\right)} = 0,33 \text{ м/с.}$$

Це значення відрізняється з тим, яким ми задалися. Тому необхідно провести розрахунок при іншому значенні ω_0 . Прийmemo $\omega_0 = 0,383$ м/с та зробимо перерахунок за формулою нижче:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,222 \cdot 0,763}{2,722 + \frac{348 + 884,8 + 141,4}{(931,4 \cdot 1^2)/2}} \cdot \left(1 - \frac{1,916}{931,4}\right)} = 0,381 \text{ м/с.}$$

Висновок

Це значення добре поєднується з прийнятим, тож повторний розрахунок не потрібен. Отримане значення швидкості циркуляції $\omega_0 = 0,381$ м/с майже не відрізняється від значення, яке визначали по нормативному методу ($\omega_0 = 0,383$ м/с). Розбіжність між даними величинами набагато нижче границі точності, з якою можуть визначатися ці швидкості.

Приймаємо $\omega_0 = 0,38$ м/с.

4. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Технологія машинобудування аквадистилятора складається з декількох етапів:

1. Проектування:

- Визначення технічних характеристик аквадистилятора, таких як продуктивність, тип нагріву, матеріали виготовлення та інші.
- Розробка креслень та специфікацій на всі компоненти аквадистилятора.

2. Виготовлення компонентів:

- Виготовлення корпусу аквадистилятора з нержавіючої сталі або інших матеріалів, стійких до корозії.
- Виготовлення ємності для випаровування води.
- Виготовлення конденсатора, де водяна пара охолоджується та перетворюється на дистильовану воду.
- Виготовлення системи нагріву, яка може бути електричною, газовою або іншого типу.
- Виготовлення системи охолодження, яка може бути водяною, повітряною або іншого типу.

3. Збірка аквадистилятора:

- З'єднання всіх компонентів аквадистилятора згідно з кресленнями та специфікаціями.
- Перевірка герметичності всіх з'єднань.
- Монтаж систем нагріву, охолодження, контролю та управління.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепеляк О.О.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Брицька О. Ю.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 4. Технологія машинобудування		222202.ДП.05.004.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/3

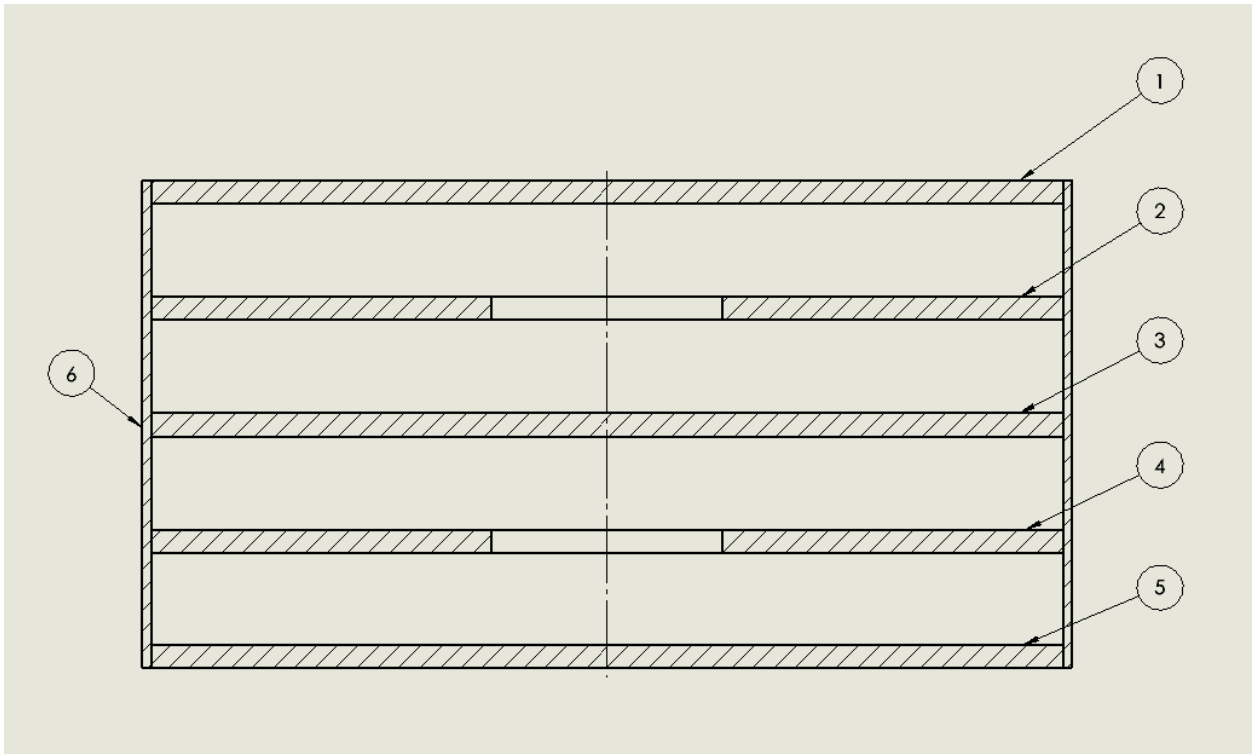


Рис. 7.1. Ескіз кріплевловлювача

Номер позиції деталі	Назва деталі
1	Перегородка А
2	Перегородка Б
3	Перегородка А
4	Перегородка Б
5	Перегородка А
6	Стінка кріплевловлювача

Технологічний маршрут складання краплевловлювача

Номер переходу	Зміст переходу
10. Монтаж першої перегородки	
10.1	Встановити перегородку врівень з краєм стінки
10.2	Закріпити перегородку
10.3	Зварити перегородку зі стінкою по колу в нижній частині
10.4	Відшліфувати до гладкої поверхні
20. Монтаж другої перегородки	
20.1	Встановити перегородку на відстані 40 мм від попередньої
20.2	Закріпити перегородку
20.3	Зварити перегородку зі стінкою по колу в нижній частині
20.4	Відшліфувати до гладкої поверхні
30. Монтаж третьої перегородки	
30.1	Встановити перегородку на відстані 40 мм від попередньої
30.2	Закріпити перегородку
30.3	Зварити перегородку зі стінкою по колу в нижній частині
30.4	Відшліфувати до гладкої поверхні
40. Монтаж четвертої перегородки	
40.1	Встановити перегородку на відстані 40 мм від попередньої
40.2	Закріпити перегородку
40.3	Зварити перегородку зі стінкою по колу в нижній частині
40.4	Відшліфувати до гладкої поверхні
50. Монтаж п'ятої перегородки	
50.1	Встановити перегородку врівень з краєм стінки
50.2	Закріпити перегородку
50.3	Зварити перегородку зі стінкою по колу в нижній частині
50.4	Відшліфувати до гладкої поверхні

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Аквадистилятори – це обладнання, яке використовується для очищення води шляхом її кип'ятіння та конденсації парів. При роботі з аквадистиляторами існує ряд небезпечних факторів, які можуть призвести до травм, отруєнь та інших негативних наслідків.

5.1 Основні небезпечні фактори при роботі з аквадистиляторами

- Термічні травми. Можуть виникнути внаслідок дотику до нагрітих поверхонь обладнання, а також внаслідок опіку гарячою водою або парою.
- Хімічні травми. Можуть виникнути внаслідок контакту з агресивними хімічними речовинами, які використовуються для очищення води.
- Електричні травми. Можуть виникнути внаслідок неправильного підключення обладнання до електромережі або внаслідок порушення правил техніки безпеки при роботі з електрообладнанням.

5.2 Заходи з охорони праці при роботі з аквадистиляторами

- Обладнання для аквадистиляції повинно бути спроектовано та виготовлено відповідно до вимог охорони праці.
- Необхідно мати відповідними засоби захисту, такі як термозахисні рукавиці, захисні окуляри та ін.
- Робочі місця повинні бути забезпечені штучним освітленням, достатнім для безпечного виконання робіт.
- Персонал, який працює з аквадистиляторами, повинен бути навчений з охорони праці та мати відповідний допуск до роботи.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепеляк О.О.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Брицька О. Ю.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 5. Охорона праці		222202.ДП.05.005.ПЗ		
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA

5.3 Конкретні заходи з охорони праці при роботі з аквадистиляторами

- Перед початком роботи з аквадистилятором необхідно перевірити його стан та переконатися, що він справний.
- Необхідно використовувати спеціальний одяг та взуття, які захищають від термічних травм.
- Необхідно уникати контакту з нагрітими поверхнями обладнання.
- Необхідно бути обережним при роботі з агресивними хімічними речовинами.
- Необхідно дотримуватися правил техніки безпеки при роботі з електрообладнанням.

При виникненні небезпеки необхідно негайно припинити роботу та повідомити про це керівництву.

Дотримання заходів з охорони праці при роботі з аквадистиляторами допоможе запобігти нещасним випадкам та іншим негативним наслідкам.

5.4 Термічні травми

Термічні травми можуть виникнути внаслідок дотику до нагрітих поверхонь обладнання, а також внаслідок опіку гарячою водою або парою.

При термічних травмах шкіра або слизові оболонки можуть отримати опіки різного ступеня тяжкості. Опіки першого ступеня характеризуються почервонінням і набряком шкіри. Опіки другого ступеня характеризуються появою пухирів. Опіки третього ступеня характеризуються руйнуванням шкіри та підшкірної клітковини.

Щоб запобігти термічним травмам при роботі з аквадистиляторами, необхідно використовувати спеціальний одяг та взуття, які захищають від

термічних впливів. Такий одяг повинен бути виготовлений з матеріалів, які мають високу теплостійкість і не проводять тепло. Взуття також має бути з негорючих матеріалів і мати товсту підошву.

При дотику до нагрітих поверхонь обладнання необхідно негайно змити гарячу воду або пару з шкіри прохолодною водою. При попаданні гарячої води або пари на слизові оболонки необхідно негайно промити уражену ділянку водою протягом 15-20 хвилин.

Якщо термічна травма є серйозною, необхідно негайно звернутися за медичною допомогою.

Щоб запобігти термічним травмам, необхідно дотримуватися таких заходів:

- Перед початком роботи з аквадистилятором необхідно перевірити його стан та переконатися, що він справний.
- Необхідно використовувати спеціальний одяг та взуття, які захищають від термічних травм.
- Необхідно уникати контакту з нагрітими поверхнями обладнання.
- При дотику до нагрітих поверхонь обладнання необхідно негайно змити гарячу воду або пару зі шкіри прохолодною водою.

5.5 Хімічні травми

Хімічні травми можуть виникнути внаслідок контакту з різними хімічними речовинами, які використовуються для очищення води. Хімічні речовини можуть викликати роздратування шкіри, слизових оболонок, а також отруєння.

Щоб запобігти хімічним травмам при роботі з аквадистиляторами, необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, такі як рукавички, окуляри, респіратор. Рукавички повинні бути виготовлені з матеріалів, які не пропускають хімічні речовини. Окуляри повинні захищати очі від потрапляння хімічних речовин. Респіратор повинен захищати органи дихання від вдихання хімічних речовин.

При попаданні хімічної речовини на шкіру або слизові оболонки необхідно негайно промити уражену ділянку водою протягом 15-20 хвилин. Якщо хімічна речовина потрапила в очі, необхідно промити очі проточною водою протягом 30-40 хвилин. При отруєнні хімічними речовинами необхідно негайно звернутися за медичною допомогою.

Щоб запобігти хімічним травмам, необхідно дотримуватися таких заходів:

- Необхідно бути обережним при роботі з агресивними хімічними речовинами.
- Необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, такі як рукавички, окуляри, респіратор.
- При попаданні хімічної речовини на шкіру або слизові оболонки необхідно негайно промити уражену ділянку водою протягом 15-20 хвилин.

5.6 Електричні травми

Електричні травми можуть виникнути внаслідок дотику до струмопровідних частин обладнання або внаслідок короткого замикання. Електричні травми можуть призвести до серйозних ушкоджень здоров'я або навіть до смерті.

Щоб запобігти електричним травмам при роботі з аквадистиляторами, необхідно дотримуватися правил техніки безпеки при роботі з електрообладнанням. Перед початком роботи з обладнанням необхідно перевірити, чи правильно воно підключено до електромережі. Необхідно використовувати обладнання тільки за призначенням. Необхідно уникати контакту зі струмопровідними частинами обладнання.

Якщо сталася електрична травма, необхідно негайно відключити обладнання від електромережі. Постраждалого необхідно негайно відвезти до лікарні.

Щоб запобігти електричним травмам, необхідно дотримуватися таких заходів:

- Обладнання для аквадистиляції повинно бути правильно підключено до електромережі.
- Персонал, який працює з аквадистиляторами, повинен бути навчений з охорони праці та мати відповідний допуск до роботи.
- Необхідно дотримуватися правил техніки безпеки при роботі з електрообладнанням.

5.7 Загальні заходи з охорони праці

Крім заходів, які були описані вище, необхідно дотримуватися також загальних заходів з охорони праці, таких як:

- Необхідно регулярно проводити технічне обслуговування обладнання. Технічне обслуговування обладнання включає в себе перевірку справності обладнання, заміну зношених деталей, очищення обладнання від забруднень.

- Необхідно перевіряти стан обладнання перед початком роботи. Перед початком роботи з обладнанням необхідно перевірити, чи немає на ньому видимих пошкоджень.
- Необхідно розміщувати обладнання в добре провітрюваному місці. Добре провітрюване місце запобігає накопиченню в повітрі шкідливих речовин.
- Необхідно уникати перевантаження обладнання. Перевантаження обладнання може призвести до його поломки або до виникнення пожежі.

Дотримання заходів з охорони праці при роботі з аквадистиляторами допоможе запобігти нещасним випадкам та іншим негативним наслідкам.

6. ЕКОЛОГІЯ

6.1 Екологічні ризики при роботі з аквадистиляторами

Аквадистилятори є екологічно чистим способом очищення води. При роботі з аквадистиляторами не утворюються шкідливі відходи, які можуть забруднювати навколишнє середовище.

Однак, при роботі з аквадистиляторами необхідно дотримуватися деяких заходів, щоб запобігти негативному впливу на екологію:

- Необхідно використовувати якісне обладнання, яке відповідає екологічним стандартам.
- Необхідно регулярно проводити технічне обслуговування обладнання.
- Необхідно утилізувати відпрацьоване обладнання відповідно до екологічних норм.

6.2 Якість обладнання

Якість обладнання для аквадистиляції має важливе значення для екології. При використанні якісного обладнання в навколишнє середовище не потрапляють шкідливі речовини.

Якість обладнання для аквадистиляції визначається такими факторами:

- Матеріал, з якого виготовлено обладнання. При використанні якісних матеріалів, які не вступають в реакцію з водою, в навколишнє середовище не потрапляють шкідливі речовини.
- Дизайн обладнання. При правильному проектуванні обладнання не утворюються шкідливі відходи.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Бруква О.Ю.	<i>Назва, додаткова назва</i> 6. Екологія	222202.ДП.05.006.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/3

- Технологія виробництва обладнання. При використанні екологічно чистих технологій виробництва обладнання в навколишнє середовище не потрапляють шкідливі речовини.

6.3 Технічне обслуговування

Регулярне технічне обслуговування обладнання також важливо для екології. При технічному обслуговуванні обладнання видаляються забруднення, які можуть призвести до викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище.

При технічному обслуговуванні обладнання необхідно:

- Проводити перевірку обладнання на наявність пошкоджень.
- Замінювати зношені деталі.
- Очищувати обладнання від забруднень.

6.4 Утилізація обладнання

Відпрацьоване обладнання для аквадистиляції також необхідно утилізувати відповідно до екологічних норм. При утилізації обладнання з нього видаляються шкідливі речовини, які можуть забруднювати навколишнє середовище.

При утилізації обладнання необхідно дотримуватися таких правил:

- Утилізацію обладнання необхідно проводити спеціалізованими компаніями, які мають відповідну ліцензію.
- При утилізації обладнання необхідно використовувати безпечні методи, які не призведуть до забруднення навколишнього середовища.

6.5. Конкретні приклади

Конкретні приклади того, як можна мінімізувати негативний вплив аквадистиляції на екологію:

- Використовувати обладнання, яке використовує мінімальну кількість енергії. Аквадистиляція є енерговитратним процесом. Тому для мінімізації негативного впливу аквадистиляції на екологію необхідно використовувати обладнання, яке використовує мінімальну кількість енергії.
- Використовувати обладнання, яке використовує відновлювані джерела енергії. Використовуючи обладнання, яке використовує відновлювані джерела енергії, такі як сонячна або вітрова енергія, можна значно зменшити негативний вплив аквадистиляції на екологію.
- Використовувати обладнання, яке має високу ефективність очищення води. Чим вище ефективність очищення води, тим менше води необхідно переробити, щоб отримати необхідну кількість дистильованої води. Це також допоможе зменшити негативний вплив аквадистиляції на екологію.
- Відпрацьовану воду з аквадистиляторів використовувати для інших цілей. Відпрацьована вода з аквадистиляторів містить лише незначні кількості домішок, тому її можна використовувати для інших цілей, наприклад, для поливу рослин. Це допоможе зменшити кількість відходів, які необхідно утилізувати.

Дотримання цих заходів допоможе зробити аквадистиляцію ще більш екологічною технологією.

ВИСНОВКИ

Зробивши огляд обладнання та джерел про аквадистилятори, було виявлено, що одним з найбільш вразливих місць обладнання є краплевловлювачі.

Провівши симуляцію за допомогою Flow Simulation, було отримано результати потоку пари всередині колони і через краплевловлювач, створеного в SolidWorks по габаритам існуючого.

Так як ефективність краплевловлювача обумовлюється масовою часткою конденсату, дослідження показало, що в створеній моделі краплевловлювача достатньо трьох перегородок для вловлювання конденсату. А отже, можна дійти висновку, що можна зменшити кількість перегородок, маючи ту саму ефективність і при цьому зменшити довжину краплевловлювача. Кожна перегородка має товщину 10 мм, відстань між перегородками 40 мм, отже довжина краплевловлювача при трьох перегородках буде дорівнювати 110 мм, що на 100 мм менше від довжини краплевловлювача, який встановлений в даному аквадистиляторі.

Тобто довжину краплевловлювача можна зменшити майже вдвічі, на 47,6% використовуючи таку модель, на відміну від вмонтованої в даний аквадистилятор.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Бруква О. Ю.	<i>Назва, додаткова назва</i> Висновки	222202.ДП.05.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Н. Brush. Methods of producing water for injection [Електронний ресурс] / Н. Brush, G. Zoccolante // ResearchGate. – 2009. – Режим доступу до ресурсу:
https://www.researchgate.net/publication/294338467_Methods_of_producin_g_water_for_injection.
2. A. Idris. Incorporating potential environmental impact from water for injection in environmental assessment of monoclonal antibody production [Електронний ресурс] / A. Idris, G.K. Chua., M.R. Othman // ELSEVIER. – 2016. – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263876216000770>
3. Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник / Теличкун В.І., О.М. Гавва, Ю.С. Теличкун, О.О. Губеня, М.Г. Десик, О.М. Чепелюк. – Київ: Видавництво «Сталь», 2017. – 456 с
4. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості: підручник / Мирончук В. Г., Гулий І. С., Пушанко М. М. та ін.; за ред. Мирончука В.Г.. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 648 с.
5. Andrew Baird. Making high-purity water: when water of extreme purity is needed, there are no better exemplars to follow than pharmaceutical and semiconductor manufacturers. And the differences between these two industries\ approaches is illuminating in itself [Електронний ресурс] / Andrew Baird, Ralph Williams // GALE ACADEMIC ONEFILE. – 2005. – Режим доступу до ресурсу:
<https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA132772041&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00092460&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon~283ae0bc&aty=open-web-entry>.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепелюк О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Бруква О. Ю.	<i>Назва, додаткова назва</i> Список використаних джерел		222202.ДП.05.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

6. Prof. Dr.-Ing. Frank Rögener. Increasing the Sustainability of Pharmaceutical Grade Water Production [Електронний ресурс] / Prof. Dr.-Ing. Frank Rögener // WILEY. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cite.202300152>.
7. Державна Фармакопея України / Державне підприємство “Науково-експертний фармакопейний центр”. – 1-е вид. – Харків: ПІРЕГ, 2001
8. James Swarbrick. Water for Pharmaceuticals / James Swarbrick // Encyclopedia of Pharmaceutical Science and Technology / James Swarbrick. – England: CRC Press, 2013. – (WILEY). – С. 17.
9. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості [Текст] : навч. посіб. / Ю. І. Сидоров, В. І. Чуєшов, В. П. Новіков. — Вінниця: Нова книга, 2009. — 816 с