НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Мельник В.М.
(підпис)
"___" _____ 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
на тему: "Розробка випарного апарату для випарювання розчину лізину з модернізацією випарних труб"

Виконала:
Студентка VI курсу, групи БІ-11 мп
Кручок Ірина Ігорівна _____

Науковий керівник:
к.т.н., доц.
Шибецький Владислав Юрійович _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській Дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студентка _____ Кручок І.І.

Київ – 2022 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

магістерської десертації

на тему: “Розробка випарного апарату для випарювання розчину лізину з модернізацією випарних труб”

Київ – 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Мельник В.М.
(підпис)
“___” _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студентці
Кручок Ірині Ігорівні

1. Тема дисертації «Розробка випарного апарату для випарювання розчину лізину з модернізацією випарних труб», науковий керівник дисертації Шибецький Владислав Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «___» _____ 2022р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації
3. Об’єкт дослідження: випарний апарат з співвісною гріючою камерою.
4. Предмет дослідження: процес випарювання, вплив геометрії труб на процес теплообміну.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести літературний аналіз за темою дисертації, дослідити стан проблеми; провести чисельний експеримент на основі математичної моделі процесу випарювання; провести дослідження різної конфігурації гофрованих труб; запропонувати оптимізаційну

конструкцію випарного апарату; провести технологічні та конструкційні розрахунки випарного апарату; розробити технічну документацію на випарний апарат оптимізованої конструкції.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Апаратурна схема лінії виробництва лізину (А1); Складальне креслення (А1), Випарний апарат з співвісною гріючою камерою та винесеною циркуляційною трубою; Складальне креслення (А3), Гофрована труба. Плакати за темою магістерської дисертації.

7. Орієнтовний перелік публікацій

Тези, стаття.

8. Консультанти розділів дисертації

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

9. Дата видачі завдання

Календарний план

п/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Аналіз стану проблеми	01.09.2022-01.11.2022	
2.	Теоретичні дослідження	07.10.2022-18.11.2022	
3.	Патентний пошук; розробка конструкції випарного апарату	14.10.2022-21.10.2022	
4.	Математична модель	22.10.2022-28.10.2022	

5.	Проведення комп’ютерного моделювання: оформлення результатів дослідження	31.10.2022-21.11.2022	
6.	Практична реалізація: розроблення технічної документації на випарний апарат, проведення розрахунків на працездатність установки	01.09.2022-22.09.2022	
7.	Підготовка матеріалів для публікації статті у фаховому виданні	21.11.2022-30.11.2022	
8.	Оформлення пояснювальної записки, креслень та документації	01.11.2022-30.11.2022	

Студент І.І. Кручок

Науковий керівник дисертації В.Ю. Шибецький

РЕФЕРАТ

УДК 661.74

Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра на тему «Розробка випарного апарату для випарювання розчину лізину з модернізацією випарних труб» / НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»; керівник: Шибецький В.Ю.; виконавець: Кручок І.І., студентка групи БІ-11 мп.

Робота складається з переліку умовних позначень, вступу, п’яти розділів, висновків, переліку посилань і додатків. Повний обсяг роботи становить 113 сторінок, 11 рисунків, 17 таблиць і переліку посилань з 32 найменувань.

В магістерській дисертації було розглянуто технологічний процес виробництва лізину; обґрунтовано вибір конструкції випарного апарату; проведено комп’ютерне моделювання гріючих труб різної конфігурації; виконані розрахунки, що підтверджують працездатність, надійність конструкції випарного апарату та можливість реалізації інженерних рішень; надані рекомендації щодо монтажу та експлуатації. Також був проведений патентний пошук та розроблено стартап-проєкт.

Об’єктом дослідження є теплообмінне обладнання – випарний апарат з співвісною гріючою камерою.

Предмет дослідження – вплив геометрії труб на процес теплообміну в гріючій камері.

Всі проведені розрахунки відповідають діючим стандартам.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИПАРНИЙ АПАРАТ, ЛІЗИН, ВИПАРЮВАННЯ, ГРІЮЧІ ТРУБИ, МОДЕЛЮВАННЯ, КИПІННЯ, ГЛАДКА ТРУБА, ГОФРОВАНА ТРУБА, ANSYS, FLUENT.

ABSTRACT

UDC 661.74

Master's thesis for obtaining a master's degree on the topic "Development of an evaporation apparatus for evaporation of lysine solution with modernization of evaporation pipes" / NTUU "KPI named after I. Sikorsky"; manager: V.Y. Shibetskyi; performer: I.I. Kruchok, student of group BI-11 mp.

The work consists of a list of notations, an introduction, five chapters, conclusions, a list of references and appendices. The full volume of the work is 113 pages, 11 figures, 17 tables and a list of references from 32 items.

The technological process of lysine production was considered in the master's thesis; the choice of the design of the evaporation apparatus is justified; computer modeling of heating pipes of various configurations was carried out; calculations were performed, which confirm the efficiency, reliability of the design of the evaporation apparatus and the possibility of implementing engineering solutions; installation and operation recommendations are provided. A patent search was also conducted and a startup project was developed.

The object of research is heat exchange equipment - an evaporator with a coaxial heating chamber.

The subject of the research is the influence of the geometry of the pipes on the process of heat exchange in the heating chamber.

All performed calculations correspond to current standards.

KEY WORDS: EVAPORATOR, LYSIN, EVAPORATION, HEATING PIPES, SIMULATION, BOILING, SMOOTH PIPE, CORRUGATED PIPE, ANSYS, FLUENT.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ 10
ВСТУП 13
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ 15
1.1 Лізин та сфери його застосування 15
1.2 Обґрунтування та вибір способу концентрування 16
1.3 Випарювання під вакуумом 17
1.4 Кострукції випарних апаратів та галузь застосування 18
1.5 Огляд конструкцій випарних апаратів 19
1.6 Патентне дослідження випарних апаратів 24
1.6.1 Патентна документація 25
1.7 Висновки 30
1.8 Постановка задач дослідження 30
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ 31
2.1 Просте випарювання 31
2.2 Моделювання процесів випарювання 33
2.3 Висновки 35
3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАРНОГО АПАРАТУ 36
3.1 Дослідження та порівняльний аналіз труб різної конфігурації в гріючій камері 37
3.2 Розрахунок коефіцієнту теплопередачі досліджуваних труб 45
3.2 Висновки 46
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ 48
4.1 Опис технологічного процесу виробництва лізину 48
4.2 Обгрунтування вибору конструкції випарного апарату 49
4.2.1 Опис конструкції випарного апарату 50
4.2.2 Вибір матеріалів для виготовлення випарного апарату 52
4.3 Технічна характеристика апарату 52

4.4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції випарного апарату 53
4.4.1 Технологічний розрахунок випарного апарату 53
4.4.2 Тепловий баланс 55
4.4.3 Розрахунок коефіцієнту теплопередачі 55
4.4.4 Розрахунок барометричного конденсатора 58
4.4.5 Висота барометричної труби 59
4.4.6 Розрахунок продуктивності вакуум-насоса 60
1.4.7 Визначення кількості труб 61
4.4.8 Обичайка гріючої камери 61
4.4.9 Днище гріючої камери 63
4.4.10 Визначення діаметра штуцерів 64
4.4.11 Розрахунок фланцевого з'єднання 64
4.4.12 Розрахунок навантажень, що діють на фланцеве з'єднання 66
4.5 Рекомендації з ремонту, монтажу та експлуатації апаратів 71
4.5.1 Ремонт апарату та мета його проведення 74
4.6 Висновки 76
5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ 78
5.1 Резюме 78
5.2 Планові варіанти розвитку стартап-ідеї 81
5.3 Вплив зовнішнього та внутрішнього середовища на цінність стартап-ідеї 82
5.4 Визначення потенційного споживача підприємства 88
5.4.1 Споживач. Структура пошуку 89
5.5 Формування рівновагової ціни 91
Визначення економічних складових стартап-проєкту. 91
5.5.1 Розрахунок ціни інноваційної пропозиції 92
5.6 Конкурентне середовище стартап-проєкту 95
5.7 Ключові фактори успіху стартап-проєкту. Метод Шонфільда 99

5.8 Просування цінності стартап-проєкту на ринку 102
5.9 Висновки 107
ВИСНОВКИ 108
CONCLUSION 109
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 110
Додаток А

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ

БрК – барометричний конденсатор;

ВА – випарний апарат;

В – вентилятор;

Зб – збірник;

К – стерилізаційна колонка;

М – мірник;

Н – насос лопатевий;

СШ – сушильна камера;

Т – теплообмінник;

Р – реактор;

Ф – індивідуальний повітряний фільтр;

Ц – циклонна батарея;

G – масова витрата, $кг/с$;

c – теплоємність, $Дж/кг \cdot ^{o} C$;

ρ – густина, $кг/м^3$;

λ – коефіцієнт теплопровідності, $Вт/м \cdot ^{o} C$;

μ – коефіцієнт динамічної в’язкості, $Па \cdot с\ Па \cdot с$;

ν – коефіцієнт кінетичної в’язкості, $м^2/с$;

V – об’ємна витрата, $м^3/с$;

k – коефіцієнт теплопередачі, $Вт/м^2 \cdot К$;

α – коефіцієнт тепловіддачі, $Вт/м^2 \cdot К$;

δ – товщина стінки труби, $м$;

r – термічний опір забруднень, $Вт/м^2 \cdot К$;

$d_{екв}$ – еквівалентний діаметр, $м$;

$D_в$ – внутрішній діаметр кожухової труби, $м$;

Re – критерій Рейнольдса;

Nu – критерій Нусельта;

Pr – критерій Прандтля;

q – поверхнева густина теплового потоку, $Вт/м^2$;

Δp – перепад тиску в апараті, *Па*;

η – коефіцієнт корисної дії;

l – довжина труби, *м*;

ξ – коефіцієнт місцевого опору;

ω – швидкість руху рідини, *м/с*;

N – потужність привода насоса, *Вт*;

n_y – границя стійкості;

φ – коефіцієнт міцності зварних швів;

$D_н$ – зовнішній діаметр фланця, $м$;

$D_б$ – діаметр болтової окружності, $м$;

$d_б$ – діаметр болта, $м$;

$l_б$ – довжина болта, $м$;

u_1 – нормативний зазор, $м$;

$k_{пр}$ – прокладочний коефіцієнт;

a – конструктивний додаток до розміру болтів, $м$;

$h_п$ – товщина прокладки, $м$;

b – ширина прокладки, $м$;

$k_п$ – коефіцієнт обтискання прокладки ;

E – модуль пружності, $МПа$;

$f_б$ – площа поперечного перерізу болта, $м^2$;

ν, ψ_1, ψ_2 – конструктивні коефіцієнти;

$\alpha_ф$ – коефіцієнт об’ємного розширення фланця, $^oC^{-1}$;

$\alpha_б$ – коефіцієнт об'ємного розширення болтів, $^oC^{-1}$;

α_c – коефіцієнт об'ємного розширення вільного кільця, $^oC^{-1}$;

q – зусилля герметизації, $МПа$;

$[\sigma]$ – граничне напруження, $МПа$;

$[P]$ – допустимий тиск, $МПа$;

$y_ф$ – піддатливість фланця, $1/(м \cdot МН)$;

$y_б$ – піддатливість болтів, $м/МН$;

y_c – піддатливість вільного кільця, $1/(м \cdot МН)$;

$[\theta]$ – граничний кут повороту, $рад$;

t – крок розміщення труб, $м$;

F – площа поверхні теплообміну, $м^2$;

D – діаметр гріючої камери, $м$;

D_1 – діаметр сепаратора, $м$;

D_2 – діаметр циркуляційної труби, $м$;

d – діаметр гріючих труб, $м$;

Δ – шорсткість труб, $м$;

$G_{пов}$ – масова продуктивність вакуум-насосу, $кг/с$;

$V_{пов}$ – об'ємна продуктивність вакуум-насосу, $м^3/с$;

$V_{пов}$ – універсальна газова стала, $Дж/моль \cdot К$;

$V_{пов}$ – універсальна газова стала, $Дж/моль \cdot К$;

$t_{пов}$ – температура повітря у барометричному конденсаторі, ^oC;

$p_{пов}$ – тиск повітря у барометричному конденсаторі, $Па$;

$p_п$ – тиск насиченої водяної пари при температурі повітря у барометричному конденсаторі, $Па$;

$N_{пов}$ – потужність на валу вакуум-насосу, $Вт$.

ВСТУП

Сучасна біотехнологія є однією з прогресуючих та найбільш перспективних галузей нашої країни. Її розвиток безпосередньо впливає на ряд важливих соціальних, продовольчих, сировинних та екологічних проблем. Розвиток біотехнології та її роль у науково-технічному прогресі має важливе значення для створення матеріально-технічної бази суспільства. Ринок біотехнологічної продукції медичного, сільськогосподарського та харчового призначення в Україні на сьогоднішній день стрімко зростає. Успіхи, досягнуті в біотехнології, використовуються у різних сферах: медицині, виробництві хімічних речовин, сільському господарстві, енергетиці та харчовій промисловості [1].

На розвиток та промислове обладнання біотехнологічних виробництв безпосередньо має вплив якість, енергоефективність та ефективність використання. На потужність та продуктивність біотехнологічного виробництва мають вплив економічні чинники, серед яких вартість енергоресурсів.

Технологічні рішення біотехнології передбачають наявність практично у всіх технологічних схемах стадії концентрування розчинів, зокрема, шляхом випарювання. Для цього використовують випарні апарати від потенційних можливостей яких залежить збереження енергії на стадії концентрування.

Обладнання для випарювання має значну металоємність та енергозатрати під час експлуатації. Це пов’язано з особливістю роботи апаратів, а саме необхідність підтримувати високі значення температур [2].

Процес випарювання використовують для концентрування розчинів практично нелетких речовин (малолетких речовин) з рідких летких розчинників, до яких відноситься і розчин лізину. Процес полягає в тому, що шляхом нагрівання, а іноді і зниження тиску, деяку частину розчинника води у вигляді пари видаляють з розчину. Даний процес використовують для

часткового розділення, а саме концентрування розчинів та для повного виділення твердих речовин із нього [3].

Удосконалення конструкцій випарних апаратів можливо різними способами, наприклад змінити геометрії труб у гріючій камері. Це реалізується різними шляхами. Найпоширеніші з них це: спіральне гофрування, однозахідне гофрування, кільцева накатка, оребрення, заглиблення на поверхні [4].

За рахунок повторного використання відпрацьованої пари реалізується економія енерговитрат. Це можливо лише за умови досягання порівнянно великих температурних значень, які досягаються при проведенні процесу випарювання термічно стійких розчинів [3].

Новизна дипломного проєкту полягає у розробці модернізованої конструкції випарного апарату, а саме вдосконалення гріючих труб. Запропоноване рішення допоможе покращити процес інтенсифікації теплообміну та пришвидшити процес кипіння у випарному апараті.

Актуальність дипломного проєкту полягає у вирішенні проблеми загальної металоємності шляхом зміни геометрії труб у гріючій камері.

Об'єктом дослідження є випарний апарат з співвісною гріючою камерою.

Предметом дослідження є процес випарювання, вплив геометрії труб на процес теплообміну.

Метою магістерської дисертації виступає розробка конструкції випарного апарату з співвісною гріючою камерою та дослідження процесу випарювання.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Лізин та сфери його застосування

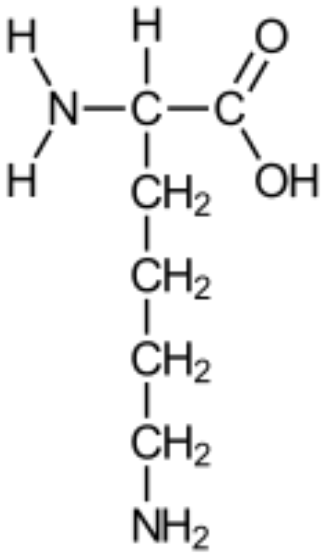


Рис. 1.1 Хімічна формула лізину

Лізин – це незамінна амінокислота, яка є будівельним елементом білка в нашому організмі. Оскільки лізин не може вироблятися сам по собі, його необхідно вживати за допомогою їжі або харчових добавок. Його також називають “двохосновною амінокислотою”, як і аргінін, цистеїн або орнітин [5].

Спочатку лізин використовували в якості харчового інгредієнта, особливо в вегетаріанському раціоні, в якому лізин дуже часто відсутній. Його додавали в злаки, а також корми для сільськогосподарських тварин. Відомо, що лізин зв’язується з певними мінералами, такими як мідь, а це дозволяє швидше транспортувати лізин в еритроцити, тобто безпосередньо в організм [5].

У харчовій промисловості лізин та інші амінокислоти може бути використаний як антиокислювач. Такими властивостями володіють метіонін, лізин, триптофан, аргінін, аспарагін, ізолейцин.

Широке застосування лізину набуло в медицині. Дослідження показали, що лізин покращує засвоєння кальцію. Також він грає важливу роль у виробленні карнітину в організмі людини, який відповідає за перетворення жирів в енергію, а також за підтримку нормального рівня холестерину в ліпопротеїнів. Лізин є однією з найважливіших амінокислот, що беруть участь в регенерації м’язів, загоєнні ран і переломів. Допомагаючи швидше засвоювати кальцій, він може ефективно скоротити час регенерації [5].

Таким чином, навіть незначний огляд можливих шляхів використання амінокислот, а саме лізину, показує їх велике значення і перспективність

використання в багатьох галузях промисловості, в сільському господарстві та медицині. Однак далеко не всі амінокислоти отримують в світовій практиці в достатній кількості і необхідного рівня очищення. Їх широке застосування призупиняється зараз не стільки малим обсягом виробництва, скільки високою вартістю. Мабуть, здешевлення виробництва амінокислот дозволить різко розширити область їх застосування і збільшити обсяг виробництва [5].

1.2 Обґрунтування та вибір способу концентрування

Нині відомі наступні можливі способи концентрування розчинів: перегонка, виморожування, екстракція, випарювання [6].

Перегонка один з найбільш розповсюджених методів розділення рідких однорідних сумішей, що складаються з двох або більшого числа компонентів. У широкому розумінні перегонка являє собою процес, що включає часткове випаровування суміші з наступною конденсацією пари, який проводять одно- або багаторазово. У результаті конденсації одержують чистий випарений компонент (рідина), склад якої відрізняється від складу вихідної суміші. За допомогою перегонки розділяють суміші, усі компоненти яких леткі, тобто мають визначений, хоча і різний тиск пари [6].

Екстракцією називають процес витягу одного або декількох компонентів з розчинів або твердих тіл за допомогою виборчих розчинників (екстрагентів). При взаємодії з екстрагентом у ньому добре розчиняються компоненти, що витягаються, і значно слабкіше або зовсім не розчиняються інші компоненти вихідної суміші. Екстракція незамінна для поділу суміші речовин, чуттєвих до підвищених температур [6].

Випарюванням називається концентрування розчинів практично нелетких або малолетких речовин у рідких летких розчинниках, шляхом видалення частини леткого розчинника. Випарюванню піддають розчини твердих речовин (водні розчини лугів, солей і ін.), а також висококиплячі

рідини, що мають при температурі випарювання досить малий тиск насиченої пари – деякі мінеральні й органічні кислоти, багатоатомні спирти та ін.

При випарюванні здійснюється часткове видалення розчинника з усього об'єму розчину при температурі кипіння. Тому випарювання принципово відрізняється від випаровування, що, як відомо, відбувається з поверхні розчину при будь-яких температурах нижче температури кипіння [6].

В даному випадку розглядається процес концентрування розчину лізину, який є термолабільною речовиною, то для здійснення цього процесу доцільно вибрати процес випарювання під вакуумом.

1.3 Випарювання під вакуумом

Процеси випарювання проводять під вакуумом, при підвищеному й атмосферному тисках. Вибір тиску залежить від властивостей розчину, що випарюється, і можливістю використання тепла вторинної пари.

Випарювання під вакуумом має переваги перед випарюванням під атмосферним тиском. Хоча такий спосіб випарювання має один недолік. Теплота випаровування розчинника із розчину трохи зростає зі зниженням тиску і відповідно збільшується витрата пари на випарювання 1 кг розчинника (води) [7].

Вакуумне випарювання дозволяє знизити температуру кипіння розчину і застосовується для випарювання термічно нестійких речовин (наприклад розчинів органічних речовин, амінокислот), а також висококиплячих розчинів, коли температура гріючого агента, не дає можливості вести процес під атмосферним тиском. Використання вакууму дозволяє також збільшити корисну різницю температур в випарному апараті, а отже, зменшити поверхню теплообміну [7].

1.4 Кострукції випарних апаратів та галузь застосування

Конструкції випарних апаратів повинні задовольняти ряд загальних вимог, а саме: мати велику інтенсивність теплопередачі та забезпечувати високу продуктивність при можливо менших об’ємах апарату; витрати металу на його виготовлення – мінімальні; простота конструкції та надійність в експлуатації [8].

Оскільки розчини, що випарюються, мають найрізноманітніші фізико-хімічних властивості, потребують різну продуктивність випарних установок, мають різну організаційно-технічну структуру виробництва, використовують різноманітні теплонсії, тому було розроблено понад 100 різновидів конструкцій ВА [8].

Враховуючи те, що було зазначено вище випарні апарати класифікують за наступними технологічними і конструкційними ознаками [9].

1. За принципом дії: апарати періодичної і безперервної дії.
2. За видом використовуваного теплоносія: апарати з паровим, газовим, рідинним або електричним обігріванням.
3. За способом організації руху і режиму циркуляції розчину, що випарюється, розрізняють:

- Апарати із примусовою (вимушеною) циркуляцією;
- Апарати з неорганізованою природною циркуляцією;
- Апарати плівкового типу та без циркуляції розчину;
- Апарати з організованою природною циркуляцією.

4. За конструктивною схемою з’єднання сепаратора і гріючої камери:

- Апарати зі співвісним розміщенням;
- Апарати із винесеною гріючою камерою;
- Апарати із винесеною циркуляційною трубою.

5. За кратністю циркуляції: з однократною і багаторазовою циркуляцією розчину.

6. За способом підведення тепла до розчину розрізняють апарати поверхневого типу (з фіксованою поверхнею теплопередачі контктного типу, у яких тепло до розчину підводиться у результаті контакту гарячого теплоносія (газу) з розчином.
7. За орієнтацією поверхні нагрівання: на апарати з вертикальним, горизонтальним і похилим розташуванням гріючої камери [9].

Навіть незначний огляд класифікації показує, що ВА бувають різних конструкцій, все залежить від речовини яка буде випарюватись та багато інших факторів. Проте світ кожного дня змінюється, це ж стосується і випарних апаратів. З кожним роком конструкції все більш вдосконалюються, рідше з’являються нові конструкції, однак для того щоб повністю ввести їх в експлуатацію потрібен час для проведення всіх експериментів, що підтверджують надійність та працездатність нової конструкції.

1.5 Огляд конструкцій випарних апаратів

Вакуум-випарний апарат – апарат, в якому проводять процеси концентрування рідких розчинів нелетких речовин шляхом часткового видалення розчинника при кипінні рідини в умовах вакууму [10].

Випарювання під вакуумом проводять при більш низьких температурах, через що дуже важко руйнуватись речовинам, які схильні до розкладання. Вакуум-випарні апарати застосовують для концентрування розчинів, що киплять при високій температурі, розчинів термолабільних речовин таких як: екстракти, настойки, ферменти, амінокислоти та ін. З метою економії енергоносіїв та зменшення часу проведення технологічного процесу [10].

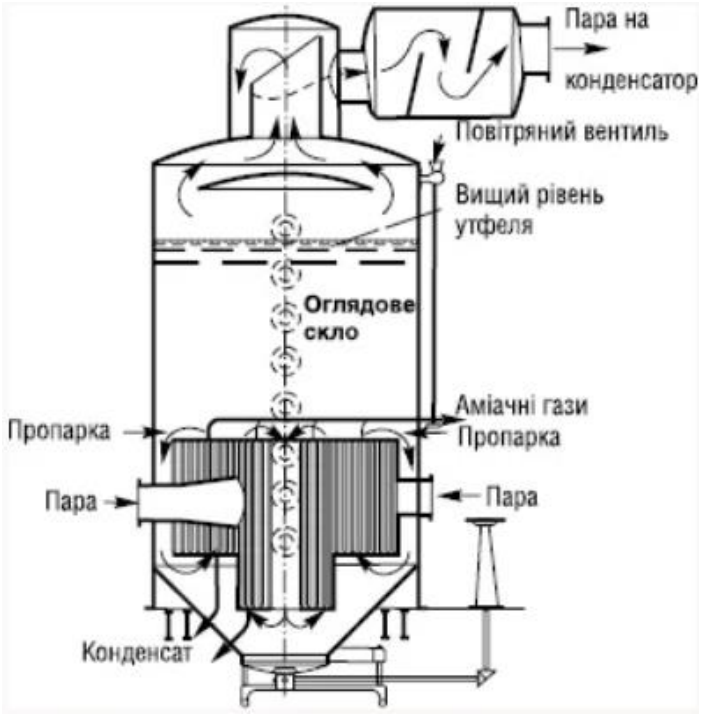


Рис. 1.2 Ваккум-випарний апарат з підвісною випарною камерою

Нині використовують два типи вакуум-випарних апаратів: вертикальні та горизонтальні. Вони можуть мати різноманітні видозміни в конструктивному плані. Найпоширенішим ваккум-випарним апаратом є вертикальний з підвісною випарною камерою (Рис. 1.2).

Такий тип апарату має дві циліндричні парові камери різного діаметру, які вмонтовані одна в одну. В камерах знаходяться вертикальні трубки для обігріву, усередину центральної камери вмонтовано циркуляційну трубу і витік для маси після закінчення процесу випарювання [10].

Проте існують ситуації коли підвісну камеру недоцільно використовувати тому було зконструйовано апарати з винесеною поверхнею нагрівання (Рис. 1.3). Такі апарати знайшли широке застосування при випарюванні шумлячих розчинів. В апаратах проходить в основному самовипарювання перегрітої в трубках рідини при її виході з трубок у сепаратор, де кипіння проходить спокійно і не спостерігається винесення крапель рідини та піни з вторинною парою [10].

Рис. 1.3 Ваккум-випарний апарат з винесеною зоною нагріву: 1 – сепаратор; 2 – нагрівальна камера

Апарати такого типу працюють завдяки холодній циркуляційній трубі та достатній висоті стовпчика рідини, що циркулює. Виносна камера завдяки доступу до трубок полегшує очищення і ремонт апарата [10].

Для того, щоб запобігти відкладанню накипу в трубах, особливо при випарюванні розчинів, що кристалізуються, необхідні швидкості циркуляції не менші за 2-2.5 *м/с*. В апаратах з примусовою циркуляцією її швидкість визначається продуктивністю циркуляційного насоса і не залежить від висоти рівня рідини в трубах, а також від інтенсивності пароутворення. Тому в апаратах з примусовою циркуляцією випарювання ефективно відбувається за малих корисних різниць температур, що не перевищують 3-5 °С, і за значних в'язкостей розчинів.

Апарат з примусовою циркуляцією (Рис. 1.4) має виносну нагрівальну камеру *1*, сепаратор *2* і необігрівану циркуляційну трубу *3*, в яку подається вихідний розчин. Циркуляція розчину здійснюється насосом *4*.

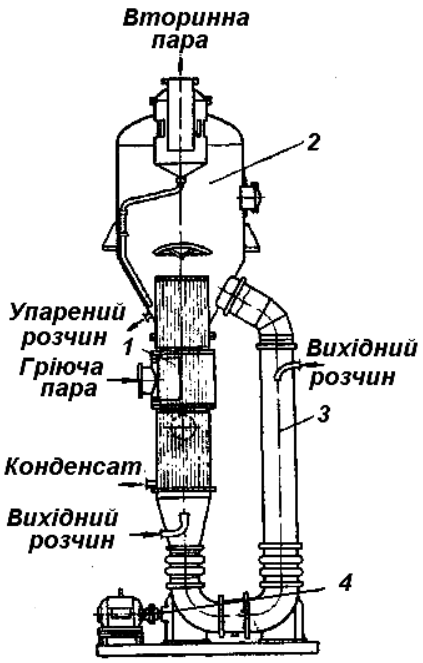


Рис. 1.4 Випарний апарат з примусовою циркуляцією:
1 – нагрівальна камера; *2* – сепаратор; *3* – циркуляційна труба; *4* – циркуляційний насос

За великої швидкості руху випарюваного розчину його кипіння відбувається на короткій ділянці перед виходом з кип’ятильних труб. Отже, зона кипіння виявляється переміщеною у верхню частину нагрівальної камери. На більшій частині довжини труб рідина лише дещо перегрівається, оскільки тиск внизу труби вищий за тиск поблизу її верхнього краю на величину гідростатичного тиску стовпа рідини та гідравлічного опору труби.

Плівкові апарати використовують при концентруванні розчинів, чутливих до високих температур. За необхідного часу перебування у зоні високих температур розчин не встигає перегріватися і його якість не знижується. Принциповою відмінністю прямоточних (плівкових) апаратів від апаратів з природною циркуляцією полягає у тому, що випарювання в них відбувається при однократному проходженні випарюваного розчину по трубах нагрівальної камери. Отже, випарювання здійснюється без циркуляції розчину. Крім того, розчин випарюється, переміщуючись (по більшій частині

висоти кип’ятильних труб) у вигляді тонкої плівки по внутрішній поверхні труб. У центральній частині труб вздовж їх осі рухається вторинна пара. Це приводить до різкого зниження температурних втрат, зумовлених гідростатичною депресією.

Розрізняють апарати з висхідною та падаючою (нисхідною) плівкою. Апарат з висхідною плівкою (Рис. 1.5) складається з нагрівальної камери *1*, яка представляє собою пучок труб невеликого діаметра (15-25 *мм*) завдовжки 5-9 *м*, і сепаратора *2*.

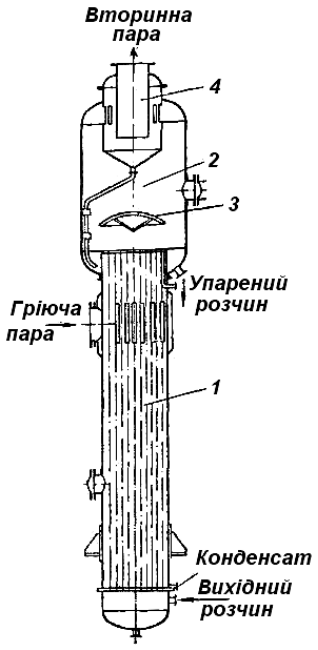


Рис. 1.5 Випарний прямоточний апарат з висхідною плівкою: *1* – нагрівальна камера; *2* – сепаратор; *3* – відбійник; *4* – бризковловлювач

Розчин на випарювання надходить знизу у труби нагрівальної камери, міжтрубний простір якої нагрівається гріючою парою. На рівні близько 20-25% висоти труб починається інтенсивне кипіння. Бульбашки вторинної пари зливаються і пара, швидко піднімаючись по трубах, захоплює з собою розчин. При цьому рідина переміщується у вигляді плівки, що ніби повзе вгору по внутрішній поверхні труб, і випарювання відбувається у тонкому шарі.

Вторинна пара, що виходить з труб, звільняється від крапель рідини за допомогою відбійника *3* та відцентрового бризковловлювача *4*.

1.6 Патентне дослідження випарних апаратів

Патентне дослідження – це системний науковий аналіз властивостей об’єкта господарської діяльності (ОГД) протягом його життєвого циклу, які випливають з правової охорони об’єктів промислової власності [11].

Дане дослідження проводиться з метою визначення патентної ситуації щодо проектованого апарату, а саме визначення їх патентоспроможності й тенденцій розвитку. Дослідження проводилося на основі патентної бази України та іноземних публікацій. Провівши патентне дослідження можна сказати, що в даний час застосовуються різні типи апаратів, що проектуються. Їх різноманіття обумовлюється особливістю теплових режимів та масообмінних процесів, що підтримуються під час проведення технологічного процесу.

1.6.1 Патентна документація

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ

Найменування: Випарний апарат з співвісною гріючою камерою та винесеною циркуляційною трубою.

Етап: Проектування апарату та його складових частин.

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень: № БІ11 16.11.2022 р.

Обґрунтування регламентного пошуку:

- предмет пошуку – випарний апарат;
- об’єкт пошуку – винаходи та корисні моделі.

Мета пошуку інформації: визначення відомостей про використані патенти та винаходи, огляд на характер розвитку даного напрямку в техніці.

Визначення держав пошуку: Україна, США, ЄС.

Ретроспективність: встановлений регламент на період пошуку з 2010-2022 роки.

Джерела інформації: національні та зарубіжні офіційні описи винаходів, описи корисних моделей, бюлетені.

Початок пошуку 16.11.2022 р. Закінчення пошуку 21.11.2022 р.

Таблиця 1.1 Регламент пошуку для порівняльного аналізу конструкцій випарного апарату (форма Б.1 згідно з ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
1	2	3	4	5	6
Випарний апарат	Визначення патентоздатності проектованого апарату й визначення тенденцій розвитку цього напрямку в техніці	Україна, ЄС, США	B01D 1/00; B01D 1/06; УДК 661.158; УДК 621.929.3; УДК 66.023 (088.8)	2010-2022	Описи до винаходів і корисних моделей Держпатенту України; національні й зарубіжні офіційні бюлетні.

Таблиця 1.2 Джерела інформації, використані під час проведення пошуку конструкцій випарного апарату

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні дані за хронологією патентна інформація	Першого та останнього джерела інформації інша науково-технічна інформація
1	2	3	4	5	6
Випарний апарат	Україна, США, ЄС	МПК6 і МПК7- B01D 1/00; B01D 1/06; B01D 3/00; УДК 621.929.3; УДК 66.023 (088.8); УДК 66.048.5-956; B01D 1/00; B01D 1/06; B01D 1/22.	Фонд НТУУ "КПІ"; фонди Державної науково-технічної бібліотеки України; офіційні сайти Держпатенту України, іноземні патенти.	Описи винаходів патентів України №№1-41000; Описи корисних моделей патентів України №№1-150; Описи винаходів іноземних патентів.	Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей; United States Patent (Evaporation means and method).

Таблиця 1.3 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу з обраною конструкцією випарно апарату

ОГД, його складові частини	Бібліографічні дані	Відомості, щодо їхньої дії
1	2	3
Випарний апарат з природньою циркуляцією	Патент № 74151 (UA), B01D 1/00. Випарний апарат з природною циркуляцією / Іващенко Олександр Яковлевич (UA); Мовчанов Володимир Ігнатійович (UA); Гринько Іван Дмитрович (UA); Гринько Олександр Іванович (UA). Заявка № 2002010670, 28.01.2010. Опубл. 15.11.2011; бюл. № 11, 2011 р.	Діє
Випарний апарат з підвісною гріючою камерою	Патент № 72504 (UA), B01D 1/00, 1/06. Випарат апарний з підвісною гріючою камерою / Гітіс Едуатр Борисович (UA); Мовчанов Володимер Іванович (UA); Гринько Іван Дмитрович (UA); Ніколенко Валентина Миколаївна (UA); Костіна Тетяна Іванівна (UA). Заявка № 2001106716, 01.10.2012. Опубл. 15.03.2005; бюл. № 3, 2012 р.	Діє
Випарний апарат	Патент № 107787 (UA), B01D1/22. Випарний апарат [UA] / Бишко Микита Андрійович (UA). Заявка № u201511883, 01.12.2015. Опубл. 24.06.2016.	Не діє
Випарний апарат	Патент № 103776 (UA), B01D1/00. Випарний апарат [UA] / Саввіна Вікторія Ігорівна [UA]. Заявка № u201507187, 17.07.2015. Опубл. 25.12.2015.	Не діє

Продовження таблиці 1.3

Випарний апарат	Патент № 91961 (UA), B01D 1/00, C13B 25/00.Випарний аппарат / Чагайда Андрій Олегович (UA), Станев Сергій Костянтинович (UA), Гонта Ігор Анатолійович (UA) . – Заявка № u201401366, 12.02.2014.; Опубл. 25.07.2014, бюл. № 14/2014.	Діє
Плівковий випарний апарат	Патент № 28618 (UA), B01D 1/22. Плівковий випарний апарат / Пристрома Євгеній Олександрович (UA); Ладановський Михайло Іванович (UA); Василяка Олександр Сергійович (UA);. Заявка № u200712095 , 01.11.2017. Опубл. 10.12.2007.	Діє
Evaporator	United States Patent (US), BOID L/08, BOID L/00, BOID L/02. Patent Number: 15/289,501. EVAPORATOR / Jessica L. Astoria, Harrisburg, NC (US); John W. Fields, North Myrtle Beach, SC (US); James W. Horton, JR. Charlotte, NC (US). Filed: Oct. 10, 2016.	Діє
Thin film evaporator	German, B01D 1/22. Anmeldenummer: A 1567/2017. Dunnschichtverdampfer / Glasl Wolfgang DIPL.ING. Graz, Steiermark (AT). Koncar Michael DIPL.ING. DR. Lieboch, Steiermark (AT). Ausgabetag: 2005-09-26.	Діє
Evaporators with vertical tubes and forced circulation	United States Patent (US), B01D 3/00. Patent Number: 5,496,448. Evaporators with vertical tubes and forced circulation / Dinh-Cuong Vuong (Nederland), Filed: Nov. 22, 2016.	Діє
Falling film evaporator	United States Patent (US), B01D 3/22. Patent Number: 12/900,459/. Falling film evaporator / Xiaogen FENG, (Hangzhou City), Filed: Sep. 22, 2011.	Діє

1.7 Висновки

Проведений патентний пошук показав, що в світі існує понад 100 найрізноманітніших конструкцій випарних апаратів. Деякі патенти не діють, але знайдено достатньо велику кількість діючих патентів.

Із всіх розглянутих способів і методів випарювання установки безперервної дії мають більшу продуктивність, легко автоматизуються і регулюються, більш економічні у тепловому відношенні. В залежності від умов виробництва, об'ємів випуску продукції, габаритних розмірів існує велика кількість видів випарних апаратів. Всі вони мають ряд переваг та недоліків один від одного. Аналізуючи всі найдені патенти, можна зробити висновок, що головна мета в наш час покращити технічні характеристики випарних апаратів для функціональнішої роботи. Наприклад, для зменшення часу випарювання речовин, що застосовуються у біотехнологічній промисловості.

Основною метою магістерської дисертації виступає розробка конструкції випарного апарату з співвісною гріючою камерою та дослідження процесу випарювання.

1.8 Постановка задач дослідження

1. Розроблення математичної моделі процесу випарювання.
2. Проведення комп'ютерного моделювання процесу кипіння в трубах різної геометрії.
3. Обчислення розрахунків, що підтверджують працездатність конструкції випарного апарату.
4. Розроблення технічної документації.
5. Розробка стартап-проєкту.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ

2.1 Просте випарювання

Просте випарювання проводять на установках малої продуктивності, коли витрати теплоти не мають великого значення [12].

Матеріальний баланс простого випарювання включає два рівняння, складені:

- по матеріальних потоках

$$G_н = G_к + W \tag{2.1}$$

- по розчиненій речовині

$$G_н x_н = G_к x_к \tag{2.2}$$

де $G_н, G_к$ – масова витрата початкового і кінцевого розчину; W – масова витрата розчинника, що випарюється; $x_н, x_к$ – масові частки розчиненої речовини в початковому і кінцевому розчинах.

Тепловий баланс простого випарювання може бути записаний на основі потоків приходу і витрати теплоти [12].

Щоб скласти тепловий баланс випарювання визначаємо основні складові: D – масова витрата гріючої пари; $i_{пар}, i_{в.п.}, i_{конд}$ – питомі ентальпії гріючої пари, повторної пари, а також конденсату; $t_н, t_к$ – початкова і кінцева температури розчину; Δq – теплота концентрування від концентрації $x_н$ до концентрації $x_к$; $c_н, c_к$ – питома теплоємність вихідного (початкового) і кінцевого розчинів [13].

Тепловий баланс простого випарювання має вигляд:

$$G_н c_н t_н + D i_{пар} = G_к c_к t_к + W i_{в.п.} + 0,01 G_к x_к \Delta q + D i_{кон.} + Q_п \tag{2.3}$$

Провівши заміну у рівнянні (2.3) відповідно до рівняння (2.1) $G_н$ на $G_к + W$ та вирішивши його відносно витрати гріючої пари, отримаємо:

$$D = G_к \frac{c_к t_к - c_н t_н + 0,01 x_к \Delta q}{i_{пар} - i_{конд}} + W \frac{i_{в.п} - c_н t_н}{i_{пар} - i_{конд}} + \frac{Q_п}{i_{пар} - i_{конд}} \quad (2.4)$$

З рівності (2.4) слідує, що загальна витрата пари визначається трьома доданками, які можна інтерпритувати таким чином [13]:

1) витрата пари на зміну теплоємності упареного розчину;
2) витрата пари на утворення повторної пари;
3) витрата пари на компенсацію втрат теплоти в довкілля.

Значення першого і останнього складових досить мала в порівнянні з другим. Тому при наближених розрахунках вважається, що й кг води, що випаровується з розчину вимагає витрат 1,1…1,2 кг гріючої пари.

За допомогою основного рівняння теплопередачі визначаємо площу поверхні теплообміну [12]:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{п.р.}}, \quad (2.5)$$

де Q – теплове навантаження апарату; K – коефіцієнт теплопередачі; $\Delta t_{п.р.}$ – корисна різниця температур.

При розрахунку випарних апаратів також враховують наступні температурні характеристики [13]:

- загальну різницю температур – це різниця між температурою гріючої пари $t_{гр.п.}$ що поступає у випарний апарат, і температурою вторинної пари $t_{в.п.}$, яка відбирається з апарту:

$$\Delta t_{заг} = t_{гр.п.} - t_{в.п.}, \quad (2.6)$$

де гріючої пари $t_{гр.п.}$ – температура пари, що надходить в апарат;

$t_{в.п.}$ – температура вторинної пари.

- корисну різницю температур, яка завжди менше загальної різниці температур на величину температурних витрат (депресій):

$$\Delta t_{п.р.} = \Delta t_{заг} - \sum \Delta t_{пот}. \quad (2.7)$$

- температурні втрати (депресії), які складаються з температурної, гідростатичної і гідравлічної депресій [12].

2.2 Моделювання процесів випарювання

Процес випарювання широко використовується в харчовій промисловості в основному для підвищення концентрації розчиненої речовини в розчині. Зазвичай випарюють водні розчини – бурякові, фруктові та овочеві соки, сиропи, барду, кормові дріжджі, пектиновий клей, молоко та ін. Окрім цього випарювання використовують для виділення розчинених речовин в твердому вигляді, виділенні у чистому вигляді розчинника, поглинання теплоти від охолоджувального середовища та інших цілей [14]. Випарювання проводять в випарних апаратах різного призначення і конструктивного оформлення.

В залежності від заданих технологічних процесів та властивостей розчину, що випарюється здійснюється вибір відповідної конструкції установки. Також визначають режим роботи обладнання, його статичні та динамічні властивості, зокрема, тиск. Апарат може працювати під надлишковому, атмосферному та надмірному тисках відповідно властивостям рідини та спроможністю використовувати відпрацьовану пару повторно [15].

Конструктивні властивості кожного апарату встановлюють вхідні параметри для поступаючого на випарювання [13]:

- розчину: початкова концентрація b_n, теплоємність c_n, густина ρ_n, витрата S_n ;
- гріючої пари: витрата D_n, температура t_n, теплоємність c_n, густина ρ_n.

На процес проходження випарювання впливають такі параметри конструкції як:

- маса корпусу $G_м$, маса шару ізоляції G, загальний об'єм V, та площа поверхні нагріву F [15].

Вихідні дані параметрів складають значення витрати отриманого концентрованого розчину $S_к$, його густина $\rho_к$, теплоємність $c_к$ та концентрація $b_к$; температура конденсату $t_к$, його витрата $D_к$; витрата відпрацьованої пари (вторинної) W; рівень киплячої рідини h; витрата пари, яка йде на відвід неконденсованих газів D'.

До внутрішніх параметрів відносять масу пари в гріючій камері $G_п$, конденсату $G_к$, внутрішню енергію поступаючої рідини u, тиск в апараті p, загальну температуру t та температуру киплячого розчину $t_{ж}$.

Питомі витрати на випарювання 1 $м^3$ рідини є загальним показником ефективності цього процесу. Локальні показники складаються зі значень питомих витрат пари, енергії (теплової/електричної), експлуатаційні затрати та ін. [16].

Коли відбувається процес випарювання в значній мірі змінюються характеристики розчину, що випарюється та витрати тиску на переміщення вторинної пари. Подібні зміни визначаються безперервними збуреннями з певним періодом та наслідками під час аварійних ситуаціях. Внутрішні локальні збурення характеризуються порушенням термічного опору внаслідок утвореного накипу, зміною параметрів розчину та накопичення газів, що не конденсуються [15].

Завданням процесу випарювання полягає у забезпеченні конкретного значення концентрації розчину на виході та підтримка заданих температурних показників. Інші задачі включають в себе стабілізацію рівня рідини, контроль вакууму всередині установки, якості вихідного розчину та ін.

Кінцева мета полягає у витрачанні мінімальної кількості витрат на весь процес випарювання [15].

2.3 Висновки

Математичні моделі випарних апаратів використовують для встановлення зв'язків між вхідними та вихідними параметрами, визначення режимів роботи існуючих установок і конструктивних параметрів проектованих. Крім того, математичне моделювання широко використовують для визначення динамічних характеристик. Це дозволяє значно скоротити витрати на вибір і обгрунтування режимних і конструктивних параметрів та системи управління випарювання. Математичні моделі також допомагають економити час на підбір та аргументування конструктивних властивостей апарату, режимних параметрів відповідних систем та ін.

3 КОМП’ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАРНОГО АПАРАТУ

З метою інтенсифікації процесу теплопередачі в випарному апараті запропоновано використати гофровані труби, які у порівнянні з гладкими трубами, мають більшу поверхню теплопередачі на одиницю довжини.

Використання гофрованих труб різних модифікацій є ефективним способом поліпшення теплових і гідравлічних характеристик випарних апаратів. Гофровані трубки забезпечують турбулентність поблизу поверхні стінки труби, що зменшує товщину теплової межі шару. Біля стінок трубки поліпшується перемішування рідини завдяки руху від стіни до основного потоку і, як наслідок, збільшується загальний коефіцієнт теплообміну систем.

Коли рідина проходить через трубку, на її рух впливають кілька чинників, наприклад тиск, природа рідини (наскільки вона в'язка) і конструкція стінки трубки. У гладкій трубі рідини зазвичай проходять гладкий шлях, в якому частинки, що є в рідині, не заважають одна одній. Це відоме як ламінарний потік. Однак там, де плавний потік порушується, у рідині утворюються крихітні вири та виникає турбулентність. Не дивно, що це називається турбулентним потоком [16].

За рахунок турбулентності випарювання відбувається більш ефективніше, запобігаючи прилипанню в'язких (товстих) матеріалів до стінки труби, де вони можуть діяти як ізоляція та запобігати ефективній теплопередачі. Це головна перевага гофрованих труб [16].

У сукупності переваги гофрованих трубок є значними. Підвищена ефективність теплопередачі, особливо при більш високих швидкостях потоку, означає, що потрібна менша площа теплопередачі, тому ми можемо виробляти більш короткі та компактні конструкції, які також дешевші у виробництві [16].

3.1Дослідження та порівняльний аналіз труб різної конфігурації в гріючій камері

Щоб підтвердити доречність зміни геометрії труб було розроблено комп'ютерне моделювання в програмі ANSYS. Для проведення дослідження побудовано 2D-моделі 4 конфігурацій труб (Рис. 3.1).

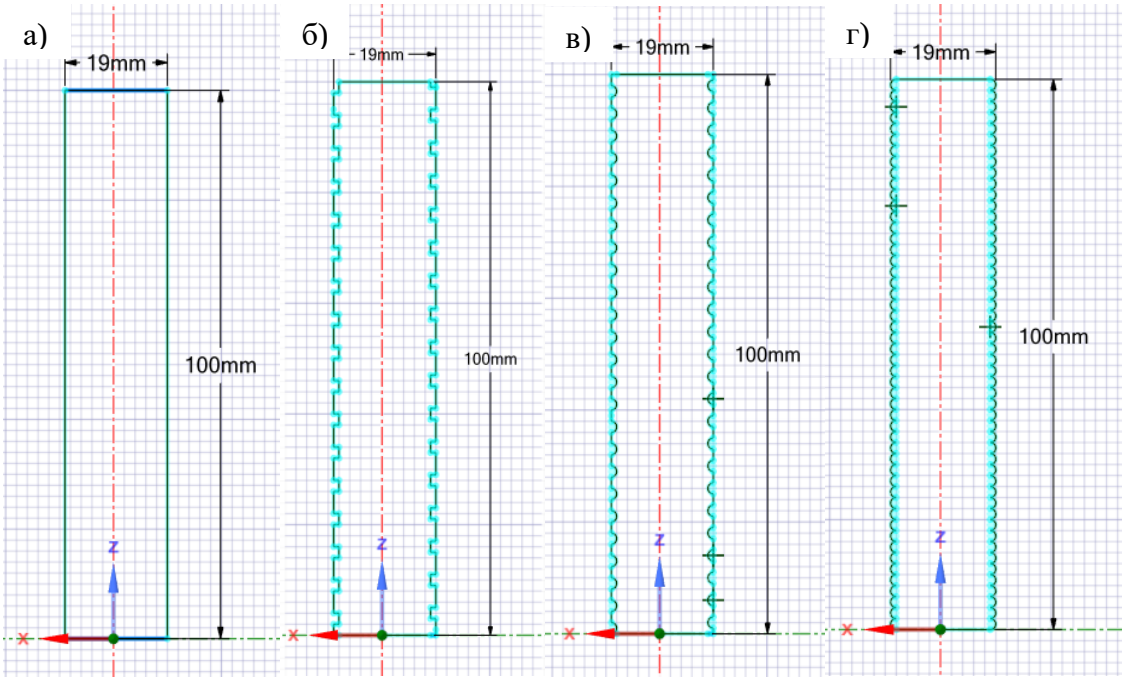


Рис. 3.1 Контур розподілу температур а) гладка труба; б) I зразок гофрованої труби; в) II зразок гофрованої труби; г) III зразок гофрованої труби

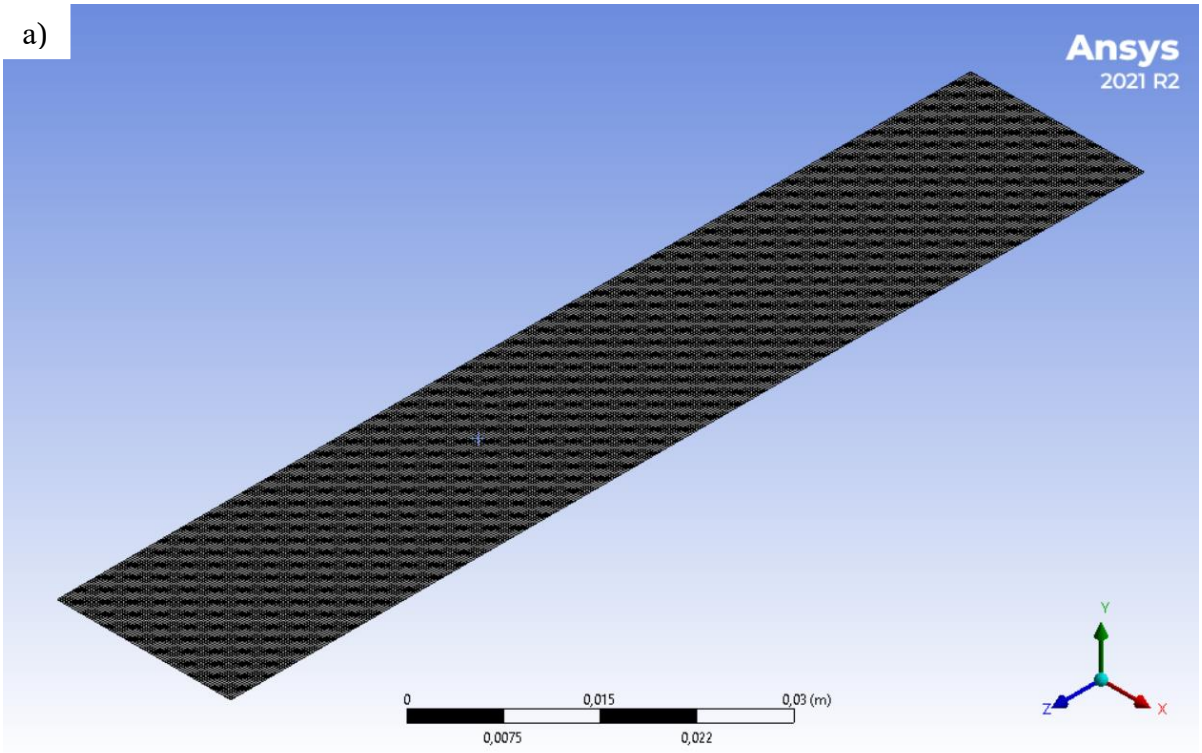
При моделюванні процесу кипіння за досліджувану речовину було використано матеріал *«Water»* вбудованого в бібліотеку, що має наступні параметри:

- коефіцієнт поверхневого натягу $0,073\ {}^{H}\!/_{м}$;
- коефіцієнт теплопровідності $0,6\ Вт/(м \cdot К)$.

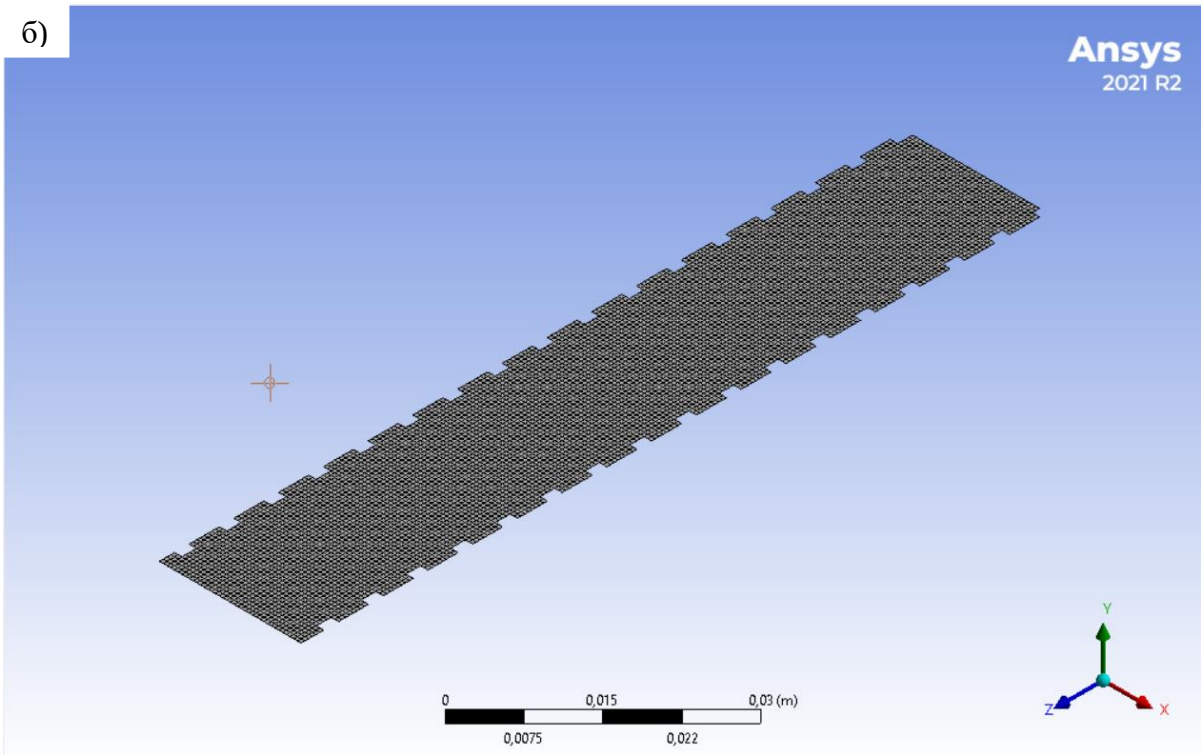
Для реалізації методу кінцевих елементів розрахункові області розбиваються на елементи основних визначальних розмірів за допомогою модуля *Mesh*. При побудові сітки включена функція «*Use adaptive Sizing*» з

встановленням параметру *«Resolution»* Resolution=7, для покращення сітки додаємо *«Refinement»*, та задаємо Refinement=3.

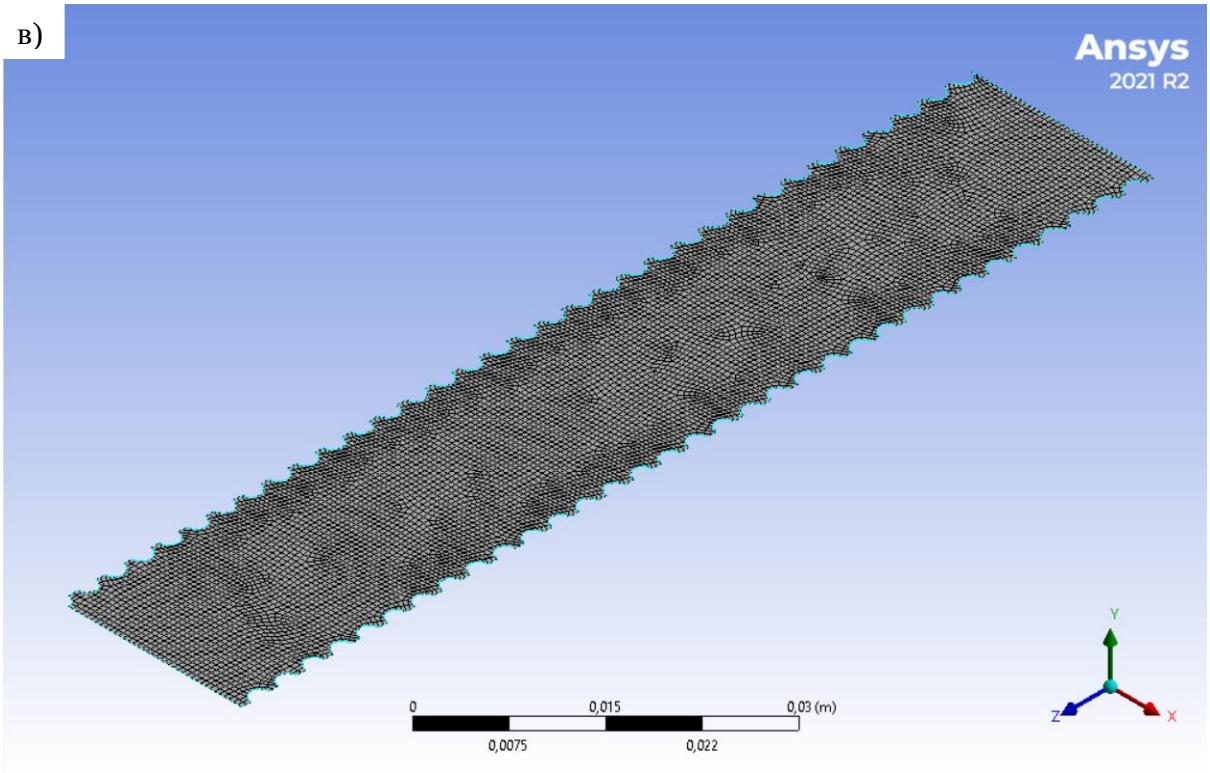
а)



б)



в)



г)

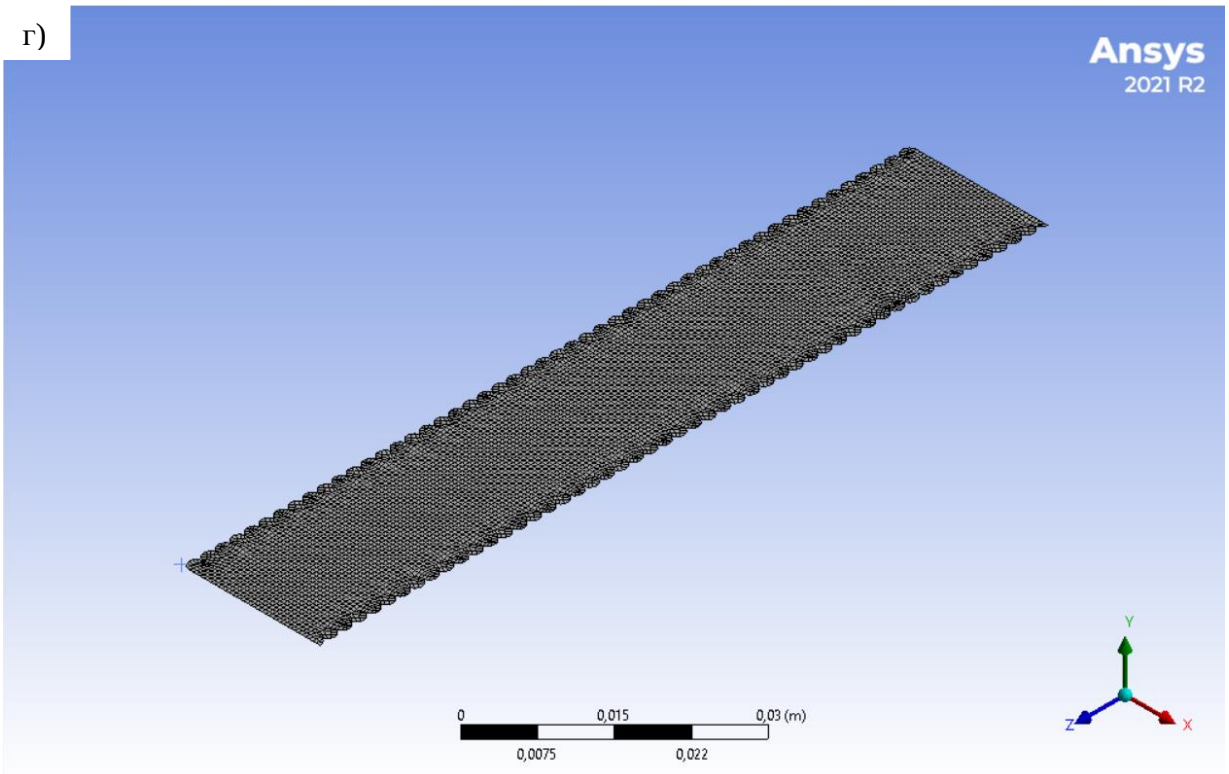
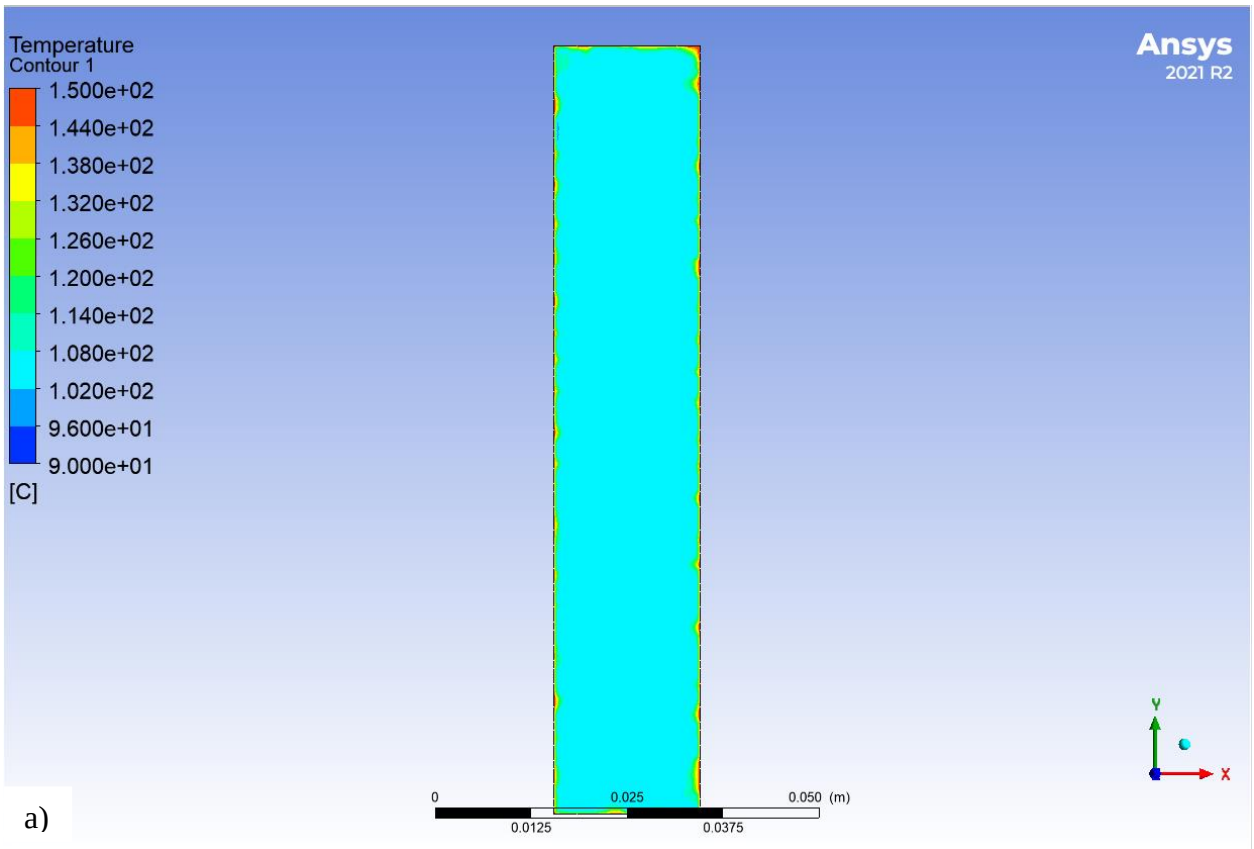


Рис. 3.2 Розбиття на елементи розрахункової області а) гладка труба; б) I зразок гофрованої труби; в) II зразок гофрованої труби; г) III зразок гофрованої труби

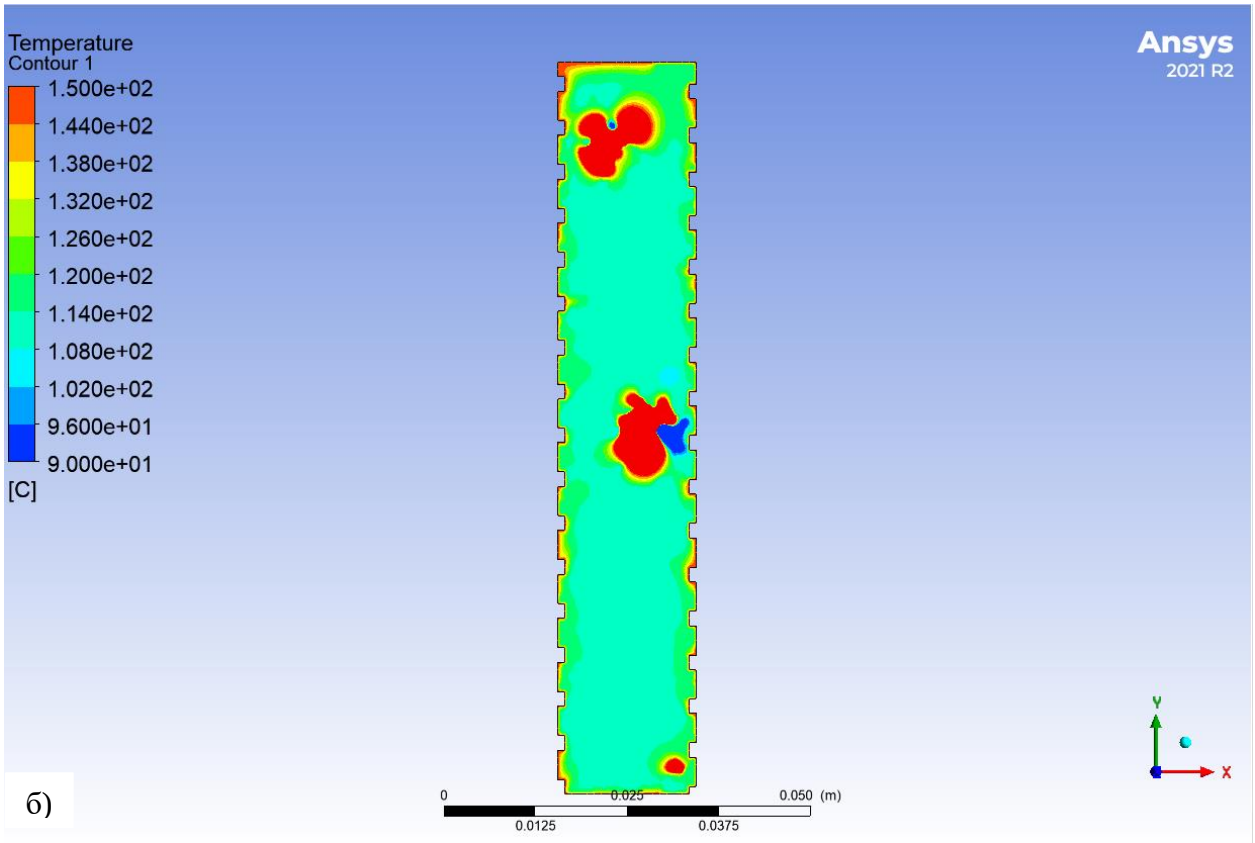
Граничні та початкові умови процесу:

- при створенні моделі у *SpaceClaim* задаємо назву стінок *"Wall" з* початковою температурою $t_{ст.поч} = 150^{\circ}C$;
- встановлюємо, що в процесі буде брати участь 2 фази, які між собою взаємодіють *"Volume of Fluid"*;
- оскільки відбувається теплообмін, то відповідно вмикаємо *"Energy Equation"*;
- початкова температура рідини до початку процесу нагрівання $t_{поч.р.} = 98^{\circ}C$;
- температура фазового переходу $t_{ф.п.} = 100^{\circ}C$.

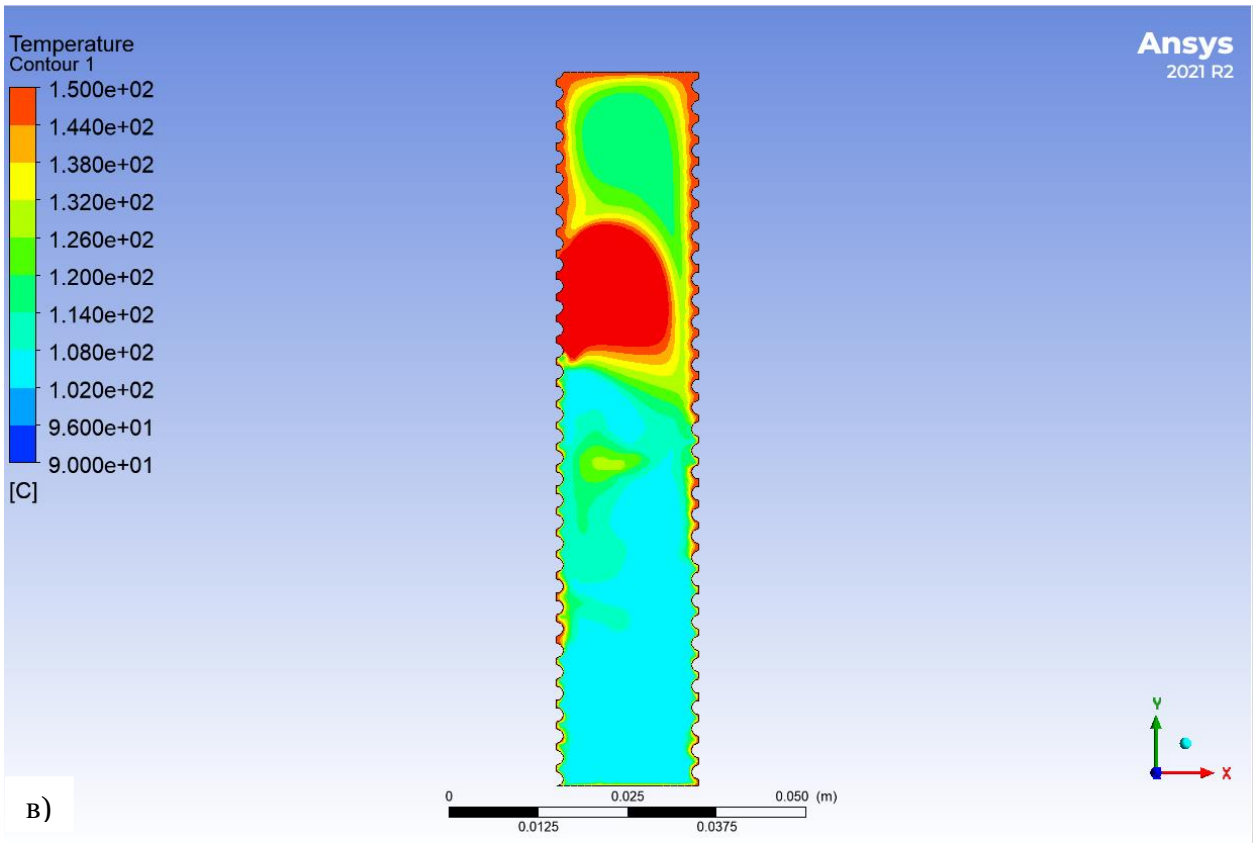
Контур розподілу температур у трубах різної конфігурації наведений на Рис. 3.1



а)


Temperature
Contour 1
1.500e+02
1.440e+02
1.380e+02
1.320e+02
1.260e+02
1.200e+02
1.140e+02
1.080e+02
1.020e+02
9.600e+01
9.000e+01
[C]
Ansys
2021 R2
0
0.025
0.050 (m)
0.0125
0.0375
Y
X

б)


Temperature
Contour 1
1.500e+02
1.440e+02
1.380e+02
1.320e+02
1.260e+02
1.200e+02
1.140e+02
1.080e+02
1.020e+02
9.600e+01
9.000e+01
[C]
Ansys
2021 R2
0
0.025
0.050 (m)
0.0125
0.0375
Y
X

в)

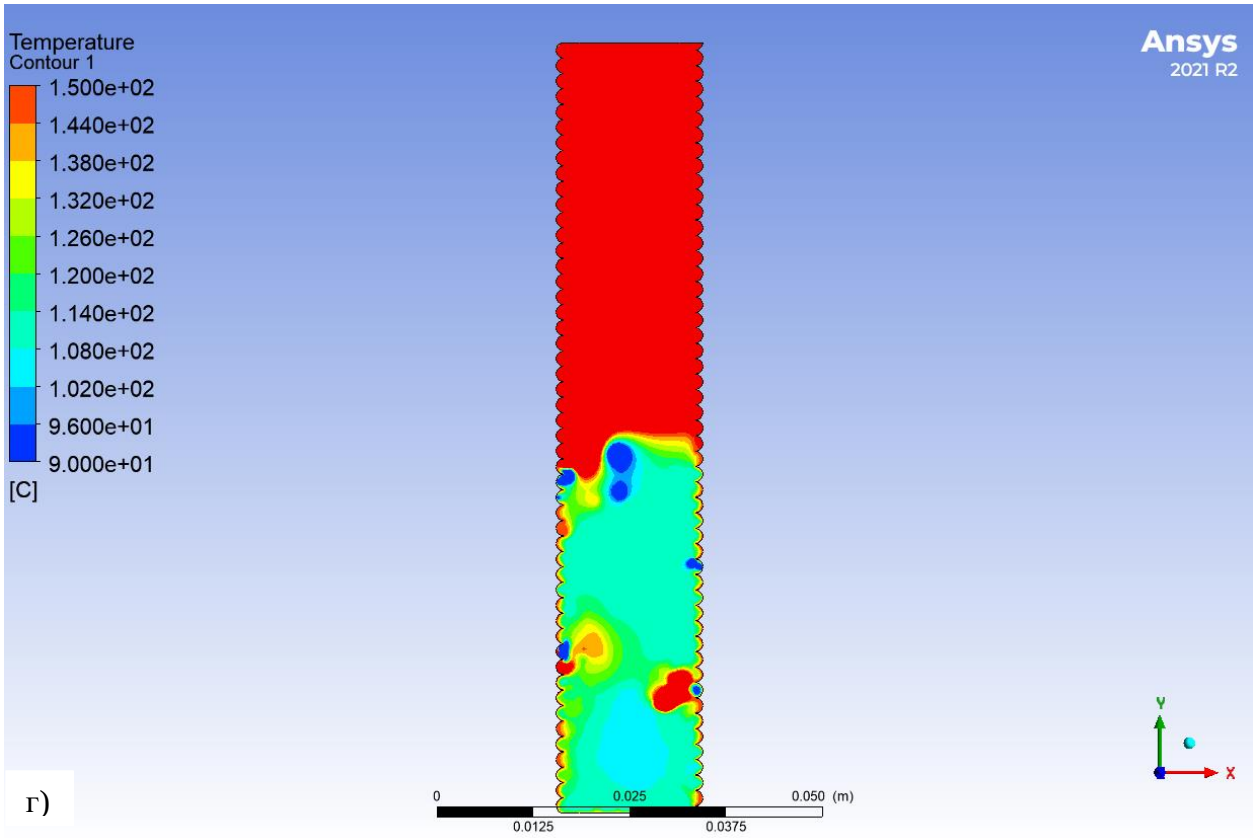
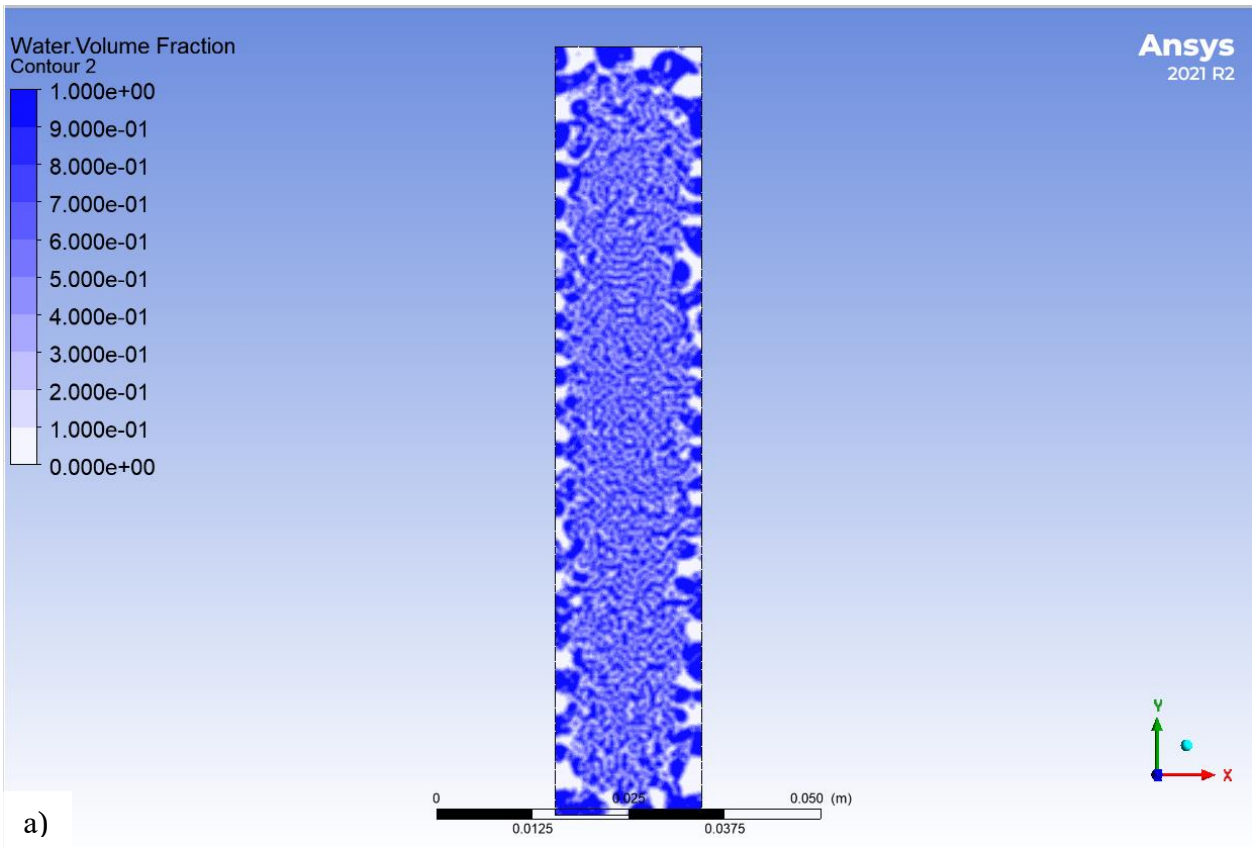


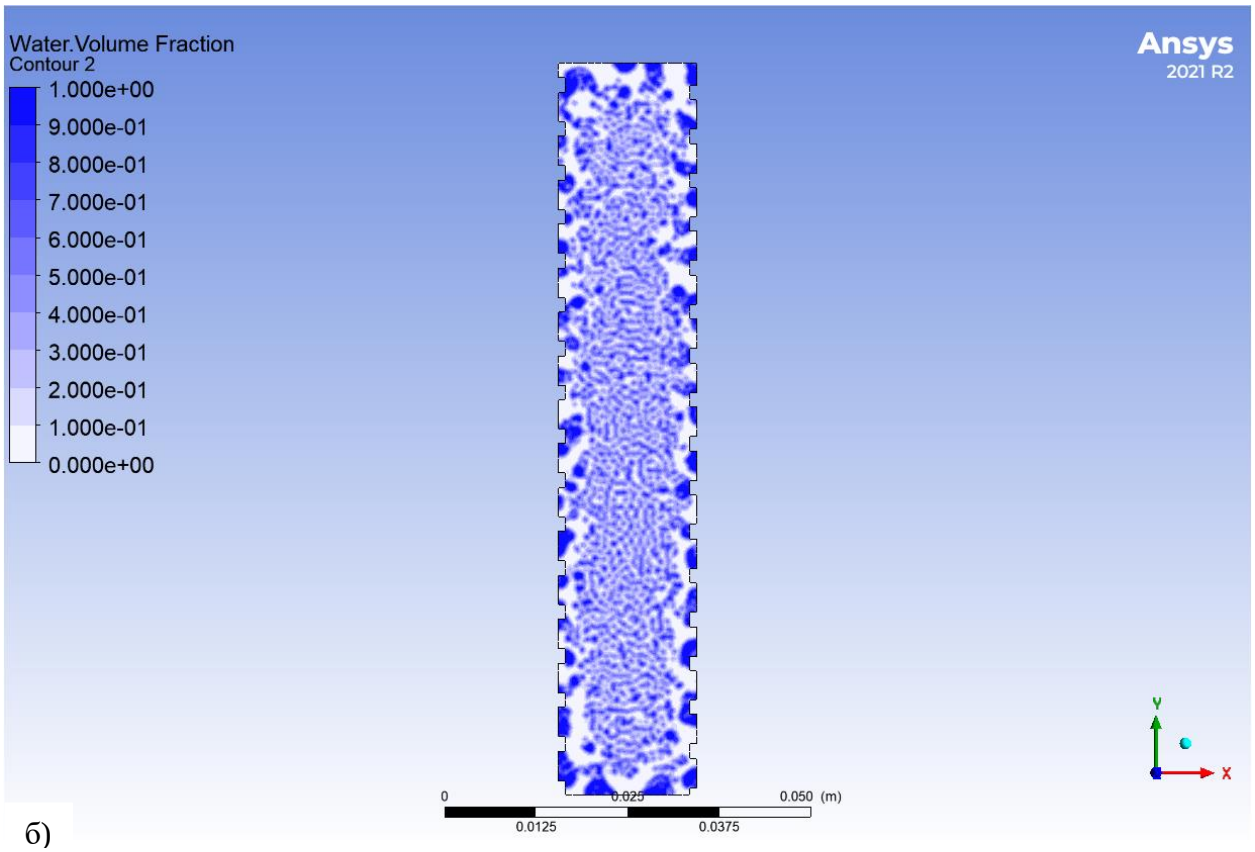
Рис. 3.1 Контур розподілу температур а) гладка труба; б) I зразок гофрованої труби; в) II зразок гофрованої труби; г) III зразок гофрованої труби

На Рис. 3.1 зображено розподіл температури по трубі. У гладкій трубі рідина нагрівається рівномірно по всьому об’єму, але і наявні вузли, в яких рідина починає закипати. У I зразку гофрованої поверхні рідина також нагрівається по всьому об’єму труби, але можна побачити на епюрі, що наявні досить великі вузли по середині, в яких температура рідини набуває максимального значення. У II зразку температура кипіння розподіляється рівномірно по стінці, проте утворився вузол у якому температура збільшується нагріваючи верхню частину рідини і поступово опускаючись в нижню частину. Слід відзначити що у III зразку за той самий час що і у гладкій, розчин закипає швидше. За рахунок гофри коефіцієнт теплопередачі збільшується, що сприяє інтенсивнішому кипінню.

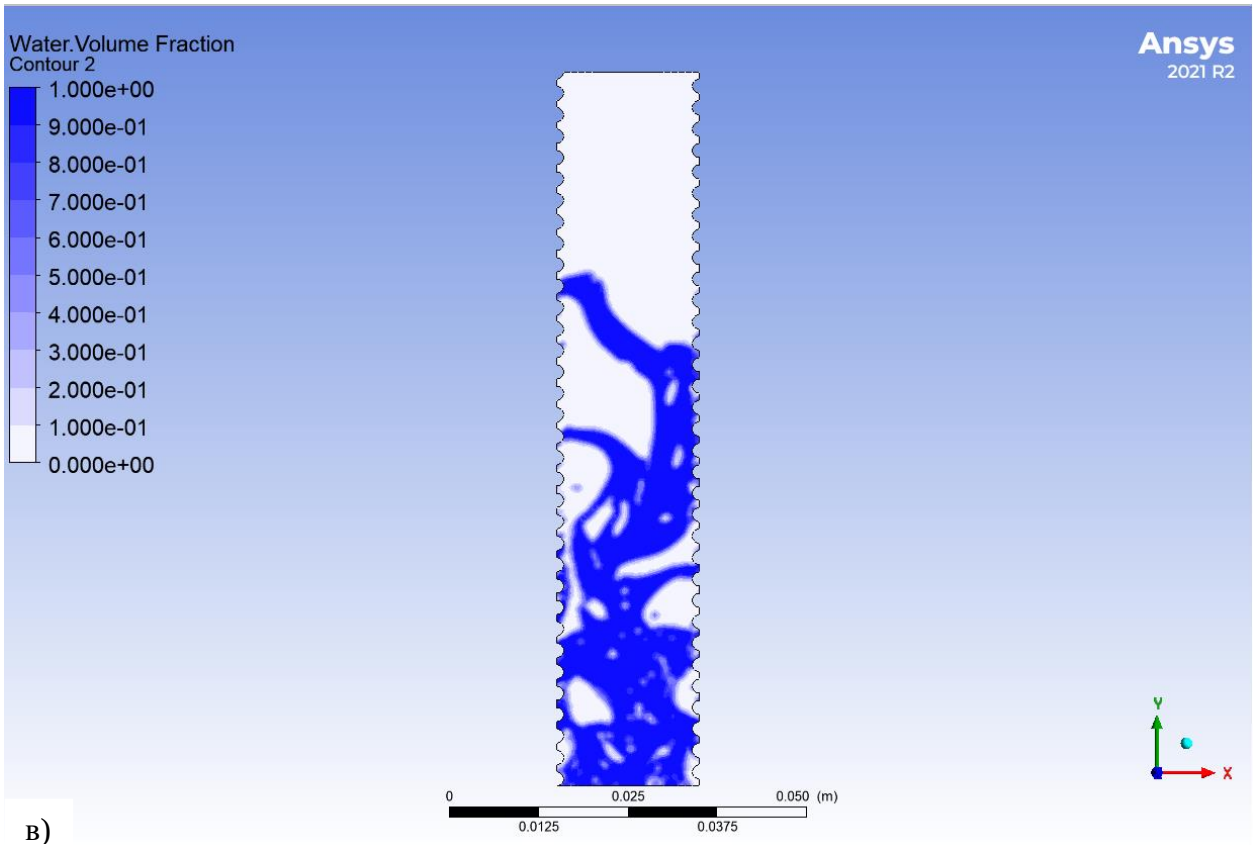
Епюра об’ємної долі зображена на Рис. 3.2



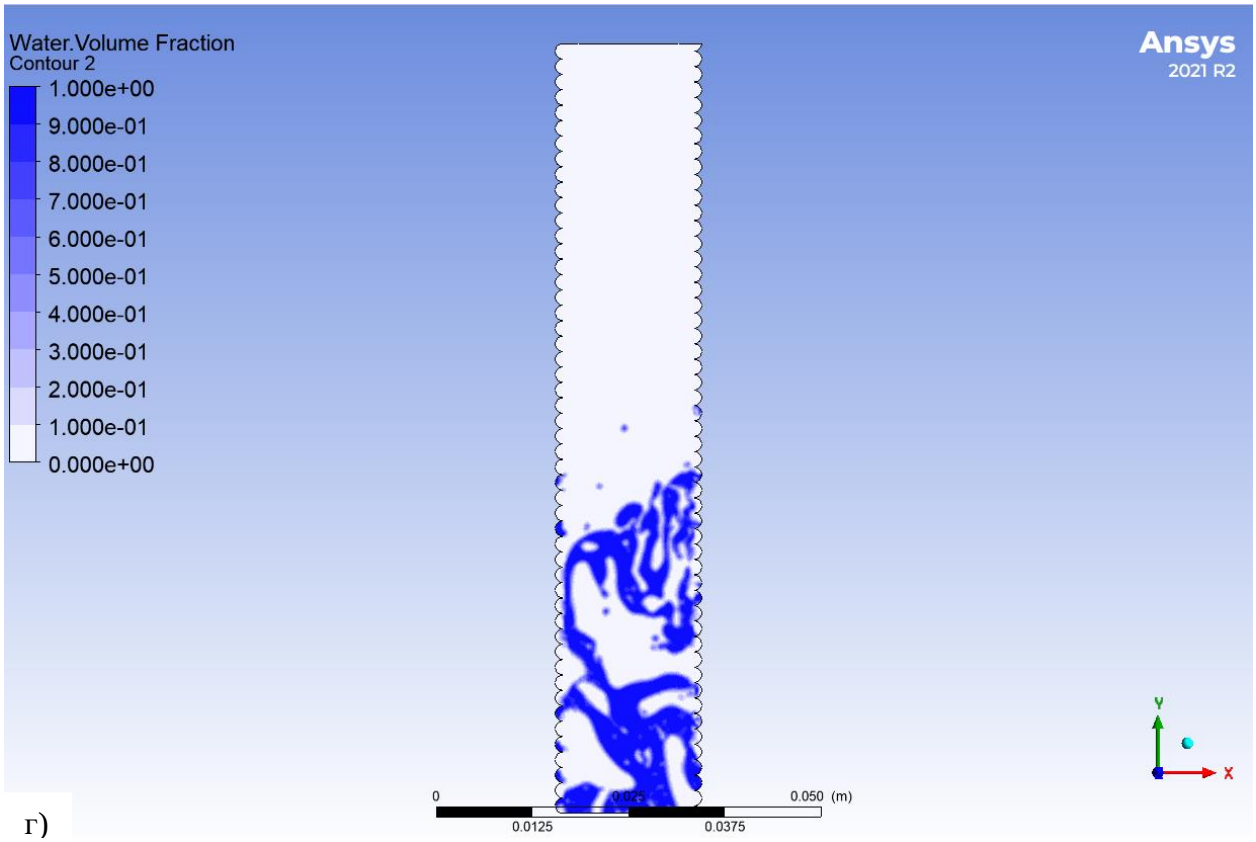
а)



б)



в)



г)

Рис. 3.2 Епюра об’ємної долі а) гладка труба; б) I зразок гофрованої труби; в) II зразок гофрованої труби; г) III зразок гофрованої труби

З епюри об’ємних долей можна побачити, як починається утворення бульбашок, тобто відбувається процес закипання рідини. Порівнявши моделювання можна сказати що кипіння відбувається по всьому об’єму труби. Утворення вузлів бульбашок більш інтенсивніше відбувається біля стінок. У гладкій трубі досить велика кількість утворення вузлів проте вони не такі інтенсивні як у І зразку. Щодо порівняння ІІ і ІІІ зразка гофрованих труб мають подібні епюри об’ємних долей. За рахунок гофрованої поверхні кількість вузлів кипіння більше і процес відбувається інтенсивніше.

3.2 Розрахунок коефіцієнту теплопередачі досліджуваних труб

Коефіцієнт теплопередачі можна визначити з формули питомого теплового потоку (3.1):

$$q = \alpha \cdot \Delta t, \tag{3.1}$$

вона буде мати вигляд:

$$\alpha = \frac{q}{\Delta t} \tag{3.2}$$

За допомогою функції “Expression” визначаємо середнє значення питомого теплового потоку на бокових стінках труб та температуру біля стінки рідини.

Назва конструкції труби	Питомий тепловий потік, $Вт / м^2$	Різниця температур, $^{\circ}C$	Коефіцієнт теплопередачі, $Вт / (м^2 \cdot К)$
Гладка труба	86 504	42,7	2026
І зразок гофрованої труби	89 006	41,3	2155
ІІ зразок гофрованої труби	88 783	41,6	2134

III зразок гофрованої труби	90 645	40,3	2274

Провівши розрахунки досліджуваних труб можна сказати, що III зразок гофрованої труби має дуже близький коефіцієнт теплопередачі до розрахункового, похибка складає 5,7%. Отже дана модифікація труби найкраще підійде у випарний апарат, який був розроблено.

Оскільки гофрована труба має більш високу швидкість теплопередачі порівняно з гладкою такої ж самої довжини, то кількість труб можна зменшити. Наприклад, якщо гофри збільшують теплопередачу на 6 % порівняно з гладкою трубою, то можна встановити на 6 % меншу кількість труб, при збереженні тієї ж продуктивності.

3.2 Висновки

Провівши комп’ютерне моделювання були отримані результати, що демонструють доцільність застосування гофрованої труби в гріючій камері випарного апарату. Порівнюючи представлені моделі, зокрема показники коефіцієнту теплопередачі, слід зазначити, що труба з гофрованою поверхнею має кращі показники ніж гладка поверхня.

Гофровані трубки забезпечують турбулентність поблизу поверхні стінки труби, що зменшує товщину теплової межі шару. Біля стінок трубки поліпшується перемішування рідини завдяки руху до основного потоку і, як наслідок, збільшується загальний коефіцієнт теплообміну систем.

За рахунок турбулентності випарювання відбувається більш ефективніше, запобігаючи прилипанню в'язких (товстих) матеріалів до стінки труби, де вони можуть діяти як ізоляція та запобігати ефективній теплопередачі.

Запобігання утворенню прикордонного шару в трубці не тільки збільшує термічний ККД випарника, але й скорочує час простою, необхідний для його видалення.

У сукупності переваги гофрованих трубок є значними. Підвищена ефективність теплопередачі, особливо при більш високих швидкостях потоку, означає, що потрібна менша площа теплопередачі, тому ми можемо виробляти більш короткі та компактні конструкції, які також дешевші у виробництві.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

4.1 Опис технологічного процесу виробництва лізину

Технологічний процес отримання лізину (додаток А, Апаратурна схема виробництва лізину) включає наступні основні виробничі стадії: вирощування посівного матеріалу і приготування поживного середовища, культивування, випарювання і сушка розчину, фасування і упаковка готового продукту.

Зважена на вагах В-4 меляса насосом подається в апарат Р-7, де при постійному перемішуванні розбавляється водою. Потім отриманий розчин меляси насосом Н-2 через стерилізаційну колонку К-8 перекачується в реактор витримувач В-9.

Із реактора-витримувача В-9 меляса поступає в реактор Р-10, для приготовлення поживного середовища, в який також завантажується звішений на вагах В-13, кукурудзяний екстракт.

Кукурудзяний екстракт також завантажується в реактор Р-10', для приготування поживного середовища для посівного ферментера І-15. Із реактора Р-10, маса насосом Н-2 через стерилізаційну колонку К-8 і теплообмінники Т-11 подається в промисловий ферментер Ф-17, в який із посівного ферментера І-15 подається поживний матеріал. Після проведення ферментації культуральна рідина поступає в реактор Р-18 для стабілізації рідини [17].

Стадія виділення кінцевого продукту. Із реактора Р-18, культуральна рідина за допомогою насоса Н-2 поступає в збірник З-19, із якого насосом Н-2 через підігрівач П-20, подається в випарний апарат В-21. Початкова концентрація сухих речовин в рідини, що надходить на випарки, становить 10 -15 %, кінцева – близько 40 %. Випарювання відбувається під вакуумом, вторинний пар поступає в барометричний конденсатор К-22. Упарений розчин поступає в збірник З-26, із якого потім насосом Н-2 подається в розпилюючу

сушарку з дисковим розпилювачем СШ-27, в яку через вентилятор В-28, у вигляді сушильного агенту подаються топочні гази.

Висушений продукт поступає в батарею циклонів Ц-30, з якої через шлюзовий затвор З-31, подається через циклон пневмотранспорту Ц-32, на склад [17].

4.2 Обгрунтування вибору конструкції випарного апарату

За допомогою випарювання в біотехнологічній промисловості найчастіше використовується – концентрування розчинів. Вибір конструкції випарного апарату залежить від багатьох фізичних чинників, а саме: в'язкість, температура кипіння, густина, величина критичного теплового потоку; та хімічних процесів: кристалізація, піноутворення, кипіння розчинів, термолабільність розчинених речовин та ін. Усі зазначені параметри створюють основні вимоги до проведення процесу випарювання, і відповідно до вибору конструкцій випарних апаратів [18].

Концентрування розчину лізину є досить складним процесом. Складність його полягає в тому, що лізин є термолабільною речовиною і при випарюванні при температурі $25^{\circ}C$ він інактивується, а при $60^{\circ}C$ вступає в хімічну взаємодію з моносахаридами, і його активність втрачається. Тому для концентрування необхідно підтримувати більш низьку температуру за більш короткий час. Звідси – високі вимоги до обладнання [19].

Так як під час випарювання розчин лізину не кристалізується і не містить домішок, які можуть відкладатись на поверхні теплообміну, то для випарювання розчину лізину застосовують апарати з природньою циркуляцією та співвісною гріючою камерою та виносною циркуляційною трубою. Культуральна рідина, яка насичена лізином, не схильна до інтенсивної кристалізації, тому добре піддається випарюванню в трубках. Також апарат зазначеної конструкції за рахунок винесеної зони кипіння простий в

експлуатації. Цю конструкцію рекомендовано використовувати на даному виробництві тому що: випарник має мінімальний гідравлічний опір при проході парів через нього; час перебування продукту в зоні нагріву є мінімальним; апарати даної конструкції використовуються для випарювання рідин невеликої в'язкості; забезпечується висока швидкість процесу випарювання [18-19].

4.2.1 Опис конструкції випарного апарату

З самого початку використання випарних апаратів для випарювання амінокислот відбувалося удосконалення ВА в напрямку інтенсифікації процесу випарювання, поліпшення експлуатаційних і техніко-економічних показників.

Гріюча камера 1 складається із пучка вертикальних кип'ятильних труб 2 діаметром 38 мм і довжиною 4000 мм, закріплених у трубній решітці 3. Над гріючою камерою змонтована сепараційна камера 4, призначена для відділення вторинної пари від киплячого розчину, а також для відділення крапель і бризок розчину із пари, що відводиться. Бризковідділювач 5 виконується у вигляді краплевідділювача циклонного типу або у вигляді камери інерційного типу [20].

Гріюча пара подається в міжтрубний простір гріючої камери. Потім відбувається процес конденсації пари. Під впливом виділеної теплоти конденсації розчину, що перебуває в трубах, нагрівається та закипає. Парорідинна емульсія, яка утворилася в трубах, піднімається вгору і надходить у нижню частину сепараційної камери.

Після підвищення концентрації розчину і відділення пари густина його трохи збільшується, що сприяє опусканню розчину по циркуляційній трубі 6 в простір під нижню трубну решітку. При нагріванні розчину в трубах за

рахунок піднімальної сили відбувається втягування його в кип’ятильні труби [20].

Таким чином, виникає природна циркуляція розчину в напрямку від кип’ятильних труб до центральної труби вгорі апарата і по центральній трубі зверху вниз. Потім знизу від центра апарата до кип’ятильних труб та по кип’ятильним трубках знизу вгору.

Для збільшення кратності циркуляції розчину і підвищення коефіцієнта теплопередачі від гріючої пари до кип’ячого розчину роблять винесену циркуляційну трубу. В таких апаратах підвищується швидкість руху розчину в кип’ятильних трубках до 1,5 м/с. Це помітно збільшує інтенсивність випарювання води. Кратність циркуляції розчину підвищується до 50-80 [20].

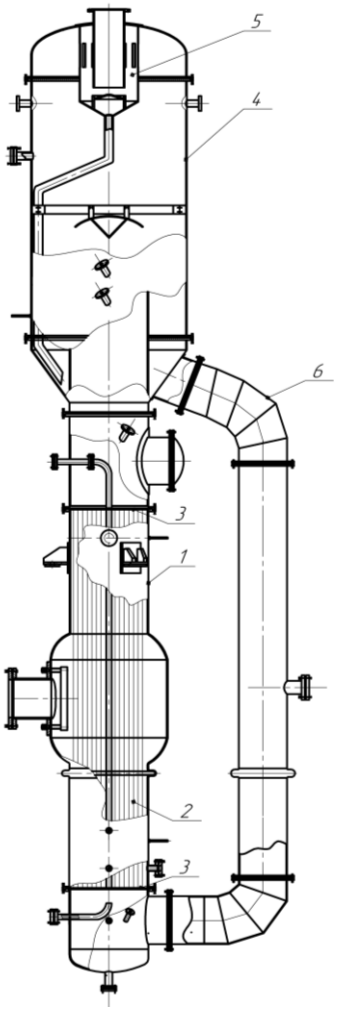


Рис. 4.1 1 – Гріюча камера; 2 – Кип’ятильні труби; 3 – Трубна решітка; 4 – Сепараційна камера; 5 – Бризковловлювач; 6 – Циркуляційна труба.

4.2.2 Вибір матеріалів для виготовлення випарного апарату

Вибір матеріалів для виготовлення будь-якого апарату залежить від технологічного процесу, що в ньому відбувається. До основних чинників, що впливають на вибір матеріалу, відносяться середовище, що міститься в апараті, температура і тиск [20]. Конструктивний матеріал повинен бути стійким до дії агресивних середовищ та корозії різних видів, мати достатню механічну міцність та стійкість, легко зварюватися, та забезпечувати надійність зварних з'єднань [21], а також виключати його взаємодію з середовищем, що міститься в апараті.

Основним критерієм при виборі матеріалу для виготовлення випарного апарату є середовище в ньому. Обраний матеріал повинен бути хімічно стійким під час контакту з розчином лізину. Безпосередньо відповідає цим вимогам нержавіюча сталь 12Х18Н10Т [22]. Швидкість її корозії складає не більше 0,1 мм/рік. Із цієї сталі виготовляють корпус апарату, гріючі труби, трубну решітку, фланці та штуцера апарату, а також усі інші деталі, що контактують з розчином лізину. Кріпильні елементи (болти, гайки) виконуються із сталі марки Ст3 [22], опори – із сталі марки 45Х [22], для виготовлення прокладок використовують пароніт [11].

4.3 Технічна характеристика апарату

1. Апарат призначений для концентрування розчину лізину.
2. Масова витрата розчину лізину, $кг/с$: 2
3. Концентрація розчину лізину ($мас.$),%:
   - початкова 15
   - кінцева 40
4. Тиск гріючої пари, $МПа$: 0,143
5. Тиск вторинної пари, $МПа$: 0,0077

6. Температура розчину на вході в аппарат $^{\circ}$C: 50

7. Площа поверхні теплообміну, $м^2$: 63

8. Матеріали: Сталь марки 12Х18Н10Т ГОСТ 5632–92

9. Габаритні розміри, $мм$:

Висота 10400

Ширина 1748

Довжина 3125

10. Маса апарата, $кг$: 5500

Експлуатація випарної установки повинна проводитися відповідно до вимог до виробу і експлуатаційними документами, що розробляються для даного виробу [20].

4.4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції випарного апарату

4.4.1 Технологічний розрахунок випарного апарату

Розрахувати випарну установку для концентрування лізину використовуючи наступні дані:

- Масова витрата розчину лізину [23]:

$$G_{П} = 2 \ кг/с = 7200 \ кг/год;$$

- Концентрація розчину лізину:

Початкова – $X_{п} = 15\%$ (мас);

Кінцева – $X_{к} = 40\%$ (мас);

- Тиск насиченої гріючої пари $P_{Г1} = 0{,}143$ МПа;
- Тиск в барометричному конденсаторі $\Delta P_{БК} = 0{,}0077$ МПа;
- Температура розчину лізину на вході в випарний апарат $t_{п} = 50$ $^{\circ}$C;
- Тип апарату: випарний апарат з природньою циркуляцією і співвісною гріючою камерою та виносною циркуляційною трубою.

4.4.1.1 Матеріальний баланс

Визначимо продуктивність установки по воді, яка випаровується із рівняння матеріального балансу [23]:

$$W = G_{П}(1-\frac{X_{n}}{X_{к}}) = 7200 \cdot (1-\frac{0,15}{0,4}) = 4500 \ кг/\text{год}. \quad (1)$$

Тоді кінцева продуктивність продукту [24]:

$$G_{К} = G_{П} - W = 7200 - 4500 = 2700 \ кг/\text{год}. \quad (2)$$

4.4.1.2 Корисна різниця температур

Температура гріючої пари $t_{Г} = 110^{\circ}C$;

Питома теплота пароутворення гріючої пари $r_{Г} = 2234 \ кДж/кг$;

Температура вторинної пари $t_{ВП} = 40^{\circ}C$;

Питома теплота пароутворення вторинної пари $r_{ВП} = 2403 \ кДж/кг$;

Знаходимо значення температурної депресії [23]:

$$\Delta^{'} = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{(273+t_{ВП})^{2}}{r_{ВП}} \cdot \Delta^{'}_{АТМ} = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{(273+40)^{2}}{2403} \cdot 1,32 = 0,87^{\circ}C; \quad (3)$$

де $\Delta^{'}_{АТМ} = 1,32^{\circ}C$ – температурна депресія розчину лізину, при атмосферному тиску.

Висота кип'ятильних труб в гріючій камері апарату $H = 4 \ м$.

Оптимальна висота рівня розчину в кип'ятильних трубах [23]:

$$H_{р} = [0,26 + 0,0014 \cdot (\rho_{р} - \rho_{в})] \cdot \text{Н} = \\ = [0,26 + 0,0014 \cdot (1177,6 - 992,2)] \cdot 4 = 1,9 \ м; \quad (4)$$

де $\rho_{р} = 1150 \ кг/м^{3}$ – густина розчину лізину;

$\rho_{в} = 992,2 \ кг/м^{3}$ – густина води при $t_{ВП} = 40^{\circ}C$.

Тиск в середньому шарі розчину в кип'ятильних трубах [17]:

$$P_{ср} = P_{БК} + 0,5 \cdot \rho_р g H_р = 0,0077 \cdot 10^6 + 0,5 \cdot 1150 \cdot 9,81 \cdot 1,9 = \\ = 0,0186 \cdot 10^6 \ МПа. \quad (5)$$

Цьому тиску $P_{ср} = 0,0186 \cdot 10^6 \ МПа$ відповідає наступна температура насиченої водяної пари $t_{ср} = 55,5^\circ C$.

Гідростатична депресія [23]:

$$\Delta'' = t_{ср} - t_{ВП} = 55,5 - 40 = 15,5 \ ^\circ C. \quad (6)$$

4.4.1.3 Визначення температури кипіння розчину

$$t_{кип.} = t_{ВП} + \Delta' + \Delta'' = 40 + 0,87 + 15,5 = 56,37^\circ C \quad (7)$$

Визначення корисної різниці температур [23]:

$$\Delta t_{кор.} = t_Г - t_{кип.} = 110 - 56,37 = 53,63^\circ C \ . \quad (8)$$

4.4.2 Тепловий баланс

Кількість тепла, яке підводиться до рзчину при випарюванні [23]:

$$Q = G_П \cdot c_П (t_{кип.} - t_п) + W \cdot r_{ВП} = 7200 \cdot 2,8096 \cdot (56,37 - 40) + 4500 \cdot 2403 = \\ = 11\,144\,651 \ кДж/год \ = 3\,095\,736 \ Вт. \quad (9)$$

де $c_П = 4190 \cdot (1 - 0,4) + 739 \cdot 0,4 = 2809,6 \ Дж/(кг \cdot К)$ – питома теплоємність розчину лізину, який поступає на випарювання.

Масова витрата гріючої пари [23]:

$$G_Г = \frac{1,07 \cdot Q}{r_Г} = \frac{1,07 \cdot 11\,144\,651}{2234} = 5338 \ кг/год. \quad (10)$$

4.4.3 Розрахунок коефіцієнту теплопередачі

Коефіцієнт тепловіддачі від пари, яка конденсується, до стінки кип’ятильної труби [23]:

$$\alpha_1 = 2,04\sqrt[4]{\frac{\rho^2{}_{пл} \cdot \lambda^3{}_{пл} \cdot r_Г}{\mu_{пл} \cdot H \cdot \Delta t_1}} = 2,04\sqrt[4]{\frac{955^2 \cdot 0,684^3 \cdot 2234 \cdot 10^3}{0,272 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 11}} = \quad (11)$$

$$= 5542 \ Вт/(м^2 \cdot К);$$

де $\Delta t_1 = 11 \ К$ – задаємо.

Температура плівки конденсату [23]:

$$t_{пл} = t_Г - 0,5\Delta t = 110 - 0,5 \cdot 11 = 104,5^\circ C; \quad (12)$$

де $\rho_{пл} = 955 \ кг/м^3$; $\lambda_{пл} = 0,684 \ Вт/(м \cdot К)$; $\mu_{пл} = 0,272 \cdot 10^{-3} \ Па \cdot с$ – відповідно густина, коефіцієнт тепловіддачі і динамічної в'язкості води при температурі $t_{пл}$.

Перепад температури на стінці [23]:

$$\Delta t_{ст} = \alpha_1 \cdot \Delta t \cdot \sum r_{ст} = 5542 \cdot 11 \cdot 2,863 \cdot 10^{-4} = 17,40 \ К, \quad (13)$$

де $\sum r_{ст}$ – термічний опір стінки [23]:

$$\sum r_{ст} = \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_н}{\lambda_н} = \frac{0,002}{25,1} + \frac{0,0005}{2,42} = 2,863 \cdot 10^{-4} \ м^2 \cdot К/Вт; \quad (14)$$

$\delta_{ст} = 0,002 \ м$ – товщина стінки;

$\lambda_{ст} = 25,1 \ Вт/(м \cdot К)$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки;

$\delta_н = 0,0005 \ м$ – товщина шару накипу;

$\lambda_н = 2,42 \ Вт/(м \cdot К)$ – коефіцієнт теплопровідності накипу.

Перепад температури з боку розчину:

$$\Delta t_2 = \Delta t_{кор.} - \Delta t_{ст} - \Delta t_1 = 53,63 - 17,40 - 11 = 25,25 \ К. \quad (15)$$

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні розчину [23]:

$$\alpha_2 = 780 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} \frac{\lambda_p^{1,3} \rho_p^{0,5} \rho_П^{0,06}}{\sigma_p^{0,5} r_B^{0,6} \rho_0^{0,66} c_2^{0,3} \mu_2^{0,3}}, \quad (16)$$

де λ_p – коефіцієнт теплопровідності розчину [24]:

$\lambda_p = \lambda_Л \cdot X_К + \lambda_В(1 - X_К) = 0,140 \cdot 0,4 + 0,655 \cdot (1 - 0,4) = 0,449 \ Вт/(м \cdot К)$;

$\lambda_Л = 0,140 \ Вт/(м \cdot К)$ – коефіцієнт теплопровідності лізину;

$\lambda_B = 0,655\ Вт/(м\cdot К)$ – коефіцієнт теплопровідності води при температурі $t_{кип.}$;

$\rho_р = 1150\ кг/м^3$ – густина розчину лізину:

$\rho_П = 0,113\ кг/м^3$ – густина водяної пари при температурі $t_{кип.}$;

$\sigma_р = 0,066\ Н/м$ – коефіцієнт поверхневого натягу розчину;

$\sigma_B = 66,75\cdot 10^{-3} Н/м$ – коефіцієнт поверхневого натягу води при температурі $t_{кип.}$;

$r_B = 2365\cdot 10^3\ кДж/кг$ – питома теплота пароутворення води при температурі $t_{кип.}$;

$\rho_0 = 0,597\ кг/м^3$ – густина водяної пари при температурі $t = 100^\circ С$;

$c_2 = 2809,6\ Дж/(кг\cdot К)$ – питома теплоємність розчину лізину, при температурі кипіння;

μ_2 – коефіцієнт динамічної в'язкості розчину при температурі кипіння [24]:

$$\sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_B}} = exp(7,4\cdot X_к^{1,65}\cdot\frac{100}{100+t_{кип.}}) = exp(7,4\cdot 0,4^{1,65}\cdot\frac{100}{100+56,37}) = 2,84 \quad (17)$$

$$\mu_2 = \mu_B\cdot 2,84^2 = 0,499\cdot 10^{-3}\cdot 2,84^2 = 4\cdot 10^{-3} Па\cdot с;$$

де $\mu_B = 0,499\cdot 10^{-3} Па\cdot с$ – коефіцієнт динамічної в'язкості води при температурі $t_{кип.}$.

$$\alpha_2 = 780\cdot (5542\cdot 11)^{0,6}\frac{0,449^{1,3}\cdot 1150^{0,5}\cdot 0,113^{0,06}}{(0,066)^{0,5}(2365\cdot 10^3)^{0,6}\cdot 0,579^{0,66}\cdot 2809,6^{0,3}(4\cdot 10^{-3})^{0,3}} =$$

$$= 2412\ Вт/(м^2\cdot К)$$

Перевіряємо питомі теплові потоки [23]:

$$q' = \alpha_1\cdot \Delta t_1 = 5542\cdot 11 = 60962\ Вт/м^2; \quad (18)$$

$$q'' = \alpha_2\cdot \Delta t_2 = 2412\cdot 25,25 = 60903\ Вт/м^2. \quad (19)$$

Похибка складає $0,09\%$.

Коефіцієнт теплопередачі [23]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5542} + 2{,}863 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2412}} = 1135 \ Вт/(м^2 \cdot \text{К}). \quad (20)$$

Визначаємо необхідну площу поверхні теплообміну за формулою (21) [23]:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{кор.}} = \frac{3\,095\,736}{1135 \cdot 53{,}63} = 51 \ м^2. \quad (21)$$

За ГОСТ 11987- 81 приймаємо випарний апарат тип 1 виконання 3 з природною циркуляцією і виносною циркуляційною трубою з наступними параметрами [24]:

- площа поверхні теплообміну $F = 63 \ мм$;
- висота гріючих труб $H_{тр} = 4000 \ мм$;
- внутрішній діаметр гріючої камери $D = 800 \ мм$;
- внутрішній діаметр сепаратора $D_1 = 1600 \ мм$;
- внутрішній діаметр циркуляційної труби $D_2 = 500 \ мм$;
- діаметр труб $d = 38 \times 2 \ мм$.

4.4.4 Розрахунок барометричного конденсатора

Масова витрата води, що витрачається на конденсацію вторинної пари визначається за формулою (22) [23]:

$$G_в = \frac{W \cdot (\text{I}_0 - c_{в0} \cdot t_{0к})}{c_{в0} \cdot (t_{0к} - t_{0н})}, \quad (22)$$

де $t_{0к}$ – кінцева температура суміші води та конденсату вторинної пари:

$t_{0к} = t_{БК} - 3{,}0 = 40 - 3{,}0 = 37^\circ C$;

$t_{0н} = 20^\circ C$ – початкова температура води, якою конденсують вторину пару;

$I_0 = 2565 \cdot 10^3 \ Дж/кг$ – питома ентальпія вторинної пари в барометричному конденсаторі;

$c_{в0} = 4{,}174 \cdot 10^3$ *Дж / кг · К* – теплоємність води при $t_{0к}$,

тоді масова витрата води прийме значення, формула (23) [23]:

$$G_в = \frac{1{,}25 \cdot (2565 \cdot 10^3 - 4{,}174 \cdot 10^3 \cdot 37)}{4{,}174 \cdot 10^3 \cdot (37 - 20)} = 42{,}5 \text{ кг/ с} \quad (23)$$

Діаметр барометричного конденсатора [23]:

$$D_{б.к.} = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\rho_{ВП} \cdot \pi \cdot \omega_{ВП}}} \quad (24)$$

де $\rho_{ВП} = 0{,}051$ *кг / м*^{3} – густина вторинної пари при $t_{БК}$;

$\omega_{ВП} = 15$ – швидкість руху вторинної пари.

Підставимо отримані значення в формулу (24) отримаємо [23]:

$$D_{б.к.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}25}{0{,}051 \cdot 3{,}14 \cdot 15}} = 1{,}4 \text{ м.}$$

Згідно ГОСТ 11987-81 обираємо стандартний барометричний конденсатор з внутрішнім діаметром $D_{б.к.} = 1{,}6$ *м.*

4.4.5 Висота барометричної труби

Швидкість води в барометричній трубі [23]:

$$v_в = \frac{4 \cdot (G + W)}{\rho \cdot \pi \cdot d^2_{б.т.}} = \frac{4 \cdot (42{,}6 + 4500/3600)}{996{,}5 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}15^2} = 2{,}5 \text{ м / с.} \quad (25)$$

де $\rho = 996{,}5$ *кг / м*^{3} – густина при $t_{ср.води} = 0{,}5(t_1 + t_2) = 0{,}5(20 + 37) = 28{,}5^\circ C.$

$d_{б.т.} = 0{,}15$ *м* – внутрішній діаметр барометричної труби.

Вакуум в барометричному конденсаторі [23]:

$$B = P_{атм.} - P_{б.к.} = 0{,}1 - 0{,}0077 = 0{,}092 \text{ МПа} = 9{,}2 \cdot 10^4 \text{ Па.} \quad (26)$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів [23]:

$$\sum \zeta = \zeta_{вх.} + \zeta_{вих.} = 0{,}5 + 1 = 1{,}5. \quad (27)$$

Критерій Рейнольдса:

$$\mathrm{Re}_B = \frac{v_в \cdot d_{б.т.} \cdot \rho_в}{\mu_в} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}15 \cdot 996{,}5}{0{,}832 \cdot 10^{-3}} = 449144. \quad (28)$$

де $\mu_в = 0,832 \cdot 10^{-3}$ $Па \cdot с$ – коефіцієнт динамічної в'язкості води при температурі $t_{ср.води}$.

Гідравлічний коефіцієнт тертя визначається за формулою (29):

$$\lambda = \frac{0,316}{\mathrm{Re}_B^{0,25}} = \frac{0,316}{449144^{0,25}} = 0,012. \quad (29)$$

Висота барометричної труби визначається за формулою (30) [23]:

$$H_{б.т.} = \frac{B}{\rho_в \cdot g} + (1 + \sum\zeta + \lambda \cdot \frac{H_{б.т.}}{d_{б.т.}}) \cdot \frac{v_в^2}{2 \cdot g} + 0,5 = \quad (30)$$

$$= \frac{9,2 \cdot 10^4}{996,5 \cdot 9,81} + (1 + 1,5 + 0,012 \cdot \frac{H_{б.т.}}{0,15}) \cdot \frac{2,5^2}{2 \cdot 9,81} + 0,5 =$$

$$= 9,41 + (2,5 + 0,012 \cdot \frac{H_{б.т.}}{0,15}) \cdot 0,32 + 0,5;$$

$$-10,71 = H_{б.т.} \cdot (-1 + 0,025);$$

$$H_{б.т.} = \frac{-10,71}{-0,975} = 10,98 \ м.$$

Приймаємо висоту барометричної труби $H_{б.т.} = 11$ $м$.

4.4.6 Розрахунок продуктивності вакуум-насоса

Кількість повітря, яке необхідно відводити з барометричного конденсатора [25]:

$$G_{пов.} = 2,5 \cdot 10^{-5}(W + G_{в.}) + 0,01 \cdot W = \quad (31)$$

$$= 2,5 \cdot 10^{-5}(1,25 + 42,6) + 0,01 \cdot 1,25 = 13,6 \cdot 10^{-3} \ кг / с.$$

Об'ємна продуктивність вакуум-насоса [25]:

$$V_{пов.} = \frac{R(273 + t_{пов.}) \cdot G_{пов.}}{M_{пов.} \cdot P_{пов.}} = \frac{8310 \cdot (273 + 27) \cdot 13,6 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 4400} = \quad (32)$$

$$= 0,265 \ м^3 / с = 16 \ м^3 / \text{хв}.$$

де $R = 8310$ $Дж / (кмоль \cdot К)$ – універсальна газова стала;

$M_{пов.} = 29$ $кг / кмоль$ – молекулярна маса повітря;

$t_{пов.} = t_{0п} + 4 + 0,1 \cdot (t_{0к} - t_{0п}) = 20 + 4 + 0,1 \cdot (37 - 20) = 25,7^{\circ}C$ – температура повітря;

$P_{в.п.} = 0,33 \cdot 10^4$ *Па* – тиск водяної пари при $t_{пов.}$.

$P_{пов.} = P_{б.к.} - P_{в.п.} = 0,77 \cdot 10^4 - 0,33 \cdot 10^4 = 0,44 \cdot 10^4$ *Па* – тиск повітря.

Вибираємо згідно ГОСТу вакуум-насос ВВН-16 з потужністю продуктивністю 16 $м^3 / хв$ [25].

1.4.7 Визначення кількості труб

Загальну кількість труб можна визначити з рівняння (33) [23]:

$$n = \frac{F}{H \cdot \pi \cdot d_{зов.}} = \frac{63}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,038} = 132 \text{ шт}, \qquad (33)$$

де F – поверхня теплообміну;

$d_{зов.}$ – зовнішній діаметр труб;

H – висота труб.

Товщина трубної решітки:

$$S_{тр} = \frac{d_н}{8} + 0,005 = \frac{0,038}{8} + 0,005 = 0,01 \text{ м}.$$

4.4.8 Обичайка гріючої камери

Товщина обичайки визначається за формулою [23]:

$$S_R = \frac{P_1 \cdot D_c}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P_1} = \frac{0,143 \cdot 0,8}{2 \cdot 130,7 \cdot 0,9 - 0,143} = 0,00048 \text{ м}, \qquad (34)$$

де P_1 – розрахунковий тиск у гріючій камері;

D_c – внутрішній діаметр гріючої камери;

$[\sigma]$ – допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т при розрахунковій температурі;

φ_p – коефіцієнт міцності зварного шва [23].

Прибавка, що враховує корозію та ерозію матеріалу протягом всього часу роботи обладнання $C_1 = 4,5$ *мм*; прибавка, яка враховує компенсацію на мінусовий допуск $C_2 = 0,5$ *мм*.

Сумуючи всі прибавки, та розрахункову товщину обичайки маємо [23]:

$$S = S_R + C_1 + C_2 = 0,48 + 4,5 + 0,5 + = 5,48 \text{ мм}. \quad (35)$$

З конструкційних міркувань вибираємо товщину стінки $S = 6$ *мм*.

Перевіримо умови застосування розрахункових формул. Для обичайки повинна виконуватись умова [23]:

$$\frac{S - C}{D} = \frac{6 - 1}{800} = 0,00625 \le 0,1. \quad (36)$$

Умова виконується!

Допустимі напруження при гідровипробуваннях визначається за формулою [17]:

$$[\sigma]_И = \frac{\sigma_T^{20}}{1,1} = \frac{276}{1,1} = 250 \text{ МПа}, \quad (37)$$

де $\sigma_T^{20} = 276$ *МПа* – межа текучості матеріалу кожуха при $t = 20^\circ C$.

Перевіримо умову:

$$P_1 \le [P], \quad (38)$$

де $[P]$ – допустимий надлишковий внутрішній тиск, МПа.

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_И \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 0,9 \cdot (0,006 - 0,005)}{0,8 + (0,006 - 0,005)} = 0,56 \text{ МПа}. \quad (39)$$

Умова (38) $0,143$ *МПа* $\le 0,3$ *МПа* виконується!

Перевіримо виконання умови [23]:

$$P_{ПР} = 1,35 \cdot P_1 \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} = 1,35 \cdot 0,143 \cdot \frac{184}{130,7} = 0,27 \text{ МПа} \le [P]. \quad (40)$$

де $P_{ПР}$ – пробний тиск, МПа;

$[\sigma]^{20}$ – допустиме напруження при $t = 20^\circ C$.

Умова міцності (40) виконується $0,27\ МПа \le 0,56\ МПа$. Відповідно прийнята товщина обичайки умови міцності задовольняє.

4.4.9 Днище гріючої камери

Відповідно [26] приймаємо виконавчу товщину днища рівну товщині обичайки $S = 6\ мм$.

Перевіримо умову застосування розрахункових формул.

Для днищ має виконуватись наступна умова [26]:

$$0,0002 \le \frac{S - C}{D} \le 0,01; \tag{41}$$

$$0,0002 \le \frac{6-5}{800} = 0,00125 \le 0,01.$$

Умова (41) виконується!

Допустимий зовнішній тиск визначається за формулою (42) [26]:

$$[P] = \frac{[P]_P}{\sqrt{1+(\frac{[P]_P}{[P]_E})^2}} = \frac{0,294}{\sqrt{1+(\frac{0,294}{0,43})^2}} = 0,243\ МПа. \tag{42}$$

де $[P]_P$ – допустимий зовнішній тиск з умови міцності, МПа;

$[P]_E$ – допустимий зовнішній тиск з умови стійкості в межах пружності, що визначається за формулою (43) [26]:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_И} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - C)}{K_e \cdot R}\right]^2 = \\ = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 2,05 \cdot 10^5}{2,4} \cdot \left[\frac{100 \cdot (0,006 - 0,005)}{0,9 \cdot 0,8}\right]^2 = 0,43\ МПа, \tag{43}$$

де K_e – коефіцієнт;

$n_И$ – коефіцієнт запасу стійкості;

E – модуль повздовжньої пружності матеріалу обичайки;

$R = D$ – радіус кривизни днища [26].

$$[P]_P = \frac{2\cdot[\sigma]\cdot\varphi\cdot(\mathrm{S}-C)}{R+0,5\cdot(\mathrm{S}-C)} = \frac{2\cdot 130,7\cdot 0,9\cdot(0,006-0,0055)}{0,8+0,5\cdot(0,006-0,0055)} = 0,294\ МПа. \quad (44)$$

Оскільки $0,143\ МПа \le 0,243\ МПа$, то товщина днища задовільняє умову міцності і стійкості.

4.4.10 Визначення діаметра штуцерів

Діаметр штуцерів розраховують за формулою (45) [26]:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785\cdot\ w\cdot\ \rho}} = \sqrt{\frac{5187}{0,785\cdot\ 15\cdot\ 0,8254\cdot\ 3600}} = 0,38м \quad (45)$$

де G – масова витрата теплоносія;

ρ – густина теплоносія;

w – Швидкість руху теплоносія в штуцері. Приймаємо швидкість пару в штуцері $w = 15\ м/с.$

Вибираємо трубу згідно ГОСТу з внутрішнім діаметром 400 м.

4.4.11 Розрахунок фланцевого з'єднання

Для з'єднання труб обираємо приварені у стик фланці. У зв'язку з тим що потрібно забезпечити надійне співвісне з'єднання – вибираємо тип з'єднання шип-паз, яке використовується при підвищеному тиску.

Для ущільнення фланцевого з'єднання використовуємо фторопластову прокладку ГОСТ 10007-80, яка забезпечує герметичність при тиску $P \le 2,5\ МПа$ та температурі до $+250^{\circ}C$, стійкість до амінокислот будь-якої концентрації, розчинникам.

Приймаємо діаметр болтів М20, виходячи з діаметру апарату та умовного тиску.

Товщина втулки фланця [26]:

$$S_0 \le 1,35\cdot\ S = 1,35\cdot\ 0,006 = 0,008\ м, \quad (46)$$

де $S = 0,006\ м$ – товщина стінки апарата.

Діаметр болтового кола:

$$D_б \geq D + 2(S_0 + d_б + 0,006) = 0,8 + 2 \cdot \ (0,008 + 0,020 + 0,006) = 0,868 \ м, \quad (47)$$

де $d_б = 0,020 \ м$ – діаметр болтів;

$D = 800 \ мм$ – внутрішній діаметр гріючої камери.

Приймаємо $D_б = 880 \ мм$ згідно ДСТУ 12820 – 2008.

Зовнішній діаметр фланця [26]:

$$D_ф \geq D_б + a = 0,880 + 0,040 = 0,92 \ м, \quad (48)$$

де $a = 40 \ мм$ – конструктивний додаток до розміру болтів.

Зовнішній діаметр прокладки [26]:

$$D_{нп} = D_б - e' = 0,880 - 0,03 = 0,85 \ м, \quad (49)$$

де $e' = 30 \ мм$ – нормативний параметр.

Середній діаметр прокладки [26]:

$$D_{сп} = D_{нп} - b_п = 0,85 - 0,012 = 0,838 \ м, \quad (50)$$

де $b_п = 12 \ мм$ – ширина прокладки.

Конструктивно обираємо $D_{сп} = 0,828 \ м$.

Кількість болтів для забезпечення герметичності розрахуємо за формулою:

$$n \geq \frac{\pi \cdot D_б}{t_ш} = \frac{3,14 \cdot 0,880}{5 \cdot 0,020} = 27,63, \quad (51)$$

де $t_ш = (4,2...5) \cdot \ d_б$ – рекомендований крок розміщення болтів. Приймаємо $n = 28 \ шт$ за ГОСТ 26-426-99. [табл. 13.7 ст. 233].

За ДСТУ ГОСТ 12820 – 2008 обираємо фланці з наступними параметрами:

внутрішній діаметр штуцера: $D = 800 \ мм$;

діаметр фланця: $D_ф = 920 \ мм$;

діаметр болтової окружності: $D_б = 880 \ мм$;

діаметр отворів під болт: $d_б = 20\ мм$;

кількість болтів: $n = 28\ шт$;

висота фланця: $h_ф = 25$ мм;

маса фланця: $m = 30\ кг.$

Висота болта, що не забезпечить згвинчування з гайкою:

$$l_{бо} = 2 \cdot (h_ф + h_п) = 2 \cdot (0,025 + 0,003) = 0,056\ м, \quad (52)$$

де $h_п = 3\ мм$ – висота прокладки [26].

Розрахункова довжина болта [26]:

$$l_б = l_{бо} + 0,8 \cdot\ d_б = 0,056 + 0,8 \cdot\ 0,020 = 0,072\ м. \quad (53)$$

Приймаємо довжину болта [26] $l_б = 80\ мм.$

4.4.12 Розрахунок навантажень, що діють на фланцеве з'єднання

Рівнодіюча внутрішнього тиску [26]:

$$F_Д = \frac{P \cdot\ \pi \cdot\ D_{сп}^2}{4} = \frac{0,143 \cdot\ 3,14 \cdot\ 0,828^2}{4} = 0,077\ \text{МН}, \quad (54)$$

де $P = 0,143\ МПа$ – прийнятий внутрішній тиск штуцера.

Реакція прокладки [26]:

$$R_П = \pi \cdot D_{сп} \cdot k_{пр} \cdot b_0 \cdot P = 3,14 \cdot 0,828 \cdot 2,5 \cdot 0,012 \cdot 0,143 = 0,011\ МН, \quad (55)$$

де $k_{пр} = 2,5$ – коефіцієнт піддатливості прокладки, для прокладки з фторопласту;

$b_0 = b_п = 0,012\ м$ – ефективна ширина прокладки.

Піддатливість прокладки [26]:

$$y_п = \frac{k_п \cdot\ h_п}{E_п \cdot\ \pi \cdot\ D_{сп} \cdot\ b_п} = \frac{1 \cdot\ 0,003}{2000 \cdot\ 3,14 \cdot\ 0,828 \cdot\ 0,012} = 0,481 \cdot\ 10^{-4}\ м / МН, \quad (56)$$

де $k_п = 1$ – коефіцієнт обтискання прокладки;

$E_п = 2000\ МПа$ – модуль Юнга для фторопластової прокладки.

Піддатливість болтів визначаємо за формулою (57):

$$y_б = \frac{l_б}{E_б \cdot f_б \cdot n_б} = \frac{0,08}{1,87 \cdot 10^5 \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 28} = 0,49 \cdot 10^{-4} \ м/МН, \quad (57)$$

де $E_б = 1,87 \cdot 10^5 \ МПа$ – модуль Юнга для болтів зі Ст 3 сп. [ДСТУ 2651:2005];

$f_б = 314 \ мм^2$ – площа поперечного перерізу болта, приймається по діаметру.

Піддатливість фланців:

$$y_ф = \frac{(1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_ф)) \cdot \psi_2}{h_ф{}^3 \cdot E_ф} = \frac{(1 - 0,237 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,361)) \cdot 14,3}{0,025^3 \cdot 1,98 \cdot 10^5} = \quad (58)$$
$$= 3,17 \ 1/м \cdot МН,$$

де $E_ф = 1,98 \cdot 10^5 \ МПа$ – модуль Юнга для фланців із сталі марки 12Х18Н10Т;

$\psi_1, \ \psi_2, \ \nu, \ \lambda_ф$ – конструктивні коефіцієнти, які визначаються з формул (59), (60), (61) [26]:

$$\psi_1 = 1,281 \cdot \ln\frac{D_ф}{D} = 1,281 \cdot \ln\frac{920}{800} = 0,179; \quad (59)$$

$$\psi_2 = \frac{D_ф + D}{D_ф - D} = \frac{920 + 800}{920 - 800} = 14,3; \quad (60)$$

$$\lambda_ф = \frac{h_ф}{\sqrt{D \cdot S}} = \frac{25}{\sqrt{800 \cdot 6}} = 0,361; \quad (61)$$

$$\nu = \left[1 + 0,92 \cdot \lambda_ф \left(1 + \frac{\psi_1 \cdot h_ф{}^2}{S^2}\right)\right]^{-1} = \left[1 + 0,92 \cdot 0,361 \left(1 + \frac{0,179 \cdot 25^2}{6^2}\right)\right]^{-1} = \quad (62)$$
$$= 0,237.$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання [26]:

$$k_ж = \frac{y_б + 0,5 \cdot y_ф \cdot (D_б - D - S) \cdot (D_б - D_{сп})}{y_п + y_б + 0,5 \cdot y_ф \cdot (D_б - D_{сп})^2} =$$
$$= \frac{0,49 \cdot 10^{-4} + 0,5 \cdot 3,17 \cdot (0,88 - 0,80 - 0,006) \cdot (0,88 - 0,88)}{0,481 \cdot 10^{-4} + 0,49 \cdot 10^{-4} + 0,5 \cdot 3,17 \cdot (0,88 - 0,828)^2} = 1,45. \quad (63)$$

Зусилля від температурних деформацій [26]:

$$F_t = \frac{y_б \cdot n_б \cdot f_б \cdot \mathrm{E}_б(\alpha_ф \cdot t_ф - \alpha_б \cdot t_б)}{y_n + y_б + 0{,}5 \cdot y_ф \cdot (D_б - D_{сп})} =$$

$$= \frac{0{,}49 \cdot 10^{-4} \cdot 28 \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}87 \cdot 10^{5} \cdot (16{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 19{,}2 - 12{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 17)}{0{,}481 \cdot 10^{-4} + 0{,}49 \cdot 10^{-4} + 0{,}5 \cdot 3{,}17 \cdot (0{,}88 - 0{,}828)^2} =$$

$$= 18{,}83 \cdot 10^{-4} \text{ МН}, \tag{64}$$

де $\alpha_ф = 16{,}4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$ і $\alpha_б = 12{,}5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$ – коефіцієнти температурного розширення відповідно фланців і болтів;

$t_ф = 0{,}96 \cdot t = 0{,}96 \cdot 20 = 19{,}2^\circ C$, $t_б = 0{,}85 \cdot t = 0{,}85 \cdot 20 = 17^\circ C$ –

температури відповідно фланців і болтів.

Зусилля в болтах в умовах монтажу [26]:

$$F_{б1} = \max\begin{Bmatrix} k_ж \cdot F_Д + R_П \\ \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q \\ 0{,}4 \cdot [\sigma]_B^{20} \cdot n_б \cdot f_б \end{Bmatrix} =$$

$$= \max\begin{Bmatrix} 1{,}45 \cdot 0{,}077 + 0{,}012 = 0{,}124 \ МН \\ 3{,}14 \cdot 0{,}828 \cdot 0{,}012 \cdot 10 = 0{,}312 \ МН \\ 0{,}4 \cdot 140 \cdot 28 \cdot 314 \cdot 10^{-6} = 0{,}492 \ МН \end{Bmatrix} = 0{,}492 \ МН, \tag{65}$$

де $q = 10 \ МПа$ – зусилля герметизації, для фторопластової прокладки [26];

$[\sigma]_B^{20} = 140 \ МПа$ – граничне напруження в болтах при температурі.

Зусилля в болтах в робочих умовах:

$$F_{б2} = F_{б1} + (1 - k_ж) \cdot F_Д + F_t = 0{,}492 + (1 - 1{,}45) \cdot 0{,}077 + 1{,}9 \cdot 10^{-3} =$$
$$= 0{,}459 \ МН. \tag{66}$$

Приведений вигинаючий момент [26]:

$$M_0 = \max\left\{\begin{array}{l} 0,5\cdot\ (D_б - D_{сп})\cdot\ F_{б1} \\ \left[\begin{array}{l} 0,5\cdot\ (D_б - D_{сп})\cdot\ F_{б2} + (D_{сп} - D - S)\cdot\ F_Д\cdot\ \dfrac{[\sigma]_ф^{20}}{[\sigma]_ф} \end{array}\right] \end{array}\right\} =$$

$$= \max\left\{\begin{array}{l} 0,5\cdot\ (0,88 - 0,828)\cdot\ 0,492 \\ \left[\begin{array}{l} 0,5\cdot\ (0,88 - 0,828)\cdot\ 0,459 + (0,828 - 0,8 - 0,006)\cdot\ 0,077\cdot\ \dfrac{184}{172,4} \end{array}\right] \end{array}\right\} =$$

$$= max\left\{\begin{array}{l} 12,79\cdot\ 10^{-3}\ МНм \\ 7,17\cdot\ 10^{-3}\ МНм \end{array}\right\} = 12,79\cdot\ 10^{-3}\ МНм, \qquad (67)$$

де $[\sigma]_ф^{20} = 184\ МПа,\ \ [\sigma]_ф = 172,4\ МПа$ – граничні напруження для фланців.

Умови міцності болтів при монтажі [26]:

$$\frac{F_{б1}}{n_б\cdot\ f_б} \le [\sigma]_б^{20} \Rightarrow \frac{0,492}{28\cdot\ 314\cdot\ 10^{-6}} = 55,96\ МПа \le 140\ МПа, \qquad (68)$$

Умова виконується!

Умова міцності прокладки [26]:

$$\frac{F_{б_{max}}}{\pi\cdot\ D_{сп}\cdot\ b_0} \le [P]_{пр} \Rightarrow \frac{0,492}{3,14\cdot\ 0,828\cdot\ 0,012} = 15,78\ МПа \le 40\ МПа, \qquad (69)$$

Де $[P]_{пр} = 40\ МПа$ – допустимий тиск, для фторопластової прокладки.

Умова міцності прокладки виконується!

Радіальне напруження обчислюється за формулою [26]:

$$\sigma_1 = \frac{T_ф\cdot\ M_0\cdot\ \nu}{D\cdot\ S^2} = \frac{1,85\cdot\ 12,79\cdot\ 10^{-3}\cdot\ 0,237}{0,800\cdot\ 0,006^2} = 194,7\ МПа, \qquad (70)$$

де $T_ф$ – конструктивний коефіцієнт, визначається по формулі (71) [26]:

$$T_{\phi} = \frac{D_{\phi}^2 \cdot \ (1+8{,}55 \cdot \ \lg\frac{D_{\phi}}{D}) - D^2}{(1{,}05 \cdot \ D^2 + 1{,}945 \cdot \ D_{\phi}^2) \cdot \left(\frac{D_{\phi}}{D} - 1\right)} = \tag{71}$$

$$= \frac{0{,}920^2 \cdot \ (1+8{,}55 \cdot \ \lg\frac{0{,}920}{0{,}800}) - 0{,}800^2}{(1{,}05 \cdot \ 0{,}800^2 + 1{,}945 \cdot \ 0{,}920^2) \cdot \left(\frac{0{,}920}{0{,}800} - 1\right)} = 1{,}85.$$

Максимальне напруження кільця обчислюється за формулою (72) [26]:

$$\sigma_{к} = \frac{M_0 \cdot \ (1-\nu \cdot \ (1+0{,}9 \cdot \ \lambda_{\phi}))}{D \cdot \ h_{\phi}{}^2} = \frac{12{,}79 \cdot \ 10^{-3} \cdot \ (1-0{,}237 \cdot \ (1+0{,}9 \cdot \ 0{,}361))}{0{,}800 \cdot \ 0{,}025^2} =$$

$$= 17{,}4 \ \ МПа.$$

(72)

Напруження у втулці від внутрішнього тиску обчислюється за формулою (73), (74) [26]:

$$\sigma_t = \frac{P \cdot \ D}{2 \cdot \ S} = \frac{0{,}143 \cdot \ 0{,}800}{2 \cdot \ 0{,}006} = 9{,}53 \ \ МПа; * \tag{73}$$

$$\sigma_m = \frac{P \cdot \ D}{4 \cdot \ S} = \frac{0{,}143 \cdot \ 0{,}800}{4 \cdot \ 0{,}006} = 4{,}77 \ \ МПа. \tag{74}$$

Умова міцності обчислюється за формулою (75) [26]:

$$\sqrt{(\sigma_1 + \sigma_m)^2 + \sigma_t - (\sigma_1 + \sigma_m) \cdot \ \sigma_t} \le \varphi[\sigma]_0; \tag{75}$$

$$\sqrt{(194{,}7 + 4{,}77)^2 + 9{,}53 - (194{,}7 + 4{,}77) \cdot \ 9{,}53} = 194{,}67 \ \ МПа \le \varphi[\sigma]_0 = 404 \ \ МПа,$$

де $[\sigma]_0$ – граничне напруження в перерізі:

$$[\sigma]_0 = 0{,}002 \cdot \ E_{\phi} = 0{,}002 \cdot \ 1{,}98 \cdot \ 10^5 = 396 \ \ МПа.$$

Умова герметичності фланцевого з'єднання СС:

$$\Theta = \frac{\sigma_{к} \cdot \ D}{E_{\phi} \cdot \ h_{\phi}} = \frac{17{,}4 \cdot \ 0{,}800}{1{,}98 \cdot \ 10^5 \cdot \ 0{,}025} = 2{,}81 \cdot \ 10^{-3} \le [\Theta] = 9 \cdot \ 10^{-3}, \tag{76}$$

де $[\Theta] = 0{,}009$ – граничний кут повороту фланців, $(D < 2000 \ \ мм)$.

Умова герметичності виконується!

4.5 Рекомендації з ремонту, монтажу та експлуатації апаратів

Правильна і безперебійна робота випарного апарату залежить від багатьох чинників, перш за все це правильна експлуатація, перевірка на правильну роботу, постійний догляд в належному стані і звичайно ж своєчасне і правильне проведення ремонтів [27].

Щоб запобігти передчасного зносу і вимушених зупинок апарату, аварії установки слід дотримуватись правил експлуатації і монтажу апарату.

Монтаж випарного апарату починається із установки корпусу гріючої камери на три опори типу «лапа». До корпусу гріючої камери, за допомогою фланцевого з'єднання, приєднується днище гріючої камери, а також приварюється штуцер для вводу гріючої пари (разом із укріплюючим кільцем). До верхньої частини гріючої камери приєднується царга [27].

Монтаж сепаратора розпочинається із з'єднання верхньої і нижньої царг, її встановлення на трьох опорах типу «лапа» і з'єднання з гріючою камерою. Потім приєднується кришку апарату і фіксується зливна труба бризкоуловлювача (за допомогою фіксуючих кілець). Далі зварюється царга гріючої камери і днище сепаратора.

Завершальним етапом монтажу апарату є з'єднання гріючої камери і сепаратора за допомогою циркуляційної труби і перевірка апарату на герметичність [27].

Усі складальні одиниці випарного апарату з'єднуються між собою за допомогою фланцевих з'єднань типу «шип-паз». У апараті, перед відкриттям, доводять тиск до атмосферного, з апарату видаляють робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою. Після пропарювання апарат промивають водою. В деяких випадках пропарювання і промивання чергують кілька разів [27].

Пропарений і промитий апарат від'єднують від усіх комунікацій глухими заглушками, що встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів.

Установку кожної заглушки і наступне її зняття реєструють в спеціальному журналі.

Корпус апарату як зовні, так і з середини підлягає візуальному огляду. Виявлення дефектів корпусу, що вимагає високої кваліфікації, включає візуальний огляд для визначення загального стану корпусу і ділянок, схильних до найбільшого зносу; вимірювання залишкової товщини корпусу за допомогою ультразвукових дефектоскопів; перевірку на щільність зварних швів і роз'ємних з'єднань [27].

Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють. Зношені штуцери і люки вирізають і замінюють новими з обов'язковою установкою зміцнюючих кілець. Бажано, щоб зміцнюючі кільця нових штуцерів мали дещо більший діаметр, ніж старі: це дозволяє приварювати їх в новому місці. Ремонту піддають усі штуцери.

Під час кожного ремонту вимірюють фактичну товщину стінки корпусу випарного апарату [27].

Гріюча камера має жорстку конструкцію, тобто нерухома трубна решітка жорстко з’єднана з корпусом. Основний їх недолік – неможливість механічного очищення внутрішньої поверхні корпусу і зовнішньої поверхні труб від бруду і відкладень.

Візуальному огляду підлягають тільки кришки, кінці і внутрішні канали труб, штуцери на корпусі і кришках. Дефекти інших частин гріючої камери можуть бути виявлені тільки при опресуванні. Терміни і зміст ревізій і ремонтів визначають, виходячи з конкретних експлуатаційних умов. Необхідність в достроковому ремонті може бути обумовлена різким погіршенням теплообміну (відповідно до технологічної карти). У такому разі можливе забруднення внутрішніх або зовнішніх поверхонь (чи обох одночасно) труб. Зношування трубних решіток практично виключається через їх велику товщину [27].

При проведенні ремонту з трубного і міжтрубного просторів через штуцери видаляють їх вміст. Далі протягом часу, визначеного фізико-хімічними властивостями робочого середовища, їх промивають водою, потім пропарюють. Завдяки промиванню і пропарюванню відбувається підготовка апарату до відкриття, видалення вибухо- і пожежонебезпечних або токсичних речовин, розбору і очищення поверхонь від відкладень. Слід зазначити, що промивання – можливий спосіб видалення відкладень із зовнішніх поверхонь труб і внутрішніх поверхонь корпусу. Тому промиванню міжтрубного простору гріючої камери необхідно приділяти особливу увагу. Бажано промивати апарати гарячою водою, що підігрівається парою. Аналогічно промивають трубний простір [27].

Після промивання апарат від'єднують від комунікації глухими заглушками і приступають до його розбирання.

Фактичну товщину стінки і днищ вимірюють шляхом висвердлювання отворів, а також за допомогою приладів для ультразвукового вимірювання товщини стінки.

Особливої ретельності вимагає перевірка стану кінців труб в трубних решітках. Перевірку проводять за допомогою візуального огляду, вимірюванням діаметру та товщини стінки частин апарату, а також опресуванням. Складно визначити стан розвальцованого з'єднання. Тому його оцінюють за результатами вимірювання внутрішнього діаметру розвальцьованого кінця труби.

Дефекти, які не можна виявити під час візуального огляду і вимірювань, виявляють опресовуванням міжтрубного і трубного просторів [27].

Трубу, що на практиці вийшла з ладу, заглушають з двох кінців металевими конусними пробками. Число таких труб не повинне перевищувати 10% від загального числа труб в пучку, інакше значно зросте гідравлічний опір і помітно зменшиться поверхня теплообміну.

Необхідність ремонту корпусу встановлюють за результатами вимірювання товщини і перевірки зварних швів. Перед повною зборкою апарату слід проводити опресовування міжтрубного простору. При цьому виявиться нещільність в корпусі, в місцях з'єднання труб з трубними гратами, а також зношені теплообмінні труби (при появі в них води). Апарат остаточно опресовують після закриття кришок. З апарату, що витримав випробування, зливають воду, а потім знімають заглушки [27].

4.5.1 Ремонт апарату та мета його проведення

Повне використання потужності випарного апарату, постійна підтримка в робочому стані основного й допоміжного устаткування досягаються при правильно налагодженій системі планово-запобіжних ремонтів (ППР).

Планово-запобіжний ремонт являє собою сукупність організаційно-технічних заходів щодо нагляду й догляду за встаткуванням, перевірці й ремонту його, виконуваних у плановому порядку через певні проміжки часу.

Правильна експлуатація обладнання вакуум-випарної установки, що забезпечує запобігання аварій, передчасного зносу і змушених зупинок, можлива тільки при строгому плануванні високій якості ремонту всього устаткування. Система ППР устаткування передбачає наступні види ремонту [28]:

- Чергове (міжремонтне) обслуговування;
- Поточний ремонт;
- Середній ремонт;
- Капітальний ремонт.

Чергове обслуговування – систематичне спостереження за режимом роботи й станом устаткування, комунікацій з усуненням дрібних несправностей. Це обслуговування здійснюється спеціально виділеним для цього персоналом.

Поточний ремонт – такий ремонт, при якому устаткуванню вертається нормальна працездатність до чергового середнього або капітального ремонту. Ремонт проводиться з висновком про можливий вихід обладнання з робочого стану, розбиранням окремих вузлів і наступним випробуванням. Для основного устаткування повний перелік ремонтних робіт при середньому ремонті уточнюється розробкою дефектної відомісті.

Капітальний ремонт – основний ремонт, при якому виконується відновлення або заміна зношених основних деталей, вузлів або елементів, при цьому устаткуванню вертається їх першо-початкова потужність або продуктивність, здатність роботи до чергового капітального ремонту. Капітальний ремонт проводиться з повним розбиранням його і наступними випробуваннями. Повний перелік ремонтних робіт при капітальному ремонті уточнюється дефектною відомістю. Час між капітальними ремонтами, а для устаткування, що вводиться – відрізок часу від початку експлуатації до першого капітального ремонту, називається міжремонтним періодом, або ремонтним циклом і обчислюється в місяцях [28].

При будь-якому режимі роботи ремонтний цикл установлено 12 місяців, а період між черговими поточними ремонтами – 3 місяці. Безперервний контроль здійснює оператор машини, черговий слюсар-ремонтник, електрик і спеціаліст по контрольно-вимірювальних пристроям і автоматах.

Поточний ремонт проводять у відповідності із графіком і з врахуванням результатів попереднього технічного огляду працівниками ремонтної служби і налагоджувальниками машини. Спочатку потрібно зупинити машину і відключити всі інженерні комунікації. Перед початком ремонту потрібно оглянути агрегат і визначити ті деталі які по своєму стану підлягають ремонту або заміні [28-29].

Система планово-попереджувального ремонту включає в себе декілька видів ремонту попередній ремонт, середній ремонт, капітальний ремонт. При попередньому ремонті в агрегаті виконуються наступні роботи – очистка

апарату від продукту змащування апарату та перевірка змащувальних приладів та маслопроводів, перевірка кріплення гвинтових, зварних з'єднань, заміна зношених гайок, гвинтів, шайб. Перевірка технічного стану трубопроводів.

Середній ремонт включає в себе – заміну швидко зношених деталей, заміну набивок та ущільнювачів, очищення від накипу, ремонт змащувальних приладів, перевірка заземлення, перевірка та регулювання всіх механізмів апарату [29].

Капітальний ремонт заключається в чіткому огляді всіх деталей апарату з ремонтом або заміною деталей, які спричинили несправність. Мета цього ремонту – повне відновлення всіх параметрів машини, що змінилися при її експлуатації. Підготовка до ремонту вимагає забезпечення запасними частинами, матеріалами, необхідним обладнанням. При капітальному ремонті проводять повне розбирання машини. Попередньо машину чистять і миють. Потім знімають кришки з верхньої частини апарату, оглядовий люк, знімають огородження, демонтують прилади контролю і прокладок [29].

Перевіряють правильність взаємодії механізмів устаткування – рух пари по трубопроводах, роботу робочих органів пристроїв для завантаження і розвантаження апарату. При будь-якому режимі роботи устаткування ремонтний цикл установлено 12 місяців, а період між черговими поточними ремонтами – 3 місяці [29].

4.6 Висновки

Запропонована конструкція є оптимальним варіантом для виробництва лізину. Перевагами даного апарату є те, що є можливість виконувати нетрудомістке розбирання та збирання установки, проводити очистку відповідно до вимог.

Під час розрахунків на працездатність було визначено основні стандартні габаритні розміри. Проведені розрахунки матеріального та теплового балансу, розрахований конструктивний розрахунок апарату.

Також було розраховано геометричні розміри складальних одиниць апарату. Підібрано матеріали, з яких найкраще виготовити апарат. Надані рекомендації з монтажу та експлуатації, що забезпечать довгострокову та оптимальну роботу випарного апарату.

5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

5.1 Резюме

підвищення ефективності роботи промисловості потрібно забезпечити введення нових високопродуктивних безвідходних чи маловідходних, менш енергоємних технологій. В цілому, технічний і технологічний рівень українських підприємств відстає від рівня сучасних передових технологій, потрібно максимально автоматизувати і механізувати хімічне виробництво.

Більшість обладнання що використовуються на великих підприємствах мають застарілі елементи конфігурації. Проте сучасний світ має досить швидкий темп розвитку, всі застарілі апарати тим чи іншим чином заміняють на нові чи модернізують. Під модернізацією обладнання розуміють деякі конструктивні зміни чи удосконалення, що підвищують технічний рівень апаратів. Покращуються і експлутаційні параметри, а саме: довговічність, продуктивність, точність, легкість обслуговування та безпека роботи. Модернізацію устаткування проводять також з метою усунення морального зносу устаткування. В такому випадку ми зможемо і далі використовувати обладнання при цьому подовжити термін його служби [30].

Як показує досвід, модернізація обладнання для підвищення якості роботи в більшості випадків економічно виправдана, так як придбати нове устаткування більш високої якості завжди пов’язано зі значними затратами коштів.

Нині дуже актуальним є питання виготовлення амінокислот. Збалансованість кормів за амінокислотним складом є важливим показником повноцінності їх використання тваринами. Однією з найбільш вживаних амінокислот є лізин, оскільки багато білків рослин містять саме цю амінокислоту в незначній кількості, а використання і засвоєння білкового азоту пропорційно мінімальному вмісту в ньому лімітуючої незамінної

амінокислоти. Виробництво лізину відбувається шляхом випарювання у випарних апаратах.

Даний проєкт присвячений саме цій проблемі, в ньому розглядається розробка випарного апарату з природньою циркуляцією для випарювання розчину лізину.

Ідея старатап-проєкту: “Модернізація випарного апарату для випарювання розчину лізину”.

Мета науково-технічної розробки: Впровадження випарного апарату в апаратурну схему зі зміною геометрії труб, і як наслідок підвищення ефективності виробництва і якості продукції, технічне рішення для подальшої автоматизації.

Основною метою наукової розробки вважається отримання прибутку за рахунок виробництва і реалізації апаратів з відмінними показниками якості. Проєкт передбачає розробку випарного апарату з природньою циркуляцією для випарювання розчину лізину та інших амінокислот подібних за хіміко-фізичним складом. Розробка апарату передбачається на окраїні м. Київ.

У таблиці 5.1 представлена структурно-логічна послідовність відповідей на ключові питання у формуванні ідеї стартап проєкту: ЩО Є? ЩО ЯКЩО? ЩО ВАУ? ЩО РОБИТИ?

Таблиця 5.1 Структурно-логічне формування ідеї

Питання	***Відповідь***
Що є?	Лінія виробництва лізину. Випарний апарат з гладкими трубами.
Що якщо?	Що якщо покращити технологічну схему виробництва, а саме замінити у випарному апараті гладкі труби на труби гофрованого типу.
Що вау?	При зміні геометрії труб збільшиться контактна поверхня теплообміну. В свою чергу це пришвидшить процес випаровування, концентрація випарюваного розчину покращиться, що в подальшому зменшить час очистки отриманого розчину.

Продовження таблиці 5.1

Що робити?	Перш за все ми маємо підібрати матеріал труб який є досить пластичний але при цьому залишається міцним для того щоб вигнути гофру. Також слід врахувати геометрію перерізу, щоб можна було гарно очищувати поверхню труб після процесу випарювання. Слід ще раз перерахувати тепловий розрахунок, оскільки збільшиться поверхня теплообміну, то можна зменшити кількість труб, що в свою чергу зменшить масу апарату та зменшаться затрати для реалізації проєкту.

Таблиця 5.2 Стартові характеристики стартап-ідей

Характеристика	**Розкриття характеристики**
Об’єкт стартапу	Об’єктом стартапу являється інноваційна технологія випарного апарату з гофрованими трубами, для випарювання розчинів.
Суб’єкт стартапу	Суб’єктом стартапу є розробник Кручок Ірина Ігорівна та науковий керівник Шибецький Владислав Юрійович, дослідження проводяться на базі НТТУ “КПІ ім. І. Сікорського”.
Потреба яку задовольняє стартап -у споживача -у виробника	**Для споживача** стартап корисний тим, що на виробництвах, де використовуються апарати даної конструкції, процес випарювання почне протікати набагато швидше та ефективніше, що в свою чергу підвищить ефективність виробництва. **Для виробника** стартап корисний тим, що апарат даної конструкції складніший за виготовленням, відповідно можна збільшити ціну за відповідне устаткування. Також можна знайти нових покупців за рахунок застосування даної стартап-ідеї у інших апаратах, які проектуються на виробництві.

Продовження таблиці 5.2

На покращення якого фактору у моделі ділової досконалості підприємства спрямований стартап	Стартап спрямований на покращення фактору “задоволення споживачів” у європейській моделі досконалості.
Місце стартапу у ланцюжку цінностей продукту	Даний стартап у ланцюжку цінностей продукту, реалізується на етапі реалізація.
Гранична корисність стартапу	Дана розробка має великий потенціал для впровадження у виробництві. По-перше видозмінюючи геометрію труб ми інтенсифікуємо процес випарювання. По-друге, концентрація випарюваного розчину досягається потрібного значення, без подальшої очистки отриманого розчину. По-третє, реалізувати конструкцію гофрованих труб можна не тільки у випарних апаратах а й в теплообмінниках, центрифугах та інших устаткуваннях.

5.2 Планові варіанти розвитку стартап-ідеї

У таблиці 5.3 описані варіанти і опис можливого розвитку стартапу.

Таблиця 5.3 Варіанти та можливий розвиток ідеї

Варіанти	**Стислий опис можливого розвитку**
Заміна гладких труб на гофровані	В даному варіанті ми пропонуємо замінити труби в апараті, проте ніяких розрахунків ми ненадаємо.
Технічні показники для заміни гофрованих труб	В даному варіанті ми пропонуємо замовнику не тільки ідею щодо заміни труб, а й проводимо розрахунки щодо довжини труби, глибини гофри, пропонуємо матеріали з яких можна виготовити труби, зазначаємо максимальну температури при якій труби не деформуються, вказуємо речовини, які можна випарювати у трубах такої конфігурації.

Продовження таблиці 5.3

Реалізація роботи апарату з використанням гофрованих труб та можливість встановлення труб різної конфігурації.	В даному варіанті розвитку стартап-ідеї ми пропонуємо повну реалізацію заміни плоских труб на гофровані. Наводяться всі технічні розрахунки та рекомендації щодо роботи з ними. Також наводяться рекомендації щодо очистки і встановлення трубної решітки у випарний апарат. Прописані вказівки щодо заміну труб на інші типи конфігурацій.

У таблиці 5.4 наведені основні прогнозовані елементи витрат

Таблиця 5.4 Складові структури витрат стартап-проєкту

Прогнозований елемент витрат	**Прогнозована кількість, од**	**Прогнозована вартість, грн**	**Джерело покриття витрат**
1.Технічна документація випарного апарату (СК, Специфікація, Креслення загального виду).	1	15 000	Власні кошти
2.Корпус з кришкою, опорними лапами та штуцерами	1	30 000	Інвестори
3.Сепаратор з кришкою	1	15 000	Власні кошти
4.Циркуляційна труба	1	10 000	Власні кошти
5.Гофровані труби	36	28 000	Власні кошти
6.Трубна решітка	2	6000	Інвестори

5.3 Вплив зовнішнього та внутрішнього середовища на цінність стартап-ідеї

Кожне промислове підприємство в процесі свого розвитку і роботи постійно відчуває вплив зовнішнього середовища. Можна стверджувати, що результати і ефективність діяльності підприємства напряму залежить від його

зовнішнього середовища. До зовнішніх економічних факторів можна віднести географію, демографію, політику, економіку, культуру і звісно ж, науково-технічний прогрес.

Базова цінність даного стартапу – “Випарний апарат з гофрованими трубами для випарювання розчину лізину”.

Таблиця 5.5 Вплив зовнішнього середовища на цінність стартап-ідеї

Фактор	Загроза			Можливість		
	Сутність загрози	Ймо-вір-ність наста-ння	Вплив на цінність стартапу	Сутність можливості	Ймо-вір-ність наста-ння	Вплив на цінність стартапу
Політика	1.Складна процедура оформлення закордонних кадрів та проведення обміну досвідом. 2. Воєнні конфлікти з сусідніми державами. 3.Довга процедура отримання необхідних сертифікатів на виготовлення обладнання. 4. Зміна влади і реорганізація підприємницької діяльності.	1. 3% 2. 10% 3. 7% 4. 5%	1.Через відсутність кваліфікованих фахівців ускладнюється розробка даного апарату. 2. Нестабільна ситуація з конфліктами загрожує роботі виробництва. 3.Через затримку документації може тимчасово зупинятись розробка апарату. 4. Зі зміною влади можуть з`явитись нові положення, які ускладнять роботу підприємства.	1.Доступність сертифікатів на виготовлення обладнання. 2. Можливість вийти на новий рівень виробництва за рахунок економічного прогресу в країні. 3. Можливість залучити інвесторів і модернізувати своє виробництво.	1. 5% 2. 3% 3. 4%	1.Держава зацікавлена у створенні інноваційного обладнання. 2. За рахунок прогресу у країні розвиток машинобудування стає більш важливим. 3. При залученні інвесторів можна модернізувати і збільшити обсяги виробництва.

Продовження таблиці 5.5

Географія	1.При роботі апарат продукує шкідливі відходи, що негативно впливає на екологію. 2. При розробці і випробуванні обладнання у м. Києві заробітня плата залучених працівників вища ніж у інших регіонах.	1. 2% 2. 4%	1. Необхідність очищати відходи, утилізувати їх – це тягне додаткові витрати. 2.Збільшує собівартість апарату.	1. У м. Києві найбільше машинобудівних заводів, що є основним контингентом замовників. 2. Швидкий доступ до робочого місця, в свою чергу дає укомплектувати повний робочий штат.	1. 7% 2. 15%	1. Можливість швидкого збуту продукції, як наслідок отримання прибутку. 2. Географічне розташування підприємства відіграє велику роль для робітників.
Демо-графія	1.Відтік кадрів, все більше людей прагне працювати за кордоном. 2. Можливість залучення студентів 5-6 курсів навчання. 3. Низька народжуваність населення	1. 2% 2. 2% 3. 0,3%	1. Складно знайти кваліфікованих спеціалістів з досвідом. 2.Студентам потрібен час щоб зрозуміти процес роботи та освоїтись на “новому місці”. 3. Чим менша народжуваність, тим менша кількість працівників, які хочуть працювати на заводі.	1.Відтік кадрів, все більше людей прагне працювати за кордоном. 2. Можливість залучення студентів 5-6 курсів навчання.	.1,5% .1,3%	1. Можливість оновлювати кадри часто. 2.Можливість вчити новий персонал під свої стандарти роботи.

Продовження таблиці 5.5

Культура	1.Для людей є більш привабливіши м працювати в офісі ніж виготовляти апарати. 2. Працівники іноді недбало ставляться до виконання певної роботи яка їм недовподоби. 3.Для амбіційних випускників ВНЗ робота на заводі може здатись не досить престижною.	1. 5% 2. 0,4% 3. 0,2%	1. Складність залучення персоналу для роботи з обладнанням. 2. Збільшення витрат на пошук персоналу, який буде виконувати роботу відповідно до стандартів. 3.Затрати на рекламні інтеграції щодо залучення нового персоналу.	1.Для людей є більш привабливіши м працювати в офісі ніж виготовляти апарати. 2. Працівники іноді недбало ставляться до виконання певної роботи яка їм недовподоби. 3. Різні релігійні погляди	1. 4% 2. 2% 3. 0,1%	1.За рахунок додаткової плати залучити іоземних провідних спеціалістів 2. Розробити преміальну систему за виконання плану задач для робітників. 3. Можливість знайомитис ь з людьми віросповіда ння та розвивати свій внутрішній світ.
Економі-ка	1.Падіння курсу валюти. 2.Нестабільна економічна ситуація у країні. 3.Фінансова криза.	1. 0,5% 2. 2% 3. 0,8%	1. Нестабільна ціна закупівлі матеріалів для виготовлення апарату. 2. Зниження або збільшення ціни активів компанії.	1.Падіння курсу валюти. 2. Продаж обладнання на вітчизняному ринку.	1. 0,3% 2. 0,9%	1. Закупівля акцій у іноземних компаніях 2. Можливість знаходити постійних вітчизняних покупців.

Продовження таблиці 5.5

НТУ	1.Відсутній досвіт роботи у випускників ВНЗ. 2. Застарілість технології виготовлення.	1. 0,3% 2. 0,2%	1.Випускники ВНЗ часто не спроможні без досвіду застосувати знання до роботи. 2.Застарілі апрати, як наслідок отримання незначного прибутку.	1.Відсутній досвіт роботи у випускників ВНЗ. 2. Розробка новітнього обладнання.	1. 0,6% 2. 5%	1.Можливість «вирощувати» кадри для себе за допомогою курсів підвищення кваліфкації, заохочуючи випускників роботою без досвіду. 2. Збільшення ціни та розвиток підприємства.

Виробник має мати внутрішній потенціал щоб скористатися зовнішніми можливостями, але дуже важливо знати і свої слабкі сторони, які можуть підсилити зовнішню загрозу. Постачальники, виробництво, конкуренти, посередники і споживачі належать до факторів внутрішнього середовища.

5.4 Визначення потенційного споживача підприємства

У таблиці 5.6 наведені характеристики потенційного споживача продукції стартапу (випарний апарат з гофрованими трубами).

Таблиця 5.6 Характеристика потейційного споживача

Критерій оцінки потенційного споживача	**Значення**
Форма власності	Приватне
КВЕД	С-Переробна промисловість; клас 20.5 – виробництво хімічної продукції.
За потужністю	Малі, середні
За масштабом виробництва	Серійні
За рівнем спеціалізації	Багатопрофільне
За ресурсами, що споживаються	Капіталомісткі
За чисельністю персоналу	Малі, середні
За сферою діяльності	Виробничі
За приналежністю капіталу і контролю	Національні, іноземні
За географічним розташуванням	Територія України
За наявністю вільних ОбЗ (коштів)	Підприємство має вільні Обз у вигляді сировини.

Отже, так як в Україні більшість підприємств по виготовленню лізину є приватними – потенційний споживач переважно повинен бути представником приватного підприємства, хоча ми будемо раді співпрацювати і з державними виробництвами.

КВЕД секція С – переробна промисловість, клас 20.5 – виробництво хімічної продукції [31].

Даний випарний апарат підходить як і для малого так і середнього за потужністю підприємства. Підприємства з великою потужністю потребують апаратів з більшою продуктивністю. Доцільно використовувати випарний апарат за серійного виробництва. Апарат підходить для випарювання різних амінокислот (лізин, аланін, аргінін, валін, гістидин, пролін, лейцин та деякі інші).

Ми радо співпрацюємо як з національними так і з іноземними інвесторами та замовниками. Також передбачений трансфер обладнання по території України, щоб транспортувати обладнання за кордон необхідні додаткові кошти.

5.4.1 Споживач. Структура пошуку

Щоб швидко знайти потенційного споживача необхідно систематизувати місце їх пошуку. У таблиці 5.7 наведені перші 6 споживачів, їх контакти та деякі їх особливості.

Таблиця 5.7 Перші 6 потенційних споживачів

Місце пошуку	**Конкретна адреса пошуку**	**Знайдена інформація**	**Контакти**	**Особливості**
Інтернет	Стартап	Підприємець Стельмах Олексій займається діяльністю наближеною з темою стартапу	Підприємство «Випарапарат» Кон. номер тел. +380983478378	Займаються випрюванням летких розчинів, з використання різної конфігурації труб.
Буклети	В місцях продажу апаратних устаткувань	Дуже часто можна знайти потенційних покупців на платформах збуту великих устаткувань «ПРОМ АПАРАТЗБУТ»	Зацікавлені особи: Козирєв Петро +380674728945; Санчик Кирило +380968325389.	Підприємці Козирєв та Санчик розробляють нову лінію на своїх підприємствах, шукають випарні апарати з високою продуктивністю роботи.

Продовження таблиці 5.7

Держ. констант	Держ. констант	Сайт, на якому реалізуються багато нових стартапів	Зацікавлені особи: Алунін Олег +3809846738278	Власник великого виробництва з випарювання органічних та неорганічних речовин.
Реклама в соціальних мережах	Facebook	Зацікавлена компанія «Allbiz»	Кон. номер тел. +380673592806	компанія «Allbiz» займається виготовленням нестандартних форм труб, для різних типів апаратів
Розсилка підприємцям, яких зацікавить дана пропозиція	Пошук в Інтернеті потенційних замовників	Компанія BOSCH може бути потенційним споживачем стартапу; компанія Wiegand та компанія Dremel.	BOSCH - +0444338954785; Wiegand - +0498989999866; Dremel - 055 – 8799 - 485	Іноземні компанії, потрібен правильний технічний переклад стартапу.
Розробка власного сайту	Гофровані труби	Споживачі стартапу зможуть знайти за посиланням у Інтернеті	Кон. номер тел. +3806874999896	Безпосередній доступ для всіх бажаючих переглянути даний стартап.

5.5 Формування рівновагової ціни

Визначення економічних складових стартап-проєкту.

Таблиця 5.8 Економічні складові

№ п/п	Складова	Сума, грн
1.	Сировина та матеріали	95 000
2.	Вартість приміщення	12 000
3.	Нематеріальні активи	15 000
4.	Інше	40 000
5.	Амортизація	31 600
6.	Заробітня плата персоналу (+22% нарахування)	97 600
7.	Разом собівартість	291 200

Для виготовлення випарного апарата з гофрованими трубами нам необхідні наступні матеріали: корпус – 30 000 грн, сепаратор з кришкою – 15 000 грн, циркуляційна труба – 10 000 грн, гофровані труби – 28 000 грн, трубні решітки – 6000 грн, а також необхідна сировина, для випробування апарату, яка коштує – 6000 грн.

Приміщення в якому розробляється і випробовується даний апарат коштує 3000 грн/місяць (на базі підприємства). Орієнтовний час виготовлення апарату 4 місяців, отже вартість приміщення – 12 000 грн.

Нематеріальні активи, до яких відноситься технічна документація випарного апарату – 15 000 грн. Для випробування апарату необхідно 40 000 грн.

За попередньою оцінкою вартість ліквідації апарату сягає 4000 грн. Отже, амортизація складає 31600 грн.

Для виготовлення апарату залучено 2 студента, які зацікавлені у розробці інновацій, та вважають дану роботу підробітком. Тому заробітня

плата кожного складає 10 000 грн/місяць. Фонд оплати праці складає 97 600 грн.

Собівартість розробки 1 апарату:

С=Обз+А=291 200 грн

Сод=С/В=291 200/1 = 291 200 грн

5.5.1 Розрахунок ціни інноваційної пропозиції

Для визначення собівартості продукції ми повинні визначити всі витрати, які використовуються в процесі виробництва. Для виготовлення випарного апарату з гофрованими трубами будуть витрачені кошти на придбання матеріалів і сировини, заробітню плату залучених працівників, оплату затраченої електроенергії, а також додаткові затрати, пов`язані з організацією виготовлення апарату. Собівартість 1 апарату складає 291 200 грн.

Необхідно визначити ціну інноваційного продукту. Здійснювати розрахунок будемо за допомогою 5-ти методів:

- Витратний;
- Параметричний;
- Конкурентний;
- Методом точки беззбитковості;
- Агрегатний.

Витратний метод

Витратний метод має в основі ідею розрахунку собівартості товару як головної складової ціни. Собівартість апарату в товарно-грошових умовах включає всі існуючі витрати, які затрачаються на виробництво і збут товару, які зроблені за рахунок підприємства. Але все ж існують такі витрати, які мають відношення до виробництва товару, але не відносяться до собівартості, тому що їх фінансування здійснюється за рахунок прибутку, спеціальних фондів та ін. [30].

Ц=С+П%=291 200 + 5% = 305 760 грн.

Параметричний метод

Параметричний метод належить до конкурентної моделі ціноутворення. Якщо виробник розробив товар із певними технічними та економічними параметрами, кращими чи гіршими за ідентичні параметри свого конкурента, то він може встановлювати ціну з урахуванням інтегрального показника конкурентно-спроможності.

$Ц_{нової\ моделі}=Ц_{базової\ моделі}$*(балова оцінка нової моделі/балова оцінка базової моделі) = 500 000*(10/8,2) = 609 756 грн.

Даний метод враховує вагомість якісних показників нової моделі і оцінку зазначених параметрів споживачами як базової так і нової моделі.

Метод точки беззбитковості

Метод точки беззбитковості базується на розрахунках сукупних витрат підприємства і його сукупного доходу, який одержаний в результаті реалізації різних обсягів виготовленої продукції. Даний метод потребує розгляду різних варіантів цін, і визначення їх впливу на обсяги збуту, необхідного для подолання рівня беззбитковості [31].

Ц=(А+Обз*В)/В = (31 600+259 600*1) /1=291 200 грн.

Метод конкурентних цін

Метод конкурентних цін використовують підприємства, які виходять виключно з умов конкуренції і встановлюють ціну вищу чи нищу ніж конкуренти. Даний метод зазвичай використовують на ринку, де продаються однорідні товари в умовах чистої конкуренції. Ціни формуються в результаті спільних дій інформованих продавців і покупців, у таких умовах продати товар за вищою ціною неможливо, в той же час не раціонально встановлювати і нищу ціну, оскільки товар можна продати і по прийнятій ринком ціні [31]. Оцінивши ринкові ціни на обладнання для виготовлення розчину лізину, а конкретніше на обладнання для випарювання розчину лізину, я вирішила встановити ціну в розмірі 550 000 грн за один апарат.

Агрегатний метод

Агрегатний метод прийнято застосувати до товарів, які складаються з окремих виробів або для товарів, які складаються з окремих вузлів, деталей [31].

$$Ц = Ц_1 + Ц_2 + Ц_3 + Ц_4 + Ц_5 + Ц_б + Ц_с + Ц_н = 30\,000 + 15\,000 + 10\,000 + 28\,000 + 6000 + 15\,000 + 25\,000 + 200\,000 = 329\,000 \text{ грн}$$

$Ц_1$= 30 000 грн – корпус з кришкою, опорними лапами та штуцерами;

$Ц_2$= 15 000 грн – сепаратор з кришкою;

$Ц_3$= 10 000 грн – циркуляційна труба;

$Ц_4$= 28 000 грн – гофровані труби;

$Ц_5$= 6000 грн – трубна решітка;

$Ц_б$= 15 000 грн – технічна документація;

$Ц_с$= 25 000 грн – ціна складання;

$Ц_н$= 200 000 грн – нормативний прибуток

Найоптимальніший метод для стартап-проєкту

Отже, після визначення цін вище зазначеними методами можна зробити висновки:

- Витратний метод є зручним, але використавши його можна помітити що ціна значно відрізняється від ринкової.
- Параметричний метод характеризується значною долею суб`єктивізму. Даний метод не враховує попит на ринку і інші споживчі властивості.
- Метод точки беззбитковості дуже точно визначає ціну на продукцію, але говорячи про прибуток цей метод не вигідний.
- Конкурентний метод дає змогу визначити оптимальну ціну для ринку, але виробник більше орієнтується на поточні ціни, а не на витрати й попит. Виробник встановлює власні ціни, трохи більші або нижчі за ціни конкурентів.
- Агрегатний метод можливо застосувати лише для виробів, які складаються з вузлів або елементів [31].

Визнавши ціну на випарний апарат з гофрованими трубами, я керувалась методом конкурентних цін. При даному методі ціна є трохи вищою за середню

(порівняно з іншими методами ціноутворення), але забезпечує для нас гарні показники, а саме прибуток 258 800 грн.

У таблиці 5.9 представлені результати формування рівноваги цін.

Таблиця 5.9 Результати формування рівноваги цін

Метод ціноутворення	**Прогнозована ціна**	**Плановий прибуток**	**Максимально допустима собівартість**
Витратний	305 760 грн	14 560	291 200 грн
Параметричний	609 756 грн	318 556 грн	291 200 грн
Конкурентний	550 000 грн	258 800 грн	291 200 грн
Агрегатний	329 000 грн	37 800 грн	291 200 грн
На підставі точки безбитковості	291 200 грн	0 грн	291 200 грн
Оптимальні величини	550 000 грн	258 800 грн	291 200 грн

5.6 Конкурентне середовище стартап-проєкту

Було здійснено маркетингові дослідження по продукції (випарні апарати для випарювання розчину лізину). Дослідження свідчать про існування значного попиту на використання лізину для харчових добавок, відповідно апарати для їх випарювання також користуються попитом. Хімічні, харчові, біотехнологічні – всі ці підприємства потребують інноваційного обладнання, отже, і є потенційними споживачами випарних апаратів.

Попит на дану продукцію є стабільним, так як і в промисловості і в побутових сферах життя людини потребують як харчову добавку. Підприємства готові працювати з інноваційним обладнанням з відмінними показниками якості. Основними конкурентами звісно є вітчизняні виробники, вони мають чималий досвід, зважаючи на те, що продукція має відмінні показники і якість, а ціна в неї іноді менша за ринкову. Для аналізу

конкурентного середовища методом квадрату Бове було обрано наступні підприємства (табл. 5.10)

Таблиця 5.10 Квадрат Бове

Vestel	ПрАТ “Калинівський машинобудівний завод”; UNIPEKTIN
Випарапарат; Theseus Lab; DeWALT	Кьютек Інжиніринг; Тепломаш; ТЕХНОЛОГ

За методом квадрату Бове наш стартап-проєкт (інженерна розробка випарного апарату з гофрованими трубами) можна віднести до зони “Готові до атаки”, тому що завдяки модернізації обладнання, покращення його певних показників, дана розробка може конкурувати з лідерами ринку.

У таблиці 5.11 наведені найбільш небезпечні конкуренти стартап-проєкту.

Таблиця 5.11 Основні конкуренти стартап-проєкту

Напрям конкуренції	**Назва конкурента**	**Контакти конкурента**
За географічним розташуванням	Випарапарат	м. Київ, Україна, 21900, вул. Борщагівська
	ТЕХНОЛОГ	м. Київ, Україна, 25670, вул. Володимирська
	Theseus Lab	м. Одеса, Україна, 28970, вул. Петропавлівська
За географією ринку збуту	Тепломаш	м. Одеса, Україна, 28798, вул. Шевченка
За категоріями споживачів	Vestel	м. Харків, Україна, 23456, вул. Монастирська

Продовження таблиці 5.11

За продуктом	UNIPEKTIN	м. Дніпро, Україна, 23890, вул. Новишка
За властивостями продукту	Theseus Lab	м. Київ, Україна, 23222, вул. Перемоги
За ціною продукту	Кьютек Інжиніринг	м. Вінниця, Україна, 25690, вул. Слобідська
За технологією виробництва	ПрАТ “Калинівський машинобудівний завод”	вул. Незалежності, 67, м. Калинівка, Вінницька обл., Україна, 22400
	DeWALT	м. Чергнігів, Україна, 25690, вул. Шакальна

За *географія ринку збу*ту підприємство “Тепломаш” може скласти конкуренцію. Так як наш стартап орієнтований не лише на вітчизняних споживачів, а й на іноземних, ми повинні враховувати способи транспортування обладнання. Вище зазначене підприємство виграє в цьому плані тим, що в Одесі розташовані морські порти, що значно збільшує можливість відносно дешево транспортувати обладнання. Відповідно чим менша ціна транспортування, тим менша собівартість продукції.

За *технологією виробництва* основним нашим конкурентом може стати ПрАТ “Калинівський машинобудівний завод”. Це інженерно-виробничий завод, який спеціалізується на комплексних рішеннях по мультикультурним заводах а також обладнання і запчастини саме в випарній галузі. Завод представляє комплекс послуг – від проектування до здачі об`єкта в експлуатацію. Вони мають власну технологію виробництва обладнання і цілих ліній, їхні інженери і технологи також активно працюють над удосконаленням і модернізацією обладнання. Тому технологія їхнього виробництва може скласти конкуренцію нашому стартапу.

За *категорією споживача* основним конкурентом вважається “Vestel”. Компанія заснована в 2003 році. Вона займається виробництвом, монтажем, ремонтом і модернізацією випарного обладнання для випарювання рідких розчинів. Оскільки компанія досить давно на вітчизняному ринку, її продукції довіряють майже всі вітчизняні виробники виробництва амінокислот. Її послуги мають величезний попит в Україні, та за її межами [31].

За *продуктом* компанія UNIPEKTIN може скласти нам основну конкуренцію, тому що дане підприємство з 1998 р. спеціалізується на механізації процесів і удосконалення лінії виробництва. За роки роботи підприємства було виготовлено і введено в експлуатацію ряди обладнання, які дійсно мали гарні відгуки від споживачів [31].

За *ціною продукту* основним конкурентом нашого стартапу являється підприємство Кьютек Інжиніринг. Так як це широко спеціалізоване виробництво (механічна обробка металевих виробів, виробництво обладнання загального призначення, виробництво обладнання спеціального призначення), воно має широкий спектр споживачів. Підприємство досить давно пропонує свої послуги, має налагоджені зв`язки з постачальниками сировини чи вузлів обладнання. Ціни на апарати менші за ринкові [31].

За *властивостями продукту* приватне підприємство Theseus Lab, яке знаходиться в м. Київ може стати гідним конкурентом саме за зазначеним критерієм. Якісна продукція, найновітніші технології, які постійно розвиваються – все це говорить, що властивості продукту будуть конкурувати з властивостями нашого випарного апарату з гофрованими трубами [31].

5.7 Ключові фактори успіху стартап-проєкту. Метод Шонфільда

Ключові фактори успіху – характерний перелік чинників для певної галузі, що надає їй переваги над іншими галузями, а також одним підприємством певної галузі над іншим.

Дані фактори не можна вважати постійними, тому що вони змінюються в залежності від особливостей тієї чи іншої галузі, сегментів ринку. Які обслуговуються, а також залежать від часу та етапу життєвого циклу на якому знаходиться підприємство.

Щоб більш наочно оцінити технічний рівень випарного апарату з гофрованими трубами і його аналогів, а також для більшої об`єктивності порівняємо апарати за допомогою методу Шонфільда [32].

Для порівняння оберемо наступних виробників-конкурентів:

A – наш стартап-проєкт (випарний апарат з гофрованими трубами);

B – Vestel;

C – ПрАТ "Калинівський машинобудівний завод";

D – Тепломаш;

E – UNIPEKTIN.

Таблиця 5.12 Метод Шонфільда

Характеристика	**Коефіцієнт вагомості**	**Оцінка характеристики товару для компаній конкурентів**				
		A	B	C	D	E
Продуктивність, т/м^2	0,147	5	5	4	4	3
Ціна, грн/од.	0,165	5	4	3	4	5
Обсяг збуту, од.	0,105	4	5	4	5	4
Габаритні розміри, мм	0,125	5	3	4	4	4
Поверхня випарювання, м^2	0,126	5	4	2	3	4
Діапазон температур, $^{\circ}$C	0,110	4	3	3	3	4
Робочий тиск, МПа	0,123	3	4	4	4	2
Споживання електроенергії, кВт*год	0,099	4	3	2	2	1
Σ		35	31	26	29	27

	Коеф. Вагом.	A	B	C	D	E
Продуктивність	0,147	0,735	0,735	0,588	0,588	0,441
Ціна	0,165	0,825	0,66	0,495	0,66	0,825
Обсяг збуту	0,105	0,42	0,525	0,42	0,525	0,42
Габаритні розміри	0,125	0,625	0,375	0,5	0,5	0,5
Поверхня випарювання	0,126	0,63	0,504	0,252	0,378	0,504
Діапазон температур	0,11	0,44	0,33	0,33	0,33	0,44
Робочий тиск	0,123	0,369	0,492	0,492	0,492	0,246
Споживання нлектроенергі	0,099	0,396	0,297	0,198	0,198	0,099

Рис. 5.1 Оцінка з урахуванням коефіцієнта вагомості

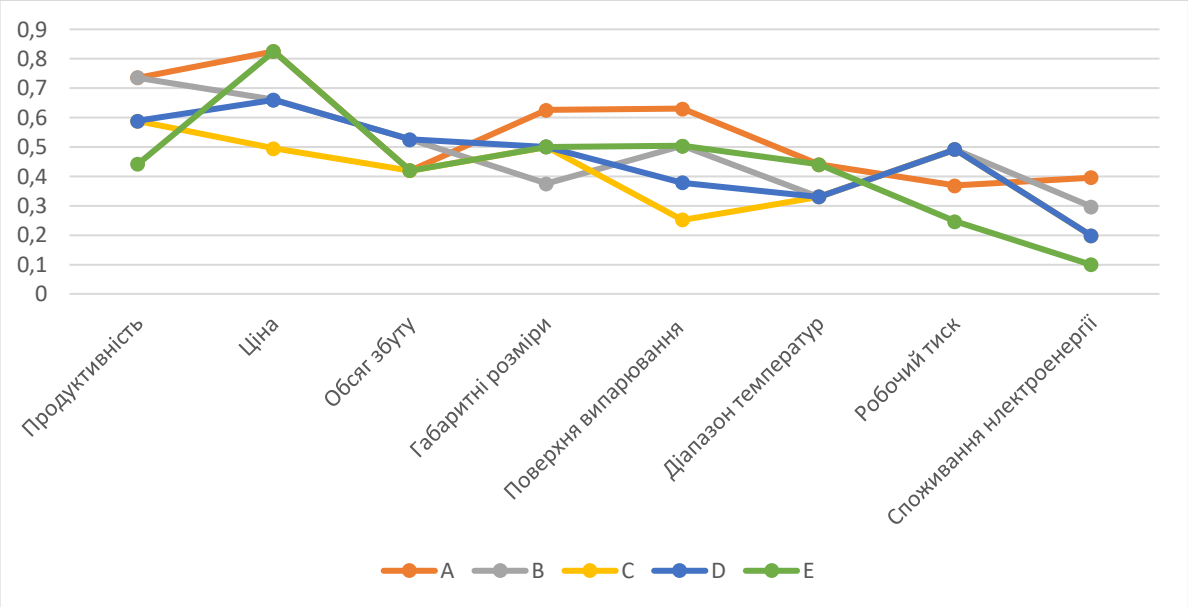


Рис. 5.2 Метод Шонфільда (візуалізація) **A** – наш стартап-проєкт (випарний апарат з гофрованими трубами); **B** – Vestel; **C** – ПрАТ "Калинівський машинобудівний завод"; **D** – Тепломаш; **E** – UNIPEKTIN.

Отже, ключовим фактором успіху для нашого стартапу є габаритні розміри, поверхня випарювання та економність споживання електроенергії. З діаграми Шонфільда можна зробити висновок, що стартап має гідну конкурентну позицію. Він лідирує по трьох факторах, по інших же стартап знаходиться на такому ж рівні як і той чи інший конкурент (продуктивність – Vestel; ціна, обсяг збуту та діапазон температур – UNIPEKTIN). Проаналізувавши діаграму Шонфільда, можна зробити висновок, що модернізований апарат, який представлений у стартап-проєкті, складе значну конкуренцію лідерам ринку.

5.8 Просування цінності стартап-проєкту на ринку

У сучасному світі маркетинг потребує дещо більшого, ніж просто виробити гарний товар, з відмінними показниками якості, визначити для продукту привабливу ціну і забезпечити його доступність до потенційних споживачів. Виробники ще мусять комунікувати зі своїми споживачами. Системою маркетингових комунікацій називають різноманітні заходи та прийоми, які мають певні завдання і цілі. В таблиці 5.13 наведені методи просування стартап-проєкту на ринок, їх основні недоліки та переваги.

Таблиця 5.13 Методи просування стартап-проєкту на ринок

Метод	Об`єкт просування	Мета просування	Засіб просування	Переваги	Недоліки
Пропаганда	Ідея інноваційного обладнання. (Ідея модернізації випарного апарату з гофрованими трубами для випарювання розчину лізину).	Організувати громадську думку, яка сприяє успішному переконанню споживачів у тому, що даний продукт націлений на вирішення їх проблем, підвищення ефективності їх виробництва.	1.Проведення презентацій. 2.Консультування споживачів. 3.Електронні засоби (статті на сайтах, блоги, розсилка на пошту). 4. Повідомлення виробника в газетах, журналах, випусках телепередач.	1. Зміцнення партнерських стосунків зі споживачем. 2. Дозволяє ознайомити споживача з продуктом. 3. Дає можливість висвітлювати всі події, які відбулися на виробництві, направлена на потрібну аудиторію. 4. Розширення аудиторії.	1. Не гарантує створення позитивної думки про апарат. 2. Нерегулярність, разовість інформації. 3. Не гарантує, що продукт сподобається всім. Кожен споживач має власну думку і смак. 3. Не всі споживачі позитивно відносяться до пропаганди, не гарантується на 100 % що споживач сприйме дану інформацію за щось дійно цікаве чи важливе.

Продовження таблиці 5.13

	Цінність апарату (випарний апарат з гофрованими трубами)	Пробудження інтересу до цінності випарного апарату з гофрованими трубами, повідомлення про його особливості і переваги. Створити і підтримувати високу популярність модернізованого апарату.	1.Плакати. Вивіски. Рекламні борди. Відеоекрани. 2. Каталоги. Брошури. 3. Production (власне фото та відео виробництва) 4. Рекламний ролик (поширений на телебачення та радіо)	1. Інформує споживача про новий продукт. 2. Ясно показує переваги, що відрізняють даний товар від аналогів, пропонованих на ринку. 3. Стимулює цікавість, мотивує споживача дізнатися про цей продукт ще більше.	1. Необхідний достатній бюджет. 2. Додаткові затрати на створення та розповсюдження каталогів і брошур. 3. Необхідний дозвіл на зйомку процесу виробництва. 4. Необхідний розумно складений медіа план.
Стимулювання збуту	Продаж модернізованого випарного апарату з гофрованими трубами	Долучити споживача до участі у створенні стартап-проєкту. Отримати інформацію про конкретні потреби споживача, за рахунок цього забезпечити себе потенційним споживачем.	1.Продаж товарів в кредит. 2. Вручення подарунків споживачу (безкоштовна установка апарату, безкоштовна консультація по технічних питаннях, безкоштовне усунення неполадок протягом року). 3. Вручення покупцям купонів.	1. Можливість надати кредит на власних умовах. 2. Можливість стимулювати споживача до покупки апарату, створити дружні стосунки зі споживачем. 3. Споживач отримавши купон на знижку на наступний продукт.	1. Довгий період отримання коштів. 2. Додаткові витрати і як наслідок збільшення собівартості інноваційного обладнання. 3. Купони на знижку на наступну одиницю товару, також призводить до збільшення собівартості товару.

Продовження таблиці 5.13

Інтернет-маркетинг	Модернізований випарний апарат з гофрованими трубами для випарювання розчинів	Пробудження інтересу до новизни випарного апарату з гофрованими трубами, повідомлення про його особливості і переваги. Донести до споживача переваги апарату, проінформувати про його відмінні показники якості.	1.Сторінка стартап-проєкту в Інтернеті. 2. Просування сторінки в соціальних мережах. 3.База даних контактів потенційних споживачів. 4. Пошукові системи.	1. Статистика щодо просування товару, можливість коригувати рекламу. 2. Можливість швидше реагувати на мінливість умов ринку. 3. Можливість швидко змінювати асортимент, ціни та опис товару. 4. Заощаджувати кошти на поширенні інформації.	1. Через невелику кількість відгуків, виникає складність залучення і утримання клієнтів. 2. Досить мало платіжних систем, яким би довіряли споживачі. 3. Відсутність можливості побачити товар на власні очі.

Найбільш ефективним методом просування мого стартап-проєкту на ринок можна визнати особистий продаж. Так як продукція в деякій мірі є специфічною, перший час необхідно самостійно шукати клієнтів, які точно придбають продукт. Найкраще це робити самостійно, безпосередньою перевагою даного методу є індивідуальний підхід до кожного клієнта і можливість враховувати всі потреби споживача.

Стимулювання збуту також можна визнати ефективним методом. Так як за рахунок долучення споживача до виробництва продукту, допоможе нам виявити всі потреби останнього. Окрім того, потенційний клієнт може видати певні кошти для реалізації стартапу (за умови врахування всіх потреб цього споживача).

Звісно обмежуватися декількома методами не є досить ефективно, тому такі методи як реклама і інтернет-маркетинг матимуть місце для мого стартапу. Реклама допоможе повідомити як і цільовій так і розширеній аудиторії про цінність саме представленого інноваційного обладнання. Щодо інтернет-маркетингу, все ж ми живемо в еру Інтернету і це дуже ефективний спосіб знайти споживачів, але ми не можемо застосовувати цей метод як основний, через перевантаженість сайтів. Як відомо споживач зацікавлюється товаром за перші 8 секунд. якщо потенційний клієнт має погане з`єднання з Інтернетом, ми ризикуємо що він навіть не побачить наш апарат.

5.9 Висновки

Представлений стартап-проєкт виробництва обладнання для випарювання розчину лізину, а саме виготовлення інноваційного обладнання у вигляді випарного апарату з гофрованими трубами. Уданій роботі здійснено аналіз внутрішнього та зовнішнього середовища підприємств. Даний аналіз показав, в якому напрямку варто рухатись щоб досягти успіху.

Дослідження за використанням метода Бове показало, що інноваційна розробка відноситься до зони “готові до атаки”, тому що завдяки новизні і відмінним показникам якості апарат може конкурувати з лідерами ринку.

Ринок збуту поширюється на 2 великі промисловості, а саме – хімічна, та харчова. Ціну модернізованого апарату обрано 550 000 грн/од (конкурентних цін). Для виходу на ринок обрано метод особистого продажу, щоб якомога швидше знайти надійних споживачів. Але не варто обмежуватися одним методом. Стимулювання споживача, реклама, інтернет-маркетинг також матимуть місце у даному проєкті.

Проаналізувавши всі фактори, визначивши слабкі і сильні сторони даного проєкту, можна дійти висновку що дана ідея має всі шанси створити випарний апарат з гофрованими трубами для випарювання розчину лізину, який зможе конкурувати з іншими апаратами. Основна мета нашого стартапу – створити інновацію, яка стане лідером на ринку!

ВИСНОВКИ

Літературний огляд, який був проведений у десертаційній роботі, підтвердив актуальність застосування випарних апаратів. За результатами патентного дослідження можна сказати що протягом останніх років розроблено та модернізовано велику кількість різноманітних типів випарних установок для промислового виробництва.

Вибір конструкції гріючих труб при процесі випарювання відіграє важливу роль. Провівши комп'ютерне моделювання конструкція гофрованої труби показала кращий результат ніж гладка труба. Тепловий потік від стінок гофрованої труби становить 90645 $Вт \cdot м^{-2}$, а гладкої 86504 $Вт \cdot м^{-2}$. Оскільки гофрована труба має більш високу швидкість теплопередачі порівняно з гладкою трубкою такої ж самої довжини, то кількість труб можна зменшити. Наприклад, якщо гофри збільшують теплопередачу на 6 % порівняно з гладкою трубою, то можна встановити на 6 % меншу кількість труб, при збереженні тієї ж продуктивності.

Також були проведені розрахунки, що підтвердили надійність в експлуатації та працездатність установки. Підібраний матеріал апарату повністю задовольняє умови середовища. Надані рекомендації щодо експлуатації та проведення монтажу, які забезпечать довгострокову та коректну роботу випарного апарату.

Дану конструкцію випарного апарату рекомендовано використовувати у виробництві лізину тому що: випарник має мінімальний гідравлічний опір при проході парів через нього; час перебування продукту в зоні нагріву є мінімальним; забезпечується висока швидкість процесу випарювання.

Запропонований стартап-проєкт спрямований на модифікацію та продаж вже існуючого обладнання. За рахунок зміни конфігурації гріючих труб апарату, розрахунками підтверджено зменшення собівартості. Основна мета щодо створення інновації, яка буде конкурентноспроможною на ринку виконана!

CONCLUSION

The literature review, which was carried out in this thesis, confirmed the relevance of the use of vaporizers. According to the results of the patent research, it can be said that a large number of various types of evaporation plants for industrial production have been developed and modernized in recent years.

The choice of the design of the heating pipes during the evaporation process plays an important role. After conducting computer simulation, the design of the corrugated pipe showed a better result than the smooth pipe. The heat flow from the walls of a corrugated pipe is $90645\ Вт \cdot м^{-2}$, and a smooth one is $86504\ Вт \cdot м^{-2}$. Since a corrugated pipe has a higher heat transfer rate compared to a smooth pipe of the same length, the number of pipes can be reduced. For example, if corrugations increase heat transfer by 6% compared to a smooth pipe, then you can install 6% fewer pipes, while maintaining the same performance.

Calculations were also carried out, which confirmed the operational reliability and efficiency of the installation. The selected material of the device fully meets the environmental conditions. Recommendations for operation and installation are provided, which will ensure long-term and correct operation of the vaporizer.

This design of the evaporator is recommended for use in the production of lysine because: the evaporator has minimal hydraulic resistance when steam passes through it; the time the product stays in the heating zone is minimal; a high speed of the evaporation process is ensured.

The proposed startup project is aimed at the modification and sale of already existing equipment. Due to the change in the configuration of the device's heating pipes, the cost reduction was confirmed by calculations. The main goal of creating an innovation that will be competitive in the market has been achieved!

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю. Ю. Глеба. Біотехнологія // Енциклопедія Сучасної України : енциклопедія [електронна версія] / ред.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2004.
2. Rainieri S., Bozzoli F., Cattani L. Passive techniques for the enhancement of convective heat transfer in single phase duct flow. Journal of Physics: Conference Series Italia, 2014. 1–10 p.
3. Andreozzi, A.; Manca, O.; Nardini, S.; Ricci, D. Forced convection enhancement in channels with transversal ribs and nanofluids. Appl. Therm. Eng. 2016, 98, 1044–1053.
4. Ajeel, R.K.; Salim, W.S.I.W.; Hasnan, K. Design characteristics of symmetrical semicircle-corrugated channel on heat transfer enhancement with nanofluid. *Int. J. Mech. Sci.* 2019, *151*, 236–250.
5. Лізин – незамінна амінокислота [Ел. ресурс] // GymBeam – Режим доступу Лізин.
6. R. S. Griffith, D. E. Walsh, K. H. Myrmel, R. W. Thompson, A Behforooz – Success of L-lysine therapy in frequently recurrent herpes simplex infection. Treatment and prophylaxis [Ел. ресурс] // BCAA – Режим доступу lizin.
7. Мосічєв М.С., Загальна технологія мікробіологічних виробництв / А.А. Складнєв, В.Б. Котов. – М: Легка промисловість, 1982. – 264 с.
8. Класифікація випарних апаратів [Ел. ресурс] // U Distance Learning – Режим доступу Конструкції ВА.
9. Процеси, апарати та устаткування виробництв галузі : конспект лекцій / укл. Ю. М. Давидюк. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2013. – Ч. ІІ. Теплові процеси. – 128 с.
10. Обладнання технологічних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв : навч. посібн. / М.В. Стасевич, А. О.

Миланич, І. О. Гузьова [та ін.] ; за ред. В. П. Новікова. – Вінниця : Нова Книга, 2012. – 408 с.

11. Патентні дослідження [Ел. ресурс] // Методичні рекомендації – Режим доступу Патенти.
12. Грачов Ю. П., Тубольцев А. К., Тубольцев В.К. Моделювання та оптимізація тепло та масообмінних процесів харчових виробництв. - 1984.
13. Остапчук Н. В. Основи математичного моделювання процесів харчових виробництв/К.: «ВИЩА ШКОЛА», 1991 - 367с.
14. Чепурний М. М. Розрахунки тепломасообмінних апаратів : навчальний посібник / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 129 с.
15. Константинов С. М. Теплообмін [Текст] : підруч. для студентів вищ. техн. навч. закл. / Під ред. С. М. Константинов. – Політехніка : Інрес, 2005. 303 с.
16. Федоткін І. М. Інтенсифікація технологічних процесів. - К., 1999.
17. Павлов К. Ф., Романков П. Г. Носков А. А. «Приклади та завдання з курсу процесів та апаратів хімічної технології. Навчальний посібник для ВНЗ. Під ред. Романова: Хімія, 1987. 576с.
18. Дитнерський Ю. І. «Основні процеси та апарати хімічної технології: Посібник із проектування. Хімія, 1983 - 272 с.
19. Лащинський А. А. "Конструювання зварних хімічних апаратів": Довідник. - Л.: Машинобудування. 1981. - 382 с.
20. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. "Процеси і апарати мікробіологічної промисловості" Львів, 564 с.
21. Jawale, V.S.; Keche, A.J. Experimental performance study of R290 as an alternative to R22 refrigerant in a window air conditioner. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; IOP Publishing: Bristol, UK, 2018; Volume 377.

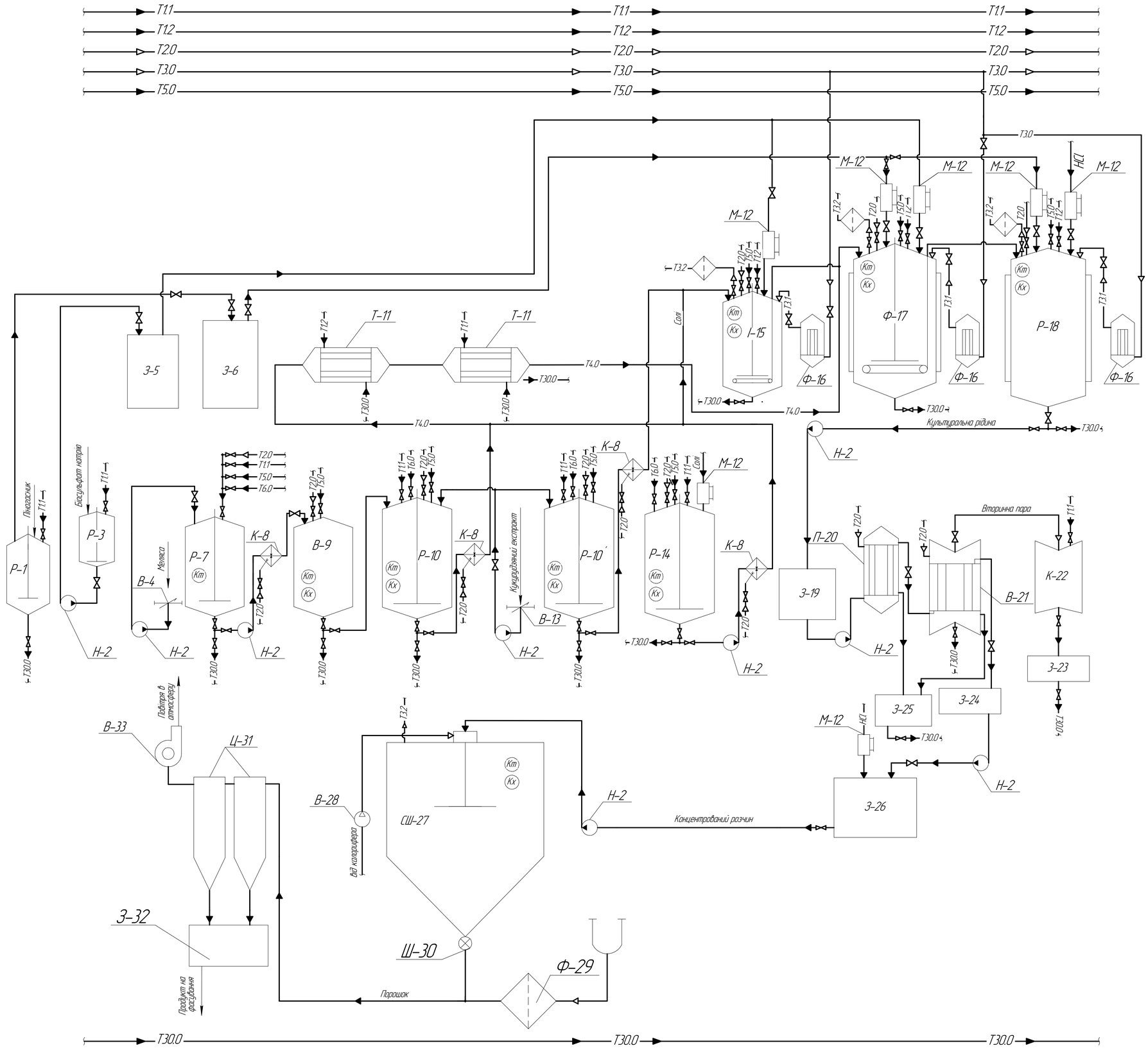
22. Nawaz, K.; Shen, B.; Elatar, A.; Baxter, V.; Abdelaziz, O. R290 (propane) and R600a (isobutane) as natural refrigerants for residential heat pump water heaters. Appl. Therm. Eng. 2017, 127, 870–883.
23. Bolaji, B.O.; Huan, Z. Ozone depletion and global warming: Case for the use of natural refrigerant—A review. Renew. Sustain. Energy Rev. 2013, 18.
24. Михальова М. Ф. Розрахунок та конструювання машин та апаратів хімічних виробництв // Приклади та завдання /: «Машинобудування», 1984 – 301с.
25. Кічігін М.А., Костенко Г.М. Теплообмінні апарати та випарні установки. - Енергія, 1955. - 392 с.
26. Zhou, S.; Zhao, X.; Cai, D.; Deng, J.; Gao, Y.; He, G. Experimental evaluation on flow boiling heat transfer of R290/POE-oil working fluid for absorption refrigeration in smooth horizontal tubes. Int. J. Therm. Sci. 2021, 159, 106641.
27. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005). – [Чинний від 2005-01-01]. – К. : Державні стандарти України 2012. – 28 с. (Національний стандарт України).
28. Фарамазов С. А. Ремонт та монтаж хімічних та нафтопереробних заводів // Підручник для технікумів. Вид. 3-тє / «Хімія», 1988 - 304с.
29. Manjunath, M.S.; Karanth, K.V.; Sharma, N.Y. Numerical investigation on heat transfer enhancement of solar air heater using sinusoidal corrugations on absorber plate. Int. J. Mech. Sci. 2018, 138–139, 219–228.
30. Підлісна, О. А. Розроблення стартап-проекту. Практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та спеціальності 161 «Хімічні, технології та інженерія» / О. А. Підлісна, Ю. В. Тюленєва ; КПІ ім. Ігоря, Сікорського. - Електронні текстові дані. - Київ. 2019. - 46 с.
31. Розроблення стартап-проекту [Едектронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для

студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. - Київ : НТУУ «КПІ», 2016.-28с.

32. Поліщук В.В. Стартап проекти та їх оцінювання: конспект лекційдля студентів за спеціальністю 7.121 «Інженерія програмного забезпечення» факультету інформаційних технологій УжНУ. – Ужгород: 2018. – 74 с.

ДОДАТОК А

БІ-110561016.00.000-60 АС



Умовне позначення		Найменування середовища в трубопроводі
Літ.	Графічне	
Т1.1	Т1.1	Вода технічна холодна
Т1.2	Т1.2	Вода технічна гаряча
Т2.0	Т2.0	Пара
Т3.0	Т3.0	Повітря
Т3.1	Т3.1	Повітря очищене
Т3.2	Т3.2	Повітря відпрвцьоване
Т4.0	Т4.0	Поживне середрвище
Т5.0	Т5.0	Миючий засіб
Т6.0	Т6.0	Піногасник
Т30.0	Т30.0	Відходи рідкі (води стічні)

Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
Р-1	Реактор	1	
Н-2	Насос	9	
Р-3	Реактор	1	
В-4	Ваги	1	
З-5	Збірник	1	
З-6	Збірник	1	
Р-7	Реактор	1	
К-8	Стерилізаційна колонка	3	
В-9	Витримувач	1	
Р-10	Реактор	2	
Т-11	Теплообмінник	2	
М-12	Мірник	7	
В-13	Ваги	1	
Р-14	Розчиник	1	
І-15	Інокулятор	1	
Ф-16	Фільтр	3	
Ф-17	Ферментер	1	
Р-18	Реактор	1	
З-19	Збірник	1	
П-20	Підігрівач	1	
В-21	Випарний апарат	1	
К-22	Барометричний конденсатор	1	
З-23	Барометричний збірник	1	
З-24	Збірник	1	
З-25	Збірник	1	
З-26	Збірник	1	
СШ-27	Сушильна камера	1	
В-28	Вентилятор	1	
Ф-29	Фільтр повітряний	1	
Ш-30	Шлюзові затвори	1	
Ц-31	Циклонна батарея	4	
З-32	Збірник-бункер	1	
В-33	Вентилятор	1	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кручок Ірина		
Пров.		Шибецький В.Ю.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Мельник В.М.		

БІ-110561016.00.000-60 АС

Апаратурна схема лінії виробництва лізину

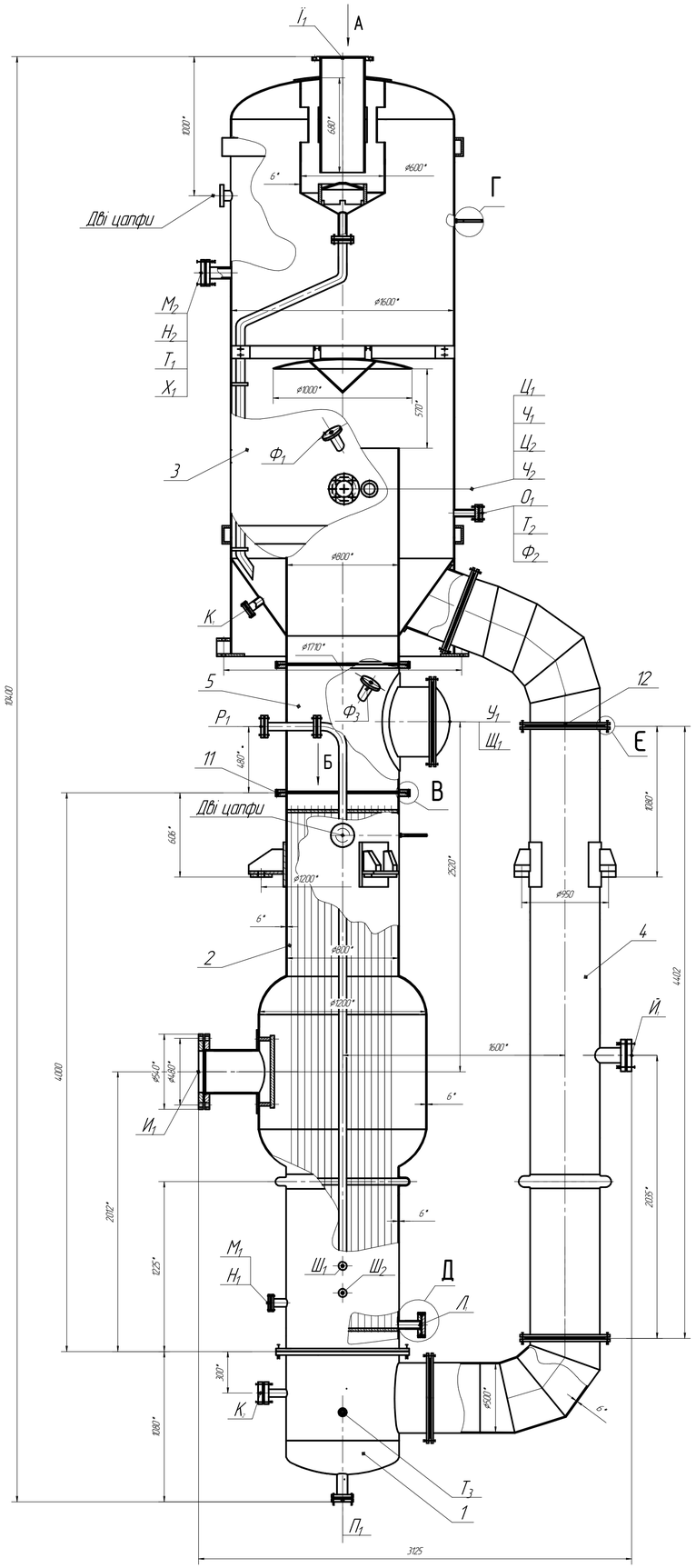
Лит.	Масса	Масштаб
		1:1

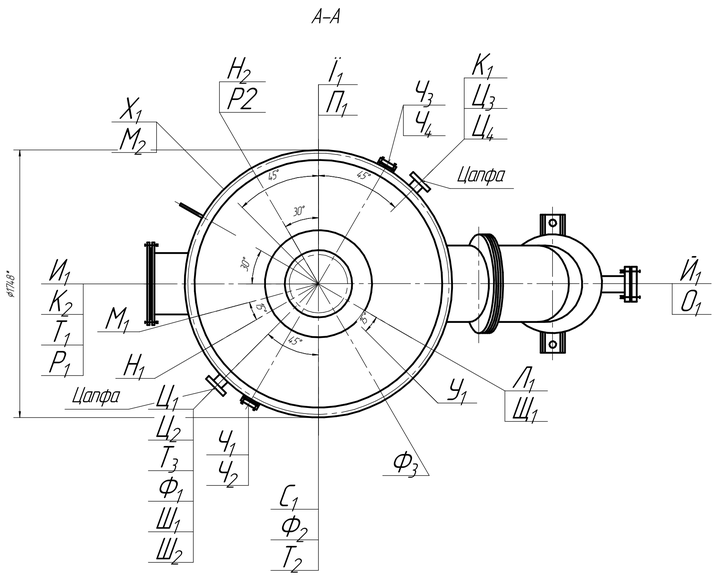
Лист | Листов 1

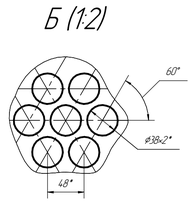
"КПІ ім. І. Сікорського" ФБТ

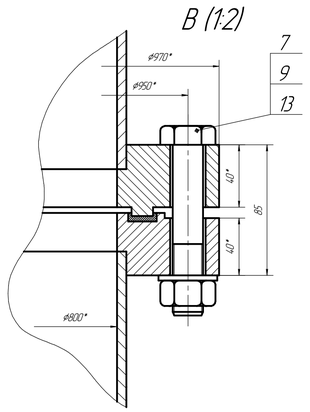
Копировал | Формат А1

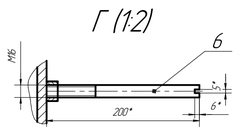
Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

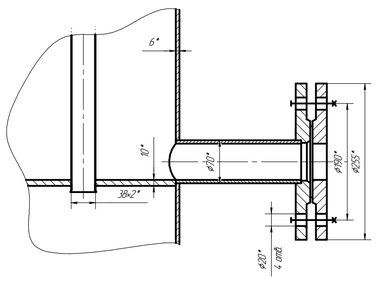


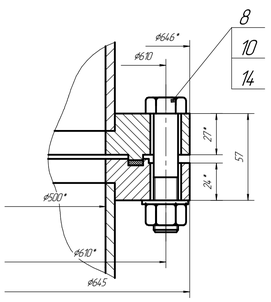












Таблиця штуцерів

Позначення	Найменування	Кіль.	Прохід умовн. Dy мм	Тиск умовн. Ру, МПа
$И_1$	Вхід гріючої пари	1	400	1,0
$Ї_1$	Вихід вторинної пари	1	300	1,0
$Й_1$	Вхід розчину	1	65	1,0
$К_{1-2}$	Вихід розчину	1	80	1,0
$Л_1$	Вихід конденсату	1	50	1,0
$М_{1-2}$	Технологічний	2	50	1,0
$Н_{1-2}$	Для промивання	2	50	1,0
$О_1$	Відбір проб	1	40	1,0
$П_1$	Злив	1	50	1,0
$Р_1$	З'єднання з атмосферою	1	50	1,0
$С_1$	З'єднання з атмосферою	1	32	1,0
$Т_{1-3}$	Для термометра опору	3	25	2,5
$У_1$	Люк	1	500	1,0
$Ф_{1-3}$	Для термометра температури	3	25	2,5
$Х_1$	Для манометра або мановакуумметра	1	25	1,6
$Ц_{1-4}$	Вікно оглядове	4	150	1,0
$Ч_{1-4}$	Промивання оглядового вікна	4	20	1,0
$Ш_{1-2}$	Для покажчика рівня	2	20	1,0
$Щ_1$	Для вирівнювання тиску	1	40	1,0

Технічна характеристика

Апарат призначений для упарювання розчину лізину від початкової концентрації 15%.

1. Продуктивність по вихідному розчину (кг/с)	2
2. Об'єм (номінальний) апарату ($м^3$)	11,5
3. Концентрація розчину лізину % (мас.):	
початкова	15
кінцева	4,0
4. Поверхня теплообміну ($м^2$)	63
5. Абсолютний тиск в апараті (МПа)	0,143
6. Максимальна температура в трубному просторі (С°)	56,4
в міжтрубному просторі	110
*7. Габаритні розміри (мм)	
висота	10400
довжина	3125
ширина	1748
8. Маса (кг)	5500

Технічні вимоги

1. Апарат випробувати на міцність і щільність гідравлічно в горизонтальному положенні під тиском 0,3 МПа.
2. Зварні з'єднання контролювати рентгено просвічуванням в об'ємі 100% на герметичність і щільність.
3. Апарат виготовити зі сталі марки 12Х18Н10Т ДСТУ 4738-00.
4. Прокладки виготовити з фторопласту 4 ДСТУ Б В.2.7-158.
5. Апарат теплоізолювати фольгованою скловатою, товщина теплоізоляції 20 мм.
6. Невказаний виліт штуцерів 120 мм.
7. Дійсне розташування штуцерів, лап, цапф, оглядових вікон див. на вигляді А.

*Розміри для довідок

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	БІ-110561016.00.000-60 СБ
Разраб.		Кручок Ірина			Випарний апарат з співвісною гріючою камерою та винесеною циркуляційною трубою. Складальне креслення
Пров.		Шидецький В.Ю.			
Т.контр.					
Н.контр.					
Утв.		Мельник В.М.			

Лит.	Масса	Масштаб
	5500	1:20
Лист 1	Листов 3	

"КПІ ім. І.Сікорського" ФБТ

Копировал

Формат А1

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документація		
А1			БІ-110561016.00.000-60 СБ	Складальне креслення	1	
				Складальні одиниці		
		1	БІ-110561016.01.000-60 СБ	Днище грійочої камери	1	
		2	БІ-110561016.02.000-60 СБ	Корпус грійочої камери	1	
		3	БІ-110561016.03.000-60 СБ	Сепаратор	1	
		4	БІ-110561016.04.000-60 СБ	Труба циркуляційна	1	
		5	БІ-110561016.05.000-60 СБ	Царга грійочої камери	1	
				Деталі		
		6		Штирь	2	
				Стандартні вироби		
		7		Болт М18×6дх100	144	
				ДСТУ 7798-70		
		8		Болт М18×6дх70		
				ДСТУ 7798-70	160	
		9		Гайка М20		
				ДСТУ 7798-70	144	
		10		Гайка М18		
				ДСТУ 7798-70	160	
		11		Прокладка		
				932/908×2 ДСТУ 28759.6-90	3	Пароніт
		12		Прокладка		

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кручок Ірина		
Пров.		Шибецький В.Ю.		
Н.контр.				
Утв.		Мельник В.М.		

БІ-110561016.00.000-60 СБ

Випарний апарат з співвісною грійочою камерою та винесеною циркуляційною трубою. Складальне креслення

Лит.	Лист	Листов
	2	3

"КПІ ім. І.Сікорського" ФБТ

Копировал

Формат А4

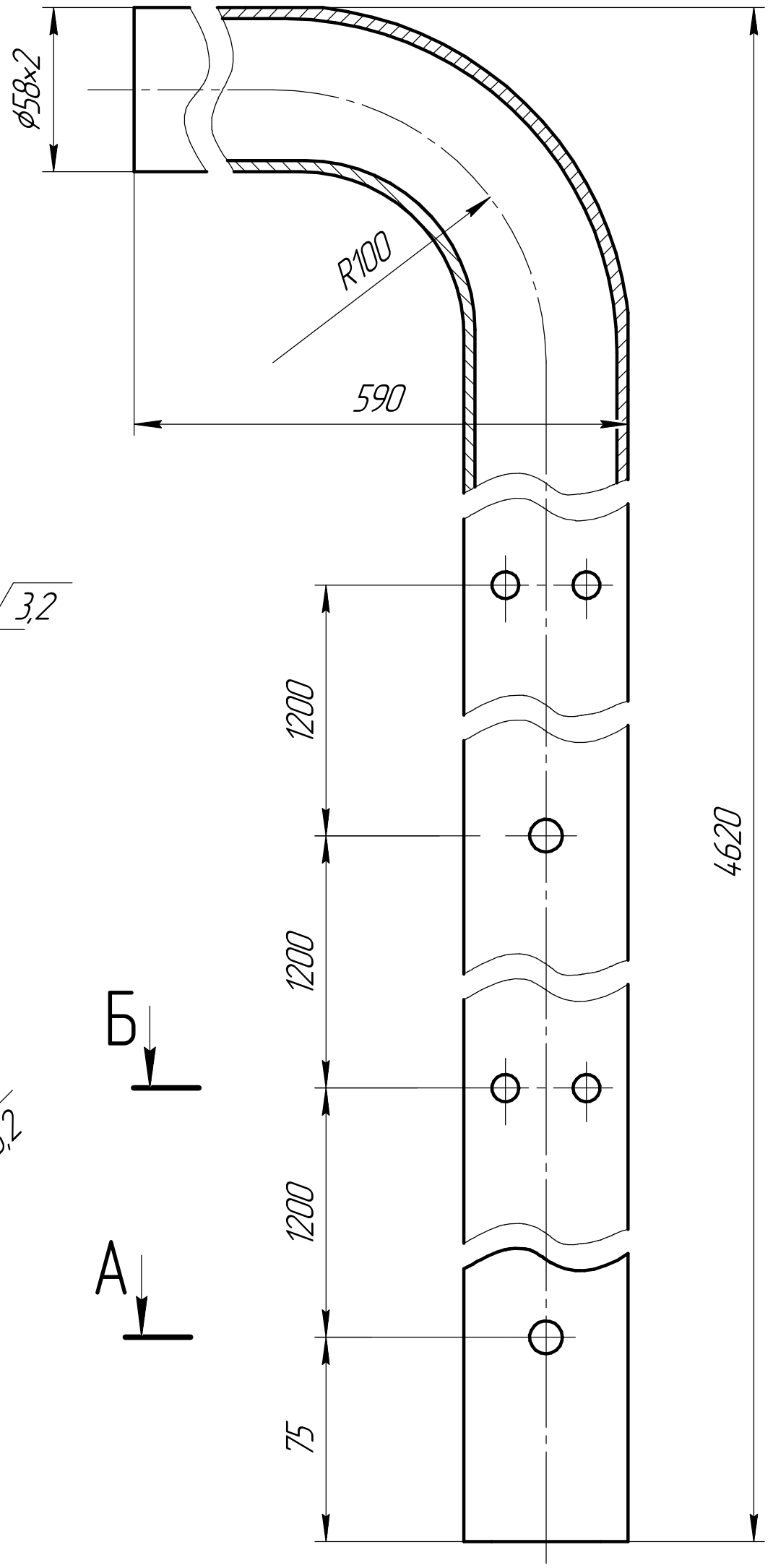
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				550/525 ДСТУ 28759.6-90	4	Паронiт
		13		Шайба М20×6дх100		
				ДСТУ 7798-70	144	
		14		Шайба М18×6дх70		
				ДСТУ 7798-70	160	

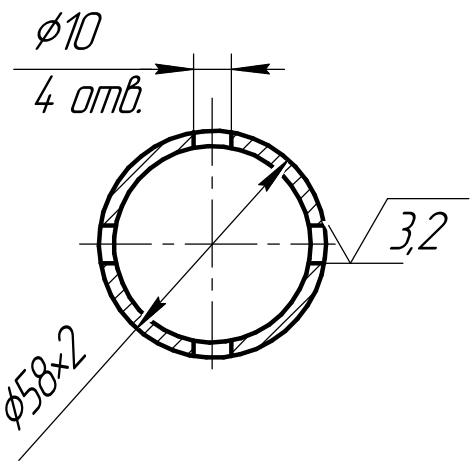
Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

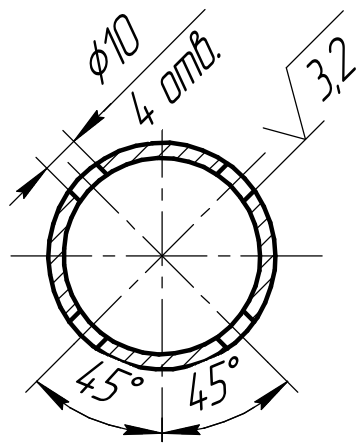
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Кручок І.І. Шибецький В.Ю.	БІ-110561016.00.000-60 СБ	Лист 3

Копировал Формат А4

6,3







Б

А

Б

А

1. При виготовленні деталі керуються ГОСТ 12.2.003–91.
2. Невказані граничні відхилення розмірів отворів Н14, і всі інші ±IT 14/2.
3. Розташування отворів зображене на розрізах А–А і Б–Б дублюються через 2400 мм.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кручок Ірина		
Пров.		Шибецький В.Ю.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Мельник В.М.		

БІ–110561016.00.001–60 СБ

Труба вентиляційна

Лит.	Масса	Масштаб
	80	1:2

Лист | Листов 1

Труба ф 58×2×5200 ГОСТ 8731–74 / 12Х18Н10Т ГОСТ 5632–92

"КПІ ім. І. Сікорського", ФБТ

Копировал

Формат А3

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

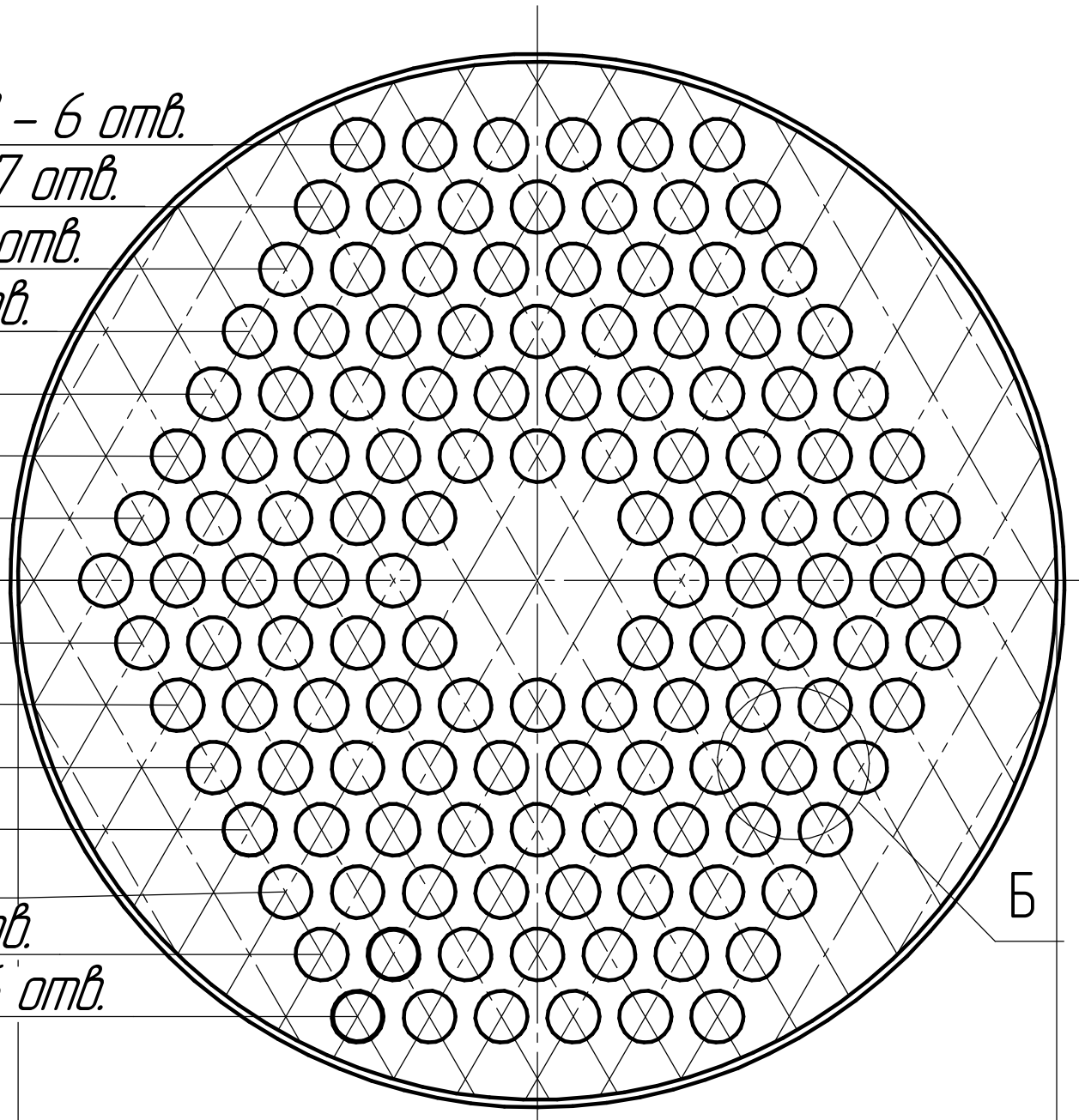
Подп. и дата

Инв. № подл.

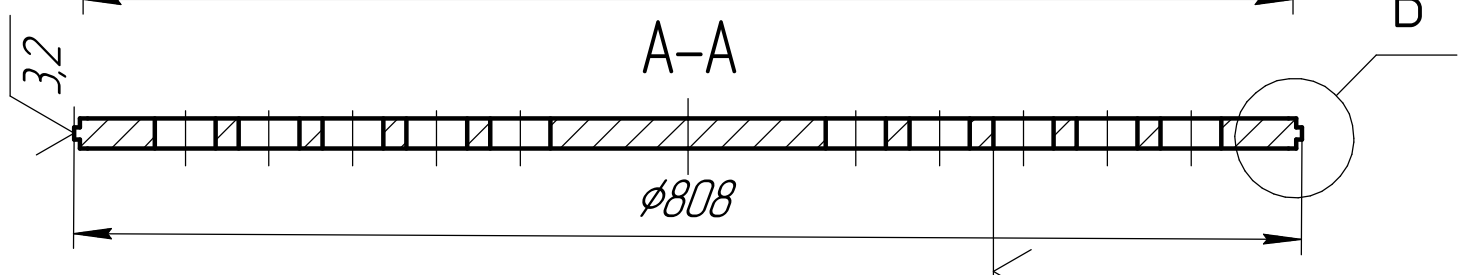
6,3

БІ-110561016.00.003-60 СБ

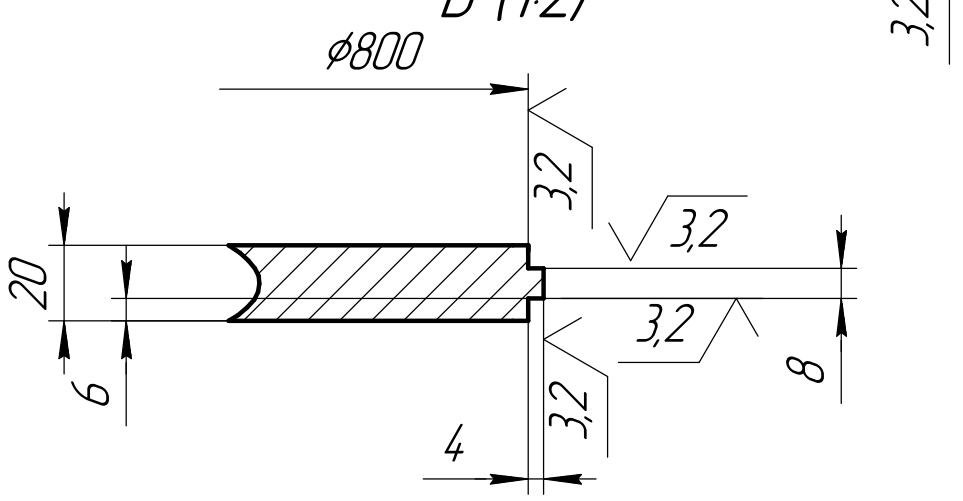
1 ряд – 6 отв.
2 ряд – 7 отв.
3 ряд – 8 отв.
4 ряд – 9 отв.
5 ряд – 10 отв.
6 ряд – 11 отв.
7 ряд – 10 отв.
8 ряд – 10 отв.
9 ряд – 10 отв.
10 ряд – 11 отв.
11 ряд – 10 отв.
12 ряд – 9 отв.
13 ряд – 8 отв.
14 ряд – 7 отв.
15 ряд – 6 отв.



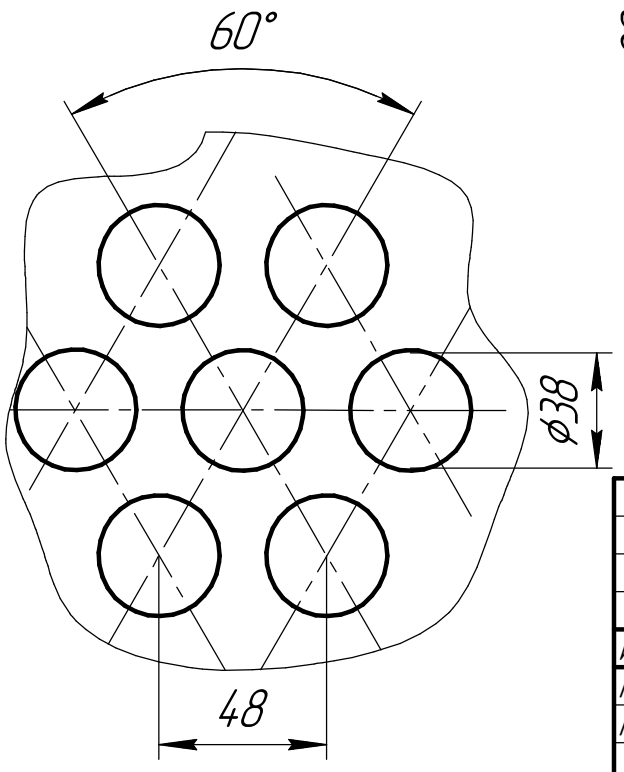
А–А



В (1:2)



Б (1:2,5)



1. При виготовленні деталі керуються ГОСТ 12.2.003–91.
2. Термообробка – нормалізація 170–190 НВ.
3. Невказані граничні відхилення розмірів отворів Н14, і всі інші ±IT 14/2.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кручок Ірина		
Пров.		Шибецький В.Ю.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Мельник В.М.		

БІ–110561016.00.003–60 СБ

Решітка трубна

Лит.	Масса	Масштаб
	30	1:5
Лист	Листов 1	

Лист 808×5 ГОСТ 19904–90 / 12Х18Н10Т ГОСТ 5632–92

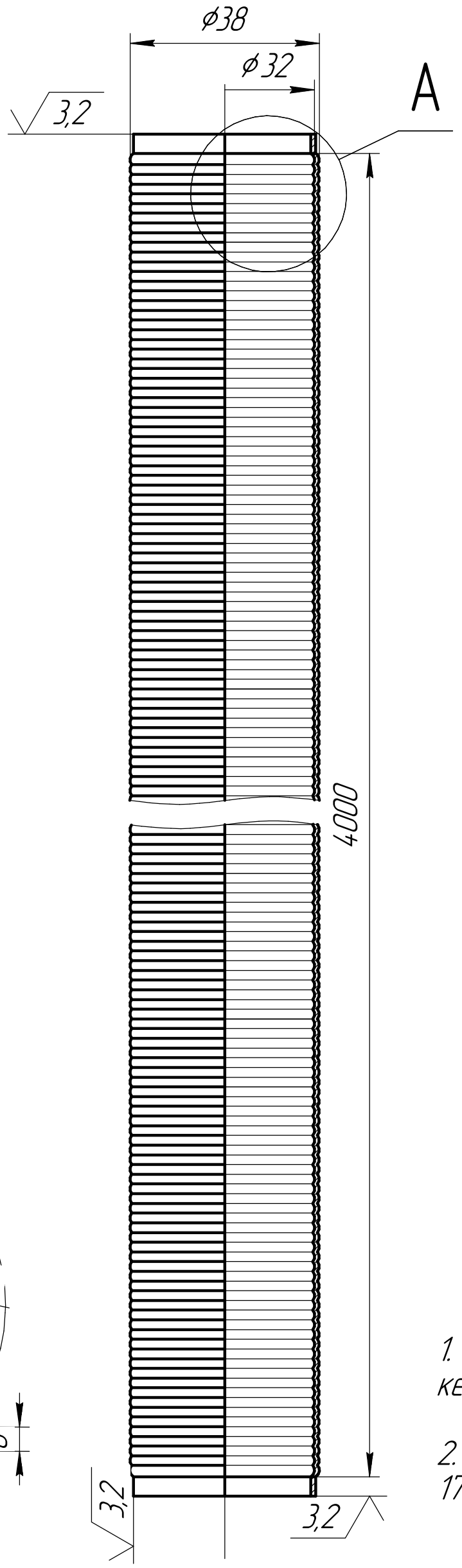
"КПІ ім. І. Сікорського", ФБТ

Копировал

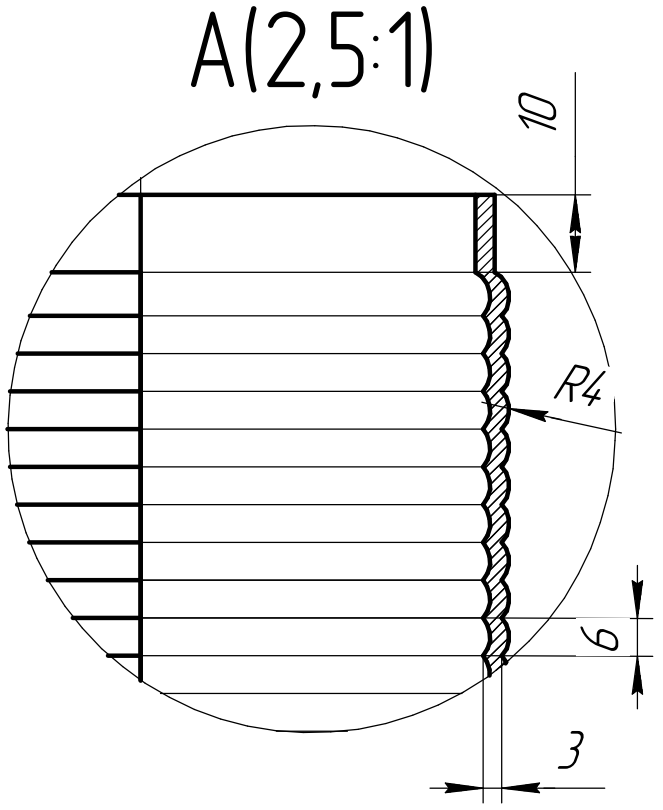
Формат А3

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

6,3 (√)



A(2,5:1)



1. При виготовленні деталі керуються ДСТУ 12.2.003-91.

2. Термообробка – нормалізація 170-190 НВ.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кручок І.І.		
Пров.		Шибецький В.Ю.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Мельник В.М.		

БІ-110561016.01.000-60 СБ

Гріюча труба

Сталь 10 ГОСТ 1050-2013

Лит.	Масса	Масштаб
		1:5
Лист	Листов 1	

"КПІ ім. Сікорського", ФБТ

Копировал

Формат А3

БІ-110561016.00.004-60 СБ

Перв. примен.

Справ. №

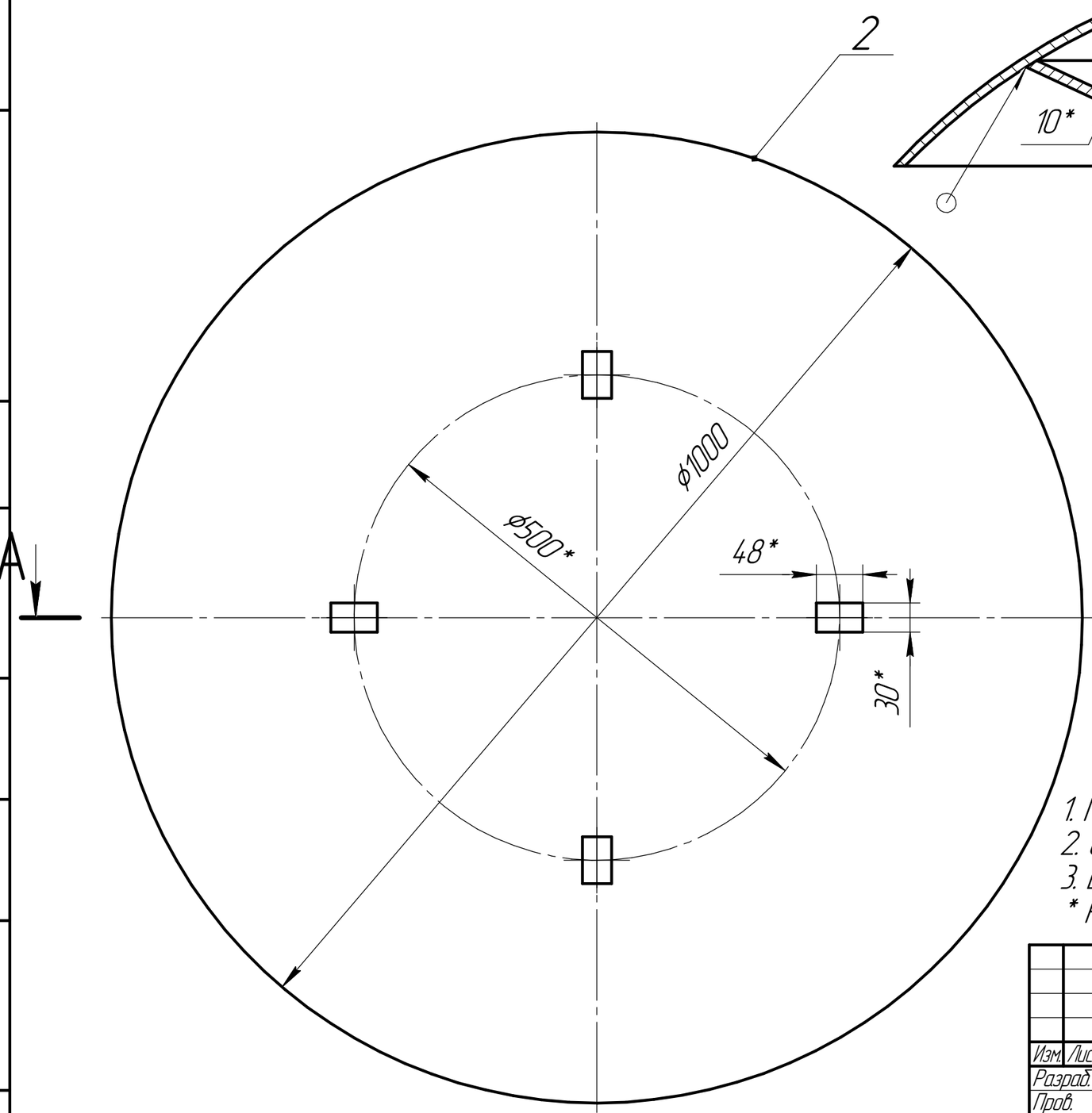
Подп. и дата

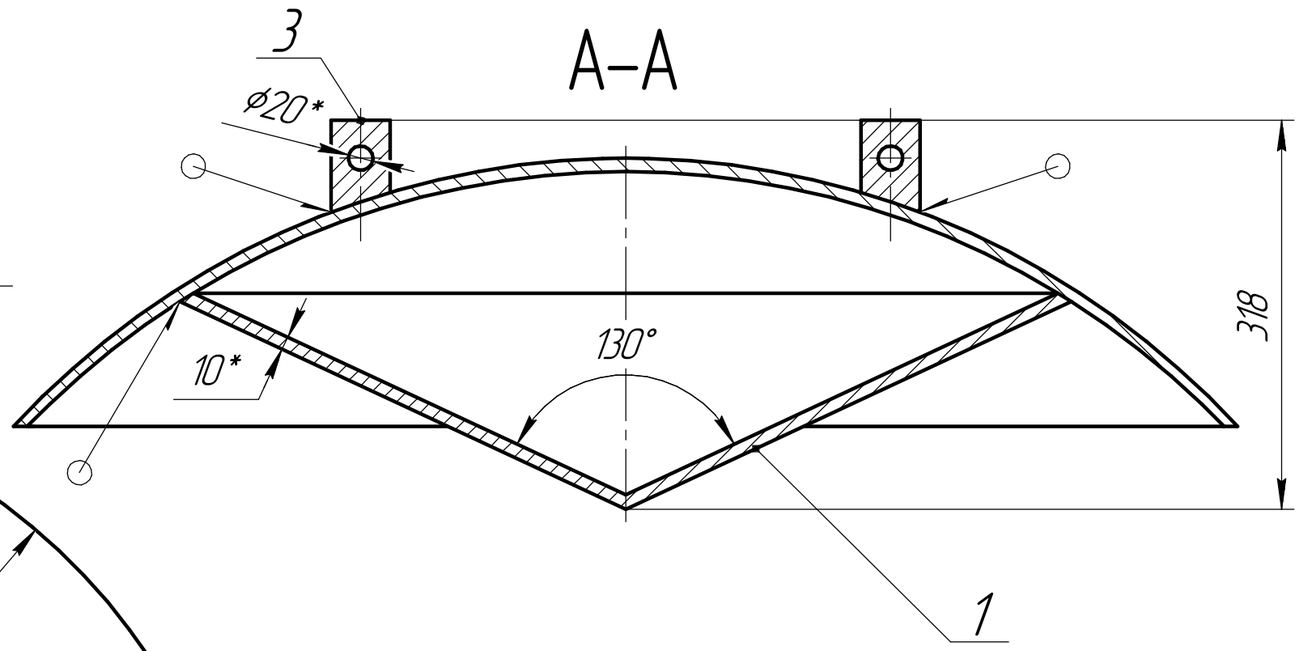
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.





1. При виготовленні керуватися ГОСТ 12.2.003-91.
2. Складальну одиницю виготовляти зі сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-92.
3. Всі зварні шви вказані за ГОСТ 5264-80-Т1-◺, 3 шви.
* Розміри для довідки.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кручок Ірина		
Пров.		Шидецький В.Ю.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Мельник В.М.		

БІ-110561016.00.004-60 СБ

Бризковіддійник

Лит.	Масса	Масштаб
	75	1:5

Лист 1 Листов 2

"КПІ ім. І. Сікорського", ФБТ

Копировал

Формат А3

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документація		
А3			БІ7107.5213.005.-10 СБ	Складальне креслення	1	
				Деталі		
		1		Конус	1	
		2		Тарілка сферична	1	
				Стандартні вироби		
		3		Вушка кріпильні 48/68	4	
				ГОСТ 7798:2008		
				Матеріали		
		4		Електроди Ц/Л-11	4	
				ГОСТ 9466-75		

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кручок Ірина		
Пров.		Шибецький В.Ю.		
Н.контр.				
Утв.		Мельник В.М.		

БІ-110561016.00.004-60 СБ

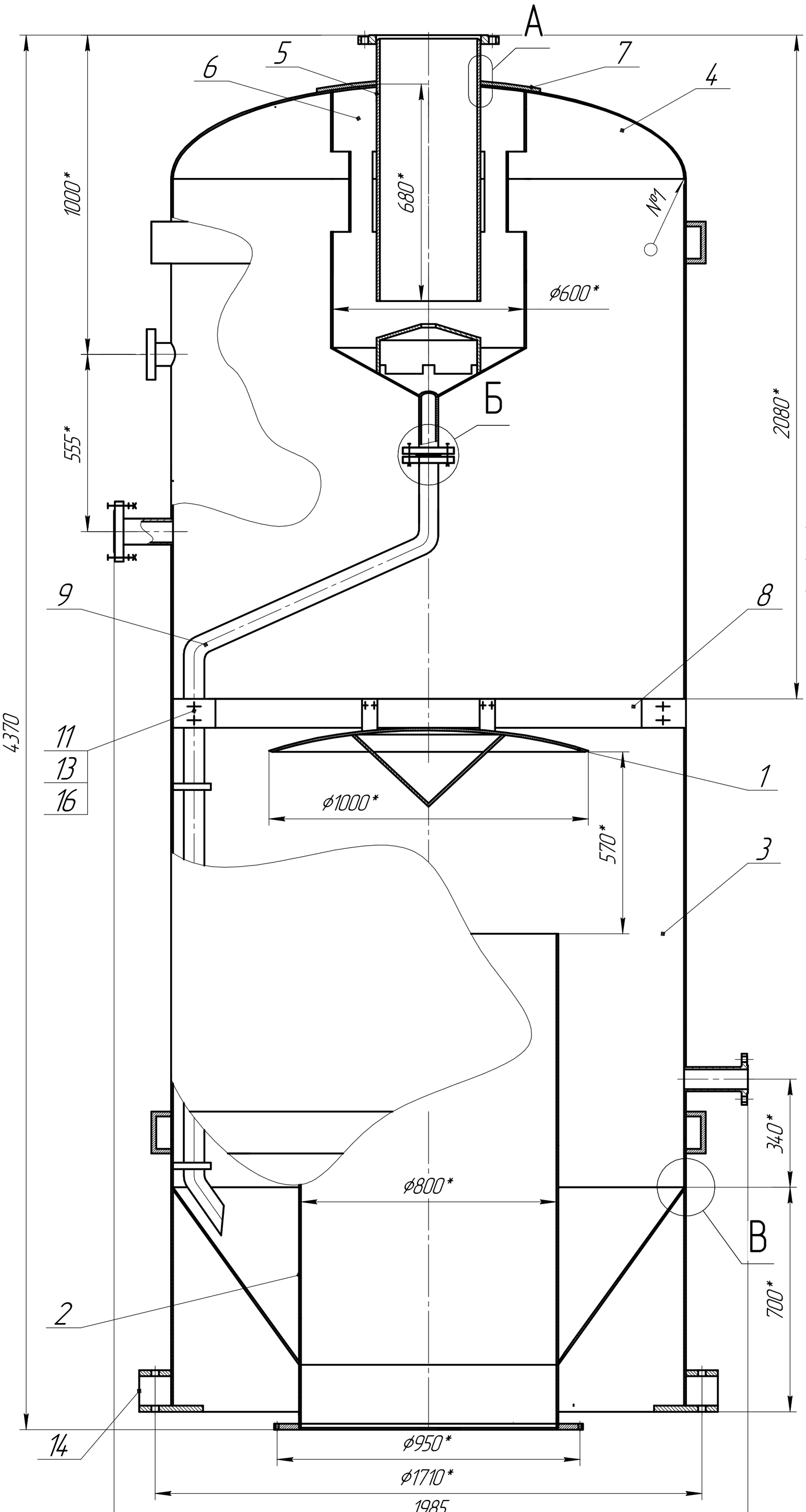
Бризковіддійник

Лит.	Лист	Листов
	2	2

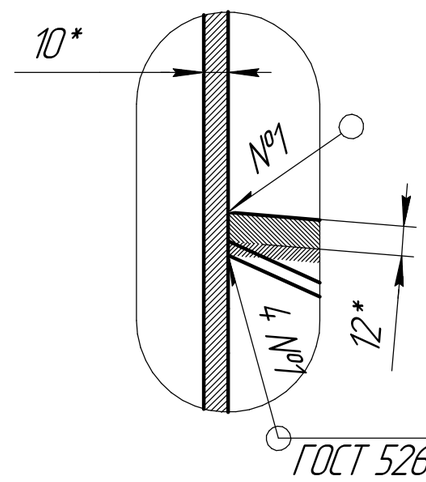
"КПІ ім. І. Сікорського", ФБТ

Копировал

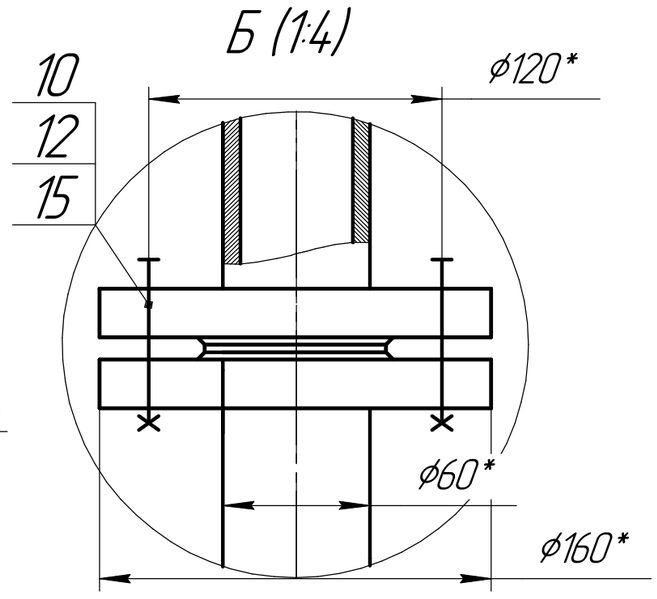
Формат А4



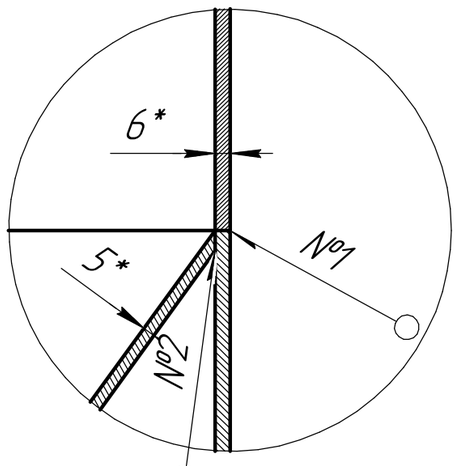
А (1:4)



Б (1:4)



В (1:4)



1. При виготовленні керуватися ГОСТ 12.2.003-91.
2. Складальні одиниці виготовляти із сталі 12Х18Н10Т.
3. Всі зварні шви вказані за ГОСТ 5264-80.
* Розміри для довідок.

					БІ-110561016.00.002-60 СБ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Кручок Ірина			Сепаратор	Лит. / Масса / Масштаб: 2000 / 1:10
Пров.		Шибецький В.Ю.				Лист 1 / Листов 3
Т.контр.						КПІ "КПІ ім. І. Сікорського", ФБТ
Н.контр.						
Утв.		Мельник В.М.				

Копировал

Формат А2

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документація		
А2			БІ7107.5213.002.–10 СБ	Складальне креслення	1	
				Складальні одиниці		
А3		1	БІ7107.5213.002.01–10 СБ	Бризковіддійник	1	
		2	БІ7107.5213.002.02–10 СБ	Днище	1	
		3	БІ7107.5213.002.03–10 СБ	Корпус	1	
		4	БІ7107.5213.002.04–10 СБ	Кришка	1	
		5	БІ7107.5213.002.05–10 СБ	Штуцер	1	
				Деталі		
А3		6		Бризковловлювач	1	
		7		Лист накладний	1	
		8		Планка опорна	1	
		9		Труба бризковловлювача	1	
				Стандартні вироби		
		10		Болт М14×32		
				ГОСТ 15589–70	16	
		11		Болт М16×55		
				ГОСТ 15589–70	64	
		12		Гайка М14		
				ГОСТ 155526–70	16	
		13		Гайка М16		

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кручок Ірина		
Пров.		Шибецький В.Ю.		
Н.контр.				
Утв.		Мельник В.М.		

БІ–110561016.00.002–60 СБ

Сепаратор

Лит.	Лист	Листов
	2	3

КПІ "КПІ ім. І. Сікорського", ФБТ

Копировал

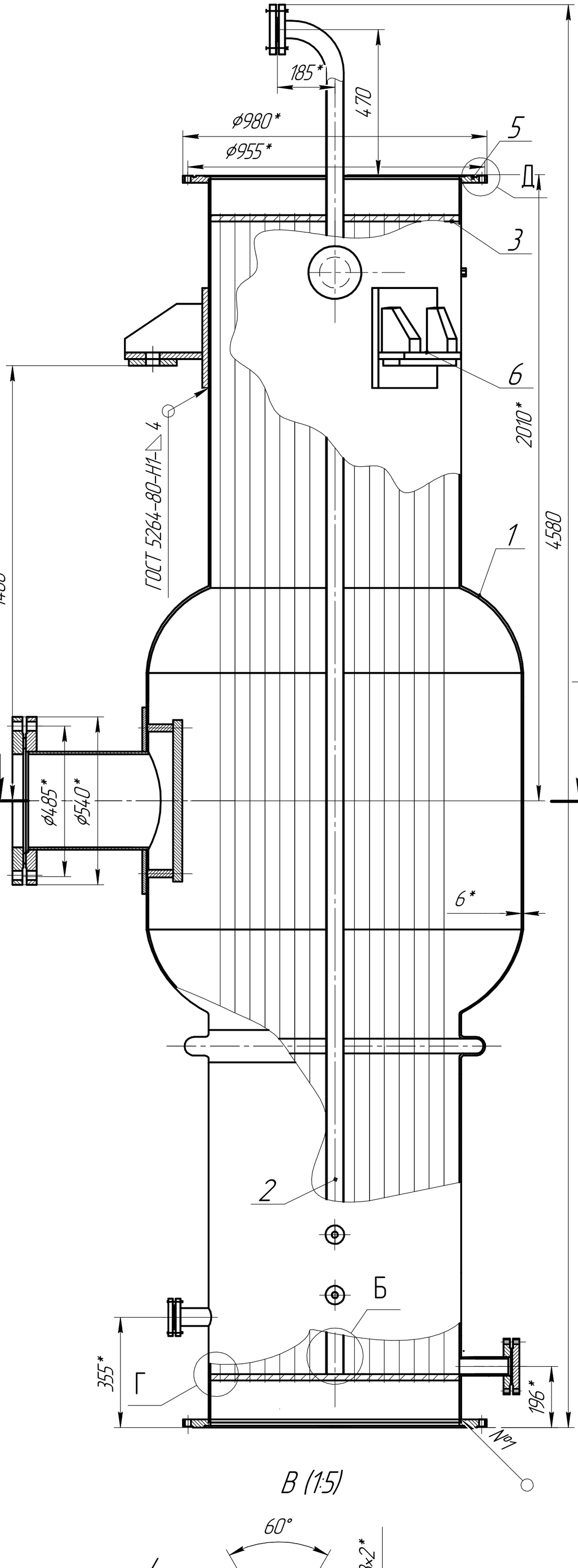
Формат А4

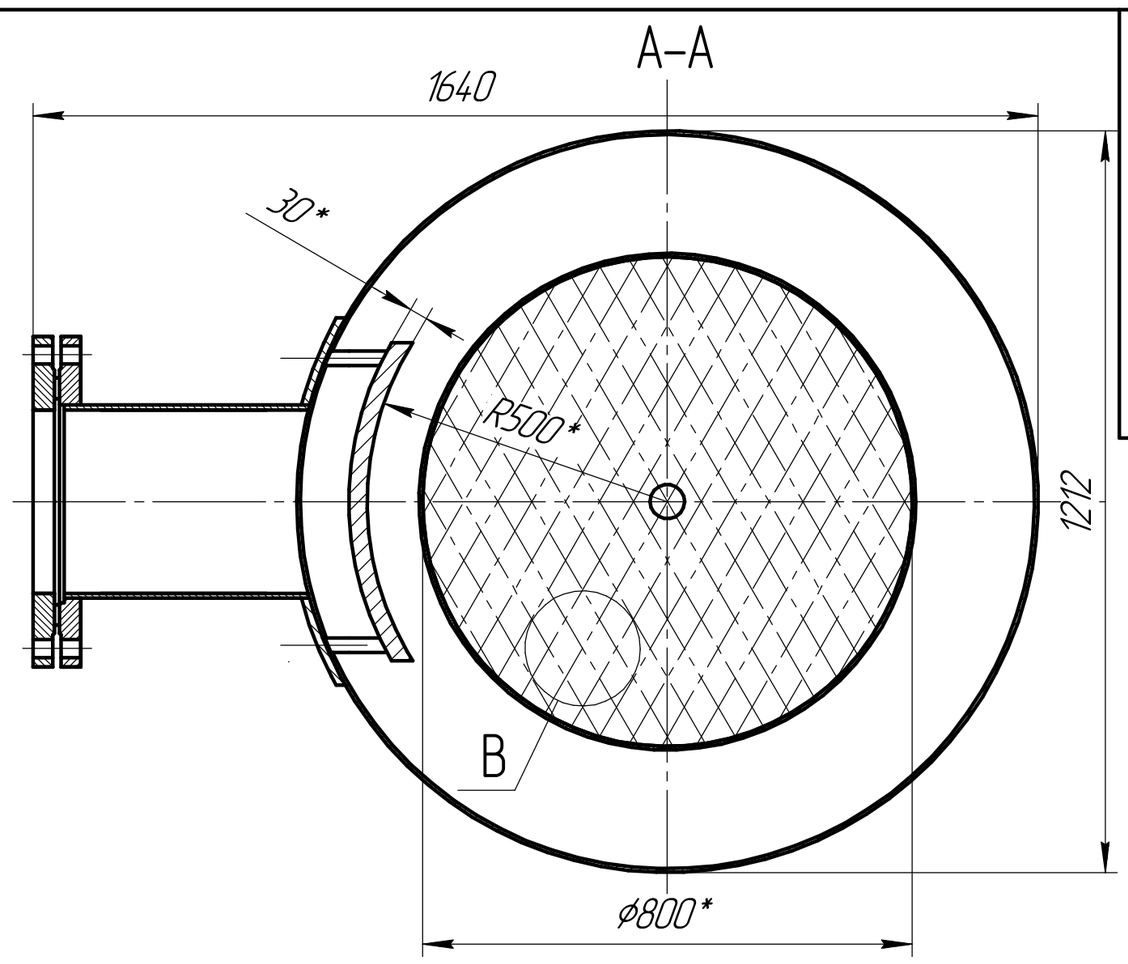
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				ГОСТ 155526-70	64	
		14		Опора 1-63-1		
				АТК 24.200.03-90	1	
		15		Шайба 14 ГОСТ 6402-70	16	
		16		Шайба 16 ГОСТ 6402-70	64	
				Матеріали		
		17		Електроди Ц/Л-11		
				ГОСТ 9466-75	5	

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

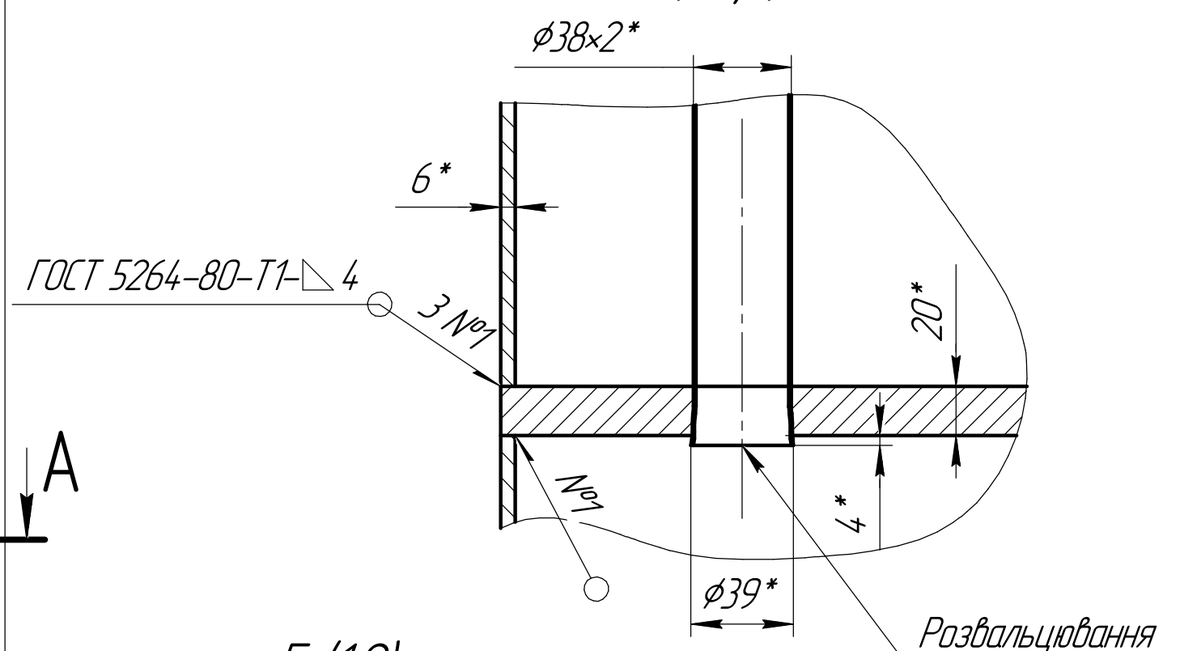
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	БІ-110561016.00.002-60 СБ	Лист 3

Копировал Формат А4

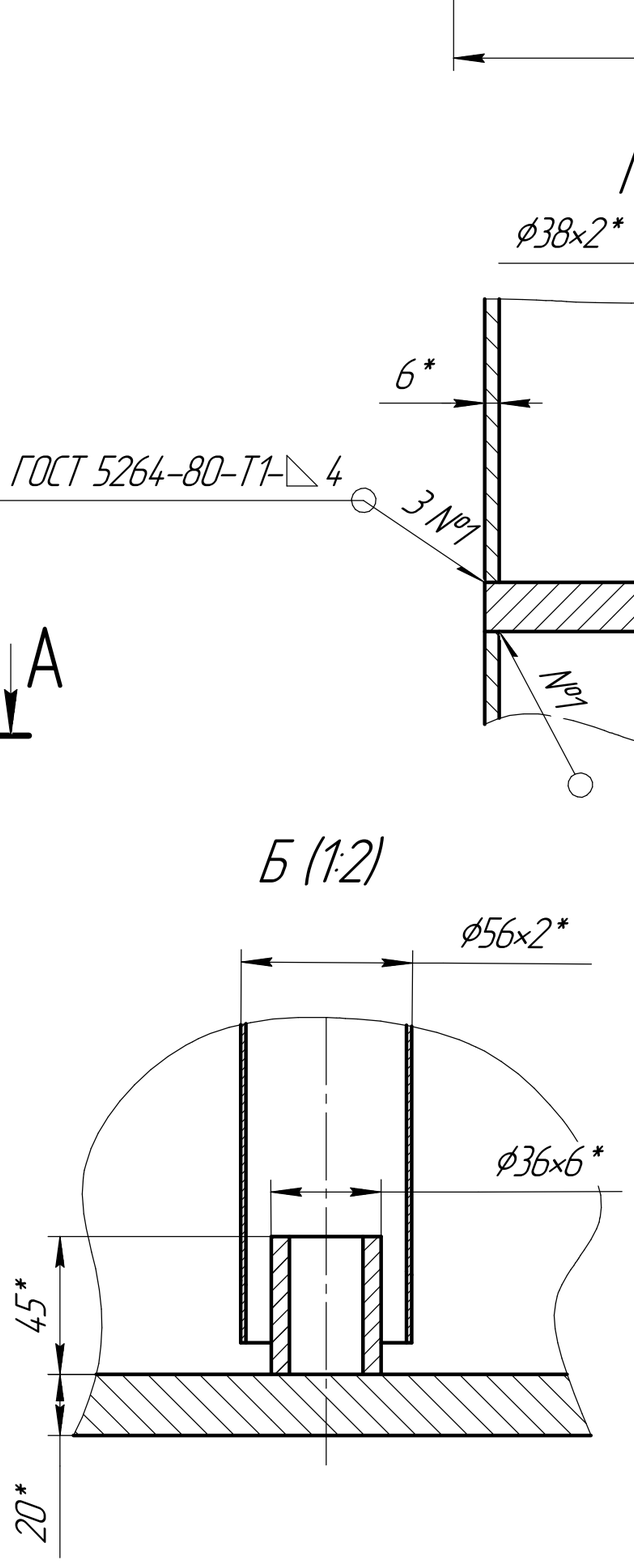




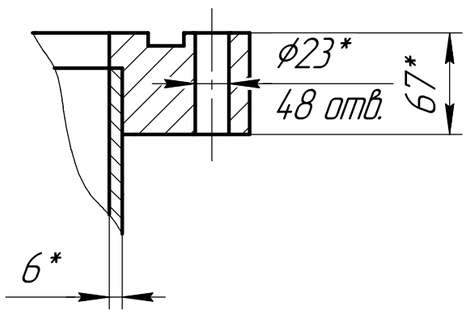
Г (1:2,5)



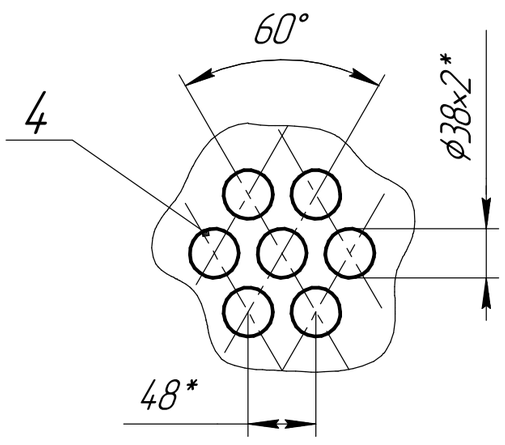
Б (1:2)



Д (1:4)



В (1:5)



1. При виготовленні керуватися ГОСТ 12.2.003–91.
2. Складальну одиницю виготовляти із сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632–72, опори – зі сталі 45Х ГОСТ 4543–71.
3. Всі зварні шви вказані за ГОСТ 5264–80–Т1–△ 4.
4. Зварні з'єднання контролюються рентгенопросвічуванням у об'ємі 100 % за ГОСТ 26–291–71. Зварні з'єднання нержавіючих сталей контролюються на стійкість проти міжкристалітної корозії за ГОСТ 6032–84.
5. Виліт штуцерів – 120 мм.
6. Кут між опорами 120°.

* Розмір для довідки.

					БІ–11056 1016.00.005–60 СБ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Корпус грiючої камери. Складальне креслення	Лит. / Масса / Масштаб: 1000 / 1:10
Разраб.		Кручок І.І.				Лист 1 / Листов 2
Пров.		Шибецький В.Ю.				НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського", ФБТ
Т.контр.						
Н.контр.						
Утв.		Мельник В.М.				

Копировал

Формат А2

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документація		
А2			БІ7107.5213.001.–10 СБ	Складальне креслення	1	
				Складальні одиниці		
		1	БІ7107.5213.001.01–10 СБ	Корпус	1	
А3		2	БІ7107.5213.001.02–10 СБ	Труба вентиляційна	1	
				Деталі		
А3		3		Решітка трубна	2	
		4		Труба грійоча	132	
		5		Фланець	2	
				Стандартні вироби		
		6		Опора 1–63–1	3	
				АТК 24.200.03–90		
				Матеріали		
		7		Електроди Ц/1–11	4	
				ГОСТ 9466–75		

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кручок І.І.		
Пров.		Шибецький В.Ю.		
Н.контр.				
Утв.		Мельник В.М.		

БІ–110561016.00.005–60 СБ

Корпус грійочої камери. Складальне креслення

Лит.	Лист	Листов
	2	2

НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського", ФБТ

Копировал

Формат А4

Дослідження процесу кипіння у трубах різної конфігурації

Розбиття на елементи розрахункової області. Граничні та початкові умови процесу

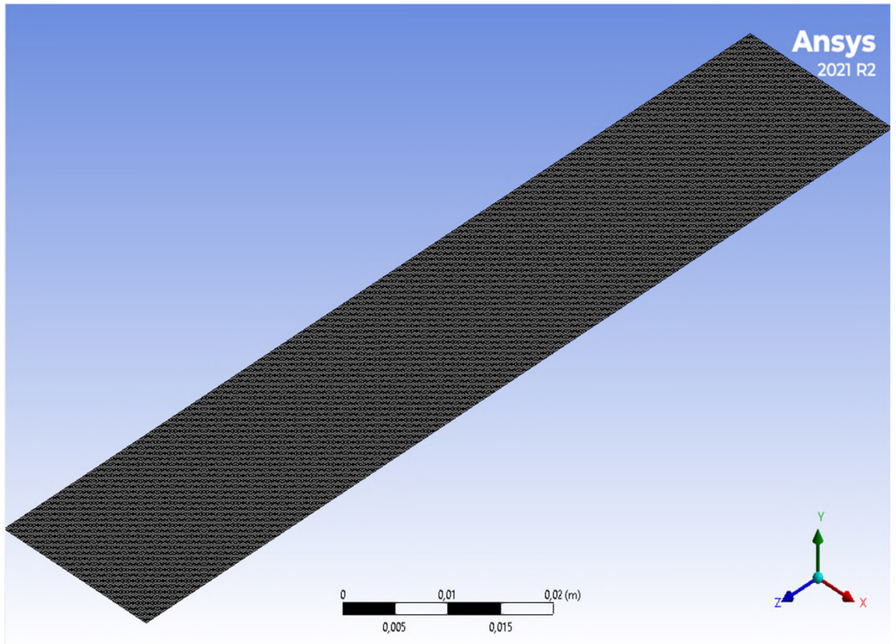


Рис.1 Побудова сітки гладкої труби

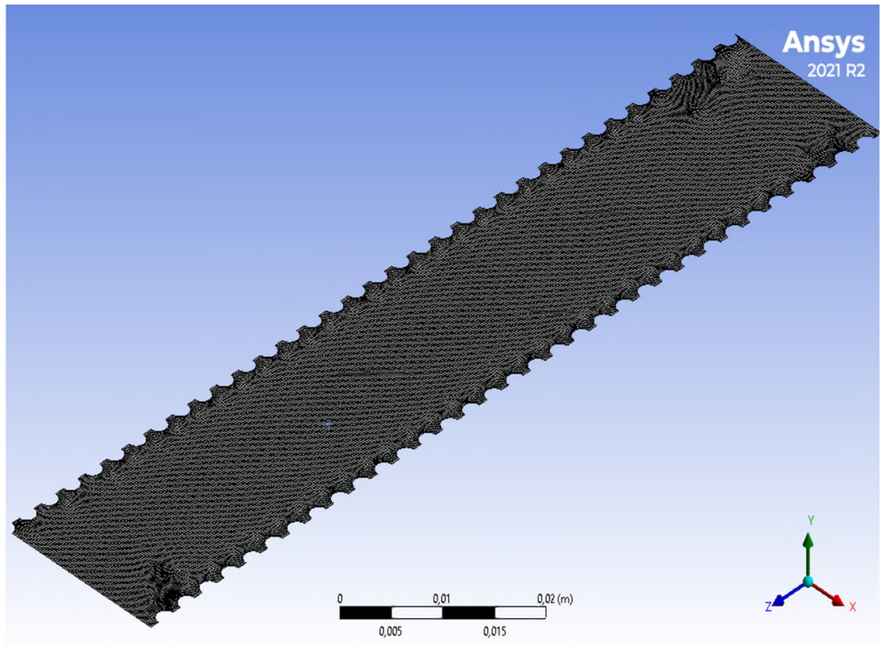


Рис.2 Побудова сітки I зразка гофрованої труби

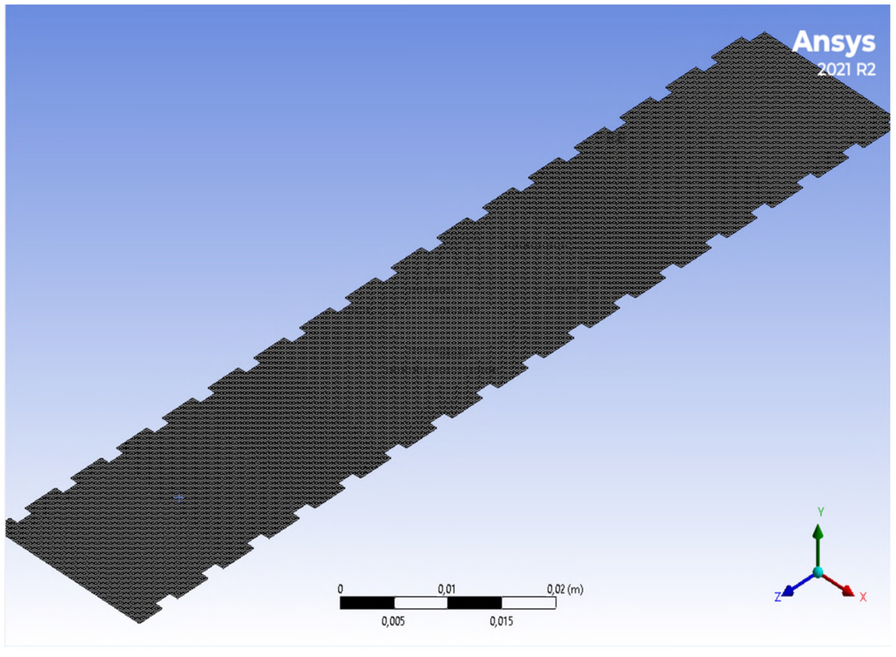


Рис.3 Побудова сітки II зразка гофрованої труби

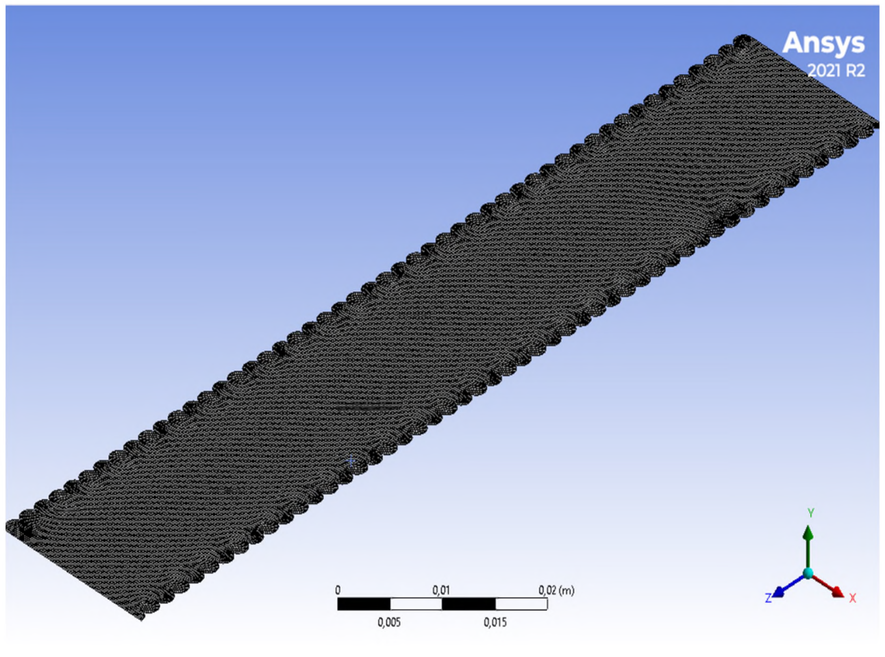


Рис.4 Побудова сітки III зразка гофрованої труби

Граничні та початкові умови процесу:

- при створенні моделі у SpaceClaim задаємо назву стінок “Wall” з початковою температурою 150 ^{0}C;

- встановлюємо, що в процесі буде брати участь 2 фази, які між собою взаємодіють “Volume of Fluid”;

- оскільки відбувається теплообмін, то відповідно вмикаємо “Energy Equation”;

- початкова температура рідини до початку процесу нагрівання $t_{поч.р}$ = 98 ^{0}C;

- температура фазового переходу $t_{ф.п}$ = 100 ^{0}C.

Плакат №1, до захисту магістерської роботи
На тему: «Розробка випарного апарату для випарювання розчину лізину з модернізацією випарних труб»

Студентка групи БІ-11 мп
Кручок Ірина Ігорівна

Керівник:
Шибецький Владислав Юрійович

Дослідження процесу кипіння у трубах різної конфігурації

Побудова епюр об’ємної долі

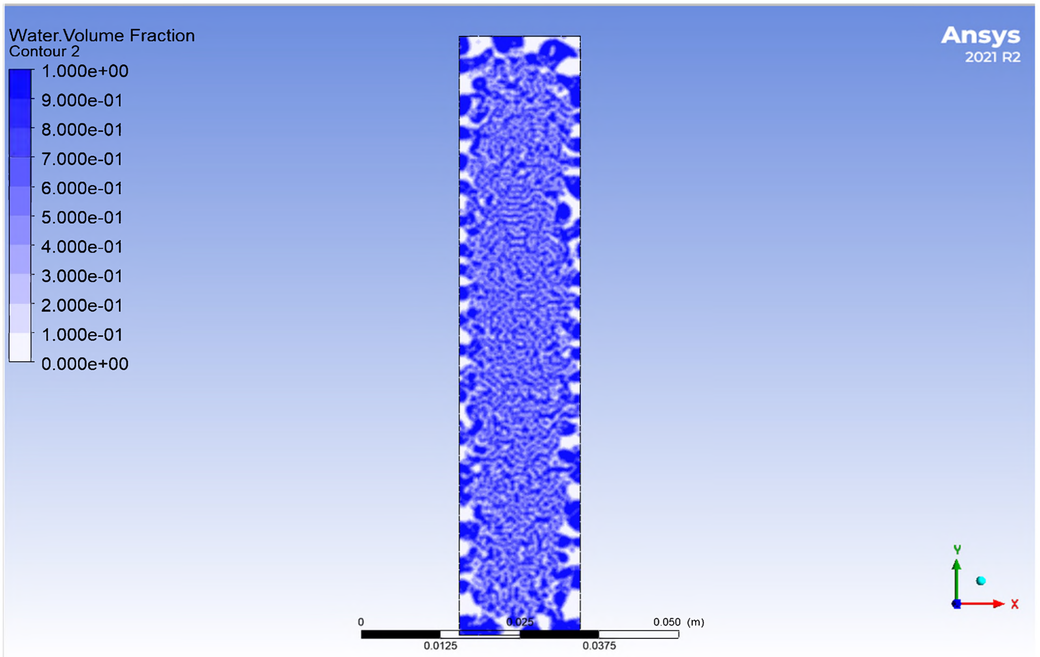


Рис.1 Побудова епюри об’ємної долі гладкої труби

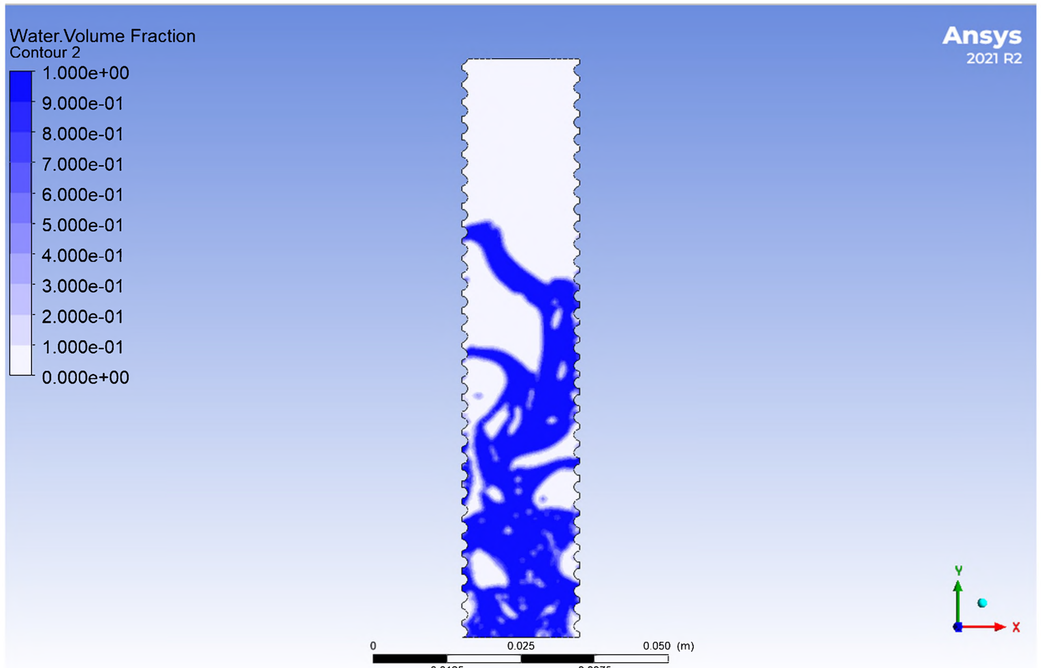


Рис.2 Побудова епюри об’ємної долі I зразка гофрованої

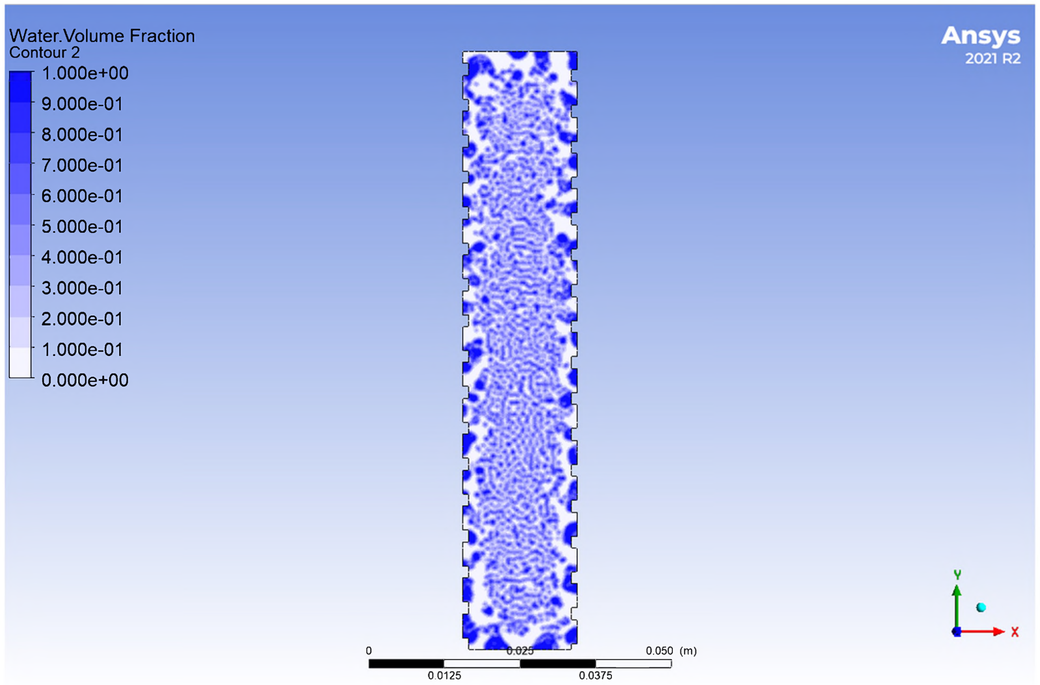


Рис.3 Побудова епюри об’ємної долі II зразка гофрованої

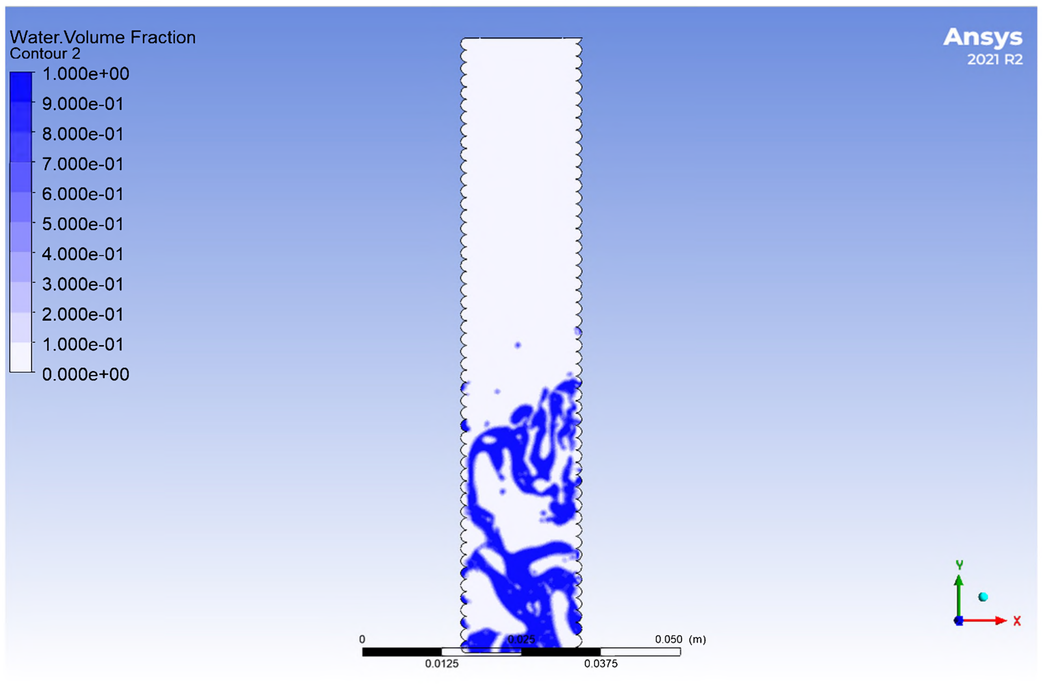


Рис.4 Побудова епюри об’ємної долі III зразка гофрованої

Плакат №2, до захисту магістерської роботи
На тему: «Розробка випарного апарату для випарювання розчину лізину з модернізацією випарних труб»

Студентка групи БІ-11 мп
Кручок Ірина Ігорівна

Керівник:
Шибецький Владислав Юрійович

Дослідження процесу кипіння у трубах різної конфігурації

Побудова епюр температури

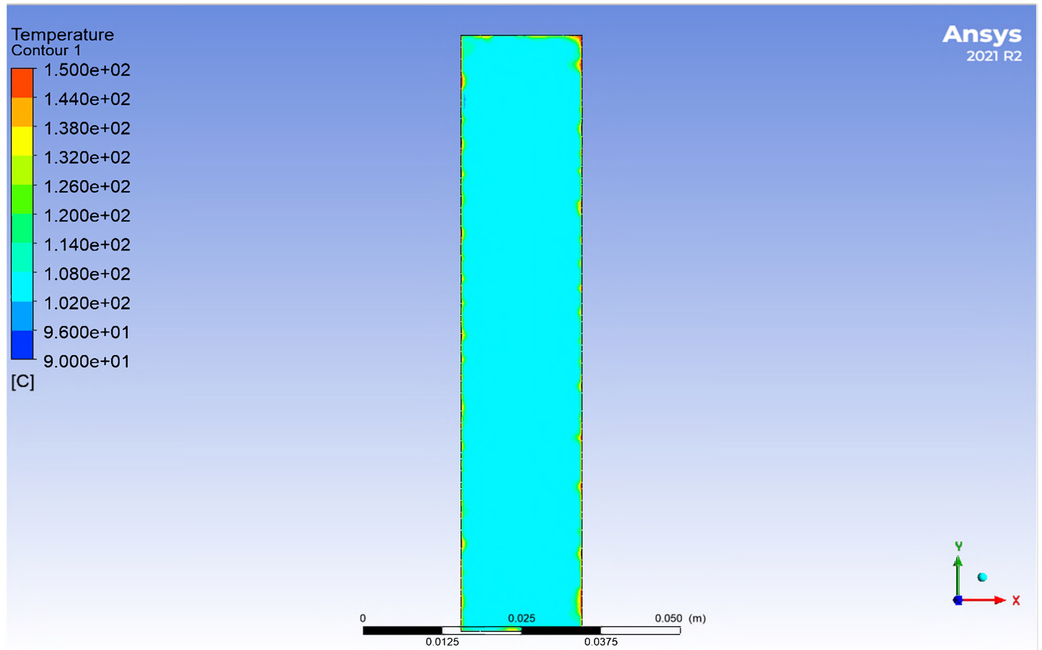


Рис.1 Побудова епюри температури гладкої труби

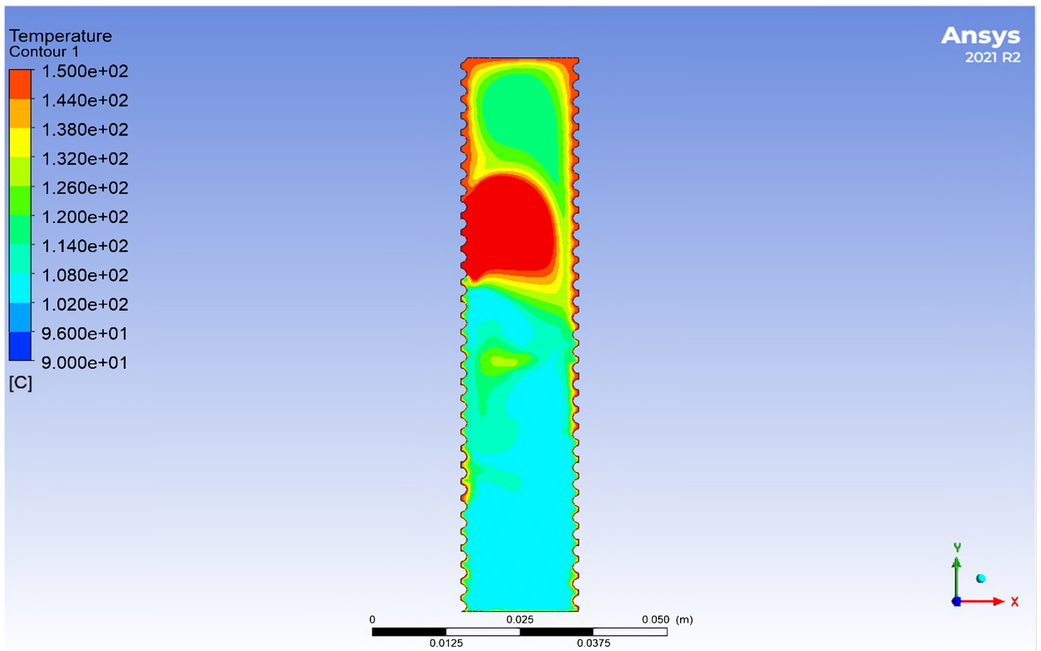


Рис.2 Побудова епюри температури I зразка гофрованої

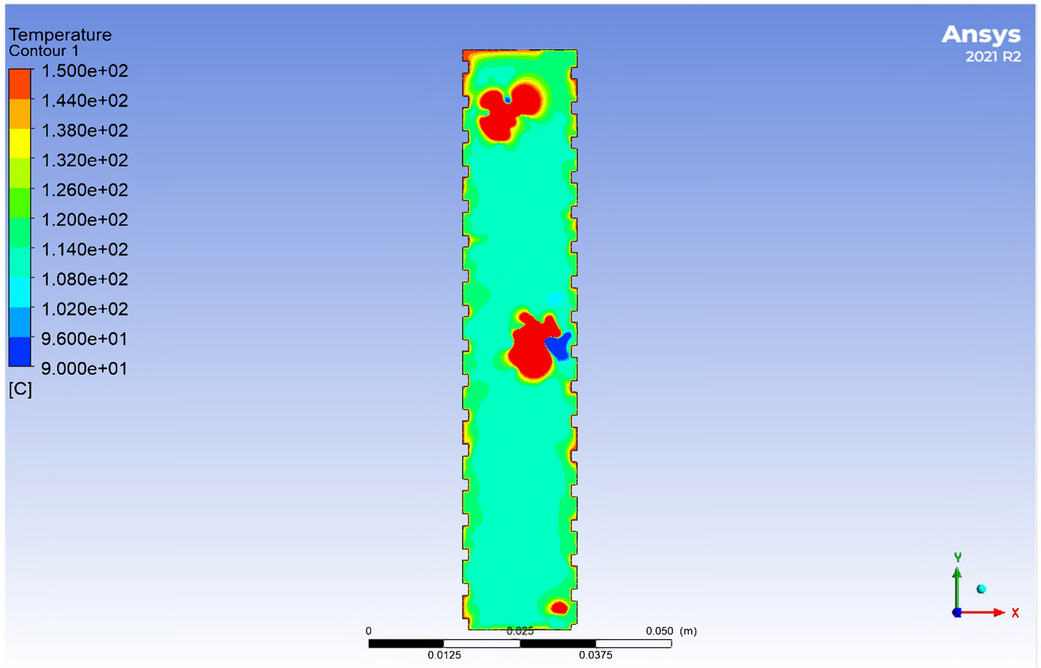


Рис.3 Побудова епюри температури II зразка гофрованої

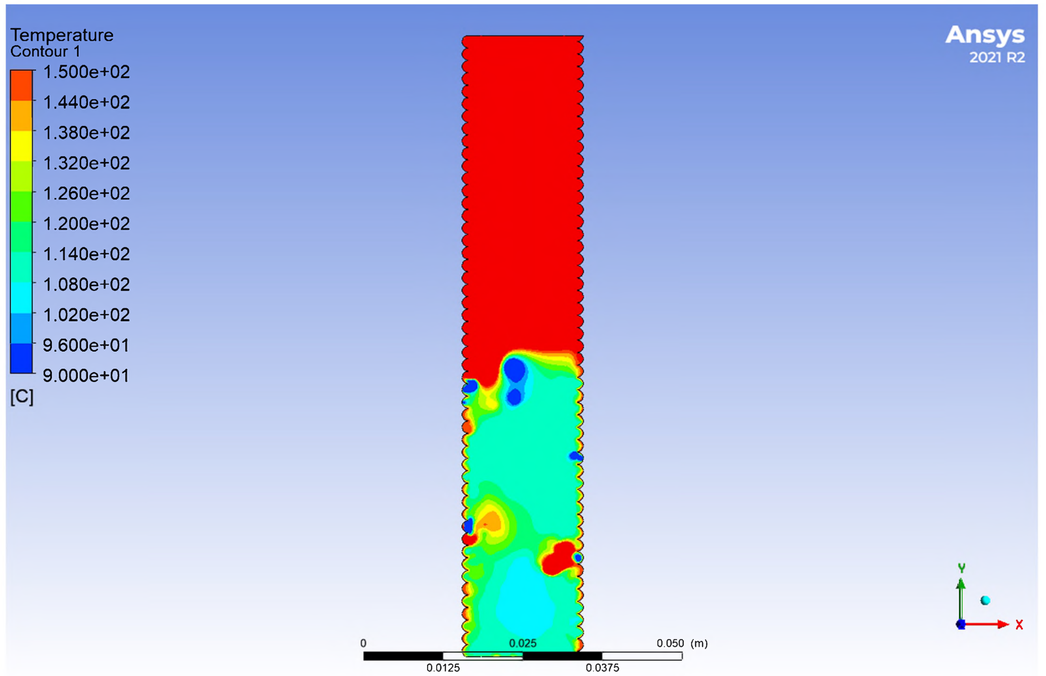


Рис.4 Побудова епюри температури III зразка гофрованої

Плакат №3, до захисту магістерської роботи
На тему: «Розробка випарного апарату для випарювання розчину лізину з модернізацією випарних труб»

Студентка групи БІ-11 мп
Кручок Ірина Ігорівна

Керівник:
Шибецький Владислав Юрійович