

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет біотехнології і біотехніки
(повна назва інституту/факультету)

Біотехніки та біоінженерії
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ В.М. Мельник
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код і назва)

на тему: Модернізація плівкового випарного апарату

Виконав (-ла): студент (-ка) VI курсу, групи БІ-11мп
(шифр групи)

_____ Ганєв Кирило Зіновійович

_____ (підпис)

Керівник _____ Шибецький В.Ю.
(доцент, к.т.н)
(посада, вчене звання,
прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультант Опис технологічно процесу Дуган О.М.
виробництва лимонної кислоти» (д.н., професор)
(назва розділу (посада, вчене звання,
прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент Мотроненко Валентина Василівна (доцент, доктор наук)
(посада, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2022 року

Пояснювальна записка
магістерської дисертації
на тему: Модернізація плівкового випарного апарату

Київ – 2022 року

РЕФЕРАТ

УДК 661.74

Атестаційна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему: «Модернізація плівкового випарного апарату» / НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»; керівник Шибецький Владислав Юрійович; виконавець: Ганєв Кирило Зіновійович, студент групи БІ-11мп.

Робота складається з переліку умовних позначень, вступу, 6 розділів, підрозділів, висновків, переліку посилань та додатків. Повний обсяг роботи становить 97 сторінок, 56 рисунків, 19 таблиць, 1 графік і переліку посилань з 6 найменувань (на 1 сторінках).

В магістерській дисертації було розглянуто технологічний процес випарювання лимонної кислоти, виконано патентний пошук, аналіз стану проблеми конструкцій сучасних плівкових апаратів, визначено їх основні переваги та недоліки, виконане комп'ютерне моделювання стікання розчину по поверхням випарювання в гріючій камері для визначення найбільш ефективної за багатьма показниками, наявні конструкційні та технологічні розрахунки що підтверджують працездатність та надійність конструкції, розроблено стартап-проект.

Об'єктом дослідження є плівковий випарний апарат.

Предмет дослідження – процес випарювання, ефективність впливу пластинчатої поверхні з електронагрівальними елементами в гріючій камері на процес випарювання лимонної кислоти.

Ключові слова:

ПЛІВКОВИЙ ВИПАРНИЙ АПАРАТ, ЛИМОННА КИСЛОТА, ГРІЮЧА КАМЕРА, ВИПАРЮВАННЯ, КОНЦЕНТРУВАННЯ, ЕЛЕКТРОНАГРІВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ.

ABSTRACT

Certification work of the educational and qualification level "master" on the topic: "Modernization of the film evaporation apparatus" / NTUU "KPI named after I. Sikorsky"; head Vladyslav Yuriyovych Shibetsky; performer: Ganev Kyrylo Zinoviyovych, student of group BI-11mp.

The work consists of a list of conditional designations, an introduction, 6 chapters, subsections, conclusions, a list of references and appendices. The full volume of the work is 97 pages, 56 figures, 19 tables, 1 graph and a list of references from 6 titles (on 1 page).

In the master's thesis, the technological process of citric acid evaporation was considered, a patent search was carried out, the analysis of the state of the problem of the constructions of modern film apparatuses was determined, their main advantages and disadvantages were determined, computer simulation of the flow of the solution along the evaporation surfaces in the heating chamber was performed to determine the most effective in terms of many indicators, there are structural and technological calculations that confirm the workability and reliability of the structure, a startup project has been developed.

The object of research is a film evaporator.

The subject of the study is the evaporation process, the effectiveness of the influence of the plate surface with electronic heating elements in the heating chamber on the citric acid evaporation process.

Keywords:

FILM EVAPORATOR, CITRIC ACID, HEATING CHAMBER, EVAPORATION, CONCENTRATION, ELECTRICAL HEATING ELEMENTS.

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, д.т.н., проф.

_____ Мельник В.М.

(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Ганєв Кирило Зіновійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Модернізації плівкового випарного апарату»,
науковий керівник дисертації Шибєцький Владислав Юрійович, кандидат технічних наук, доцент.

затверджені наказом по університету від «___» _____ 2022 р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації:

3. Об'єкт дослідження: плівковий випарний апарат.

4. Предмет дослідження: процес випарювання, ефективність впливу пластинчастої поверхні з електронагрівальними елементами в гріючій камері на процес випарювання лимонної кислоти.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести літературний огляд та патентний пошук, аналіз стану проблеми, виконати розрахунки, комп'ютерне

модельовання, стартап-проект, розробити конструкцію та 3D модель грючої камери плівкового апарату.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Апаратурна схема лінії для виробництва лимонної кислоти (A1); Плівковий випарний апарат з стікаючою плівкою. Складальне креслення (A1), Грюча камера. Складальне креслення (A3), Кришка. Складальне креслення (A3). Плакат за темою магістерської дисертації.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації

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

9. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання магістр. дисерт.	Примітка
1	Літературний огляд	01.09.2022 -03.11.2022	Виконано
2	Патентний пошук	10.10.2022 -15.11.2022	Виконано
3	Аналіз стану проблеми	15.10.2022 -20.10.2022	Виконано
4	Комп'ютерне моделювання	01.11.2022 -15.11.2022	Виконано

5	Проведення розрахунків на працевдатність апарату	01.09.2022 -20.09.2022	Виконано
6	Розробка стартап- проєкту	01.10.2021 -30.11.2021	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки, креслень та документації	01.11.2022 -25.11.2022	Виконано

Студент: Ганєв К.З.

(прізвище, ініціали)

(підпис)

Науковий
керівник
дисертації: Шибєцький В.Ю.

(прізвище, ініціали)

(підпис)

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів.....	10
ВСТУП.....	12
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	13
1.1 Призначення вибору конструкції випарного апарата	13
2 ПАТЕНТНИЙ ПОШУК	16
2.1 Аналоги конструкції плівкового випарного апарату	16
2.2 Опис прототипу конструкції плівкового випарного апарату.....	17
3 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ	18
3.1 Переваги та недоліки типових конструкцій плівкових випарних апаратів	19
3.2 Шляхи покращення ефективності плівкових випарних апаратів	20
3.3 Сутність розробки та модернізації плівкового випарного апарату	20
3.4 Схема роботи плівкового випарного апарату пластинчатого типу з електронагрівальними елементами	21
4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИБОРУ ПОВЕРХНІ ВИПАРЮВАННЯ РОЗЧИНУ ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ	24
4.1 Аналіз систем реалізації моделювання та вибір програмного забезпечення. Мета і задачі комп'ютерного моделювання	24
4.2 Моделювання руху розчину лимонної кислоти по пластинчатій поверхні	25
4.3 Аналіз результатів фізичних параметрів для пластин.....	35
4.4 Висновки аналізу фізичних параметрів для пластин	37
4.5 Моделювання руху розчину лимонної кислоти по трубній поверхні	37
4.6 Аналіз результатів фізичних параметрів для труб	39
4.7 Висновки аналізу фізичних параметрів для труб.....	41
4.8 Аналіз загальних результатів	42
ВИСНОВКИ	48
5 РОЗРАХУНКИ ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ПЛІВКОВОГО ВИПАРНОГО АПАРАТУ	49
5.1.1 Матеріальний баланс	49
5.1.2 Корисна різниця температур	49
5.1.3 Тепловий баланс.....	50
5.1.4 Коефіцієнт теплопередачі	50
5.1.5 Розрахунок поверхні теплообміну.....	54

5.1.6 Розрахунок барометричного конденсатора	54
5.1.7 Розрахунок продуктивності вакуум-насоса	55
5.2 Конструктивний розрахунок	56
5.2.1 Визначення кількості труб	56
5.2.2 Обичайка гріючої камери.....	56
5.2.3 Діаметр штуцерів	57
5.3 Розрахунок фланцевого з'єднання.....	58
6 СТАРТАП	65
6.1 Аналіз прогнозованих ринкових позицій стартап-проєкту	68
6.1.1 Планові варіанти розвитку стартап ідеї.....	68
6.1.2. Вплив внутрішньо-оперативного середовища на цінність стартап-проєкту.....	71
6.1.3 Визначення потенційного споживача.	73
6.1.4 Анкета для потенційних споживачів	74
6.1.5 Споживач. Структура пошуку	76
6.1.6 Аналіз конкурентного середовища за методом квадрату Бове	79
6.1.7 Ключові фактори успіху стартап-проєкту. Метод Шонфільда	84
6.1.8 Вплив зовнішньо-оперативного середовища на стартап-проєкт	86
6.1.9 Просування цінності стартап-проєкту на ринок.	88
6.2 Фінансові складові проєкту	90
6.2.1 Визначення економічних складових стартап-проєкту.....	90
6.2.2 Розрахунок ціни інноваційної пропозиції	91
6.2.2.1 Витратний метод	91
6.2.2.2 Параметричний метод.....	91
6.2.2.3 Метод на основі точки беззбитковості.....	91
6.2.2.4 Конкурентний метод.....	91
6.2.2.5 Агрегатний метод	92
6.2.3 Найоптимальніший метод для стартап-проєкту	92
ВИСНОВОК	94
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	95
GENERAL CONCLUSIONS.....	96
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	97

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів

Р – ректор;

ВФС - стрічковий вакуум-фільтр;

ВП - випарний апарат;

БрК - барометричний конденсатор;

ФПр – рамний пресфільтр;

ЗГ-затвір гідравлічний;

ВК – вакуум насос;

Цф – центрифуга;

Тр – транспортер;

Зб – збірник;

ТК – теплообмінник;

Кр – кристалізатор;

Н – насос;

СБ – сушарка барабанна;

Ф – фільтр;

G – масова витрата кг / с;

c – теплоємність, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$;

ρ – густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

λ – коефіцієнт теплопровідності, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ \text{C}}$;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па · с;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$;

k – коефіцієнт теплопередачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

α – коефіцієнт тепловіддачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

δ – товщина стінки труби, м;

r – термічний опір забруднень, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

$d_{\text{екв}}$ – еквівалентний діаметр, 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_n – зовнішній діаметр фланця;
 D_6 – діаметр болтової окружності, $м$;
 d_6 – діаметр болта, $м$;
 l_6 – довжина болта, $м$;
 u_1 – нормативний зазор, $м$;
 k_{np} – прокладочний коефіцієнт;
 a – конструктивний додаток до розміру болтів, $м$;
 h_n – товщина прокладки, $м$;
 b – ширина прокладки, $м$;
 k_n – коефіцієнт обтискання прокладки;
 E – пружності, $МПа$;
 f_6 – площа поперечного перерізу болта, $м^2$;
 ν, ψ_1, ψ_2 – конструктивні коефіцієнти;
 α_ϕ – коефіцієнт об'ємного розширення фланців, $^{\circ} C^{-1}$;
 α_6 – коефіцієнт об'ємного розширення болтів, $^{\circ} C^{-1}$;
 α_c – коефіцієнт об'ємного розширення вільного кільця, $^{\circ} C^{-1}$;
 q – зусилля герметизації, $МПа$;
 $[\sigma]$ – граничне напруження, $МПа$;
 $[P]$ – допустимий тиск, $МПа$;
 u_ϕ – піддатливість фланця, $\frac{1}{(м \cdot МН)}$;
 u_6 – піддатливість болтів, $м / МН$;
 u_c – піддатливість вільного кільця, $\frac{1}{(м \cdot МН)}$;
 $[\theta]$ – граничний кут повороту, $рад$;
 l_3 – розрахункова довжина патрубків, $м$;
 G'_c – маса однієї секції заповнена рідиною, $кг$;
 $m_{зов}$ – маса зовнішніх кожухових труб, $кг$;
 $m_{вн}$ – маса внутрішніх теплообмінних труб, $кг$;
 m_b – маса зовнішніх кожухових труб, $кг$;
 m_p – маса водяної пари в секції, $кг$;
 M_{max} – максимальний момент, що виникає в опорі, $Н \cdot м^2$;
 W – момнет опору, $м^3$.

ВСТУП

У хімічній, харчовій і суміжних галузях промисловості для багатьох процесів необхідна концентрація розчинів твердих нелетких речовин. Процес концентрації рідких розчинів нелетких речовин випарюванням і видаленням часток розчинника з киплячого розчину називають випаровуванням.

В процесі випаровування розчин підтримується при температурі кипіння з метою збільшення швидкості паротворення в об'ємі киплячого розчину. Рідкий розчинник може випаровуватися при температурах нижче за температуру кипіння, але при цьому пароутворення відбувається лише з вільної поверхні рідини, тоді як при температурі кипіння пар утворюється на великій сумарній поверхні всіх парових міхурів в об'ємі киплячої рідини. [1]

Мета випарювання - концентрування нелетких сухих речовин рідини шляхом видалення з неї частини води. При випаровуванні співвідношення між окремими компонентами рідини зберігається. Рушійною силою випарювання є різниця температур теплоносія (пари, що гріє) і кипіння продукту, що концентрується.

Дуже в'язкі, пастоподібні і термолабільні розчини випарюють у плівкових випарних апаратах. По принципу дії їх розділюють на апарати з гравітаційною течією плівки по поверхні нагріву і апарати з розмазуванням розчину по поверхні теплообміну роторними мішалками.

Випарні апарати із вільно падаючою плівкою. Ефективність випарювання розчинника в таких апаратах залежить від товщі плівки, швидкості течії плівки, фізико-технічних якостей рідини і температурного перепаду між поверхнею і рідиною.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Призначення вибору конструкції випарного апарата

Найрозповсюдженішими апаратами концентрування лимонної кислоти є випарні апарати так як завдяки їм можна отримати належну відсоткову долю концентрації.

Концентрування проходить у два етапи, в проміжному відрізку між основними етапами проходить додаткове освітлення розчину активованим вугіллям. Для проведення концентрації є небажаним використання багатокорпусних випарних установок так як під час випарювання в осад може випадати нерозчинний гіпс, в цьому і полягає основна складність вибору конструкції випарного апарату.

Найчастіше в біотехнологічній промисловості для концентрування розчинів використовуються випарні апарати з винесеною поверхнею нагріву різноманітні плівкові випарні апарати, та апарати з винесеною поверхнею кипіння. Основним об'єктом дослідження буде плівковий випарний апарат, а саме огляд основних технологічних проблем та недоліків, виявлення та розробка нових конструкторських рішень для підвищення ефективності апарату.

Апарати які у наш час являються одними з найбільш ефективних випарних апаратів, це апарати плівкового типу як із спадаючою, так і з висхідною (або піднімаючою) плівкою. В апаратах з спадаючою плівкою, речовина що концентрується, рухається з гори в низ, а з висхідною – навпаки, знизу в гору. Їх основною перевагою можна вважати простота автоматизації процесу та управління, що пояснюється відсутністю гідростатичної депресії тобто різниці температури випару рідини, що знаходиться під тиском гідростатичного стовпа рідини в апараті, і температури випару рідини

на верхній решітці гріючої камери. Відсутність гідростатичної депресії пояснюється ще одною перевагою як високий коефіцієнт теплопередачі, тобто різниця температури випару рідини, що знаходиться під тиском гідростатичного стовпа рідини в апараті, і температура випару рідини на верхній решітці гріючої камери досить незначна. Забезпечення рівномірної товщини плівки рідини є складною задачею для даної конструкції, а іноді плівка може бути

взагалі відсутня що збільшує шанс на появу накипу на поверхні гріючих труб. Нерівномірна подача розчину обумовлюється високою чутливістю цих апаратів до нерівномірної подачі розчину, також ускладнена чистка довгих труб малого діаметру.

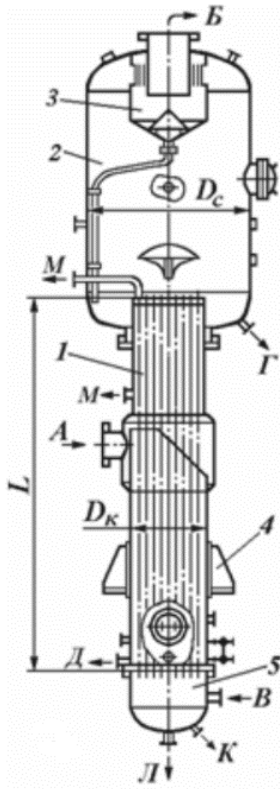


Рис. 3 Конструкція випарного апарату з висхідною гріючою плівкою

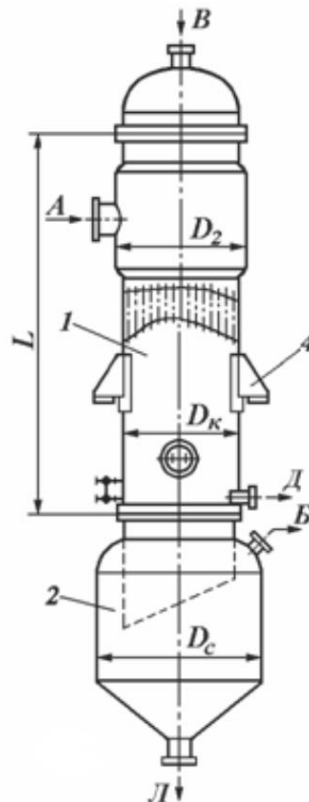


Рис. 4 Конструкція випарного апарату з спадаючою гріючою плівкою

У роторних плівкових випарних апаратах відбувається перемішування плівки, що стікає. Це суттєво підвищує інтенсивність теплообміну. Випарні апарати такого типу використовуються при концентруванні в'язких, термолабільних, та здатних до кристалізації розчинів. Також, до переваг цих апаратів можна віднести невеликий час перебування розчину в апараті та зниження піноутворення. Роторні плівкові апарати також мають високий коефіцієнт теплопередачі, але досить складні в виготовленні та економічно не вигідні при експлуатації. Також недоліками роторних випарних апаратів є складність конструкції та низька площа теплообміну (до 21 м^2), ще робить неможливим їх використання для великотоннажних виробництв.[2]

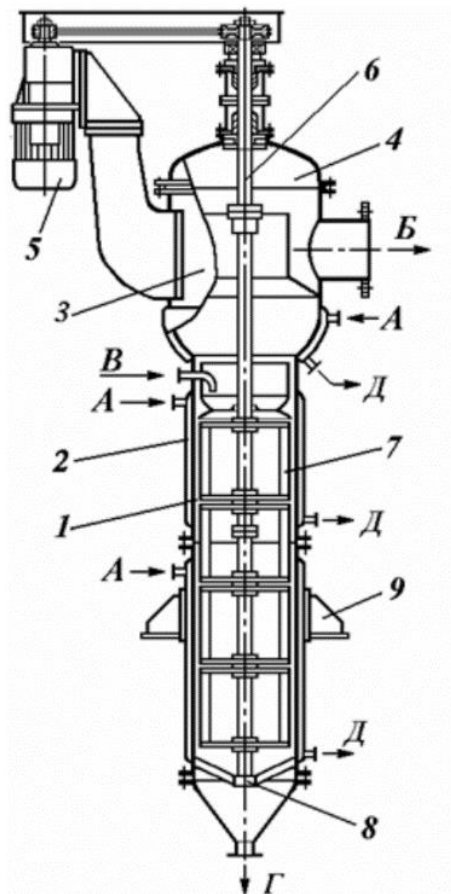


Рис. 5 Конструкція випарного апарату роторно-плівкового типу

2 ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

2.1 Аналоги конструкції плівкового випарного апарату

Більшість моделей плівкових випарних апаратів мають трубний пучок в якому рухається розчин, рух розчину на поверхні труб утворюється як із спадаючою так і з висхідною(піднімаючою) плівкою, гріюча камера в якій розташована трубна решітка заповнюється гріючою парою, розчин в трубах починає кипіти та випарюватись, пара виходить в сепаратор в якому конденсується, а розчин піднімається по трубах та зливається в нижню частину апарату де процес випарювання починається повторно до моменту отримання необхідного рівня концентрації який був поставлений на початку.

Відомий випарний апарат, що складається із гріючої пластинчастої камери і сепаратора. Пластинчата гріюча камера містить пакет пластин, розташованих між затискними плитами, штуцери подачі гріючої пари і початкового розчину, виходу пареного розчину й конденсату гріючої пари патент США №5,538,593, МПК В01D1/22, 1996р.

Недоліками даної конструкції являються: висока металоємність гріючої камери, тому що пластини не гофровані й мають низькі коефіцієнти теплопередачі; низька надійність в експлуатації й труднощі при ущільненні теплообмінних пластин через велику кількість гумових прокладок; зарос тання пластин у нижній частині гріючої камери при випарюванні розчинів, які містять солі. Також відомий найбільш близький по конструктивному рішенню (обраний як прототип) випарний апарат пластинчатого типу, який має корпус, пластинчасту гріючу камеру, що містить пакет гофрованих пластин, розташованих між затискними плитами, штуцери подачі гріючої пари і початкового розчину, виходу упареного розчину й конденсату гріючої пари, патент США №5174370, МПК В01D1/22, 1992. У пластинчатій гріючій камері розчин входить через нижній колектор у порожнини, що обігріваються з обох боків через стінку гріючою парою, піднімається вгору, де скипає, і виходить через верхній колектор у розчинну й сепараційну зони корпусу апарата. Гріюча пара надходить через верхній бічний колектор у передбачені для неї порожнини, де конденсується. Конденсат гріючої пари виводиться з нижніх колекторів.

Недоліками відомої конструкції являються: висока металоємність гріючої камери через низькі коефіцієнти теплопередачі, обумовлені нерівномірністю швидкостей руху розчину до бічного верхнього колектора, а також низькою середньою швидкістю руху розчину; кипіння розчину у верхній частині пластини перед входом у колектор є для виходу упареного розчину й рушійною силою руху розчину і при інтенсивному скипанні запирає рух (створює великий опір руху); кипіння в порожнинах пластинчастої гріючої камери приводить до інтенсивного заростання поверхонь при випарюванні розчинів, які містять солі; велика кількість гумових прокладок обумовлює низьку надійність експлуатації й труднощі при ущільненні теплообмінних пластин.

2.2 Опис прототипу конструкції плівкового випарного апарату

Найбільш близькою за ідеєю та конструктивними особливостями є конструкція пластинчатого випарного апарату СССР №2399186 кл. B01D1/22, 1966. пластинчатому випарному апараті, який включає корпус, пластинчасту гріючу камеру, що містить пакет пластин, розташованих між затискними плитами, штуцери подачі гріючої пари і упарюваного розчину, а також відводу конденсату гріючої пари, упареного розчину й вторинної пари, згідно з винаходом, в пластинчатій гріючій камері виконані вертикальні колектори для подачі гріючої пари, розташовані в бічній частині пакета пластин, а вхід упарюваного розчину і його вихід з гріючої камери розташовані з протилежних торців пакета пластин.

3 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ

Випарники плівкового типу отримали розповсюдження, оскільки в них відсутній статичний напір рідини, отже процес кипіння йде без підвищення температури, що особливо важливо при випарюванні під вакуумом. У цих апаратах досить малий час контакту рідини з поверхнею нагріву (менше хвилини), а тому при обробці термолабільних матеріалів, та харчових продуктів відбувається без суттєвої зміни його основних властивостей. Плівкові роторні випарники можуть працювати з дуже малою різницею температур, а це дозволяє збільшити число корпусів, знизити питому витрату гріючої пари.

Останнім часом винахідницька активність промислово розвинутих країн у напрямку розробки нових конструкцій плівкових апаратів і їх складових частин за останні роки підвищилась. Провідними державами у цій галузі є: США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія. Запатентовані винаходи й корисні моделі стосуються як апарата в цілому, так і його складових частин, конструкції й матеріалу тощо.

На сьогодні в Україні в більшості випадків використовуються застарілі конструкції випарних апаратів або замовляються у закордонних виробників. За кордоном протягом останніх років розвиток випарних апаратів значно перевищує рівень розвитку в Україні, провідні компанії Європи та Америки випускають модернізовані моделі з оновленими конструкціями.

Відомо, що випарювання потребує значних затрат енергії. Одним із шляхів зниження енергозатрат при випарюванні є вдосконалення конструкції випарних апаратів, завдяки чому підвищується інтенсивність кипіння розчину і, як результат, досягається зменшення затрат енергії. В цьому напрямку досить перспективним є застосування випарних апаратів (ВА) з пластинчастою гріючою камерою.

Пластинчасті гріючі елементи мають високі коефіцієнти теплопередачі, малу металоємність а також високу надійність роботи. Пластинчастий ВА має корпус, сепаратор та пластинчасту гріючу камеру, яка являє собою пакет пластин, що розташовані між стискаючими плитами, а також штуцери подачі гріючого пару та

розчину, що випарюється, штуцери виводу упареного розчину, вторинної пари та конденсату. В гріючій камері треба забезпечити вертикальні колектори для подачі гріючого пара і розташувати їх в бокової частині пакету пластин. Вхід розчину та його вихід із гріючої камери повинен розташовуватись з протилежних торців пакету пластин. Пакет пластин розподілено на секції ступені випарювання. Кожна секція має три пластини. Перша пластина секції ступені випарювання має у верхній частині отвір для проходу пара. Нижче розташовані отвори для розчину та відведення конденсату. Друга пластина має аналогічні поєднані отвори для перетікання розчину. Між собою перша і друга пластина утворюють герметичну порожнину для пара і конденсату. В нижній частині порожнини є вхід у вертикальний гідрозатворний канал конденсату. Верхня частина гідрозатворного каналу має в другій пластині отвір, поєднаний з герметичною порожниною пара і конденсату наступної стадії випарювання. Третя пластина у верхній частині має отвір для проходу пара, нижче розташовані отвори для перетікання розчину та конденсату. В базовому варіанті пластинчастого випарного апарата з винесеною зоною кипіння, апарат має трубу закипання розчину, що розташована над пластинчастою гріючою камерою. При цьому верхня частина труби закипання розташована на рівні розчину в корпусі випарного апарату. Вхід розчину, що випарюється і вихід його розташовані відповідно зі сторони нижнього та верхнього торців пакету пластин. Гріюча камера може бути розбірною або зварною.

3.1 Переваги та недоліки типових конструкцій плівкових випарних апаратів

На діючих підприємствах перебувають у експлуатації такі апарати двох типів:

- 1) з вертикально розташованим циркуляційним насосом та з камерою, що гріє, розташованої співвісно з сепаратором;
- 2) з горизонтально розташованим циркуляційним насосом і винесеною камерою, що гріє. Гідність апаратів першого типу – їх компактність.

Для встановлення апаратів спеціальних несучих конструкцій не потрібно - за допомогою кільцевої опори їх встановлюють безпосередньо на фундаменті. Недоліком цих апаратів є необхідність встановлення спеціального редуктора між вертикальним

валом циркуляційного насоса і горизонтальним валом мотора. Крім того, обслуговування циркуляційних насосів та їх демонтаж дуже трудомісткі. Для виконання цих операцій потрібно багато часу.

Значною мірою зазначених недоліків позбавлені випарні апарати з горизонтальним розташуванням циркуляційного насоса. Недоліки їх — необхідність встановлення на спеціальних несучих конструкціях окремо сепаратора і камери, що гріє, а також потреба в приблизно вдвічі більшій виробничій площі, ніж для апаратів з вертикальним циркуляційним насосом. Отже, основна перевага таких апаратів – високі коефіцієнти теплопередачі (у 3-4 рази вищі, ніж у апаратів з природною циркуляцією), а, отже, і значно менші поверхні теплопередачі під час випарювання розчинів. Основний недолік – витрати енергії на роботу насоса.

3.2 Шляхи покращення ефективності плівкових випарних апаратів

Найбільш вагомими параметрами оцінки ефективності розробки конструкції випарного апарату є коефіцієнт теплопередачі, енергозатрати на процес випарювання, ціноутворення та матеріалоємність(габаритність).

Одним з методів досягнення більшої ефективності випарювання є видозмінення поверхні випарювання, створення форми яка буде забезпечувати більший поверхневий контакт речовини з стінками апарату а отже підвищувати коефіцієнт теплопередачі.

Встановлення електронасосу також може підвищити ефективність роботи апарату та збільшити швидкість циркуляції розчину.

Зміна конструкції гріючої камери може вплинути на матеріалозатрати, що також позитивно скажеться на ціні апарату.

Використання альтернативного теплоносія для нагрівання розчину, тощо.

3.3 Сутність розробки та модернізації плівкового випарного апарату

Для винаходу поставлено задачу вдосконалення плівкового випарного апарата, зниження його в металоємності за рахунок підвищення коефіцієнта теплопередачі, а також надійності в експлуатації. Поставлена задача вирішується завдяки тому, що в плівковому випарному апараті, який включає корпус та пластинчасту гріючу камеру, буде встановлений пакет пластин, які розташовані між затискними плитами з

електронагрівальними елементами, а також штуцера для відводу вторинної пари, конденсату і упареного розчину.

Подаватися розчин буде з вертикальних колекторів в торцеву частину пластин через яку буде стікати плівкою по пластинам. Нагрівальні елементи будуть вмикатися та вимикатися автоматично виконуючи функцію термостату для підтримання постійної температури на поверхні стінок пластин. Упарений розчин буде перекачуватися вакуум-насосом для повторного здійснення процесу випарювання, утворюючи замкнений цикл, він буде продовжуватись до утворення необхідної концентрації розчину. Завдяки використанню електроенергії як теплоносія можна буде керувати кількістю теплоти яку буде необхідно підводити для підтримання процесу випарювання та на відміну від використання гріючої водяної пари зникає необхідність використання парогенераторів що знижує фінансові затрати на розробку та експлуатацію плівкового випарного апарату.

Використання пластин як контактних поверхонь замість трубних обумовлено більш простим процесом виготовлення конструкції випарної камери.

3.4 Схема роботи плівкового випарного апарату пластинчатого типу з електронагрівальними елементами

Робота плівкового випарного апарату плівкового типу (фіг. 1). Розчин лимонної кислоти подається штуцер 1 в на розподільну систему 2 проходячи гріючу камеру попадаючи на пакет пластин 3 які нагріваються електронагрівальними елементами, розчин закипає і утворює пару яка підіймається і проходить через штуцер 4 в сепаратор, в якому відбувається розділення газорідної фази при якій утворюється конденсат, упарений розчин виходить зі штуцера 5 до якого підключений вакуум насос який перекачує розчин в штуцер 1 де цикл починається знову до досягнення необхідної концентрації, залишки упареного розчину виходять через злив 6.

Складові пластинчатої гріючої камери (фіг. 2). Гріюча камера складається з пакету зварених між собою плоских поверхонь 3 які затиснуті між пластинами 1 болтами 5 та гайками 6, в об'ємі пластин виконані поглиблення для встановлення нагрівальних елементів 2 з обох боків пластин, система з пластин поєднана між собою шпильками 4.

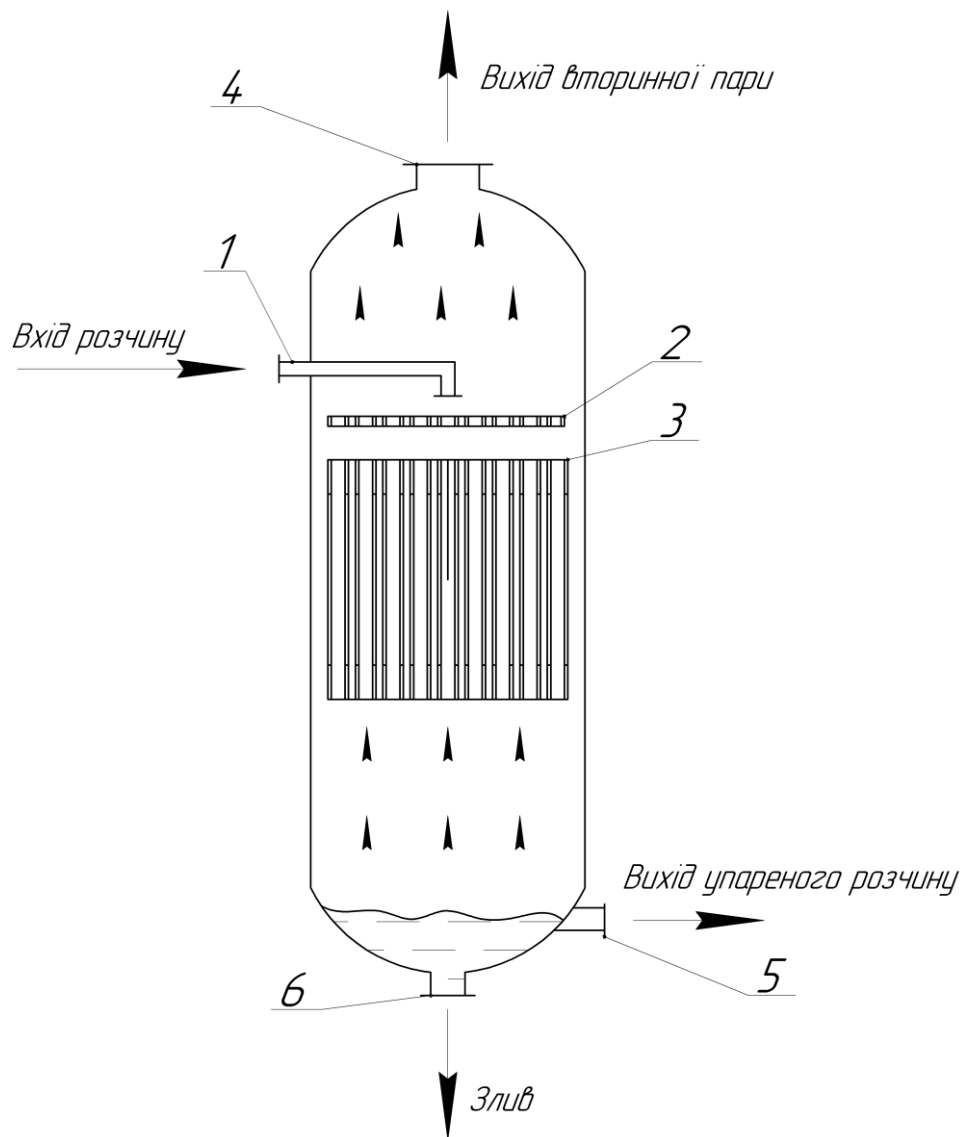
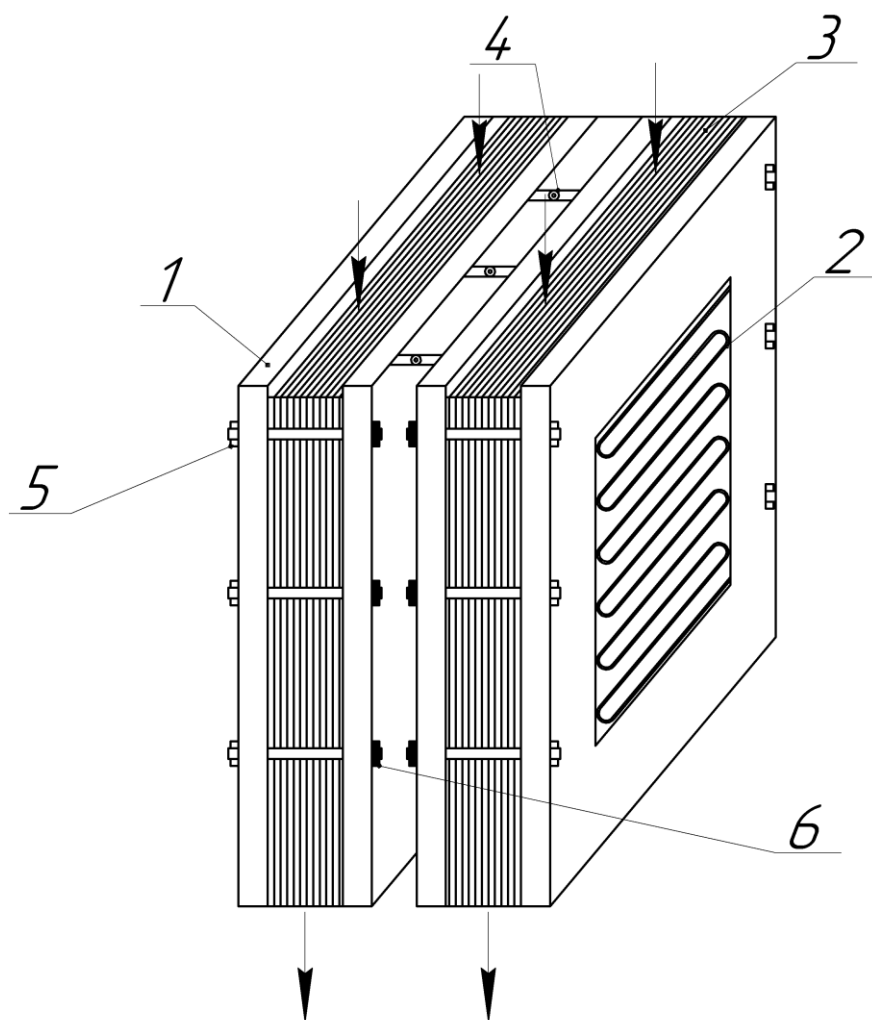


Рис. 6 Екскіз плівкового випарного апарату пластинчатого типу з електронагрівальними елементами



Упарений (нагрітий)
розчин

Рис.7 Розбірна гріюча камера, загальний вид

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИБОРУ ПОВЕРХНІ ВИПАРЮВАННЯ РОЗЧИНУ ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ

4.1 Аналіз систем реалізації моделювання та вибір програмного забезпечення. Мета і задачі комп'ютерного моделювання

Комп'ютерне моделювання використовується для аналізу складних систем та процесів на основі комп'ютерної моделі. Завдяки сучасному програмному забезпеченню легко можна створити тривимірну деталь або модель та провести дослідження. Комп'ютерна модель дозволяє неоднократно проводити необхідні випробування. Вона допомагає прослідити процеси що відбуваються з різними матеріалами або поведінку рідини всередині апаратів.

Зараз з допомогою комп'ютерів можна легко провести випробування на міцність, стійкість, навантаження необхідної конструкції та інші. При моделюванні рідких середовищ можна дослідити рух рідини, температурні зміни, вплив різних процесів на рідину. Подібні дослідження проводять за допомогою таких програмних продуктів як SolidWorks – для дослідження твердих тіл та ANSYS – для дослідження рідких середовищ.

Для даної роботи дослідження було реалізоване в універсальній програмній системі кінцево-елементного аналізу ANSYS.

Моделювання проведено з метою дізнатися показники температури, коефіцієнта тепловіддачі, швидкість деформації зрізу, рівня та товщини утворення плівки розчину на поверхнях труб та пластин. Для забезпечення поставленої мети було сформульовано наступні задачі:

1. Моделювання руху розчину лимонної кислоти в трубі діаметром 20 мм.
2. Моделювання руху розчину лимонної кислоти в трубі діаметром 40 мм.
3. Моделювання руху розчину лимонної кислоти в трубі діаметром 80 мм.
4. Моделювання руху розчину лимонної кислоти по пластинах відстань між якими 20 мм.

5. Моделювання руху розчину лимонної кислоти по пластинах відстань між якими 40 мм.
6. Моделювання руху розчину лимонної кислоти по пластинах відстань між якими 80 мм.

4.2 Моделювання руху розчину лимонної кислоти по пластинчатій поверхні.

На панелі функцій обираємо модуль Fluid Flow (CFX), ПКМ по Geometry, Insert Geometry. На панелі функцій обираємо Mesh, підключаємо Geometry до Mesh, заходимо в Mesh, задаємо назви поверхонь, Named Selection, Inlet, Wall, Opening, Symmetry.

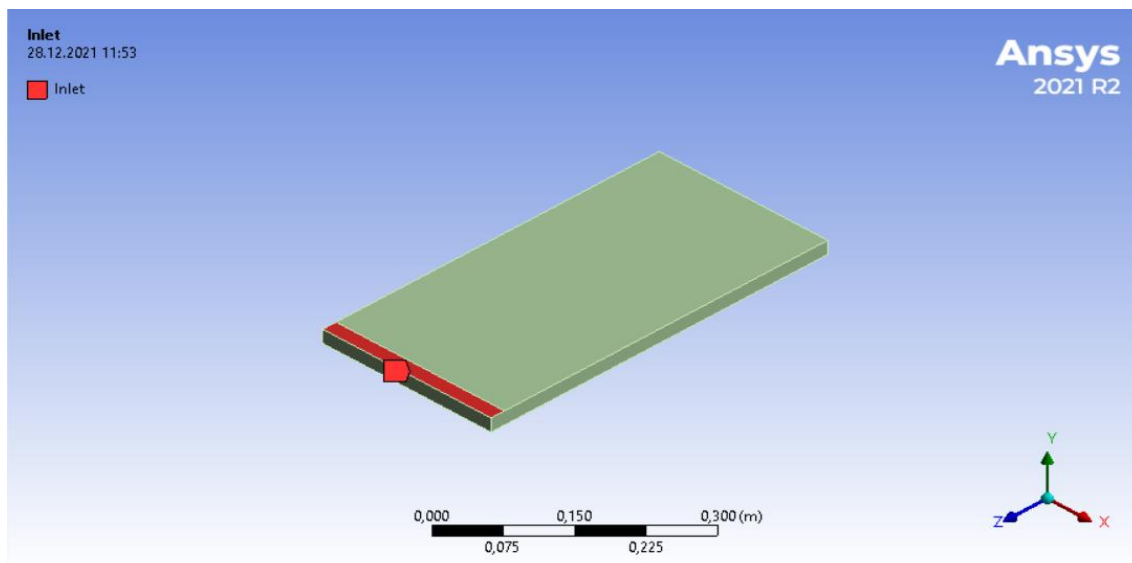


Рис.8 Модель пластини Mesh, Named Selection, Inlet.

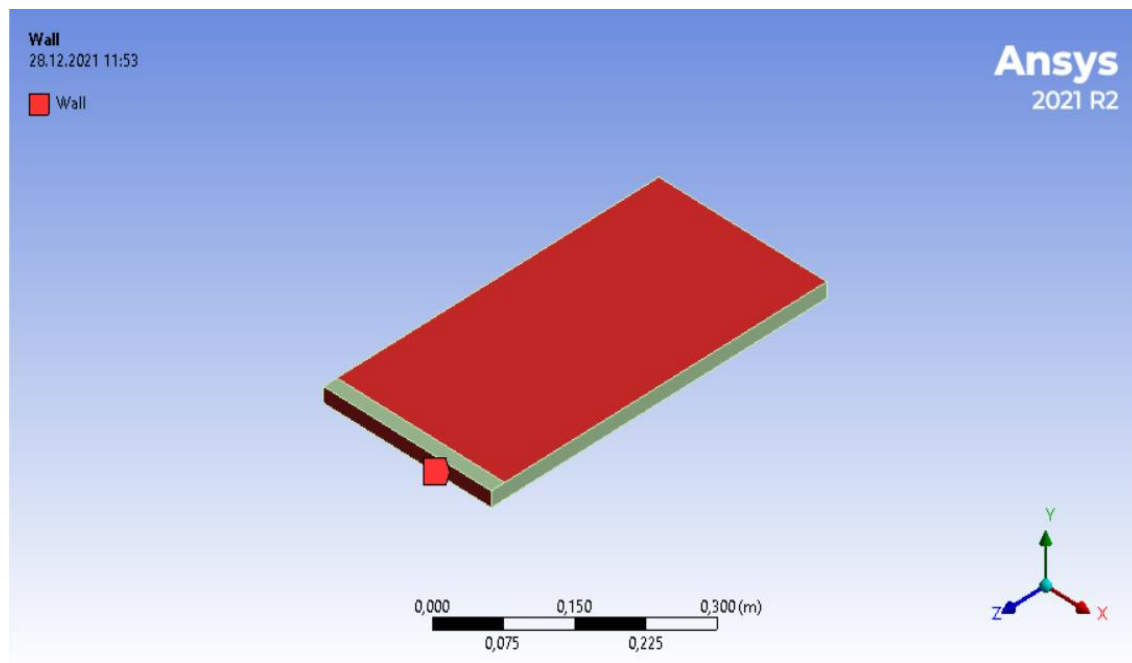


Рис.9 Модель пластини Mesh, Named Selection, Wall.

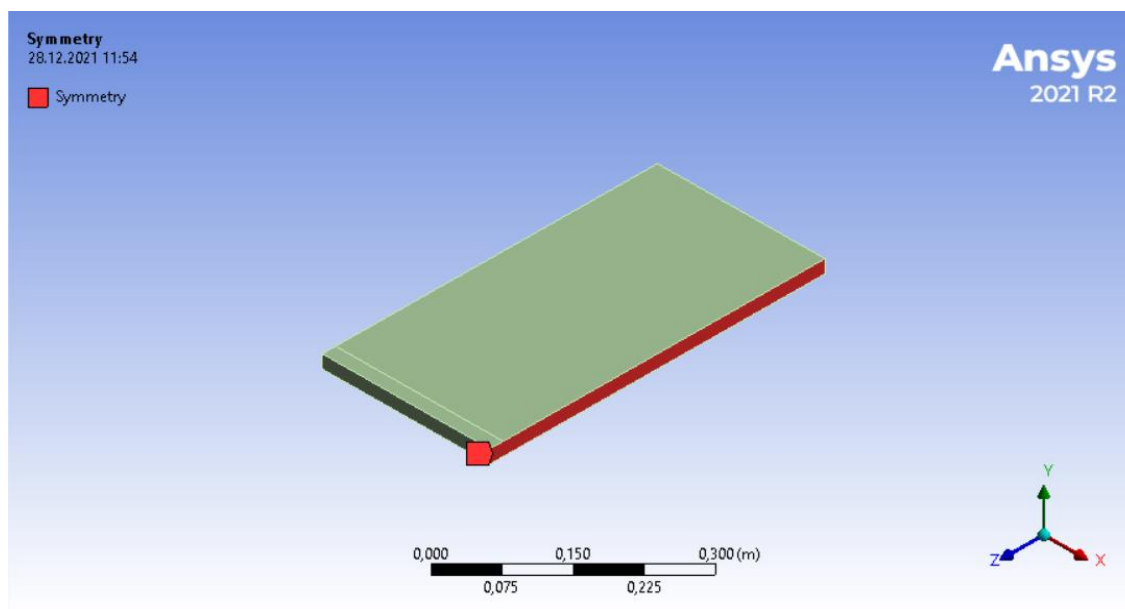


Рис.10 Модель

пластини Mesh Named Selection, Symmetry.

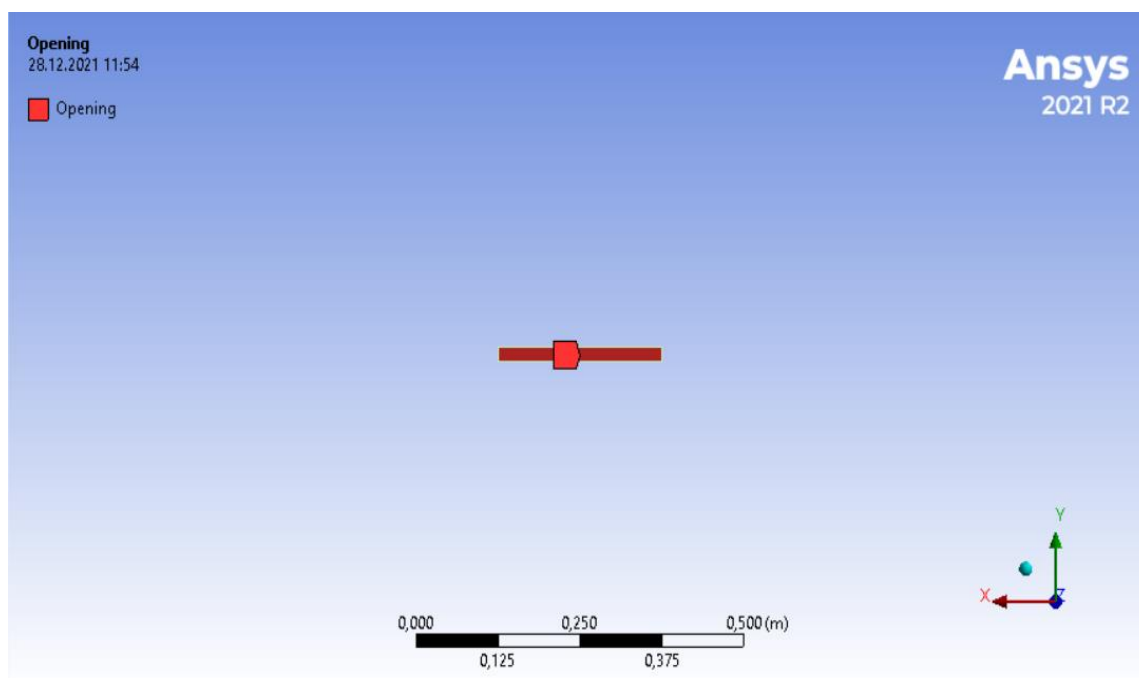


Рис.11 Модель пластини Mesh, Named Selection, Opening.

В модулі Mesh, ПКМ по Mesh, Insert, Method, заповнюємо ряди які підсвічені жовтим кольором, Geometry, ЛКМ по тілу, Geometry, Apply, Method, Tetrahedrons, Generate, в вкладці Sizing, Use Adaptive Sizing обираємо Yes, Resolution виставляємо 7, Generate.

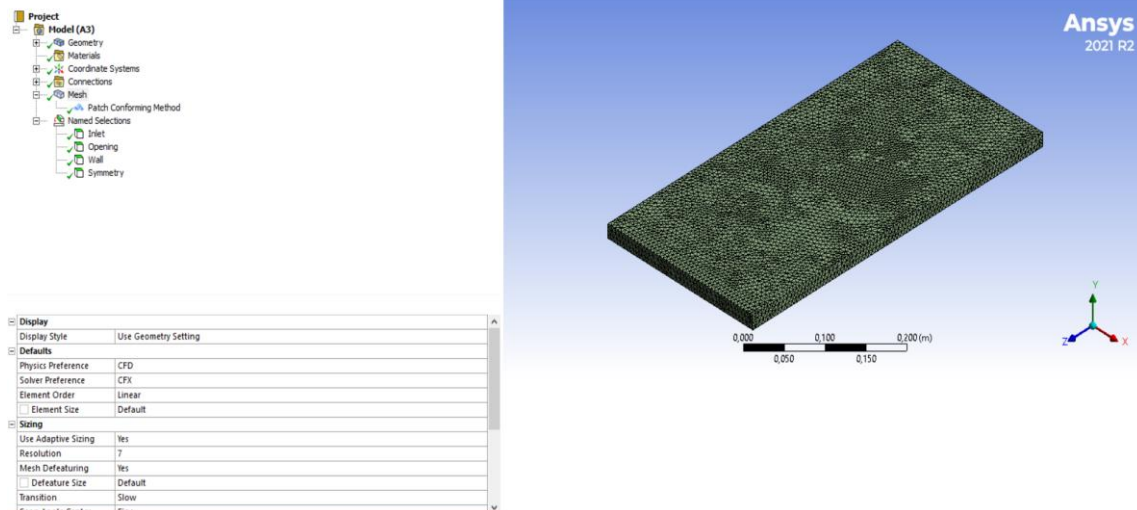


Рис.12 Модель пластини Mesh, Path Conforming.

Заходимо в Setup, Materials, Insert Material, називаємо Citric Acid, в вкладці Material Properties, Molar Mass вказуємо 192.124 [г/моль], Density вказуємо 1233 [кг/м³], активуємо Specific Heat Capacity вказуємо 4015 [Дж/кг*К], активуємо Dynamic Viscosity і задаємо 0.00751[Па*с], активуємо Thermal Conductivity і задаємо 0.4 [Вт/м*К].

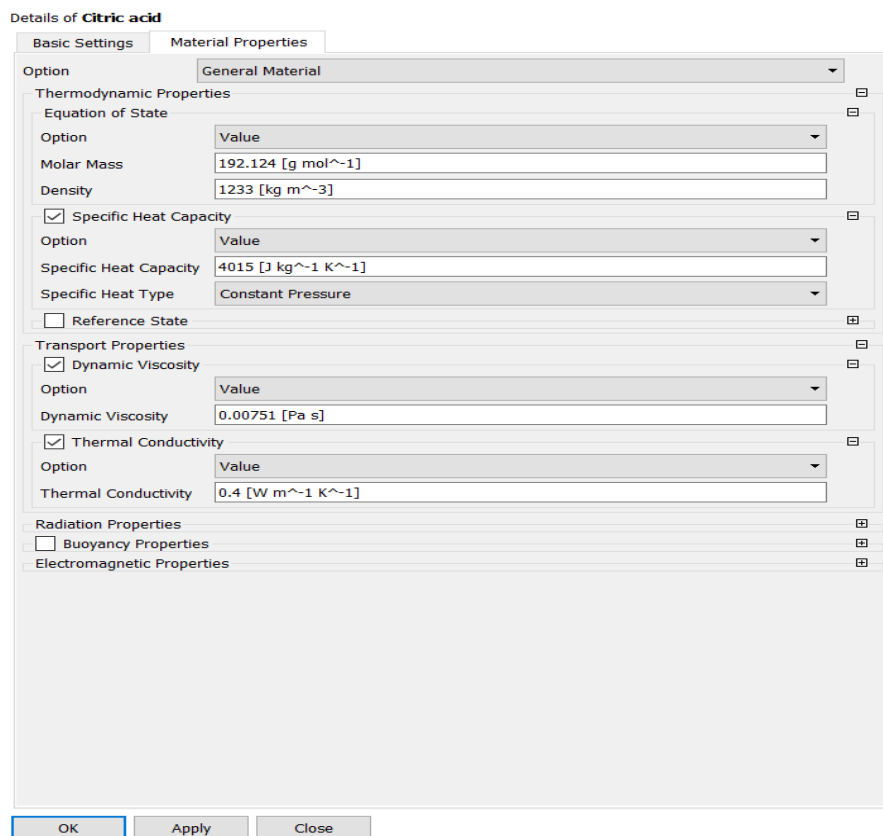


Рис.13 Модель пластини Material, Citric Acid.

В налаштуваннях Default Domain, створюємо назву рідини Citric Acid та Air в Fluid and Particle Definitions..., Material обираємо Citric Acid та Air, Option обираємо Continuous Fluid, Reference Pressure обираємо 1 атм., в вкладці Fluid Models, Heat Transfer, Option обираємо Thermal Energy, активуємо Homogeneous Model, OK.

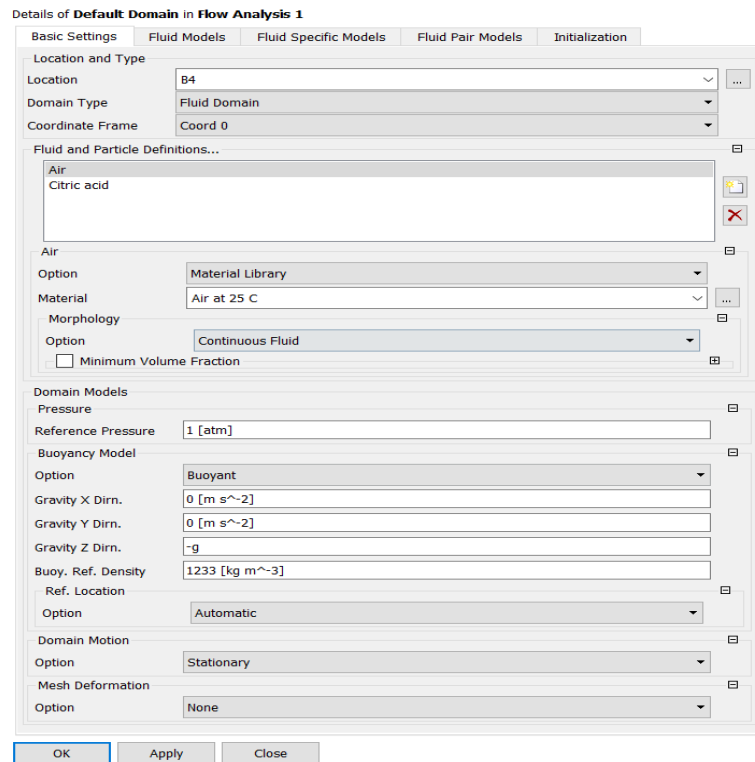


Рис.14 Модель пластины, Default Domain, Basic Settings.

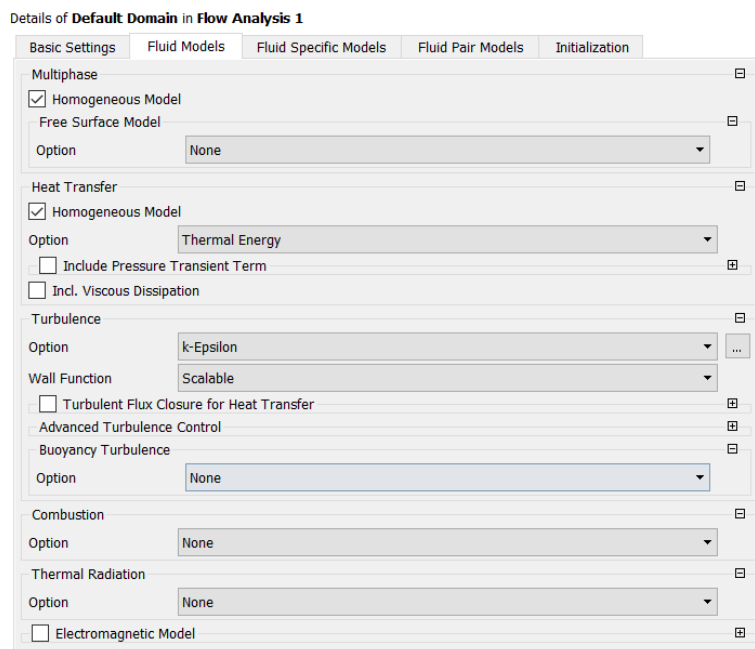


Рис.15 Модель пластины, Default Domain, Fluid Models.

В Fluid Pair Models, активуємо Surface Tension Coefficient та задаємо 0.044 [Н/м].

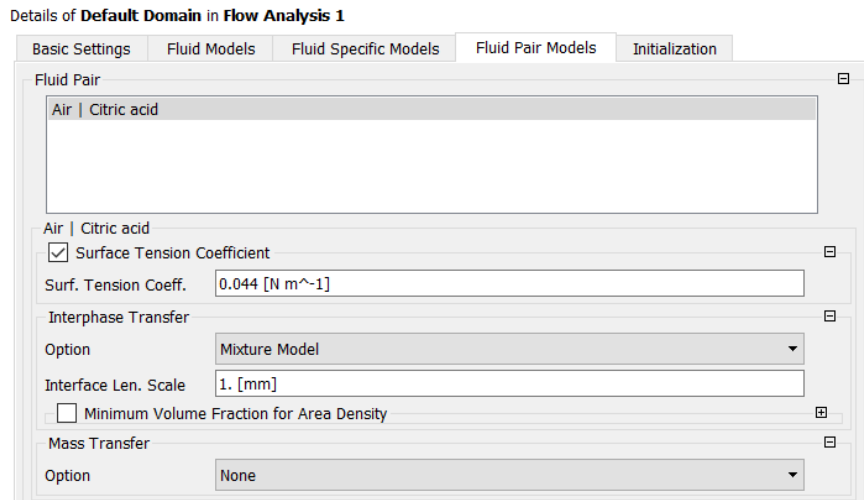


Рис.16 Модель пластины, Default Domain, Fluid Pair Models.

В Default Domain, створюємо Boundary, називаємо Inlet.

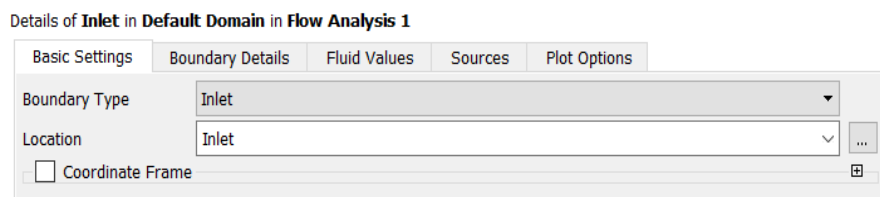


Рис.17 Модель пластины, Default Domain, Inlet.

В Boundary Details, Normal Speed задаємо 0.1 [м/с], Heat Transfer обираємо Static Temperature та задаємо 70 [°C].

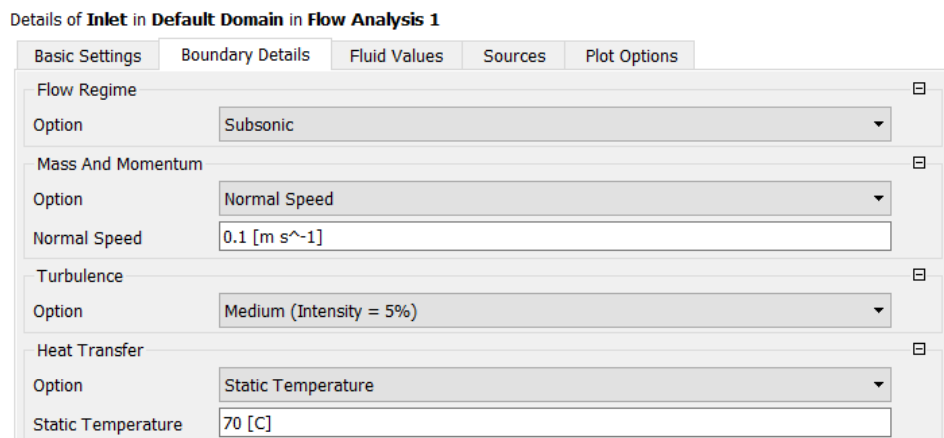


Рис.18 Модель пластины, Default Domain, Inlet, Boundary Details.

В Fluid Values, Boundary Conditions задаємо Volume Fraction для Air 0 для Citric Acid 1.

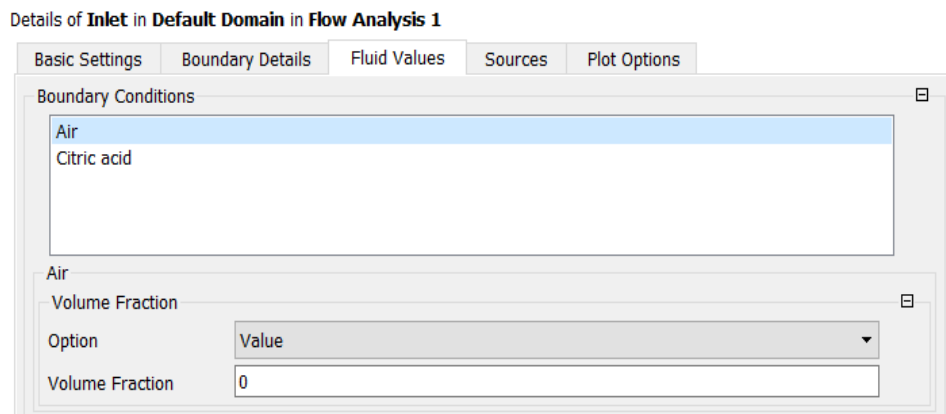


Рис.19 Модель пластины, Default Domain, Inlet, Air Volume Fraction.

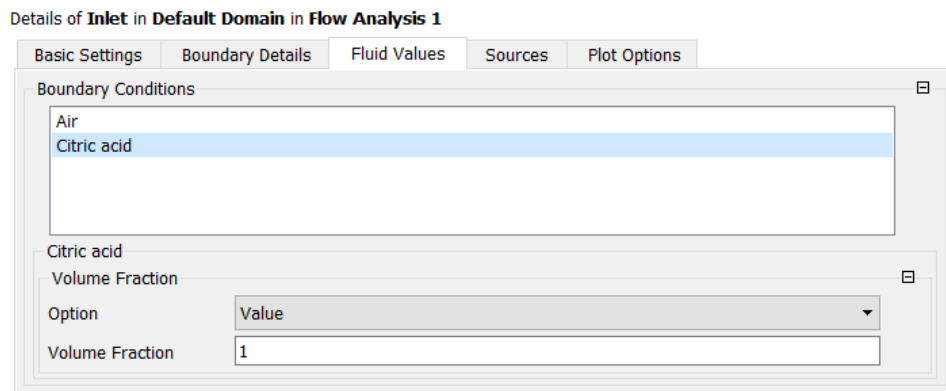


Рис.20 Модель пластины, Default Domain, Inlet, Citric Acid Volume Fraction.

В Default Domain, створюємо Boundary, називаємо Opening.

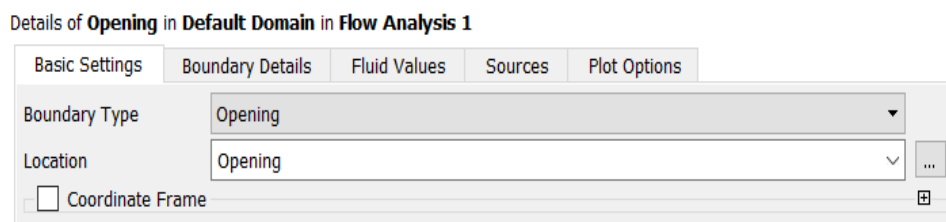


Рис.21 Модель пластины, Default Domain, Opening.

Boundary Details, Relative Pressure задаємо 1 [атм], Opening Temperature задаємо 30 [°C].

В Fluid Values, Boundary Conditions задаємо Volume Fraction для Air 0 для Citric Acid 1.

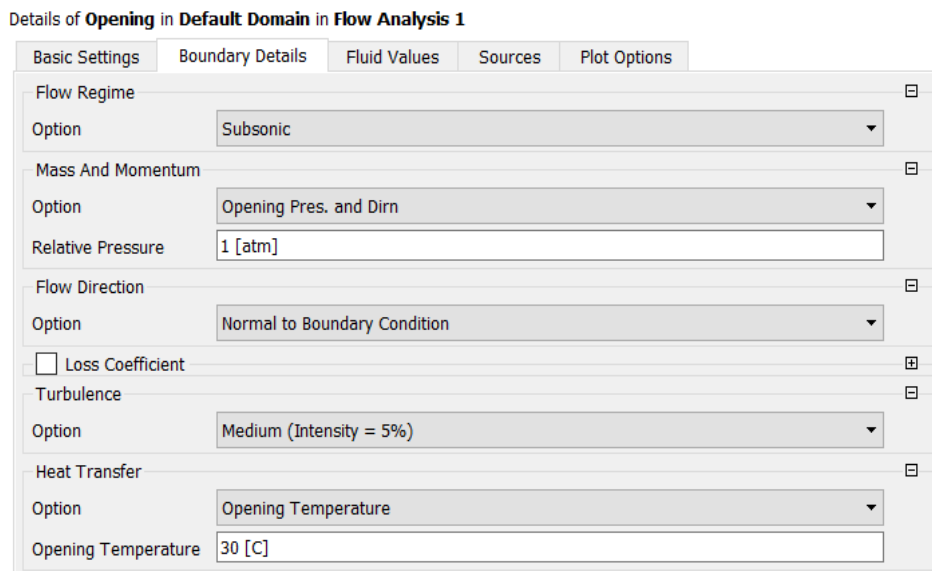


Рис.22 Модель пластины, Default Domain, Opening, Boundary Details.

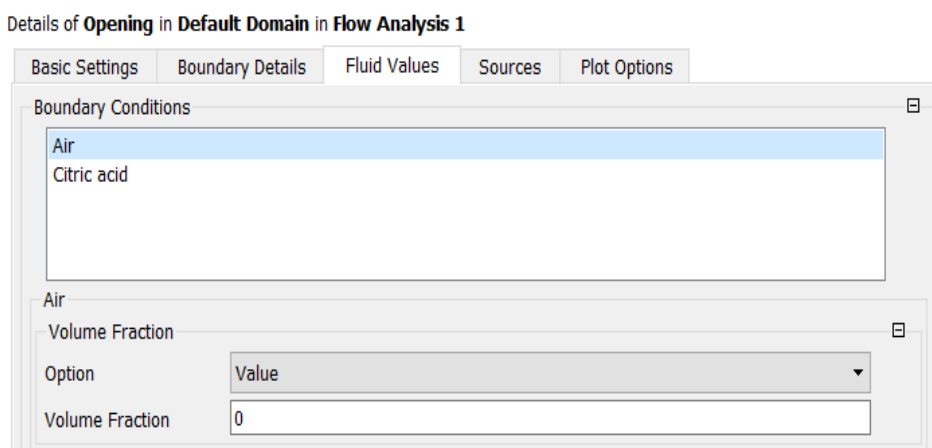


Рис.23 Модель пластины, Default Domain, Opening, Air Volume Fraction.

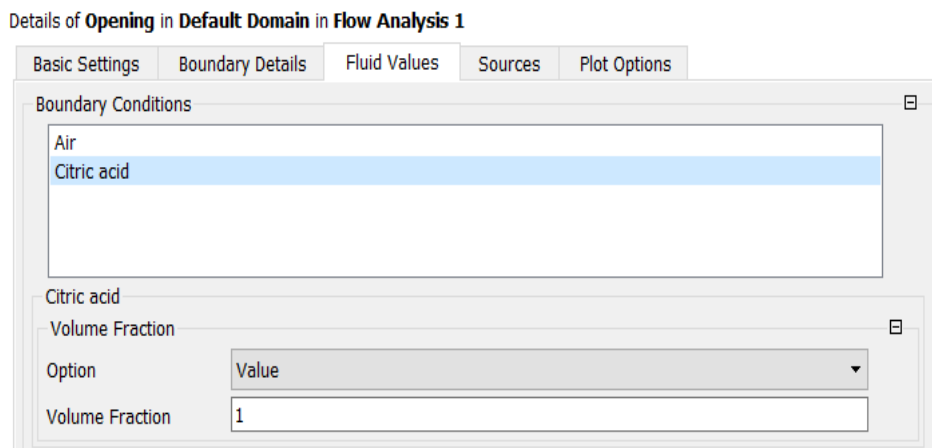


Рис.24 Модель пластины, Default Domain, Opening, Citric Acid Volume Fraction.

В Default Domain, створюємо Boundary, називаємо Symmetry.

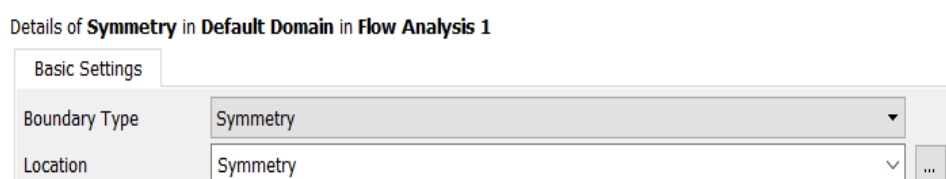


Рис.25 Модель пластины, Default Domain, Symmetry.

В Default Domain, створюємо Boundary, називаємо Wall.

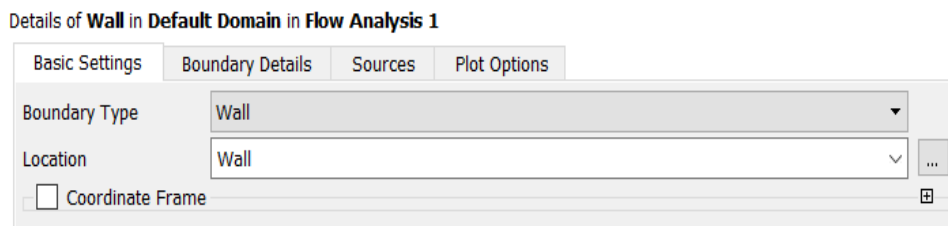


Рис.26 Модель пластини, Default Domain, Wall, Basic Settings.

В Wall, Boundary Details, Heat Transfer обираємо Fixed Temperature і задаємо 77 [°C].

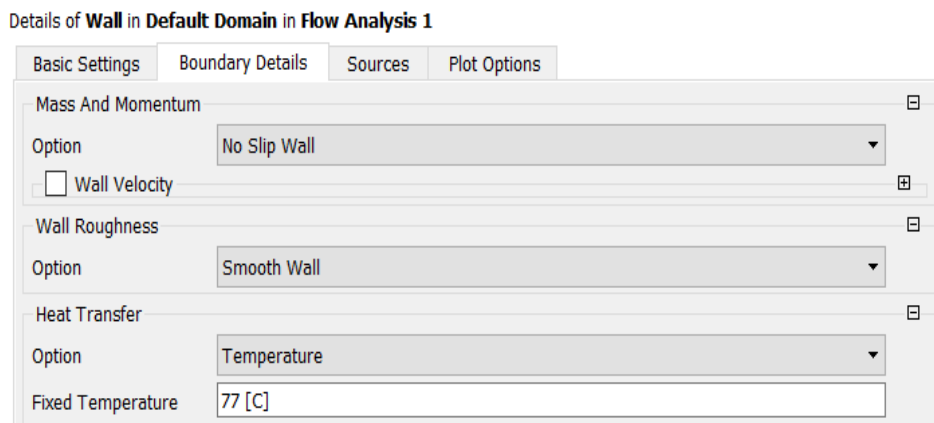


Рис.27 Модель пластини, Default Domain, Wall, Boundary Details.

Заходимо в Global Initializations, Velocity Type обираємо Cartesian, для осей U,V,W задаємо 0, Relative Pressure 1 [атм], Temperature задаємо 77 [°C].

В Global Initializations, Fluid Settings задаємо Volume Fraction для Air 1 для Citric Acid 0.

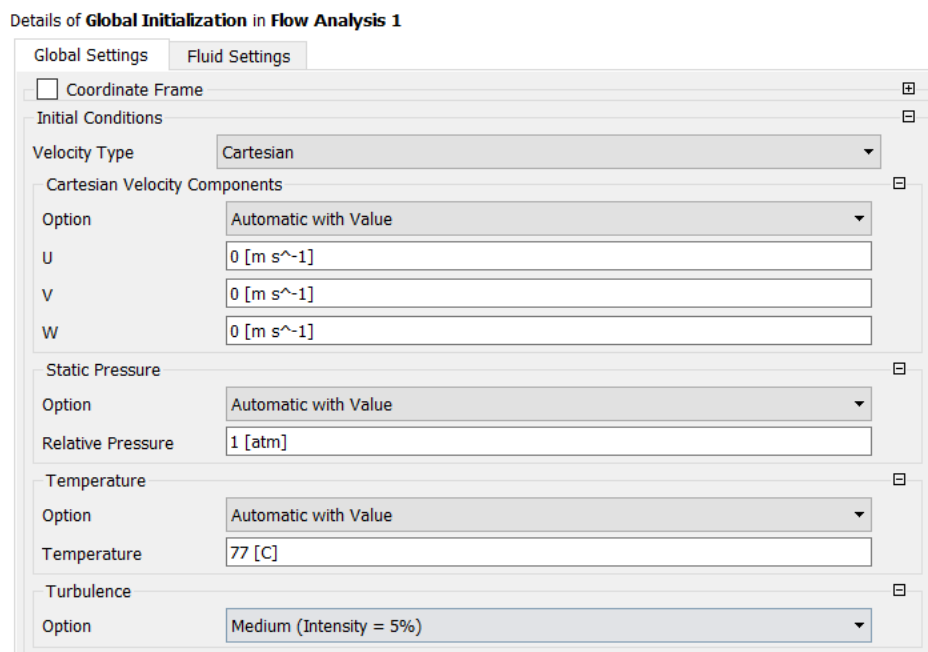


Рис.28 Модель пластини, Global Initialization, Global Settings.

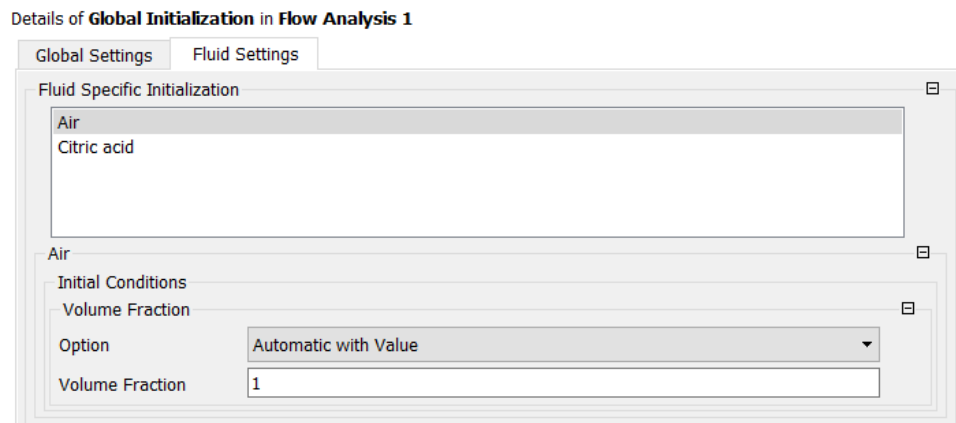


Рис.29 Модель пластины, Global Initialization, Fluid Settings, Air Volume Fraction.

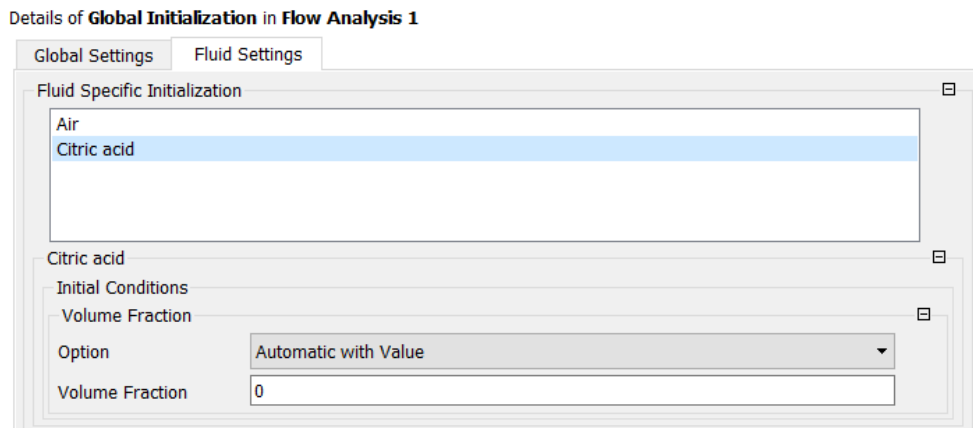


Рис.30 Модель пластины, Global Initialization, Fluid Settings, Citric Acid Volume Fraction.

В Analysis Type, Option задаємо Transient, задаємо Total Time 3 [c], Timesteps 0.001 [c].

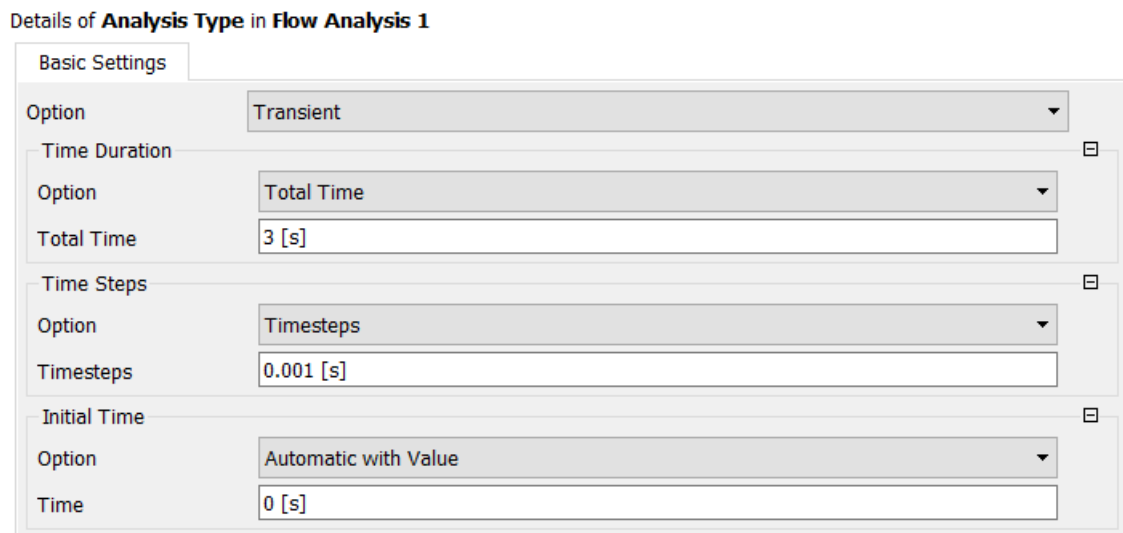


Рис.31 Модель пластины, Analysis Type.

В Output Control, створюємо Transient Results, Output Frequency задаємо Every Timestep.

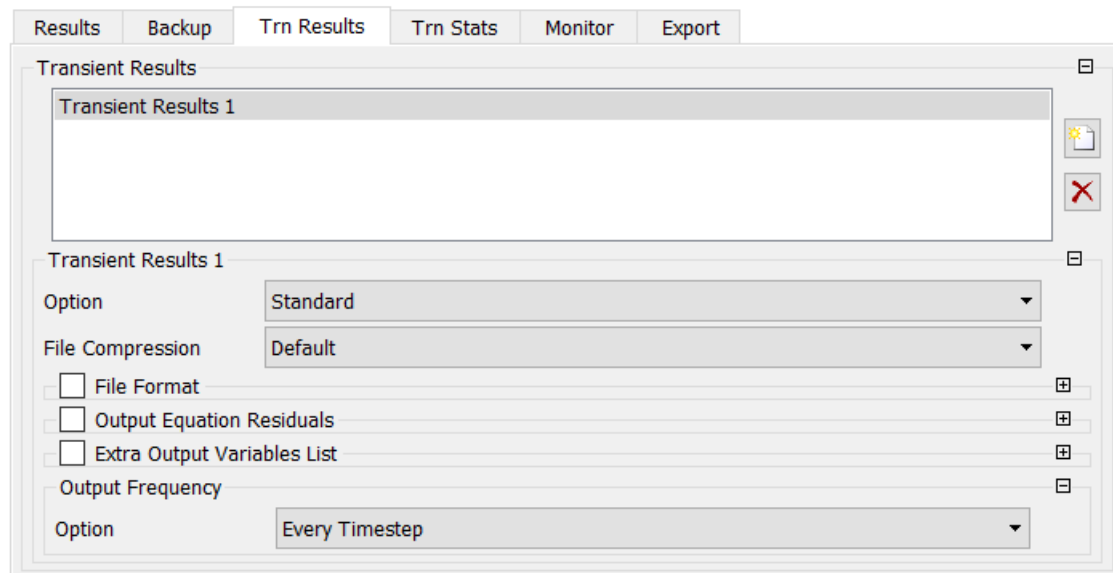


Рис.32 Модель пластини, Output Control, Transient Results.

Запускаємо Solution.

Заходимо в Results, створюємо Plane, **вибираємо вісь**, створюємо Contour, називаємо Citric Acid VF, Location обираємо Plane, Variable вибираємо Citric Acid Volume Fraction.

Створюємо Contour, називаємо Temperature, Location обираємо Plane, Variable вибираємо Temperature.

Створюємо Contour, називаємо Citric Acid Wall Heat Trans Coef , Location обираємо Wall, Variable вибираємо Wall Heat Transfer Coefficient.

Створюємо Contour, називаємо Citric Acid Shear Strain Rate, Location обираємо Wall, Variable вибираємо Citric Acid Shear Strain Rate.

Моделювання проводимо аналогічно для моделей пластин з відстанню між поверхнями 20, 40 і 80 мм. Розміри (див. креслення БІ-11.0251032.001-10ПЗ). Результати моделювання (див. креслення БІ-11.0251032.002-10ПЗ).

4.3 Аналіз результатів фізичних параметрів для пластин

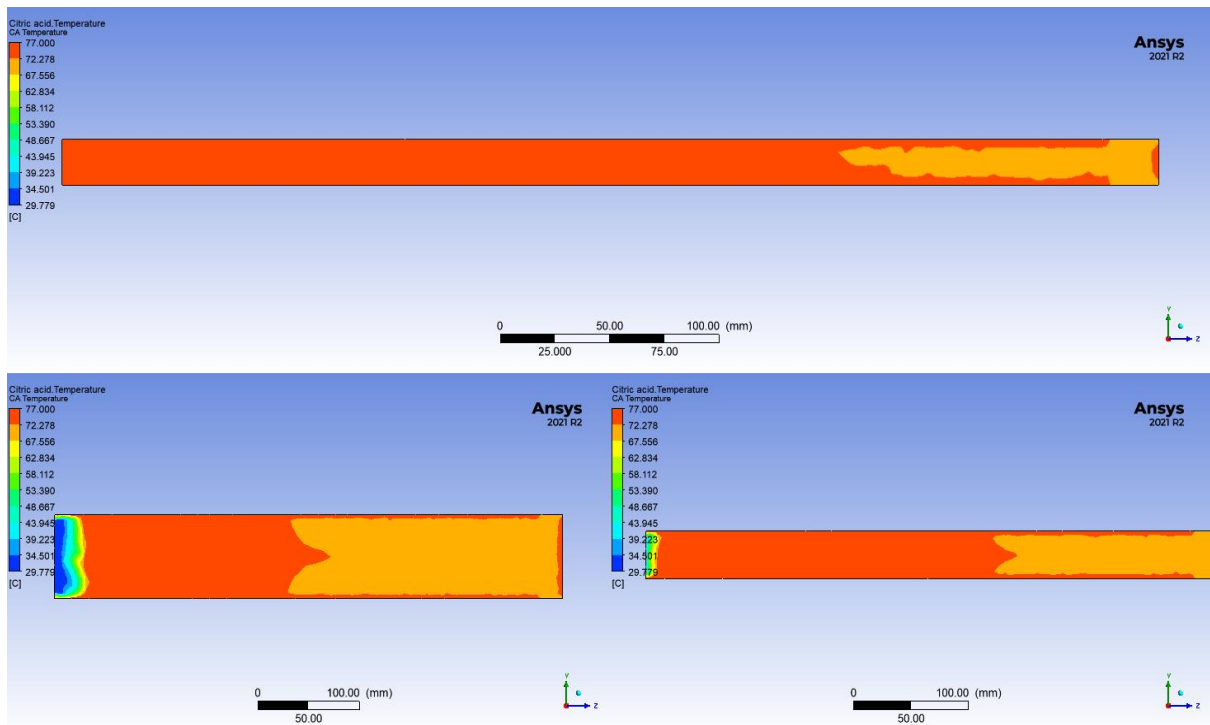


Рис.33 Модель пластин (20мм, 40мм, 80мм), Results, Contour, Citric Acid Temperature.

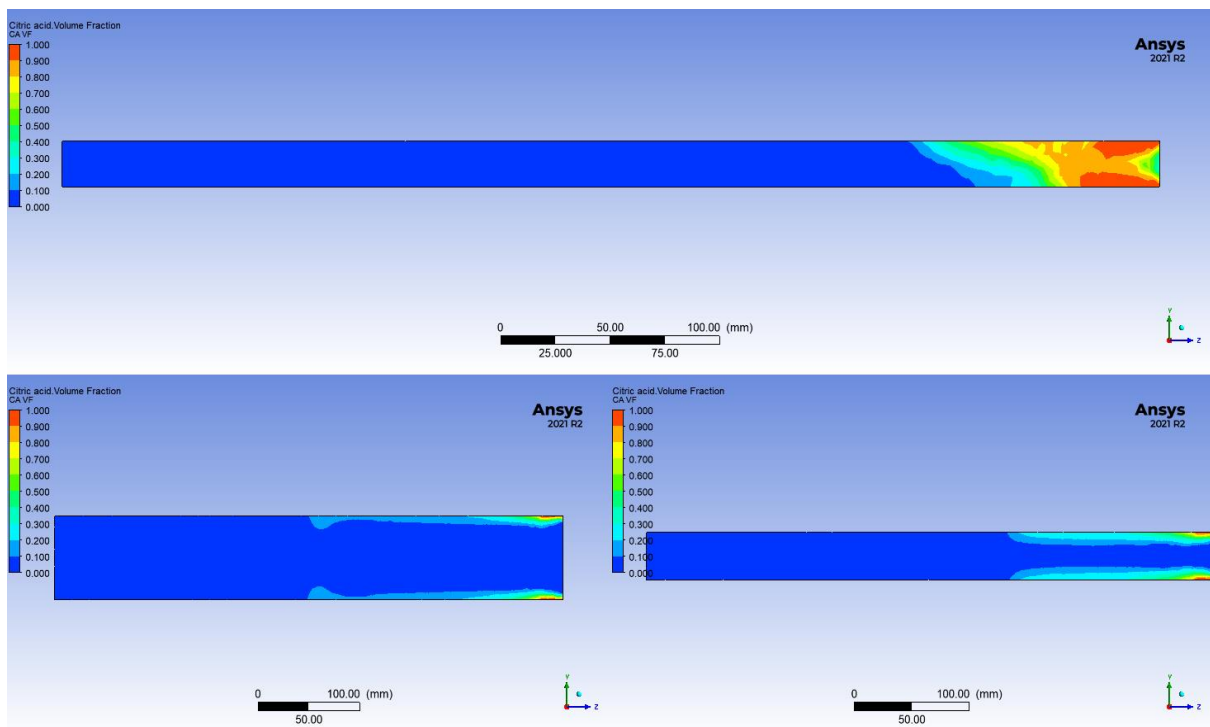


Рис.34 Модель пластин (20мм, 40мм, 80мм), Results, Contour, Citric Acid Volume Fraction.

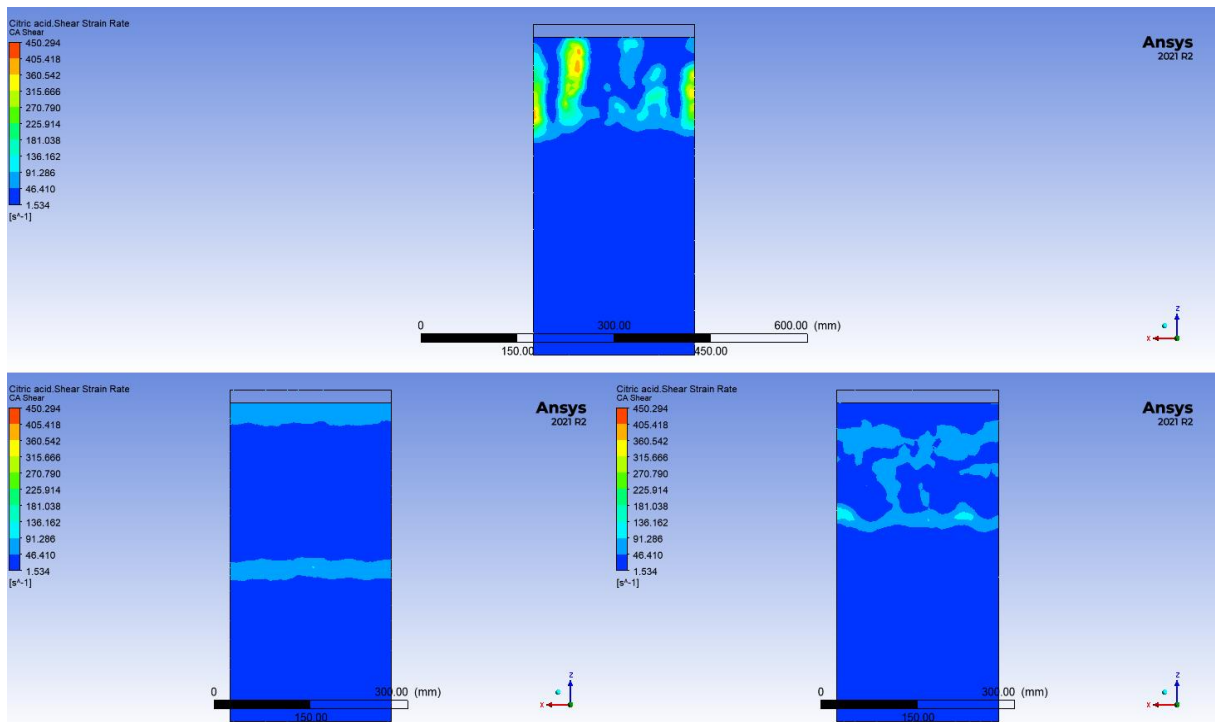


Рис.35 Модель пластин (20мм, 40мм, 80мм), Results, Contour, Citric Acid Shear Strain Rate.

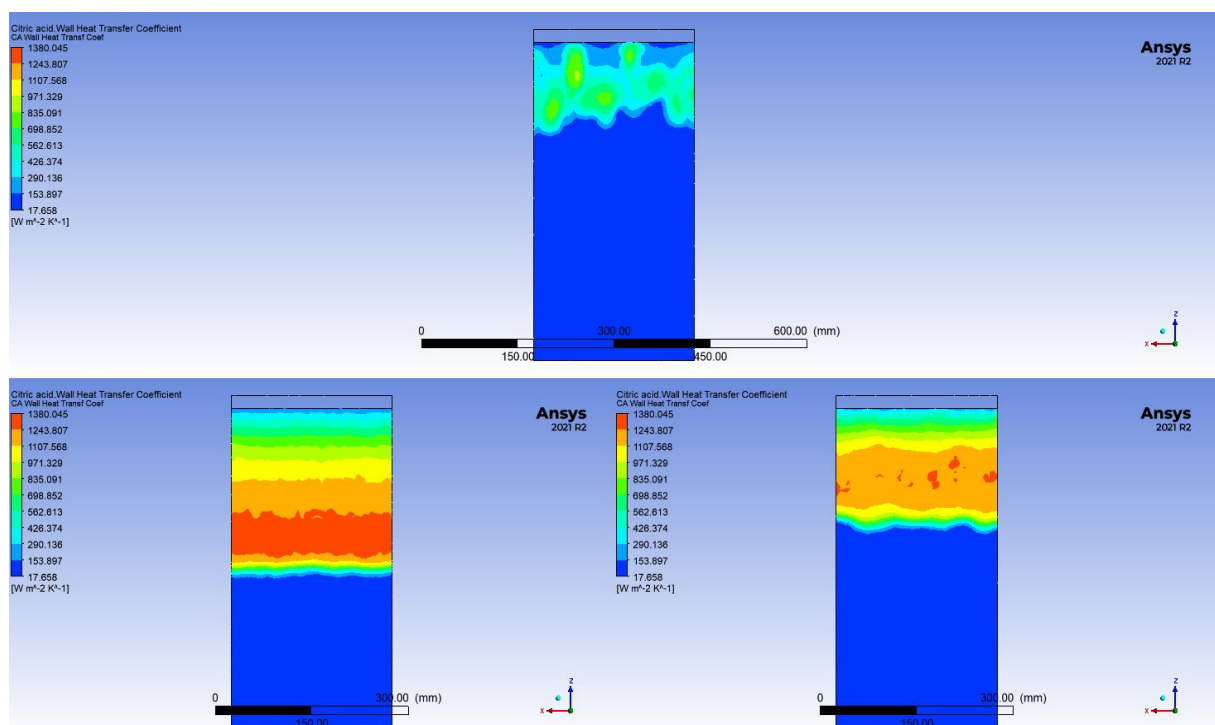


Рис.36 Модель пластин (20мм, 40мм, 80мм), Results, Contour, Citric Acid Wall Heat Transfer Coefficient.

Таблиця 1 Значення отриманих фізичних параметрів для пластин

Відстань між пластинами, мм	Назва параметру	
	Середнє значення Citric Acid	Середнє значення Citric Acid Shear

	Wall Heat Transfer Coefficient, Вт/м ² *К	Strain Rate, с ⁻¹
20	240.097	46.8902
40	389.708	22.3907
80	533.509	25.4323

4.4 Висновки аналізу фізичних параметрів для пластин

Моделювання руху розчину лимонної кислоти між пластинами з відстанню між ними 20 мм, 40 мм, 80 мм показало що по параметру Volume Fraction плівка утворилася в зразках з діаметром 40 мм і 80 мм, а між пластинами з відстанню 20 мм плівка не утворилася тому що відстань між пластинами такої відстані замала для утворення плівки стікання з заданими параметрами швидкості та властивостями розчину, далі слід розглядати та порівнювати труби з діаметром 40 мм та 80 мм.

За параметром Wall Heat Transfer Coefficient найбільший коефіцієнт теплообміну в трубі діаметром 80 мм, параметр Shear Strain Rate показує що напружень зсуву розчину на стінках труби діаметром 40 мм менше ніж 80 мм.

4.5 Моделювання руху розчину лимонної кислоти по трубній поверхні

Для моделювання процесу в трубі ми використаємо задані граничні умови з попереднього моделювання (пластинчата поверхня) з деякими змінами.

В налаштуваннях Mesh модуля Fluid Flow (CFX), задамо Named Selection для Inlet, Wall та Opening.

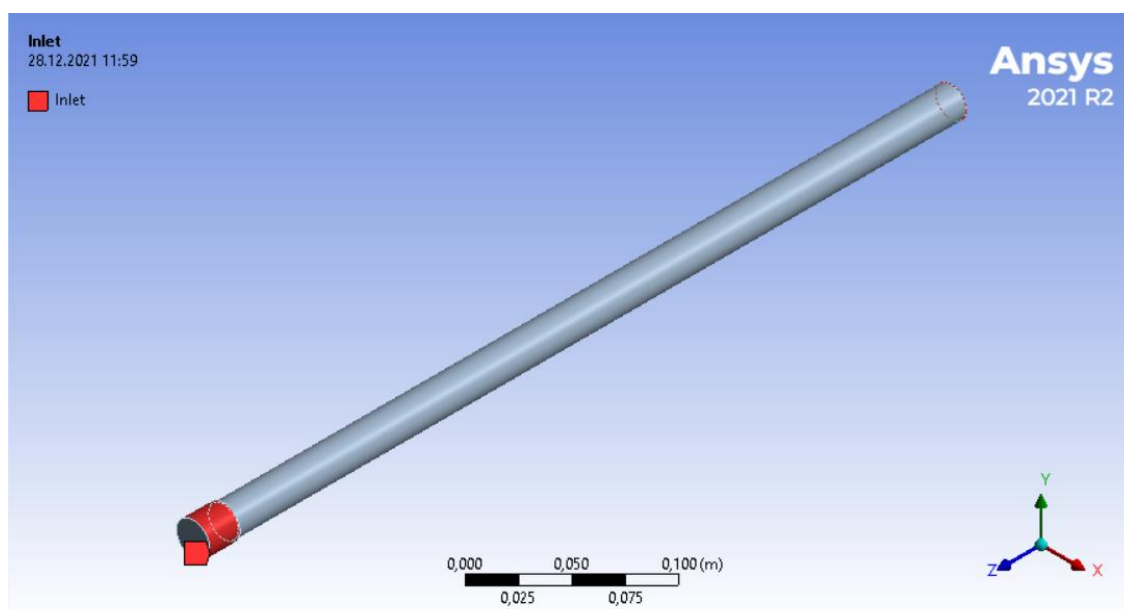


Рис.37 Модель труби, Mesh, Named Selection, Inlet.

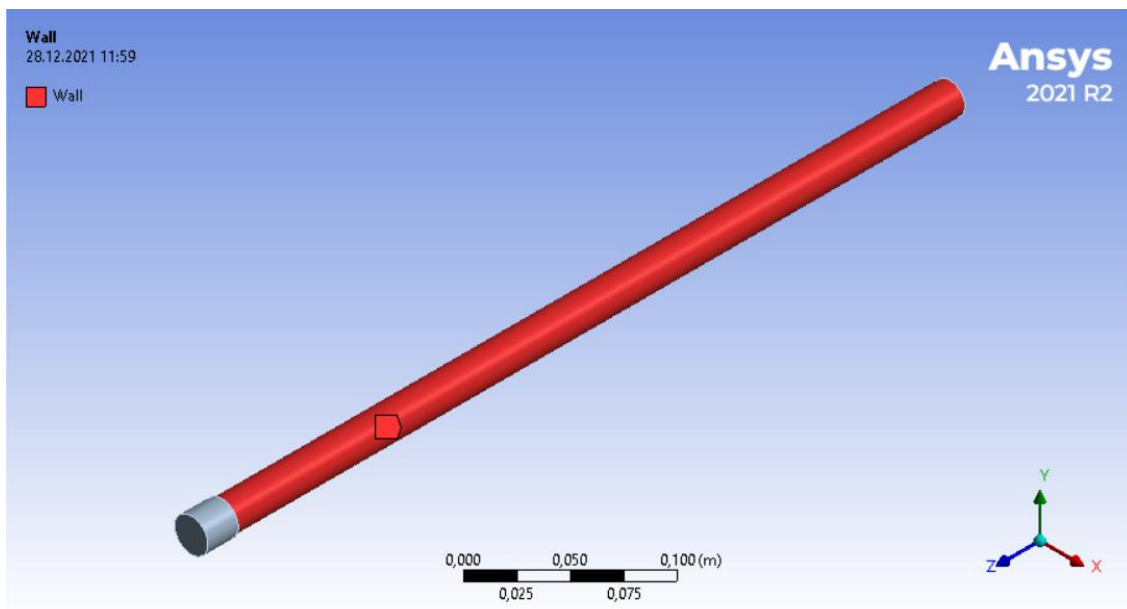


Рис.38 Модель трубы, Mesh, Named Selection, Wall.

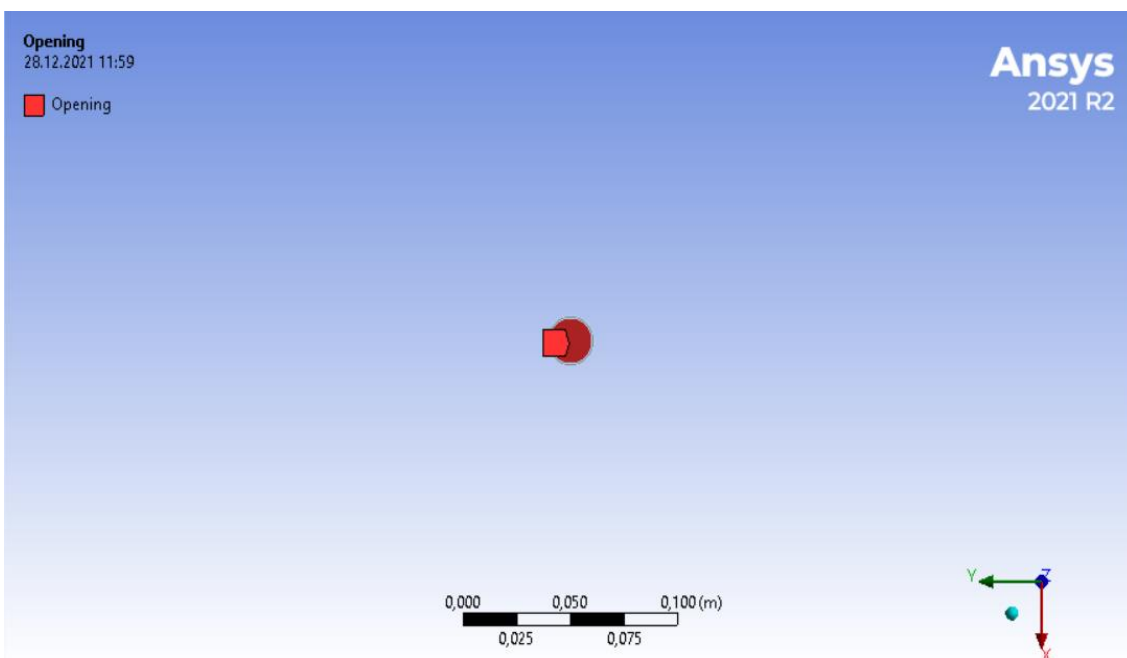


Рис.39 Модель трубы, Mesh, Named Selection, Opening.

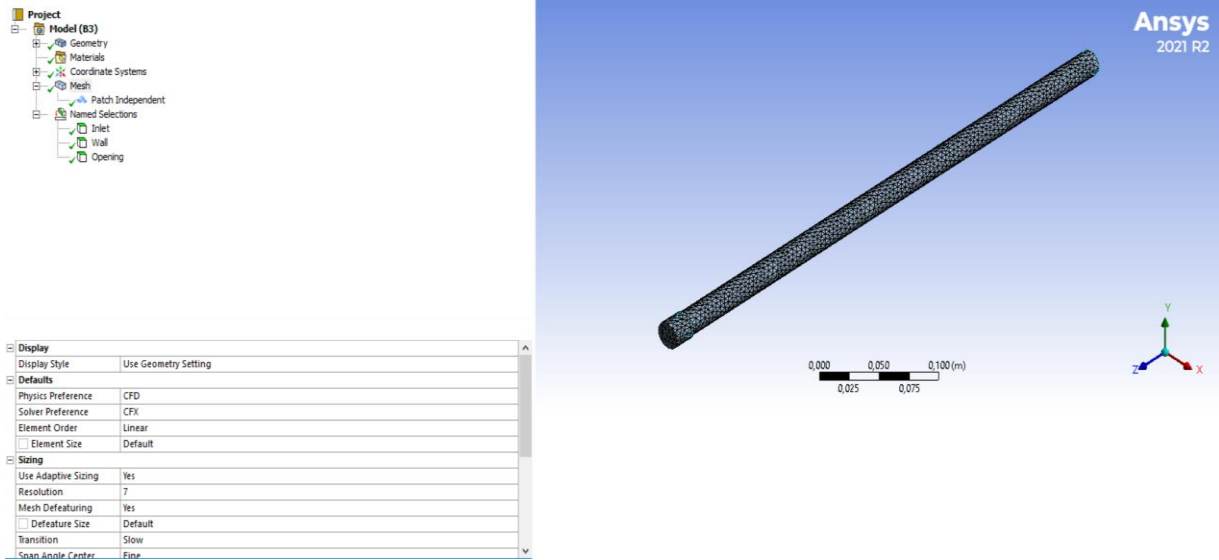


Рис.40 Модель труби, Mesh, Method, Path Independent.

В налаштуваннях Setup, в Default Domain, видаляємо домен Symmetry.

Запускаємо Solution.

Заходимо в Results.

4.6 Аналіз результатів фізичних параметрів для труб

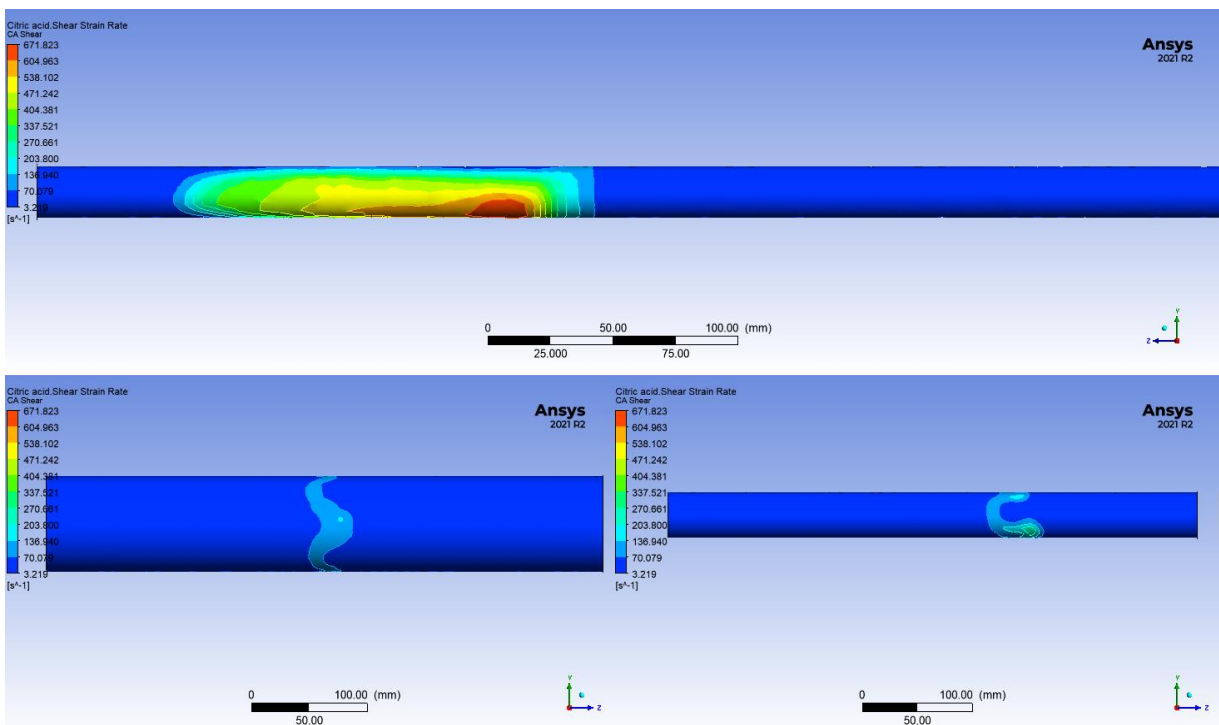


Рис.41 Модель труб (20мм, 40мм, 80мм), Results, Contour, Citric Acid Shear Strain Rate.

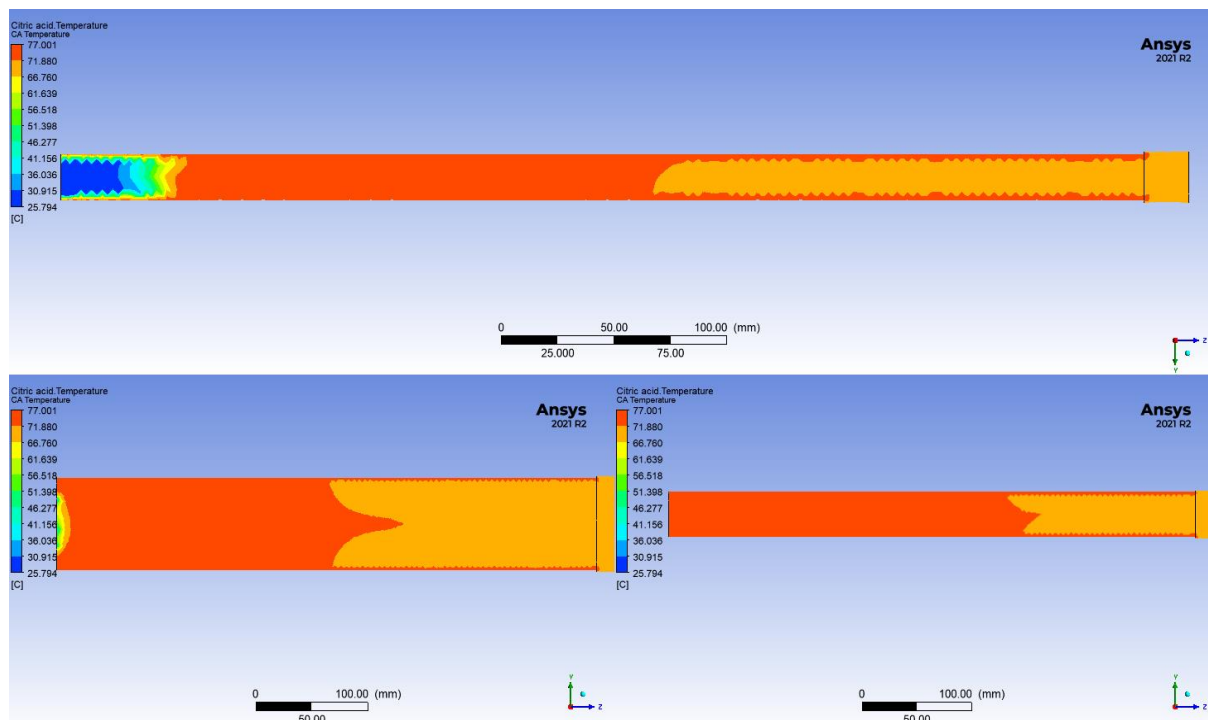


Рис.42 Модель труб (20мм, 40мм, 80мм), Results, Contour, Citric Acid Temperature.

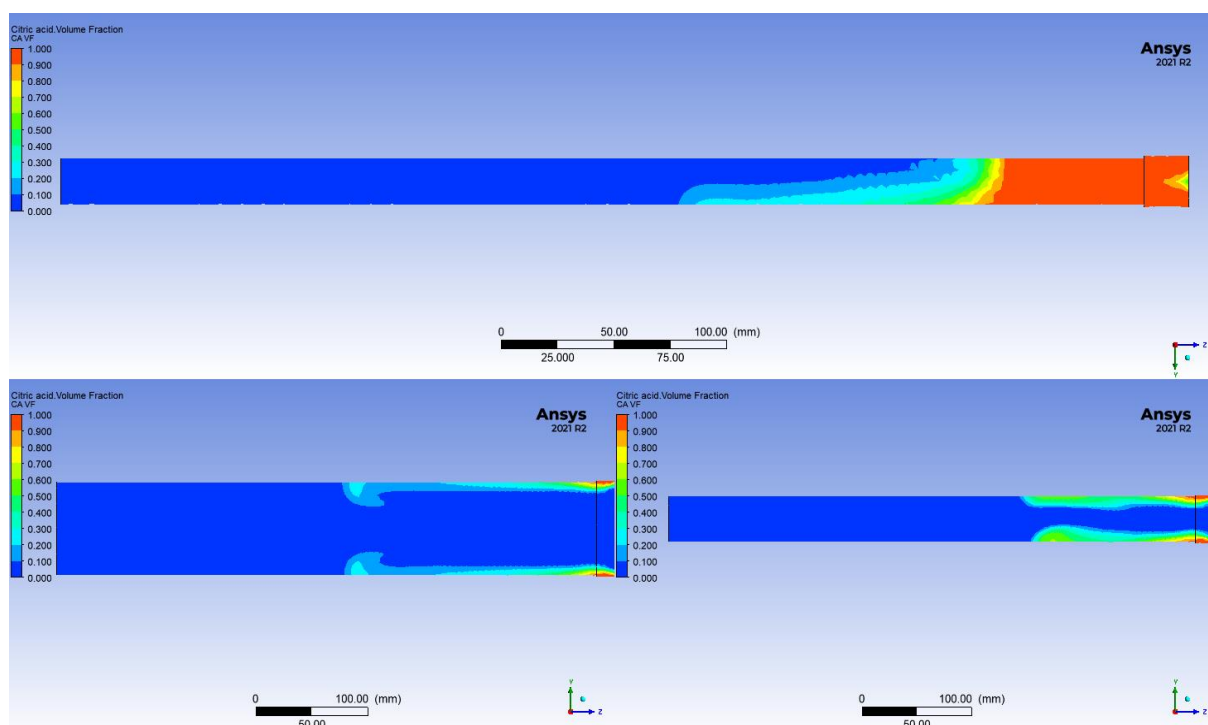


Рис.43 Модель труб (20мм, 40мм, 80мм), Results, Contour, Citric Acid Volume Fraction.

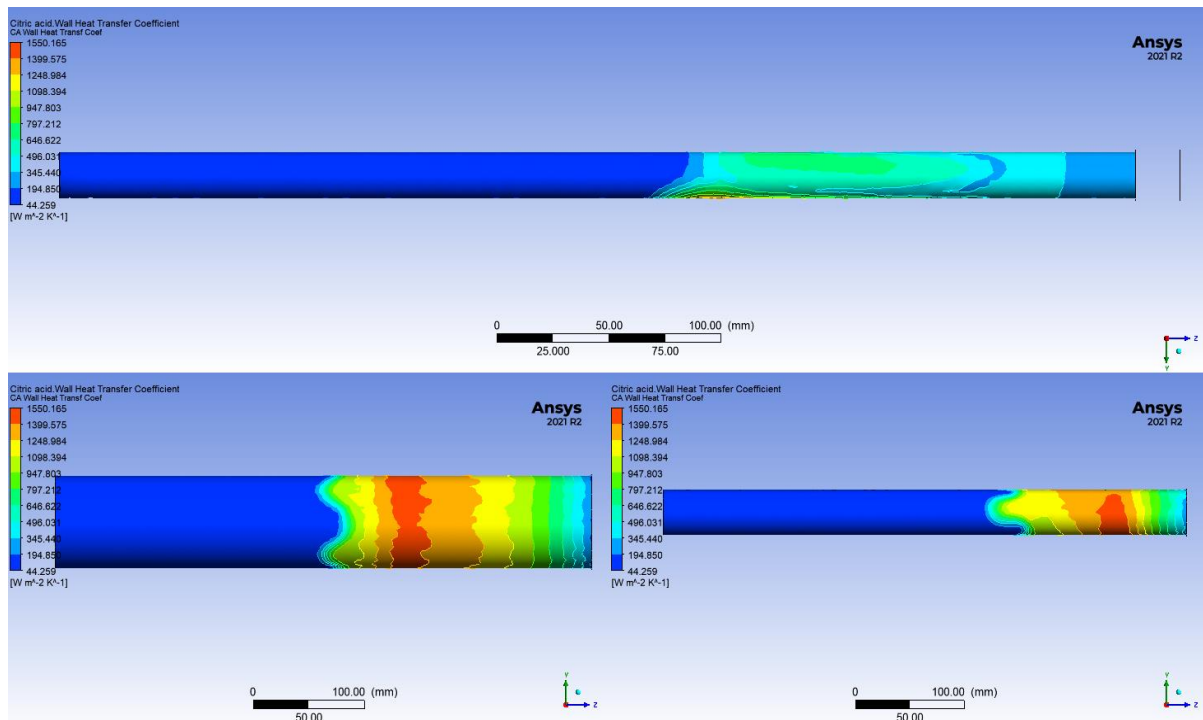


Рис.44 Модель труб (20мм, 40мм, 80мм), Results, Contour, Citric Acid Wall Heat Transfer Coefficient.

Таблиця 2 Значення отриманих фізичних параметрів для труб

Діаметр труби, мм	Назва параметру	
	Середнє значення Citric Acid Wall Heat Transfer Coefficient, Вт/м*К	Середнє значення Citric Acid Shear Strain Rate, с ⁻¹
20	843.547	73.6369
40	411.957	21.7493
80	566.846	25.0572

4.7 Висновки аналізу фізичних параметрів для труб

Моделювання руху розчину лимонної кислоти в трубах діаметрів 20, 40, 80 мм показало що по параметру Volume Fraction плівка утворилася в зразках з діаметром 40 мм і 80 мм, а в трубі 20 мм плівка не утворилася тому що труба такого діаметру замала для утворення плівки стікання з заданими параметрами швидкості та властивостями розчину, далі слід розглядати та порівнювати труби з діаметром 40 мм та 80 мм. За параметром Wall Heat Transfer Coefficient найбільший коефіцієнт теплообміну в трубі діаметром 80 мм, параметр Shear Strain Rate показує що напружень зсуву розчину на стінках труби діаметром 40 мм менше ніж 80 мм.

4.8 Аналіз загальних результатів

Об'єднуємо Results всіх моделей труб ($D=20,40,80$ мм) в єдиний модуль Results та аналізуємо порівнюючи с моделями пластин.

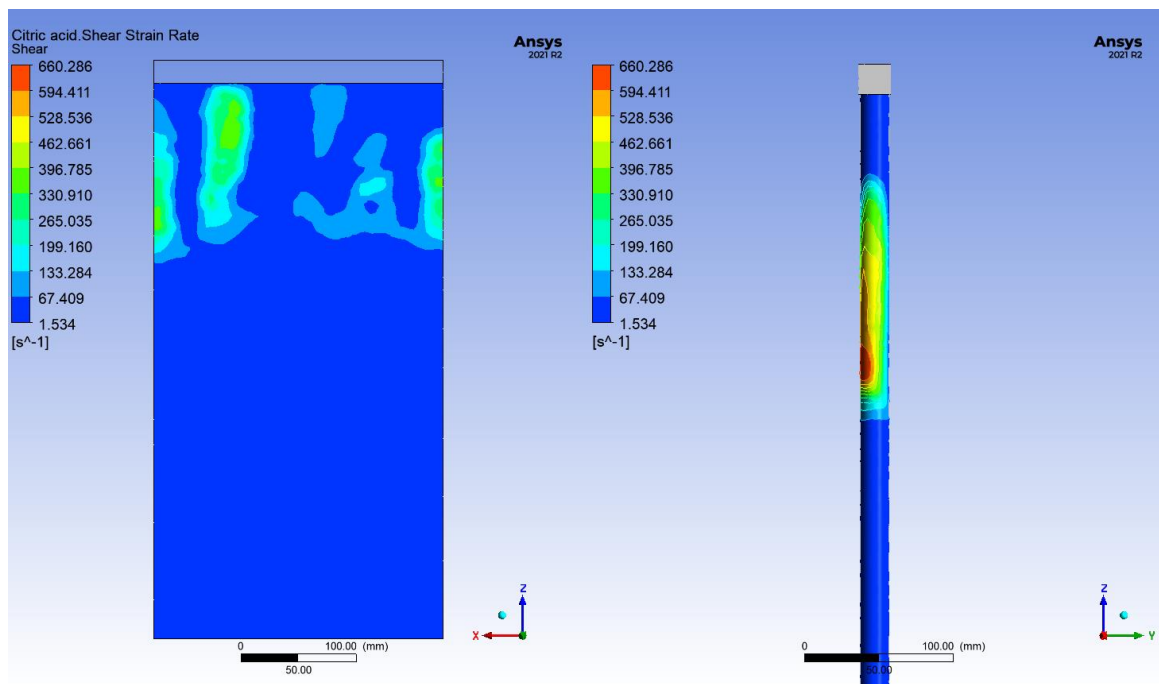


Рис.45 Модель труб та пластин 20 мм, Results, Contour, Citric Acid Shear Strain Rate.

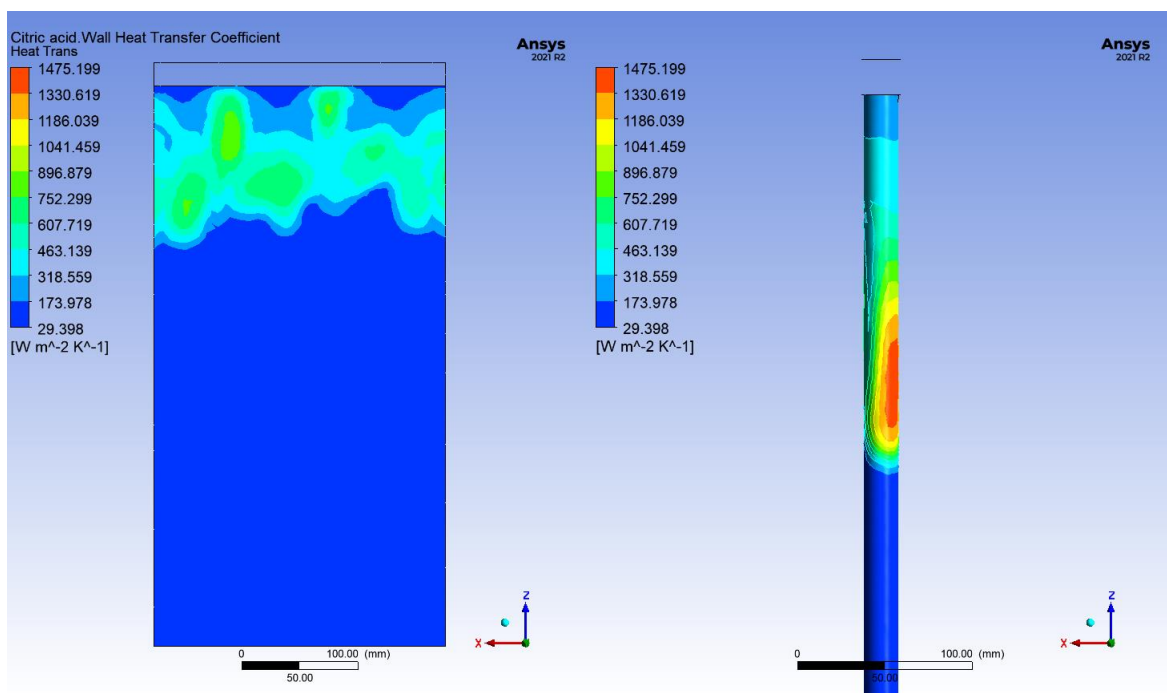


Рис.46 Модель труб та пластин 20 мм, Results, Contour, Citric Acid Wall Heat Transfer Coefficient.

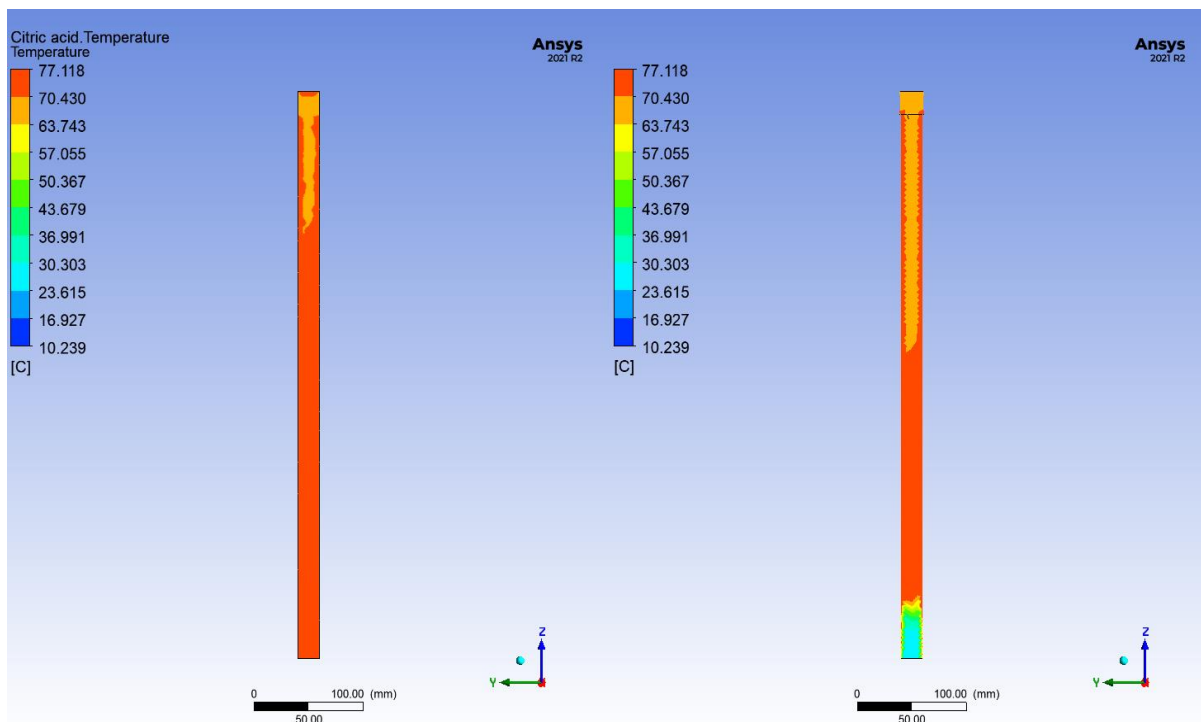


Рис.47 Модель труб та пластин 20 мм, Results, Contour, Citric Acid Temperature.

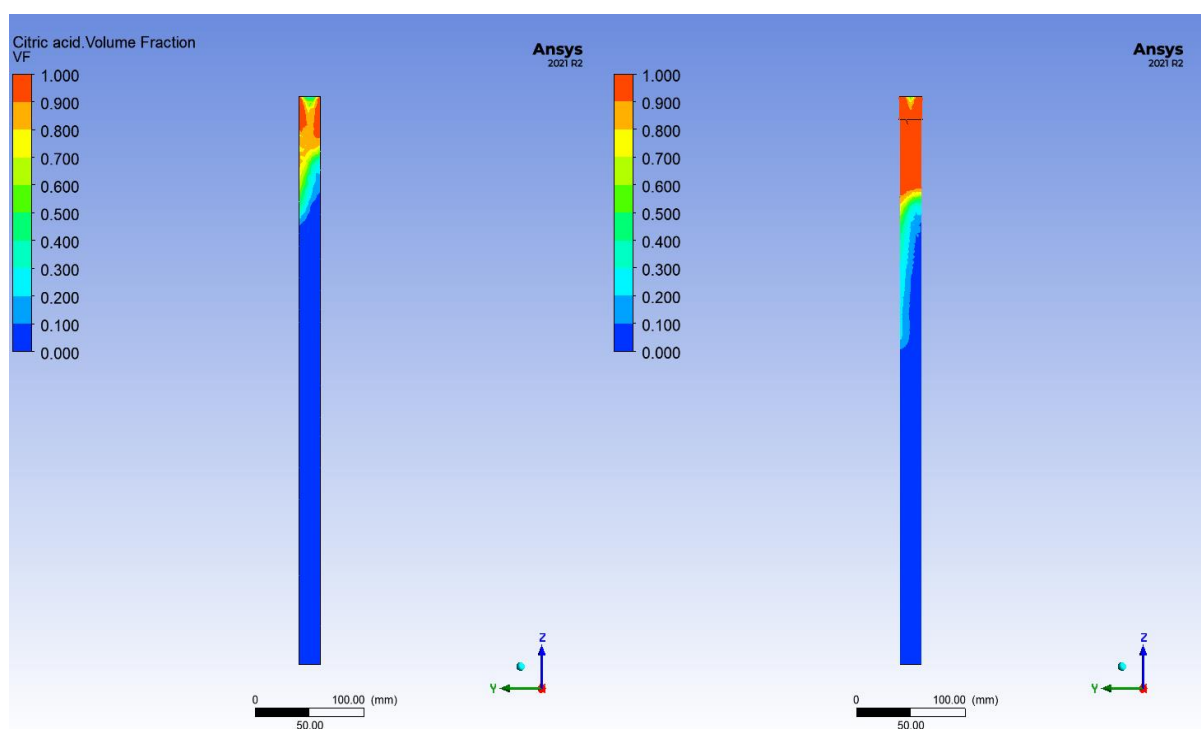


Рис.48 Модель труб та пластин 20 мм, Results, Contour, Citric Acid Volume Fraction.

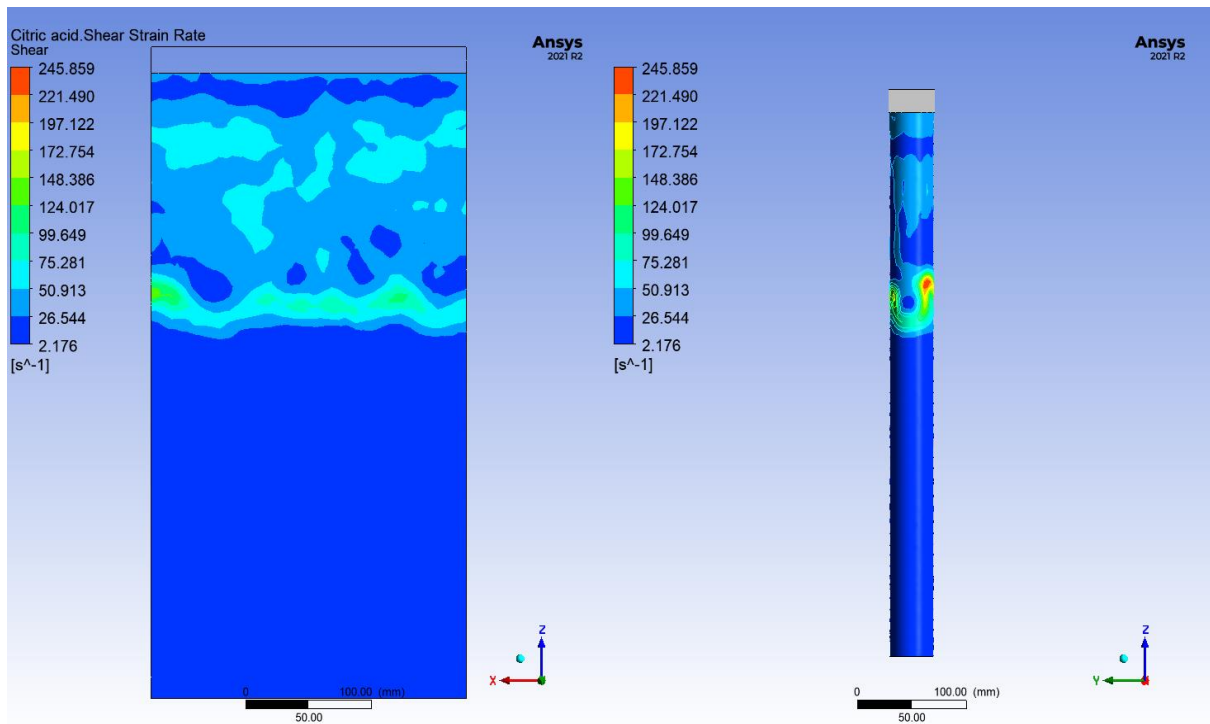


Рис.49 Модель труб та пластин 40 мм, Results, Contour, Citric Acid Shear Strain Rate.

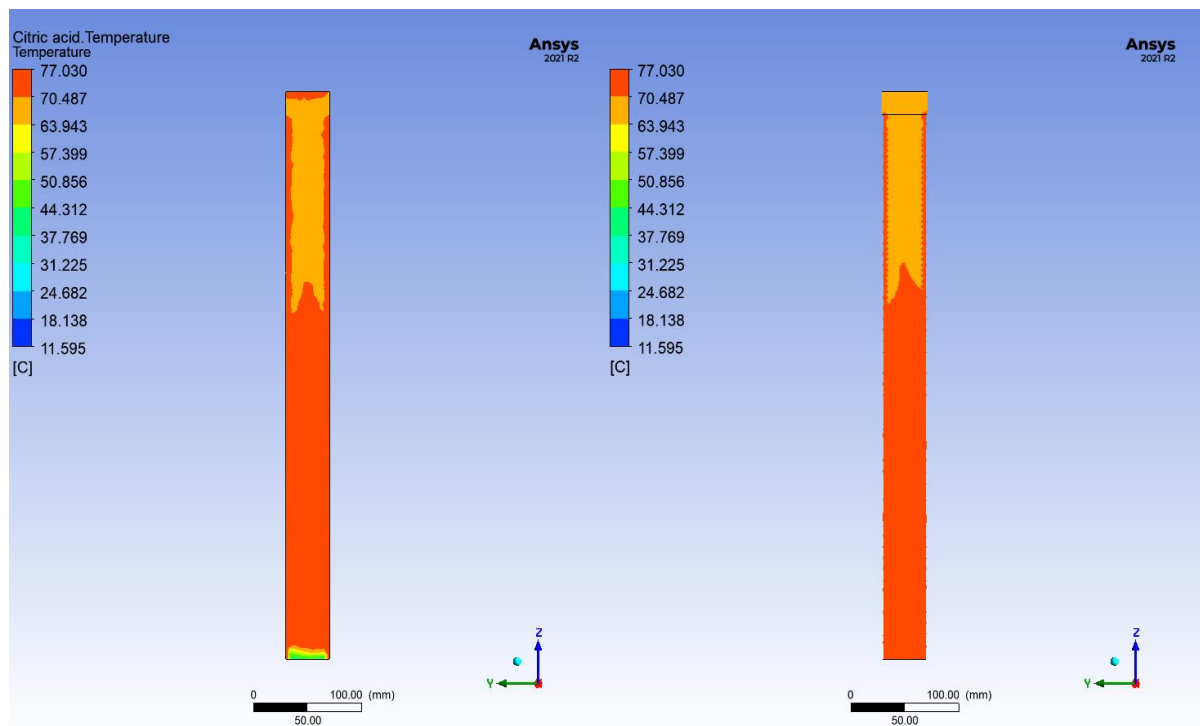


Рис.50 Модель труб та пластин 40 мм, Results, Contour, Citric Acid Temperature.

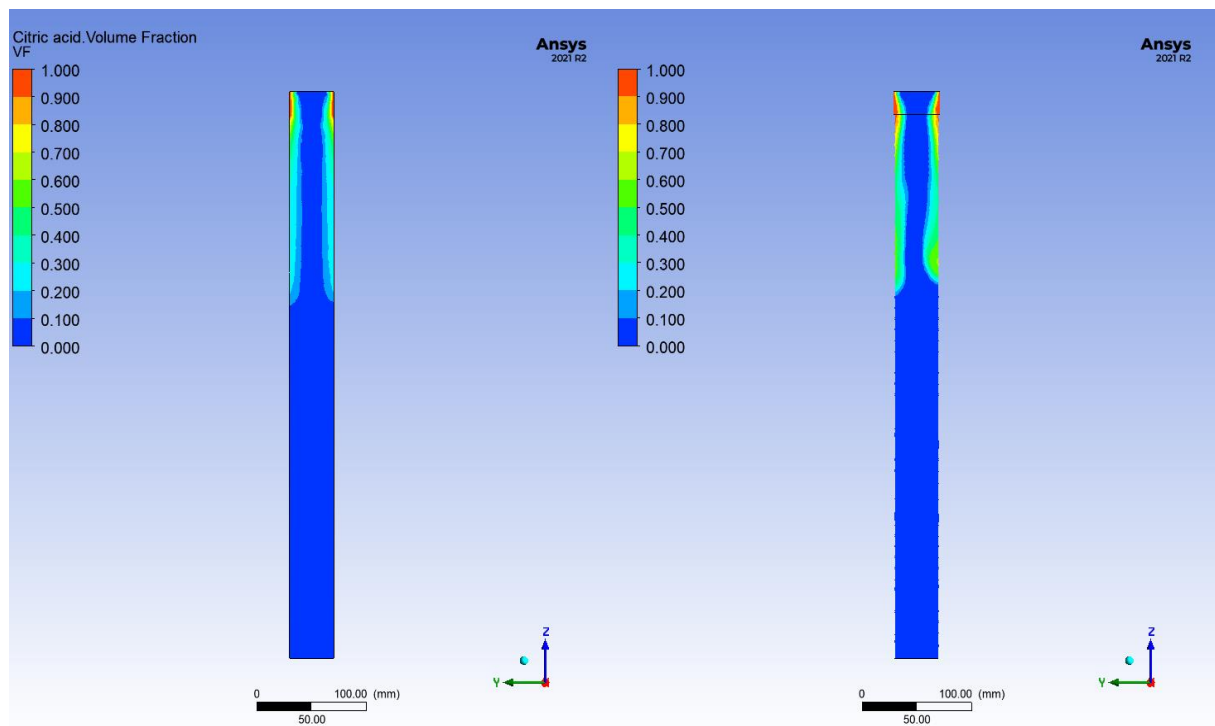


Рис.51 Модель труб та пластин 40 мм, Results, Contour, Citric Acid Volume Fraction.

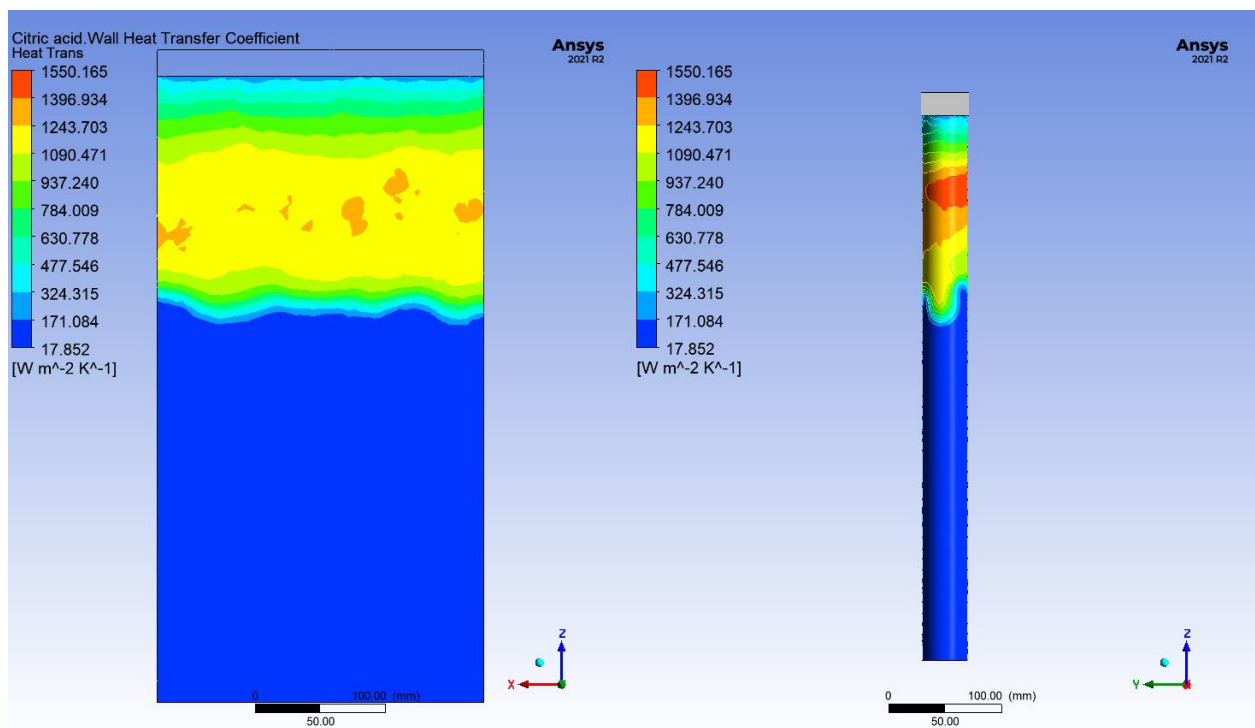


Рис.52 Модель труб та пластин 40 мм, Results, Contour, Citric Acid Volume Fraction.

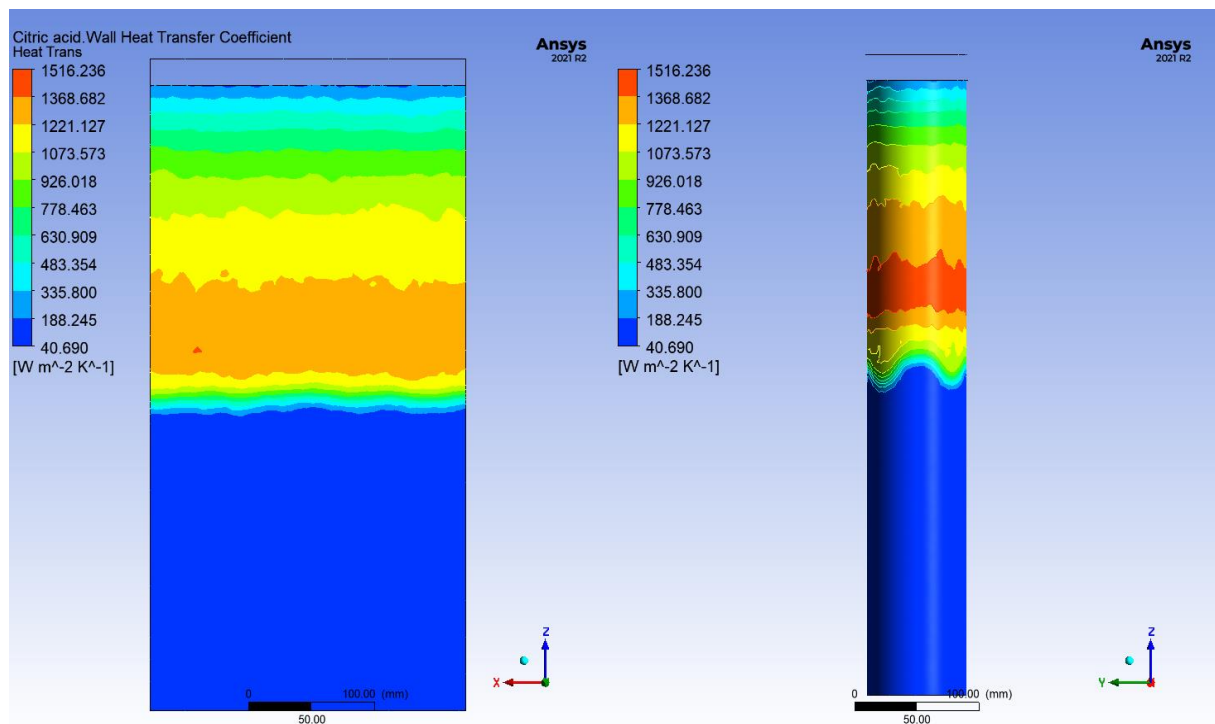


Рис.53 Модель труб та пластин 80 мм, Results, Contour, Citric Acid Wall Heat Transfer.

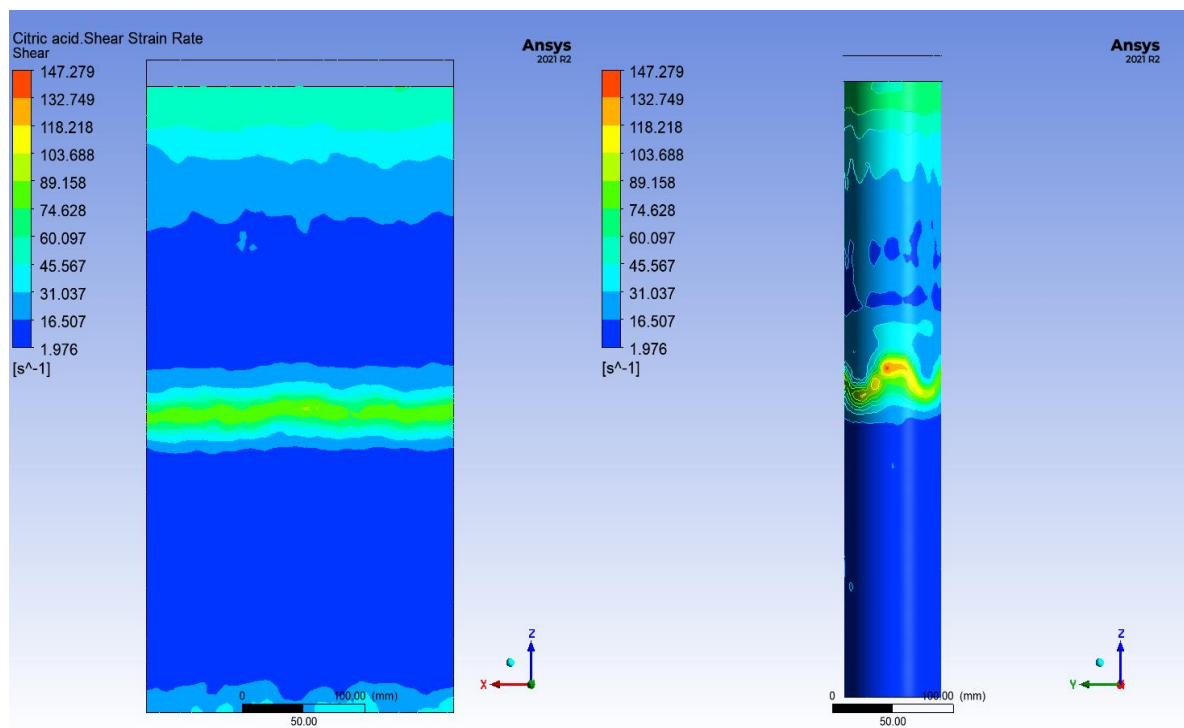


Рис.54 Модель труб та пластин 80 мм, Results, Contour, Citric Acid Shear Strain Rate.

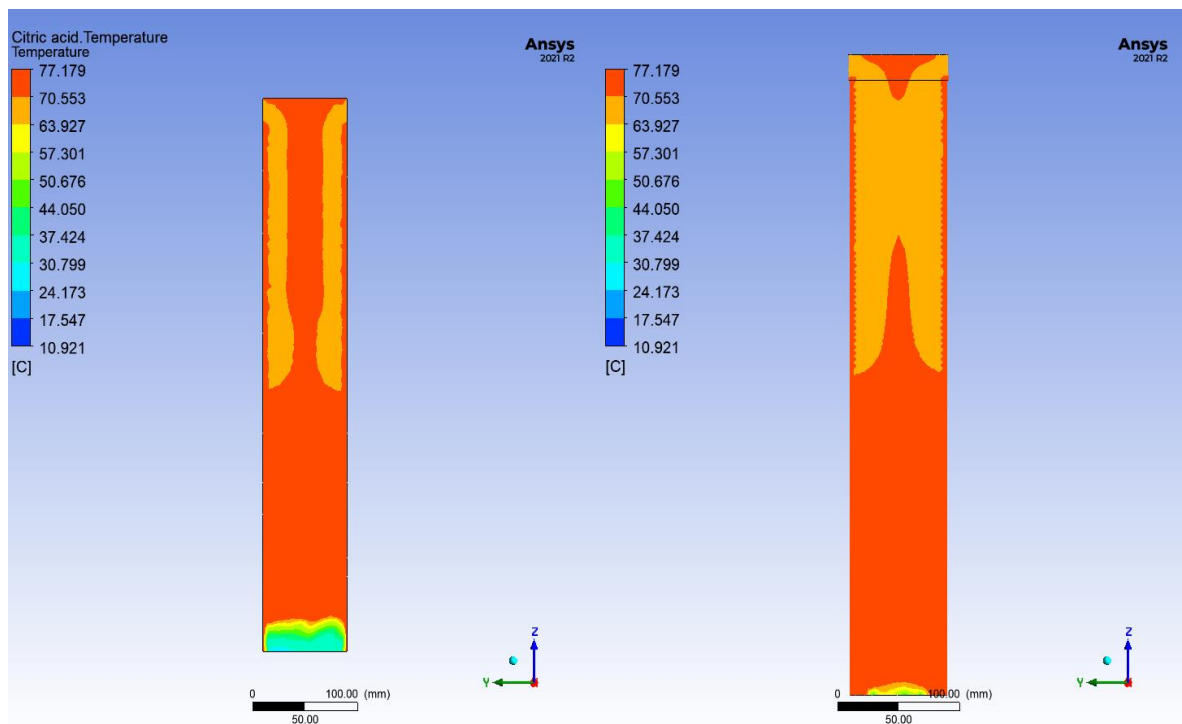


Рис.55 Модель труб та пластин 80 мм, Results, Contour, Citric Acid Temperature.

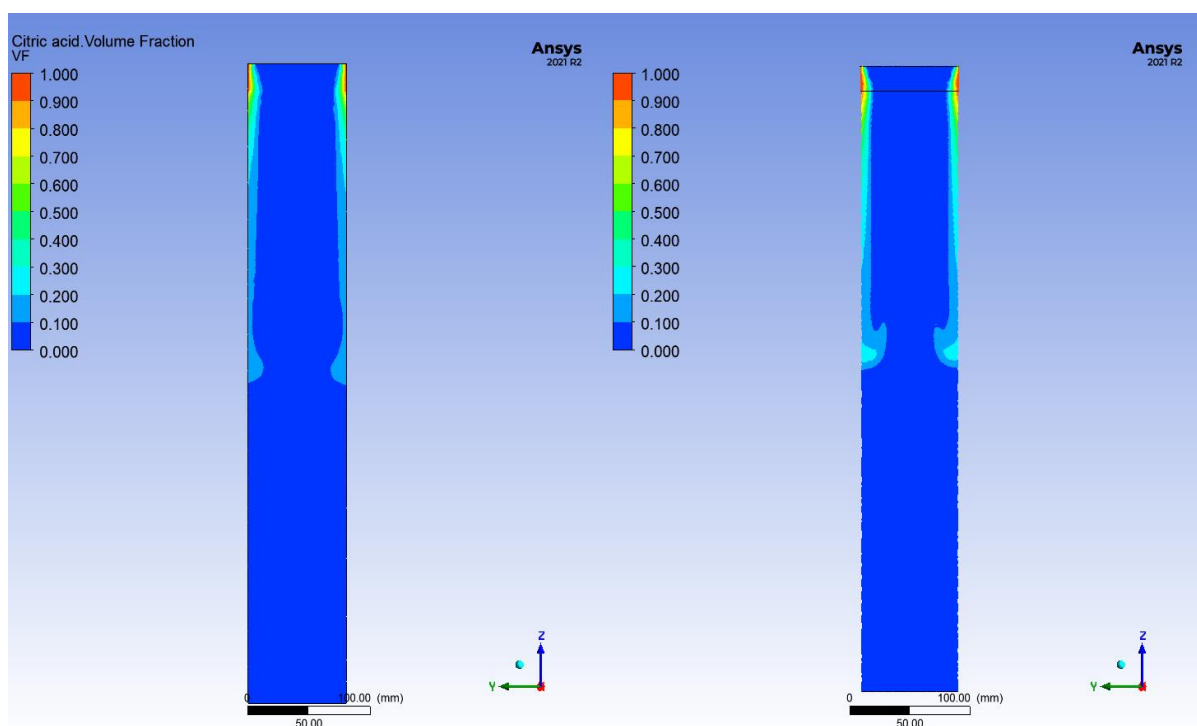


Рис.56 Модель труб та пластин 80 мм, Results, Contour, Citric Acid Volume Fraction.

ВИСНОВКИ

Провівши дослідження та моделювання процесу утворення плівки розчину лимонної кислоти на пластинчатій та трубній поверхні різного діаметру та відстані між пластинами, результати показали подібні значення майже у всіх випадках, провівши моделювання труби 20 мм та пластин з відстанню 20 мм можна сказати що для даних заданих властивостей розчину вони не підходять, тому що не відбувається утворення рівномірної плівки, характерною перевагою для пластинчатих поверхонь є більш рівномірний розподіл плівки стікання по поверхні і як наслідок менші напруження зсуву розчину в потоці порівняно з трубами.

5 РОЗРАХУНКИ ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ПЛІВКОВОГО ВИПАРНОГО АПАРАТУ

5.1.1 Матеріальний баланс

$$W = G_2 \left(1 - \frac{x_1}{x_2}\right) = 1.38889 \left(1 - \frac{0.16}{0.54}\right) = 0.977 \text{ кг / с};$$

5.1.2 Корисна різниця температур

Температура гріючої пари $t_r = 120.212^\circ\text{C}$ знаходимо по тиску $P_1 = 0.2 \text{ МПа}$;

Питома теплота пароутворення гріючої пари $2706.24 \cdot 10^3 \text{ Дж}$; знаходимо по температурі $t_r = 120.212^\circ\text{C}$.

Температура вторинної пари $t_{\text{вп}} = 61.117^\circ\text{C}$ знаходимо по тиску $P_2 = 0.021 \text{ МПа}$;

Питома теплота пароутворення вторинної пари $r_{\text{вп}} = 2354.96 \cdot 10^3 \text{ Дж}$; знаходимо по температурі $t_{\text{вп}} = 61.117^\circ\text{C}$

Температурна депресія розчину при атмосферному тиску:

$$\Delta'_{\text{ат}} = \exp\left(\frac{1.6 \cdot x_2}{1 - x_2}\right) - 1 = 2.59^\circ\text{C};$$

Температурна депресія розчину при випарюванні:

$$\Delta' = 1.62 \cdot 10^{-2} \frac{(273 + t_{\text{вп}})^2}{r_{\text{вп}}} \cdot \Delta'_{\text{ат}} = 1.62 \cdot 10^{-2} \frac{(273 + 2354.96 \cdot 10^3)^2}{2354.96 \cdot 10^3} \cdot 2.59 = 1.989^\circ\text{C}$$

Висота кип'ятильних труб: $H = 5 \text{ м}$;

Оптимальна висота розчину в кип'ятильних трубах:

$$\begin{aligned} H_p &= (0.26 + 0.014(\rho_2 - \rho_b)) \cdot H = \\ &= (0.26 + 0.014(1233 - 982.4415)) \cdot 5 = 3.051 \text{ м}; \end{aligned}$$

Де густина розчину:

$$\begin{aligned} \rho_2 &= (1.01 + 0.47 \cdot x_2) \cdot 10^{-3} - 0.51 \cdot t_{\text{вп}} = \\ &= (1.01 + 0.47 \cdot 0.54) \cdot 10^{-3} - 0.51 \cdot 2354.96 \cdot 10^3 = 1233 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \end{aligned}$$

Густина води $\rho_b = 982.4415 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; при температурі $t_{\text{вп}} = 61.117^\circ\text{C}$

Тиск в середньому шарі розчину в кип'ятильних трубах:

$$P_{cp} = P_2 + 0.5 \cdot \rho_2 \cdot g \cdot H_p = 0.021 \cdot 10^6 + 0.5 \cdot 1233 \cdot 9.81 \cdot 3.051 = 39450 \text{ Па};$$

Температура насиченої водяної пари $t_{cp} = 75.5548^\circ \text{C}$; по тиску P_{cp}

Гідростатична депресія:

$$\Delta'' = t_{cp} - t_{вп} = 75.5548 - 61.117 = 14.438^\circ \text{C};$$

Температура кипіння розчину:

$$t_{кип} = t_{вп} + \Delta' + \Delta'' = 61.117 + 1.989 + 14.438 = 77.544^\circ \text{C};$$

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_{кор} = t_r - t_{кип} = 120.212 - 77.544 = 42.668^\circ \text{C};$$

5.1.3 Тепловий баланс

Кількість тепла, яке підводиться до розчину:

$$\begin{aligned} Q &= G_2 \cdot C_{2п} (t_{кип} - t_{2п}) + W \cdot r_{вп} = \\ &= 1.38889 \cdot 4015 (77.544 - 70) + 0.977 \cdot 2354.96 \cdot 10^3 = 2344 \cdot 10^3 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

Де питома теплоємність розчину при температурі

$$t_{2cp} = 0.5 \cdot (t_{кип} + t_{2п}) = 0.5 \cdot (77.544 + 70) = 73.772^\circ \text{C};$$

$$\begin{aligned} C_{2п} &= (0.99 - 0.66 \cdot x_1 + 0.001 \cdot t_{2cp}) \cdot 4190 = \\ &= (0.99 - 0.66 \cdot 0.16 + 0.001 \cdot 70) \cdot 4190 = 4015 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \end{aligned}$$

Масова витрата гріючої пари:

$$G_1 = \frac{1.07 \cdot Q}{r_t} = \frac{1.07 \cdot 2344 \cdot 10^3}{2706.24 \cdot 10^3} = 0.927 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

5.1.4 Коефіцієнт теплопередачі

Коефіцієнт тепловіддачі від пари, яка конденсується до стінки кип'ятильної труби:

$$\alpha_1 = 2.04 \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_{пл}^2 \cdot \lambda_{пл}^3 \cdot r_t}{\lambda_{пл} \cdot H \cdot \Delta t_1}} = 2.04 \cdot \sqrt[4]{\frac{945.43^2 \cdot 0.686^3 \cdot 2706.24 \cdot 10^3}{0.686 \cdot 5 \cdot 6.5}} = 6460 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})};$$

Де $\Delta t_1 = 6.5^\circ\text{C}$; приймаємо з послідуною перевіркою

Температура конденсау:

$$t_{\text{пл}} = t_2 - 0.5 \cdot \Delta t_1 = 120.212 - 0.5 \cdot 6.5 = 116.962^\circ\text{C};$$

$$\rho_{\text{пл}} = 945.43 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \mu_{\text{пл}} = 0.239 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}; \lambda_{\text{пл}} = 0.686 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}; \text{ - відповідно густина,}$$

коефіцієнт динамічної в'язкості і теплопровідності води при температурі $t_{\text{пл}}$

Перепад температур на стінці:

$$\Delta t_{\text{ст}} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum r_{\text{ст}} = 6460 \cdot 6.5 \cdot 3.209 \cdot 10^{-4} = 13.475^\circ\text{C};$$

Де термічний опір стінки:

$$\sum r_{\text{ст}} = \frac{\sigma_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\sigma_{\text{н}}}{\lambda_{\text{н}}} = \frac{0.002}{17.5} + \frac{0.0005}{2.42} = 3.209 \cdot 10^{-4} \text{м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}};$$

Товщина стінки $\sigma_{\text{ст}} = 0.002\text{м}$;

Коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки $\lambda_{\text{ст}} = 17.5 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$;

Товщина шару накипу $\sigma_{\text{н}} = 0.0005\text{м}$;

Коефіцієнт теплопровідності накипу $\lambda_{\text{н}} = 2.42 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$;

Перепад температур з боку розчину:

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{кор}} - \Delta t_{\text{ст}} - \Delta t_1 = 42.668 - 13.475 - 6.5 = 22.693^\circ\text{C};$$

Критерій Рейнольдса для плівки розчину:

$$\text{Re} = 4 \frac{\Gamma}{\mu} = 81.207;$$

Теплове навантаження:

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 4.199 \cdot 10^4$$

Лінійна масова густина зрошення:

$$\Gamma = \frac{Gn}{\Pi} = 0.152 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}};$$

Змочений периметр:

$$\Pi = \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot n = 9.132;$$

Товщина плівки:

$$\delta = \left(\frac{0.75 \cdot \nu^2}{g} \right)^{0.33} \cdot \text{Re}^{0.33} = 6.625 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

Коефіцієнт теплопровідності розчину:

$$\lambda_2 = \lambda_{\text{лк}} \cdot x_2 + \lambda_{\text{в}} \cdot (1 - x_2) = 0.168 \cdot 0.54 + 0.673 \cdot (1 - 0.54) = 0.4 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})};$$

При кипіння розчинів в плівкових випарних апаратах коефіцієнт тепловіддачі рекомендується визначати за рівнянням:

$$\alpha_2 = c \cdot \frac{\lambda_{\text{лк}}}{\delta} (0.25 \cdot \text{Re})^n \left(\frac{q \cdot \delta}{\lambda_{\text{лк}} \cdot t_{\text{вп}}} \right)^m = 1675 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})};$$

Коефіцієнт теплопровідності лимонної кислоти $\lambda_{\text{лк}} = 0.168 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})};$

Коефіцієнт теплопровідності води $\lambda_{\text{в}} = 0.673 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})};$ при температурі кипіння $t_{\text{кип}}$

Густина розчину:

$$\begin{aligned} \rho_2 &= (1.01 + 0.47 \cdot x_2) \cdot 10^3 - 0.51 \cdot t_{\text{кип}} = \\ &= (1.01 + 0.47 \cdot 0.54) \cdot 10^3 - 0.51 \cdot 77.544 = 1244 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \end{aligned}$$

Густина водяної пари $\rho_{\text{п2}} = 0.2698 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$ при температурі $t_{\text{кип}}$

Коефіцієнт поверхневого натягу розчину:

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \sigma_B - 15 \cdot \frac{x_2 \cdot 10^{-2}}{x_2 + 0.5} \cdot (1 - 10^{-2} \cdot t_{\text{кип}}) = \\ &= \sigma_B - 15 \cdot \frac{x_2 \cdot 10^{-2}}{x_2 + 0.5} \cdot (1 - 10^{-2} \cdot t_{\text{кип}}) = 0.044 \frac{\text{Н}}{\text{м}};\end{aligned}$$

Коефіцієнт поверхневого натягу води $\sigma_B = 61.929 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; при температурі $t_{\text{кип}}$

Питома теплота пароутворення води $r_B = 2314.894 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; при температурі $t_{\text{кип}}$

Густина водяної пари $\rho_0 = 0.597 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; при 100°C

Питома теплоємність розчину:

$$\begin{aligned}c_2 &= (0.99 - 0.66 \cdot x_2 + 0.001 \cdot t_{\text{кип}}) \cdot 4190 = \\ &= (0.99 - 0.66 \cdot 0.54 + 0.001 \cdot 77.544) \cdot 4190 = 2.98 \cdot 10^3;\end{aligned}$$

$$\exp(7.4 \cdot x_2^{1.65} \cdot \frac{100}{100 + t_{\text{кип}}}) = \exp(7.4 \cdot 0.54^{1.65} \cdot \frac{100}{100 + 77.544}) = 4.517$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості води $\mu_B = 0.368 \cdot 10^{-3}$ при температурі $t_{\text{кип}}$

Коефіцієнт динамічної в'язкості розчину:

$$\mu_2 = \mu_B \cdot 4.517^2 = 0.007;$$

Перевірка питомих теплових потоків:

$$\begin{aligned}q' &= \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 6460 \cdot 6.5 = 4.199 \cdot 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}; \\ q'' &= \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 1818 \cdot 22.693 = 4.126 \cdot 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2};\end{aligned}$$

Похибка $1.74 \% \leq 3 \%$, умова виконується.

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6460} + 3.209 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{1818}} = 974.886 \frac{\text{Вт}}{(\text{см}^2 \cdot \text{К})};$$

5.1.5 Розрахунок поверхні теплообміну

Поверхня теплообміну:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{кор}}} = \frac{2344 \cdot 10^3}{974.886 \cdot 42.668} = 56.344 \text{ м}^2;$$

Вибираємо стандартний апарат $F = 63 \text{ м}^2$; (тип 1 виконання 2)

5.1.6 Розрахунок барометричного конденсатора

Витрата охолоджувальної води:

$$G_B = \frac{W \cdot (I_{\text{ок}} - c_B \cdot t_{B2})}{c_B (t_{B2} - t_{B1})} = \frac{0.977 \cdot (2608.3 \cdot 10^3 - 4180 \cdot 57)}{4180(57 - 20)} = 14.977 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Де ентальпія водяної пари $I_{\text{ок}} = 2608.3 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; при температурі $t_{\text{ок}} = 60^\circ \text{C}$;

Початкова температура води $t_{B1} = 20^\circ \text{C}$;

Кінцева температура води:

$$t_{B2} = t_{\text{ок}} - 3 = 60 - 3 = 57^\circ \text{C};$$

Температура пари на вході в БК $t_{\text{ок}} = 60^\circ \text{C}$;

Питома теплоємність води $c_B = 4180 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{K})}$; при температурі:

$$t_{\text{вср}} = 0.5(t_{B1} + t_{B2}) = 0.5(20 + 57) = 38.5^\circ \text{C};$$

Діаметр БК:

$$D_{\text{ок}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.977}{\pi \cdot 15 \cdot 0.1301}} = 0.799 \text{ м};$$

Де швидкість пари $V_{\text{п}} = 15 \text{ м / с}$;

Густина водяної пари $\rho_{\text{п}} = 0.1301 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; при $t_{\text{ок}} = 60^\circ \text{C}$;

Вибираємо стандартний БК (800 мм)

Швидкість води в барометричній трубці:

$$V_B = \frac{4(G_B + W)}{\pi \cdot \rho_B \cdot d_{\text{бр}}^2} = \frac{4(14.977 + 0.977)}{\pi \cdot 992.6 \cdot 0.15^2} = 0.91 \text{ м / с};$$

Де густина води $\rho_B = 992.6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; при температурі $t_{\text{вср}} = 38.5^\circ \text{C}$;

Внутрішній діаметр барометричної труби $d_{\text{бт}} = 0.15 \text{м}$;

Висоту барометричної труби визначаємо за рівнянням:

$$\begin{aligned} H_{\text{бт}} &= \frac{B}{\rho_B \cdot g} + (1 + \sum \xi + \lambda \cdot \frac{H_{\text{бт}}}{d_{\text{бт}}} \cdot \frac{V_B^2}{2 \cdot g} + 0.5 = \\ &= \frac{0.079 \cdot 10^6}{992.6 \cdot 9.81} + (1 + 1.5 + 0.015 \cdot \frac{H_{\text{бт}}}{0.15}) \cdot \frac{0.91^2}{2 \cdot 9.81} + 0.5 \\ H_{\text{бт}} &= 8.8 \text{м}; \end{aligned}$$

Де вакуум в барометричному конденсаторі:

$$B = P_{\text{атм}} - P_{\text{бк}} = 0.1 \cdot 10^6 - 0.021 \cdot 10^6 = 0.079 \cdot 10^6 \text{Па};$$

Атмосферний тиск $P_{\text{атм}} = 0.1 \cdot 10^6 \text{Па}$;

Сума коефіцієнтів місцевих опорів $\xi = 1.5$

Гідрравлічний коефіцієнт тертя:

$$\lambda = \frac{0.316}{\text{Re}_B^{0.25}} = \frac{0.316}{(1.995 \cdot 10^5)^{0.25}} = 0.015;$$

Критерій Рейнольдса:

$$\text{Re}_B = \frac{V_B \cdot d_{\text{бт}} \cdot \rho_B}{\mu_B} = \frac{0.91 \cdot 0.15 \cdot 992.6}{0.679 \cdot 10^{-3}} = 1.995 \cdot 10^5;$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_B = 0.679 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$; води при температурі $t_{\text{вср}}$

5.1.7 Розрахунок продуктивності вакуум-насоса

Кількість повітря, яке необхідно відводити із барометричного конденсатора:

$$G_{\text{пов}} = 2.5 \cdot 10^{-5} \cdot (0.977 + 14.977) + 0.01 \cdot 0.977 = 0.01 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Об'ємна продуктивність вакуум-насоса:

$$V_{\text{пов}} = \frac{R \cdot (273 + t_{\text{пов}}) \cdot G_{\text{пов}}}{M_{\text{пов}} \cdot P_{\text{пов}}} = \frac{8310 \cdot (273 + 27.7) \cdot 0.01}{29 \cdot 1.74 \cdot 10^4} = 0.05 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Де універсальна газова стала $R = 8310 \frac{\text{Дж}}{(\text{кмоль} \cdot \text{К})}$;

Молекулярна маса повітря $M_{\text{пов}} = 29 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$;

Температура повітря:

$$t_{\text{пов}} = t_{\text{в1}} + 4 + 0.1 \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}) = 20 + 4 + 0.1 \cdot (57 - 20) = 27.7^\circ \text{C};$$

Тиск повітря:

$$P_{\text{пов}} = P_{\text{бк}} - P_{\text{в}} = 0.021 \cdot 10^6 - 0.36 \cdot 10^4 = 1.74 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

Тиск водяної пари $P_{\text{в}} = 0.36 \cdot 10^4 \text{ Па}$; при температурі $t_{\text{пов}}$.

5.2 Конструктивний розрахунок

5.2.1 Визначення кількості труб

Загальну кількість труб можна визначити з рівняння[5]:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{зовн}} \cdot L \cdot K_r} = \frac{63}{3.14 \cdot 0.038 \cdot 5 \cdot 1.2} = 88$$

Де поверхня теплообміну $F = 63 \text{ м}^2$;

Зовнішній діаметр труби $d_{\text{зовн}} = 0.038 \text{ м}$;

Довжина труб $L = 5 \text{ м}$;

5.2.2 Обичайка гріючої камери

Товщина обичайки визначається за формулою [5]:

$$S_R = \frac{p \cdot D_k}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_p - p} = \frac{0.021 \cdot 0.8}{2 \cdot 154 \cdot 1 - 0.021} = 5.46 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

Де тиск в гріючій камері $p = 0.021 \text{ МПа}$;

Внутрішній діаметр гріючої камери $D_k = 0.8 \text{ м}$;

Допустиме напруження сталі 08Х18Н10Т при розрахунковій температурі $\sigma = 168 \text{ МПа}$;

Коефіцієнт міцності зварного шва $\varphi_p = 1$; [5]

Враховуючи добавки на корозію та на мінусовий допуск ($c=5\text{мм}$), виконавча товщина стінки визначається:

$$S = S_R + C = 5.46 \cdot 10^{-5} + 5 \cdot 10^{-3} = 5.06 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

Виконавчу товщину стінки корпусу приймаємо рівною 6.0 мм.

Перевіримо умову застосовності розрахункових формул. Для обичайки повинна виконуватись умова:

$$\frac{S - C}{D} = \frac{6 - 5}{800} = 0.00125 \leq 0.1$$

Умова виконується.

Допустимі напруження при гідровипробуваннях визначаються за формулою[5]:

$$[\sigma]_{\text{н}} = \frac{\sigma_{\text{т}}^{20}}{1.1} = \frac{252}{1.1} = 229 \text{ МПа};$$

Де межа текучості матеріалу кожуха $\sigma_{\text{т}}^{20} = 252 \text{ МПа}$; при $t = 20^\circ \text{C}$; [5]

Перевіримо умову:

$$P \leq 2.5 \text{ МПа}$$

Де допустимий надлишковий внутрішній тиск $[p]$:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{\text{н}} \cdot \varphi_p (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 229 \cdot 1(0.006 - 0.005)}{0.8 + (0.006 - 0.005)} = 0.57 \text{ МПа}$$

Перевіримо виконання умови:

$$P_{\text{нр}} = 1.35 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} = 1.35 \cdot 0.021 \cdot \frac{168}{130.7} = 0.036 \text{ МПа} \leq [p] = 0.57 \text{ МПа};$$

Умова міцності виконується. Відповідно прийнята товщина обичайки умови міцності задовольняє.

5.2.3 Діаметр штуцерів

Діаметр штуцерів розраховується за формулою [5]:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0.785 \cdot w \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{1.39}{0.785 \cdot 8 \cdot 0.9}} = 0.496\text{м};$$

Де масова витрата теплоносія $G = 1.39 \frac{\text{М}}{\text{с}}$;

Густина теплоносія $\rho = 0.9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Швидкість руху теплоносія в штуцері приймаємо $w = 8 \frac{\text{М}}{\text{с}}$;

Приймаємо $d_1 = 500\text{мм}$.

5.3 Розрахунок фланцевого з'єднання

Для з'єднання труб обираємо фланці приварені у стик (рис 5.2)

У зв'язі з тим, що в апараті середовище агресивне – лимонна кислота і необхідно забезпечити надійне співвісне з'єднання, вибираємо тип з'єднання шип-паз, яке використовується при підвищеному тиску, роботі з отруйними і агресивними розчинами і глибоким вакуумом.

Для ущільнення фланцевого з'єднання використовуємо фторопластову прокладку ГОСТ 10007-80, яка забезпечує, герметичність при тиску $p \leq 2.5\text{МПа}$ та температурі до $+250^\circ\text{C}$, стійкість до кислот, лугу будь якої концентрації, розчинникам.

Приймаємо діаметр болтів М20, виходячи з діаметру апарату та умовного тиску.[6]:

Товщина втулки фланця.[6]:

$$S_0 \leq 1.35S = 1.35 \cdot 0.006 = 0.007\text{м}$$

Де товщина стінки апарата $S = 6\text{мм}$;

Діаметр болтовго кола.[6]:

$$D_6 \geq D + 2(S_0 + d_6 + 0.006) = 0.8 + 2(0.008 + 0.020 + 0.006) = 0.868\text{м}$$

Де d_6 діаметр болті.

Внутрішній діаметр гріючої камери $D = 800\text{мм}$;

Приймаємо $D_6 = 880\text{мм}$ згідно ДСТУ 12820:2008.

Зовнішній діаметр фланця [6]:

$$D_{\phi} \geq D_6 + a = 0.88 + 0.040 = 0.92\text{м};$$

Де конструктивний додаток до розміру $a = 40\text{мм}$; [6]

Зовнішній діаметр прокладки [6]:

$$D_{\text{нп}} = D_6 - e' = 0.880 - 0.03 = 0.85\text{м};$$

Де нормативний параметр $e' = 30\text{мм}$; [6]

Середній діаметр прокладки [6]:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{нп}} - b_{\text{п}} = 0.85 - 0.012 = 0.838\text{м};$$

Де ширина прокладки $b_{\text{п}} = 0.012\text{м}$. Конструктивно обираємо $D_{\text{сп}} = 0.828\text{м}$ [6]

Кількість болтів для забезпечення герметичності [6]:

$$n \geq \frac{\pi \cdot D_6}{t_{\text{ш}}} = \frac{3.14 \cdot 0.880}{5 \cdot 0.020} = 27.63$$

Приймаємо $n=28$ шт. ОСТ 26 – 426 – 99.[Табл 13.7 стор 233]

За ДСТУ ГОСТ 12820:2008 обираємо фланці з наступними характеристиками:

Внутрішній діаметр штуцера:	$D = 800\text{мм};$
діаметр фланця:	$D_{\phi} = 920\text{мм};$
діаметр болтової окружності:	$D_6 = 880\text{мм};$
діаметр отворів під болт:	$d_6 = 23\text{мм};$
кількість болтів:	$n = 28\text{шт};$
висота фланця:	$h_{\phi} = 25\text{мм};$
маса фланця:	$m = 30\text{кг};$

Висота болта що не забезпечить згвинчування з гайкою [6]:

$$l_{\text{бо}} = 2(h_{\phi} + h_{\text{п}}) = 2 \cdot (0.025 + 0.003) = 0.056\text{м}$$

Де висота прокладки $h_n = 3\text{мм}$ [7]:

Розрахункова довжина болта [6]:

$$l_6 = l_{60} + 0.8d_6 = 0.056 + 0.8 \cdot 0.020 = 0.072\text{м.}$$

Приймаємо довжину болта $l_6 = 80\text{мм}$.

Розрахунок навантажень, що діють на фланцеве з'єднання;

Рівнодіюча внутрішнього тиску [6]:

$$F_d = \frac{P \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}}^2}{4} = \frac{0.2 \cdot 3.14 \cdot 0.828^2}{4} = 0.11\text{МН};$$

Де прийнятий внутрішній тиск штуцера $P = 0.2\text{МПа}$;

Реакція прокладки [6]:

$$R_n = \pi \cdot D \cdot k_{\text{пр}} \cdot b_0 \cdot P = 3.14 \cdot 0.828 \cdot 2.5 \cdot 0.012 \cdot 0.2 = 0.016\text{МН};$$

Де коефіцієнт піддатливості прокладки, для прокладки з фторопласту $k_{\text{пр}} = 2.5$; [7]

Ефективна ширина прокладки $b_0 = 0.012\text{м}$;

Піддатливість прокладки [6]:

$$y_n = \frac{k_n \cdot h_n}{E_n \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_n} = \frac{1 \cdot 0.003}{2000 \cdot 3.14 \cdot 0.828 \cdot 0.012} = 0.481 \cdot 10^{-4} \frac{\text{М}}{\text{МН}};$$

Коефіцієнт обтискання прокладки $k_n = 1$; [7]

Модуль Юнга для фторопластової прокладки, $E_n = 2000\text{МПа}$; [7]

Піддатливість болтів [6]:

$$y_6 = \frac{l_6}{E_6 \cdot f_6 \cdot n_6} = \frac{0.08}{1.87 \cdot 10^5 \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 28} = 0.49 \cdot 10^{-4} \frac{\text{М}}{\text{МН}};$$

Модуль Юнга для болтів зі СТ 3 сп, $E_6 = 1.87 \cdot 10^5\text{МПа}$;

[ДСТУ 2651:2005];

Площа поперечного перерізу болта, приймається по діаметру $f_6 = 314\text{мм}^2$; [7]

Піддатливість фланців [6]:

$$y_{\phi} = \frac{(1 - \nu \cdot (1 + 0.9\lambda_{\phi}))\psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}} = \frac{(1 - 0.237 \cdot (1 + 0.9 \cdot 0.361)) \cdot 14,3}{0.025^3 \cdot 1.98 \cdot 10^5} = 3.17 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}};$$

Модуль Юнга для фланців із сталі марки 08Х18Н10Т, $E_{\phi} = 1.98 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; [6]

Конструктивні коефіцієнти, які визначаються з формул $\psi_1 \psi_2 \lambda_{\phi} \nu$:

$$\begin{aligned}\psi_1 &= 1.281 \cdot \ln \frac{D_{\phi}}{D} = 1.281 \cdot \ln \frac{920}{800} = 0.179; \\ \psi_2 &= \frac{D_{\phi} + D}{D_{\phi} - D} = \frac{920 + 800}{920 - 800} = 14.3; \\ \lambda_{\phi} &= \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot S}} = \frac{25}{\sqrt{800 \cdot 6}} = 0.361; \\ \nu &= \left[1 + 0.92\lambda_{\phi} \left(1 + \frac{\psi_1 \cdot h_{\phi}^2}{S^2} \right) \right]^{-1} = \\ &= \left[1 + 0.92 \cdot 0.361 \left(1 + \frac{0.179 \cdot 25^2}{6^2} \right) \right]^{-1} = 0.237;\end{aligned}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання [6]:

$$\begin{aligned}k_{\text{ж}} &= \frac{y_{\phi} + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D - S) \cdot (D_{\phi} - D_{\text{сп}})}{y_{\text{п}} + y_{\phi} + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D_{\text{сп}})^2} = \\ &= \frac{0.49 \cdot 10^{-4} + 0.5 \cdot 3.17 \cdot (0.88 - 0.8 - 0.003) \cdot (0.88 - 0.828)}{0.481 \cdot 10^{-4} + 0.49 \cdot 10^{-4} + 0.5 \cdot 3.17 \cdot (0.88 - 0.828)^2} = 1.45;\end{aligned}$$

Зусилля від температурних деформацій [6]:

$$\begin{aligned}F_t &= \frac{y_{\phi} \cdot n_{\phi} \cdot f_{\phi} \cdot E_{\phi} \cdot (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha_{\phi} \cdot t_{\phi})}{y_{\phi} + y_{\text{п}} + 0.5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D_{\text{сп}})^2} = \\ &= \frac{0.49 \cdot 10^{-4} \cdot 28 \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 1.87 \cdot 10^5 \cdot (16.4 \cdot 10^{-6} \cdot 19.2 - 12.5 \cdot 10^{-6} \cdot 17)}{0.49 \cdot 10^{-4} \cdot 0.481 \cdot 10^{-4} + 0.5 \cdot 3.17 \cdot (0.88 - 0.828)^2} = \\ &= 18.83 \cdot 10^{-4} \text{ МН}\end{aligned}$$

Де $\alpha_{\phi} \cdot \alpha_{\phi}$ коефіцієнти температурного розширення відповідно фланців і болтів,

$$\alpha_{\phi} = 16.4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}, \alpha_{\phi} = 12.5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \text{ температури відповідно фланців і болтів}$$

$$t_{\phi} = 0.96t = 0.96 \cdot 20 = 19.2^{\circ}\text{C}, t_{\phi} = 0.85t = 0.85 \cdot 20 = 17^{\circ}\text{C} [7]$$

Зусилля в болтах в умовах монтажу [6]:

$$F_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{\text{ж}} \cdot F_{\text{д}} + R_{\text{в}} \\ \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot q \\ 0.4 \cdot [\sigma]_{\text{в}}^{20} \cdot n_6 \cdot f_6 \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 1.45 \cdot 0.0882 + 0.012 = 0.140 \text{ МН} \\ 3.14 \cdot 0.828 \cdot 0.012 \cdot 10 = 0.312 \text{ МН} \\ 0.4 \cdot 140 \cdot 28 \cdot 314 \cdot 10^{-6} = 0.492 \text{ МН} \end{array} \right\} = 0.492 \text{ МН}$$

Де зусилля герметизації, для фторопластової прокладки $q = 10 \text{ МПа}$; [6]

Граничне напруження в болтах $[\sigma]_{\text{в}}^{20} = 140 \text{ МПа}$; при температурі 20°C

Зусилля в болтах в робочих умовах [6]:

$$F_{62} = F_{61} + (1 - k_{\text{ж}})F_{\text{д}} + F_{\text{т}} = 0.492 + (1 - 1.45) \cdot 0.0882 + 1.9 \cdot 10^{-3} = 0.454 \text{ Н};$$

Найбільше зусилля в болтах $F_{6\text{max}} = \max\{F_{61}; F_{62}\} = F_{61} = 0.492 \text{ МН}$;

Приведений вигинаючий момент [6]:

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.5(D_6 - D_{\text{сп}})F_{61_2} \\ \left[0.5(D_6 - D_{\text{сп}})F_{62} + (D_{\text{сп}} - D - S)F_{\text{д}} \frac{[\sigma]_{\text{ф}}^{20}}{[\sigma]_{\text{ф}}} \right] \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0.5(0.88 - 0.828) \cdot 0.492 \\ \left[0.5(0.88 - 0.828) \cdot 0.454 + (0.828 - 0.8 - 0.006)0.0882 \cdot \frac{184}{172.4} \right] \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 12.79 \cdot 10^{-3} \text{ МНм} \\ 8.3 \cdot 10^{-3} \text{ МНм} \end{array} \right\} = 12.79 \cdot 10^{-3} \text{ МНм};$$

Де граничні напруження фланців $[\sigma]_{\text{ф}}^{20} = 184 \text{ МПа}$; , відповідно для 20°C

$[\sigma]_{\text{ф}} = 172.4 \text{ МПа}$; та для 120°C ;

Умова міцності болтів при монтажу [6]:

$$\frac{F_{61}}{n_6 f_6} \leq [\sigma]_{\text{в}}^{20} \Rightarrow \frac{0.429}{28 \cdot 314 \cdot 10^{-6}} = 55,96 \text{ МПа} \leq 140 \text{ МПа};$$

Умова виконується

Перевірка міцності болтів в робочих умовах [6]:

$$\frac{F_{62}}{n_6 f_6} \leq [\sigma]_6^{20} \Rightarrow \frac{0.454}{28 \cdot 314 \cdot 10^{-6}} = 51,63 \text{ МПа} \leq 140 \text{ МПа};$$

Умова виконується

Умова міцності прокладки [6]:

$$\frac{F_{6\max}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0} \leq [P]_{\text{пр}} \Rightarrow \frac{0.312}{3.14 \cdot 0.828 \cdot 0.012} = 10 \text{ МПа} \leq 40 \text{ МПа};$$

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

Умова міцності прокладки виконується

Радіальне напруження обчислюється за формулою [6]:

$$\sigma_1 = \frac{T_\phi \cdot M_0 \cdot \nu}{D \cdot S^2} = \frac{1.85 \cdot 12.79 \cdot 10^{-3} \cdot 0.237}{0.8 \cdot 0.006^2} = 194.7 \text{ МПа}$$

Конструктивний коефіцієнт, визначається по формулі [6]:

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{D_\phi^2 (1 + 8.55 \cdot \lg \frac{D_\phi}{D}) - D^2}{(1.05 \cdot D^2 + 1.945 \cdot D_\phi^2) \left(\frac{D_\phi^2}{D} - 1 \right)} = \\ &= \frac{0.92^2 (1 + 8.55 \cdot \lg \frac{0.92}{0.8}) - 0.8^2}{(1.05 \cdot 0.8^2 + 1.945 \cdot 0.92^2) \left(\frac{0.92^2}{0.8} - 1 \right)} = 1.85; \end{aligned}$$

Максимальне напруження кільця обчислюємо за формулою [6]:

$$\sigma_\kappa = \frac{M_0 (1 - \nu (1 + 0.9 \lambda_\phi))}{D h_\phi^2} = \frac{12.79 \cdot 10^{-3} (1 - 0.237 \cdot (1 + 0.9 \cdot 0.361))}{0.8 \cdot 0.025^2} = 17.4 \text{ МПа};$$

Напруження у втулці від внутрішнього тиску обчислюється за формулою [6]:

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \frac{PD}{2S} = \frac{0.16 \cdot 0.8}{2 \cdot 0.006} = 10.67 \text{ МПа}; \\ \sigma_m &= \frac{PD}{4S} = \frac{0.16 \cdot 0.8}{4 \cdot 0.006} = 5.3 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

Умова міцності обчислюється за формулою [6]:

$$\sqrt{(\sigma_1 + \sigma_t)^2 + \sigma_t^2 - (\sigma_1 + \sigma_t)\sigma_t^2} \leq \varphi[\sigma]_0;$$
$$\sqrt{(194.7 + 5.3)^2 + 10.67^2 - (194.7 + 5.3)10.67} = 195 \text{ МПа} \leq \varphi[\sigma]_0 = 404 \text{ МПа};$$

Де граничне напруження в перерізі, обмежено розміром S_0 [6]:

$$[\sigma]_0 = 0.002E_\phi = 0.002 \cdot 1.98 \cdot 10^5 = 396 \text{ МПа};$$

Умова герметичності фланцевого з'єднання [6]:

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D}{E_\phi \cdot h_\phi} = \frac{17.4 \cdot 0.8}{1.98 \cdot 10^5 \cdot 0.025} = 2.81 \cdot 10^{-3} \leq [\Theta] = 9 \cdot 10^{-3}$$

Граничний кут повороту фланців $[\Theta] = 0.009 (D \leq 2000 \text{ м})$ [7]

Умова герметичності фланцевого з'єднання виконується.

6 СТАРТАП

Таблиця 1.1 Структурно логічне формування ідеї.

Питання	Відповідь
Що є?	Гріюча камера плівкового випарного апарату з паровою фазою нагріву трубної решітки в трубках закипання розчину.
Що якщо?	Замінити гріючу камеру в плівковому апараті з паровою фазою нагріву на гріючу камеру з пластинами та електронагрівом
Що ВАУ?	Збільшення площі теплообміну, більша швидкість випаровування, легкість очищення гріючої камери від осаду, менша витрата енергії для утворення пари, компактність апарату, менша собівартість вихідного продукту (лимонної кислоти)
Що робити?	Розробити пластинчасту гріючу камеру з електронагрівом для плівкового випарного апарату в програмі Kompas -3D. Розробити моделювання процесу випаровування в програмі Ansys. Провести лабораторні випробування апарату. Замінити апаратурно-технологічну схему процесу.

Таблиця 1.2 Стартові характеристики стартап-ідеї

Об'єкт стартапу	Пластинчата гріюча камера з електронагрівом для плівкового випарного апарату для випарювання розчину лимонної кислоти.
Суб'єкт стартапу	Фізична особа, розробник стартапу, Ганєв Кирило Зіновійович.
Потреба яку задовольняє стартап: - у виробника - у споживача	Збільшення площі теплообміну, більша циклічність процесу випарювання, менша витрата енергії для утворення пари, менша собівартість вихідного продукту (лимонної кислоти), збільшення попиту на продукцію за рахунок зменшення ціни на продукт або отримання більшого прибутку якщо не змінювати ціну. Менша ціна на продукт (лимонна кислота).
На покращення якого фактору у моделі ділової досконалості підприємства спрямований стартап	Виробничі процеси.
Місце стартапу у ланцюжку цінностей продукту	Дослідження.

Гранична корисність стартапу	Процес випарювання розчину лимонної кислоти проходить швидше.
Споживач	Підприємства на яких процес випарювання є одним із етапів виробництва продукту.
Ринок збуту	Особистий продаж, сайт-сторінка в пошуковій системі Google.
Собівартість проекту	156 360 грн
Ринкова ціна продукту	277 200 грн
Прогнозні капіталовкладення	156 360 грн
Період повернення капіталовкладень	2 місяці
Прогнозні джерела фінансування	Власні заощадження компанії

6.1 Аналіз прогнозованих ринкових позицій стартап-проекту

6.1.1 Планові варіанти розвитку стартап ідеї.

Таблиця 2.1 Варіанти та можливий розвиток стартап-ідеї.

Варіант	Стислий опис можливого розвитку
1	Продаж підприємству/компанії патент на стартап.
2	Розвиток в Україні, пошук підприємств які потенційно зацікавлені в ідеї стартапу, збільшення штату розробників, розробка індивідуальних конструкторських рішень гофрованих труб для різних конструкцій апаратів, розробка сайт сторінки-вітрини (лендинг), запуск реклами в пошуковій системі Google.
3	Розвиток в Україні та Європі, офіс у Києві, збільшення штату співробітників (розробників, менеджерів з продажу, і т.д.), співпраця з європейськими виробниками та постачальниками, сайт компанії з описом конструкторських рішень, запуск реклами в пошуковій системі Google та соціальних мережах.

Таблиця 2.2 Формування ціннісної пропозиції.

Питання	Цінність
Авторська сутність ідеї	Покращення теплообмінних показників, збільшення площі теплообміну, за рахунок зміни конструкції гріючої камери плівкового апарату з трубчатої решітки з паровою фазою нагріву на пластинчасту гріючу камеру з електронагрівом.
Наявність аналогів або прототипів ідеї	Є аналоги.
Ціна аналогів і прототипів, грн/од	Інформація відсутня.
Ступінь розробленості технологічного обладнання	Технологія розроблена.
Наявність готового технологічного обладнання	В наявності.
Перелік потенційних постачальників інших складових для реалізації замовлень стартапу	Інтертайп(Україна) ЗСП (Дніпро, Україна)
КВЕД, до якого може належати дане виробництво	
Очікувана збутова потужність стартапу (одиниць,одиниць/споживача)	1 одиниць/споживача.

За наявності підготовленого персоналу	Розробник.
Бажана сфера пошуку капіталу і контролю для реалізації стартапу (національний, іноземний, спільний багатонаціональний)	100% від споживача (підприємства).
Бажане географічне розташування: - потужностей стартапу, - офісу стартапу, - збутової мережі - постачальників комплектуючих	Постачальник металевих пластин та електронагрівальних елементів. Без офісу, в мережі онлайн. Персональна зустріч з представниками виробництва. Постачальник металевих пластин та електронагрівальних елементів.
Яка форма організації виробничих процесів (періодичні, безперервні)	Періодичні.
Який режим роботи підприємства з виробництва об'єкту стартапу протягом року (сезонне, позасезонне)	Цілий рік, 5 днів на тиждень, з 10:00-18:00.
Яке географічне розташування на території України?	Київ.

За плановим терміном реалізації проекту: - до 3 років самостійної роботи - до 5 років самостійної роботи - самостійна робота з подальшим удосконаленням ідеї - продаж ідеї - продаж виробництва - закриття	Термін безстроковий, реалізація за наявності клієнтів які потребують продукт, планується подальше удосконалення стартап ідеї з урахуванням усіх індивідуальних ситуацій які виникатимуть на етапі розробки та під час реалізації продукту.
--	---

6.1.2. Вплив внутрішньо-оперативного середовища на цінність стартап-проєкту.

Таблиця 2.4 Вплив внутрішньо оперативного середовища на цінність стартап-проєкту

Фактори зовнішнього середовища	Загрози			Можливості		
	Сутність загрози	Ймовірність настання, %	Вплив на цінність стартапу	Сутність можливості	Ймовірність настання, %	Вплив на цінність стартапу
Політика	Виникнення конфлікту між Україною та США, введення санкцій з боку України у відмові використання сервісів Google.	0.5	Цей фактор негативно вплине на можливість просування стартап-ідеї в інтернет мережі.	Запуск програми підтримки нових розробок та стартапів в Україні.	30	Можливість отримати грант на розвиток від держави.
Економіка	Настання кризи в країні.	35	Відсутність фінансової стабільності у споживачів веде за собою зменшення попиту на продукцію у виробників що впливає на економічні показники підприємства та затрати для його розвитку, і ідея-стартапу може бути не доцільною для підприємства з економічної точки зору.	Поява виробничого стартап-акселератора в Україні.	10	Стартап-акселератор як інструмент для розповсюдження ідеї стартапу, залучення інвесторів у розвиток проекту, пошук потенціальних клієнтів. Даний інструмент економічно вигідний для обох сторін, як для підприємств так і для стартапів.
Географія	Відбудеться природний катаклізм який зруйнує підприємство.	1	У разі настання сильного природного катаклізму, наприклад землетрусу в 10 балів за шкалою Ріхтера, як результат зруйнування декількох підприємств призведе до остаточної недоцільності стартап ідеї.	До складу України повернеться Донецька область та півострів Крим.	51	Відновлення окупованих українських територій, створить додаткові можливості для розвитку стартап-ідеї, особливо в Донецькій області так як вона має досить багато виробництв, звісно на відновлення яких необхідний час.
Демографія	Різкий зріст смертності від коронавірусу в області де знаходиться підприємство.	10	Цей фактор може вплинути на підприємство яке потенційно може бути зацікавленим в стартап-ідеї і таке потрясіння може внести негативні корективи в	Один з робітників підприємства в якому ми втілили стартап-ідею	3	Можливість рекомендацій від робітника розробленого конструктивного рішення для підприємства.

			план розвитку підприємства, стартап-ідея може бути недоцільною в такій ситуації.	вирішив переїхати в інше місто, де йому запропонували кращі умови роботи на подібному підприємстві.		
Культура	На етапах реалізації стартап ідеї, при появі труднощів або складних ситуацій в роботі, виникнення агресії та зневаги зі сторони замовника.	15	В такій ситуації може виникнути непорозуміння з обох сторін, та припинення робіт над реалізацією стартапу. Це негативно вплине на імідж стартапу в будь-якому випадку.	Власник підприємства націлений співпрацювати виключно з українськими розробниками.	10	Цей фактор дасть більше шансів для можливої співпраці та розвитку стартап-ідеї в Україні.
НТП (науково-технічний прогрес)	Поява нових конструкцій труб, з більшими теплообмінними та циркуляційними показниками.	40	В такому випадку підприємства зможуть отримати більш широкий вибір конструктивних рішень залежно від своїх потреб, це забере певну долю уваги підприємств та потенційно може бути загрозою для нашого стартапу, особливо якщо компанія розробник вже зарекомендована на ринку.	Компанія яка займається розробкою конструкцій теплообмінних і випарних апаратів в Україні пропонує втілити стартап-ідею в їх нові проекти.	15	Така колаборація дасть хороший поштовх для розвитку стартапу.

6.1.3 Визначення потенційного споживача.

Таблиця 2.5 Характеристика потенційного споживача

Критерій оцінки потенційного споживача	Значення
Форма власності	Приватне

КВЕД	21.20 Виробництво фармацевтичних препаратів і матеріалів 21.10 Виробництво основних фармацевтичних продуктів
За потужністю	Малі/середні
За масштабом виробництва	Масові
За рівнем спеціалізації	Багатопрофільні
За ресурсами, що споживаються	Матеріаломісткі
За чисельністю персоналу	Малі/середні
За сферою діяльності	Виробничі
За приналежністю капіталу і контролю	Національні
За географічним розташуванням	Україна
За наявністю вільних ОБЗ	5 000 000 грн

6.1.4 Анкета для потенційних споживачів

Таблиця 2.6 Характеристика потенційного споживача

№	Вид	Питання	Варіанти відповіді	Аналіз дій
1	Відкрите	Назва компанії.	Багато варіантів	За назвою можна дізнатися про компанію багато різної інформації.
2	Відкрите	Назва в'язкої речовини для випарювання.	Багато варіантів	Дізнавшись речовину яка випаровується на виробництві можна зрозуміти чи підійде конструкція електронагрівача.

3	Відкриті	Конструкція випарного апарату.	Багато варіантів	Це дозволить оцінити можливість встановлення електронагрівачів залежно від конструкції.
4	Закриті	Модель випарного апарату на виробництві, використовує нагріту пару як теплоносії?	Так	Тоді є можливість запропонувати систему електронагрівачів на зміну парогенераторів.
			Ні	В такому випадку подача енергії може бути за рахунок води або інших теплоносіїв.
5	Варіантне	Оберіть кількість одиниць випарних апаратів на виробництві?	1, 2, 3, 4, 5, >5.	Це дозволить оцінити масштаб потенційного проєкту.
6	Зондування	Яка компанія виробник вашої випарної установки?	Багато варіантів	Дізнавшись марку моделі можна дізнатись параметри та технічні характеристики випарного апарату, і можливість встановлення конструкцій електронагрівачів.
7	Відкриті	Яка виробнича потужність вашого випарного апарату?	Багато варіантів	Це дозволить оцінити масштаб потенційного проєкту.

8	Варіантне	Оцініть якість та потужності електропостачання до випарного апарату на виробництві	Погано Задовільно Добре Відмінно	Відповідь викличе необхідність переконатися у потужностях в чисельному значенні.
9	Спрямування	Ви готові обговорити усі питання в телефонному режимі після анкетування?	Готовий	Це питання спрямовує до перевірки.
			Не готовий	Це питання спрямовує до перевірки.
10	Перевірка	Ваш номер телефону для зв'язку.	Вкаже номер	Потенційний замовник готовий обговорити питання.
			Не вкаже номер	Потенційний замовник не готовий обговорити питання.

6.1.5 Споживач. Структура пошуку

Таблиця 2.7 Пошук потенційних споживачів

Категорія пошуку	Місце пошуку	Адреса пошуку	Знайдена інформація	Контакти
Інтернет	Пошук ова систем а Google	https://chumak.com/	Компанія виготовляє пастоподібну продукцію для якої процес	бул. Дружби народів, 19, офіс 4-го поверху, 01042, м. Київ, Україна

			випарювання є необхідним.	Тел.: +38 (044) 35 - 407 - 00 Факс: +38 (044) 35 - 407-01 E-mail: kyiv.office@chumak.com
Інтернет	Пошукова система Google	http://www.pomidora.com/ua/	Компанія виготовляє пастоподібну продукцію для якої процес випарювання є необхідним.	+380 (564) 99 09 09 office@pomidora.com 53070, Україна, Дніпропетровська обл., Криворіжський р-н, с. Широке, вул. Молодіжна, буд. 1а
Інтернет	Пошукова система Google	https://runa.ua/uk/	Компанія виготовляє пастоподібну продукцію для якої процес випарювання є необхідним.	43016, УКРАЇНА м. Луцьк, вул. Ковельська, 150 ПрАТ “Луцьк Фудз” +38 067 487 17 86 o.drobaha@runa.ua
Інтернет	Пошукова система	https://volynholding.business-	Компанія виготовляє пастоподібну продукцію для якої	45612 Волинська обл., Луцький р-н, смт. Торчин,

	a Google	guide.com.ua/ a/	процес випарювання є необхідним.	вул. Івана Франка, 4 +38 (0332) 776848 +38 (0332) 776610 +38 (0332) 776600 <u>volynholding.business-guide.com.ua</u>
Інтернет	Пошук ова систем а Google	https://himekivator.com.ua/	Компанія виготовляє лимонну кислоту для якої процес випарювання є необхідним.	вул. Плеханівська, 20, Харків, Україна пн-пт 9:00-20:00 +380 (95) 793-65-02, +380 (98) 386-38-81, +380 (63) 828-59-14, +380 (95) 042-10-19, +380 (67) 535-32-88
Інтернет	Пошук ова систем а Google	http://agrokapital.com.ua/	Компанія виготовляє лізин для якої процес випарювання є необхідним.	08600, Київська обл., м. Васильків, вул. Декабристів, 145-А, +38 (044) 580-0-580

Було здійснено маркетингові дослідження по продукції (лимонна кислота). Дослідження свідчать про існування значного попиту на лимонну кислоту, відповідно апарати для її випарювання також користуються популярністю. Хімічні, харчові,

біотехнологічні - всі ці підприємства потребують інноваційного обладнання, отже, і є потенційними споживачами випарних апаратів.

6.1.6 Аналіз конкурентного середовища за методом квадрату Бове

Попит на дану продукцію є стабільним, так як і в промисловості і в побутових сферах життя люди потребують лимонну кислоту. 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 нища за ринкову. Для аналізу конкурентного середовища було проаналізовано підприємства і створено квадрат Бове.

Таблиця 2.8 Формування рейтингу конкурентів за напрямком конкуренції

Напрямок конкуренції	Назва конкурента	Контакти конкурента
За географічним розташуванням виробництва	«Монастирищенський завод котельного обладнання»	Україна, Черкаська обл., м. Монастирище, вул. Аврамівська, 33
	«Тепло поліс»	Україна, Харків, вул. Ак. Проскури, 1
	"Альфа Лаваль Поток"	Росія, м. Корольов, Моск. обл., мкр. Болшеве, вул. Радянська 73
	«Континент»	Росія, м. Івантєєвка, Московська обл., Росія
	"Газпроммаш"	Росія, м. Саратов, вул. Московська, 44
	«Молком»	Алтайский край, м. Барнаул, вул. Гридасова, 1

За географією ринку збуту	"Альфа Лаваль Поток"	Росія, м. Корольов, Моск. обл., мкр. Болшеве, вул. Радянська 73
	"Газпроммаш"	Росія, м. Саратов, вул. Московська, 44
	«Тепло поліс»	Україна, Харків, вул. Ак. Проскури, 1
	«Монастирищенський завод котельного обладнання»	Україна, Черкаська обл., м. Монастирище, вул. Аврамівська, 33
	«Молком»	Алтайский край, м. Барнаул, вул. Гридасова, 1
	«Континент»	Росія, м. Івантєєвка, Московська обл., Росія
За категоріями споживачів	"Альфа Лаваль Поток"	Росія, м. Корольов, Моск. обл., мкр. Болшеве, вул. Радянська 73
	"Газпроммаш"	Росія, м. Саратов, вул. Московська, 44
	«Монастирищенський завод котельного обладнання»	Україна, Черкаська обл., м. Монастирище, вул. Аврамівська, 33
	«Тепло поліс»	Україна, Харків, вул. Ак. Проскури, 1
	«Молком»	Алтайский край, м. Барнаул, вул. Гридасова, 1
	«Континент»	Росія, м. Івантєєвка, Московська обл., Росія

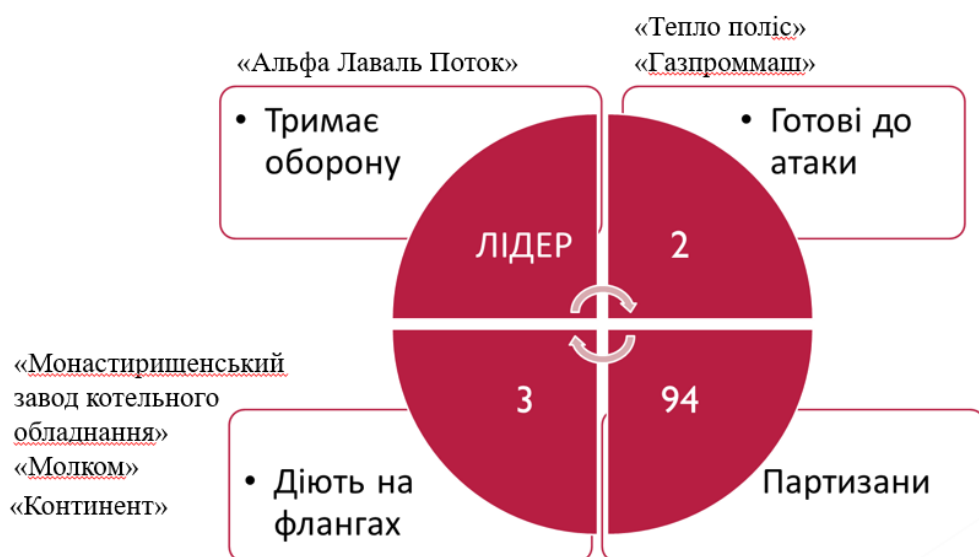
За технологією виробництва	"Альфа Лаваль Поток"	Росія, м. Корольов, Моск. обл., мкр. Болшеве, вул. Радянська 73
	«Молком»	Алтайский край, м. Барнаул, вул. Гридасова, 1
	"Газпроммаш"	Росія, м. Саратов, вул. Московська, 44
	«Тепло поліс»	Україна, Харків, вул. Ак. Проскури, 1
	«Монастирищенський завод котельного обладнання»	Україна, Черкаська обл., м. Монастирище, вул. Аврамівська, 33
	«Континент»	Росія, м. Івантєєвка, Московська обл., Росія
За продуктом	"Альфа Лаваль Поток"	Росія, м. Корольов, Моск. обл., мкр. Болшеве, вул. Радянська 73
	"Газпроммаш"	Росія, м. Саратов, вул. Московська, 44
	«Молком»	Алтайский край, м. Барнаул, вул. Гридасова, 1
	«Тепло поліс»	Україна, Харків, вул. Ак. Проскури, 1
	«Монастирищенський завод котельного обладнання»	Україна, Черкаська обл., м. Монастирище, вул. Аврамівська, 33
	«Континент»	Росія, м. Івантєєвка, Московська обл., Росія

За властивостями продукту	"Альфа Лаваль Поток"	Росія, м. Корольов, Моск. обл., мкр. Болшеве, вул. Радянська 73
	«Молком»	Алтайский край, м. Барнаул, вул. Гридасова, 1
	"Газпроммаш"	Росія, м. Саратов, вул. Московська, 44
	«Монастирищенський завод котельного обладнання»	Україна, Черкаська обл., м. Монастирище, вул. Аврамівська, 33
	«Тепло поліс»	Україна, м. Харків, вул. Ак. Проскури, 1
	«Континент»	Росія, м. Івантеевка, Московська обл., Росія
За ціною продукту	«Тепло поліс»	Україна, м. Харків, вул. Ак. Проскури, 1
	"Газпроммаш"	Росія, м. Саратов, вул. Московська, 44
	«Континент»	Росія, м. Івантеевка, Московська обл., Росія
	«Монастирищенський завод котельного обладнання»	Україна, Черкаська обл., м. Монастирище, вул. Аврамівська, 33
	«Молком»	Алтайский край, м. Барнаул, вул. Гридасова, 1
	"Альфа Лаваль Поток"	Росія, м. Корольов, Моск. обл., мкр. Болшеве, вул. Радянська 73

Таблиця 2.9 Оцінка факторів успішності конкурентів на ринку

Назва	За ціною продукту (оцінка)	За властивос тями продукту (оцінка)	За продукто м (оцінка)	За технологі єю виробниц тва (оцінка)	За категорія ми споживач ів (оцінка)	За географіє ю ринку збуту (оцінка)	За географіч ним розташув анням виробниц тва (оцінка)	Сума
"Альфа Лаваль Поток"	1	6	6	6	6	6	4	5
«Молком»	2	5	4	4	5	2	1	3
«Монасти рищенськ ий завод котельног о обладнан ня»	3	3	3	2	3	3	6	3
«Контине нт»	4	1	1	1	1	1	3	2
"Газпром маш"	5	4	5	5	4	5	2	0
«Тепло поліс»	6	2	2	3	2	4	5	4
«Стартап »	6	5	5	6	4	5	4	5

Таблиця 2.10 Квадрат Бове



6.1.7 Ключові фактори успіху стартап-проєкту. Метод Шонфільда

Таблиця 2.11 Оцінка характеристики товару для компаній-конкурентів

Характеристика	Вагомість характеристики	«Монастирищенський завод котельного обладнання»	Характеристика	Вагомість характеристики	«Монастирищенський завод котельного обладнання»	Характеристика	Вагомість характеристики	«Монастирищенський завод котельного обладнання»
Ціна	0.2	2	4	1.5	3	3	2	3
Максимальна поверхня теплообміну	0.2	2	3	5	2	4.5	3	4
Компактність	0.2	3	3	4	2	3	3.5	5
Маса	0.1	4	2	2	3	2	3	2
Продуктивність	0.3	3	4.5	5	3	3	2.5	5

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

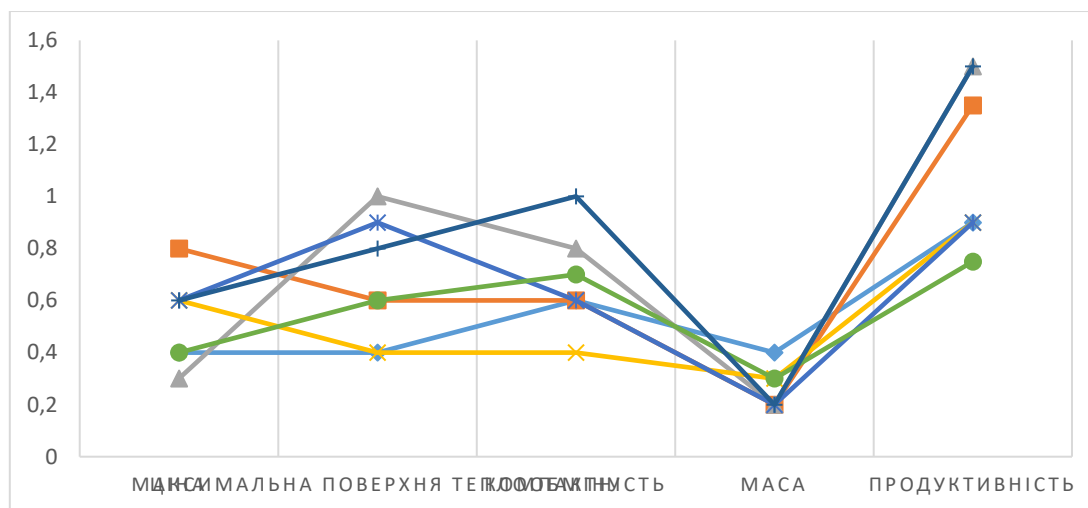
Дані фактори не можна вважати постійними, тому що вони змінюються в залежності від особливостей тієї чи іншої галузі, сегментів ринку. Які обслуговуються, а також залежать від часу та етапу життєвого циклу на якому знаходиться підприємство.

Щоб більш наочно оцінити технічний рівень пластинчасту гріючу камеру для плівкового випарного апарату і його аналоги, а також для більшої об'єктивності порівняємо апарати за допомогою методу Шонфільда. Для порівняння оберемо наступних виробників-конкурентів.

Таблиця 2.12 Фактори успішності конкурентів на ринку за методом Шонфільда

Характеристика	Вагомість характеристики	Оцінка характеристики товару для компаній-конкурентів							Велечина факторів успішності на ринку						
		«Монастирський завод котельного обладнання»	«Тепло поліс»	"Альфа Лаваль Поток"	«Континент»	"Газпром маш"	«Молком»	«Стартап»	«Монастирський завод котельного обладнання»	«Тепло поліс»	"Альфа Лаваль Поток"	«Континент»	"Газпром маш"	«Молком»	«Стартап»
Ціна	0,2	2,0	4,0	1,5	3,0	3,0	2,0	3,0	0,4	0,8	0,3	0,6	0,6	0,4	0,6
Максимальна поверхня теплообміну	0,2	2,0	3,0	5,0	2,0	4,5	3,0	4,0	0,4	0,6	1	0,4	0,9	0,6	0,8
Компактність	0,2	3,0	3,0	4,0	2,0	3,0	3,5	5,0	0,6	0,6	0,8	0,4	0,6	0,7	1
Маса	0,1	4,0	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2
Продуктивність	0,3	3,0	4,5	5,0	3,0	3,0	2,5	5,0	0,9	1,35	1,5	0,9	0,9	0,75	1,5

Графік 1. Візуалізація результату оцінки факторів успішності конкурентів на ринку



Ключовим фактором для «Стартап» та усіх конкурентів буде фактор продуктивності (таблиця 2.11), також для компанії «Газпроммаш» ключовим фактором може бути показник максимальної поверхні теплообміну.

6.1.8 Вплив зовнішньо-оперативного середовища на стартап-проект

Таблиця 2.13 Вплив зовнішньо-оперативного середовища на цінність стартап-проекту

Фактор	Переваги			Недоліки		
	Сутність	Ймовірність настання	Вплив на цінність	Сутність	Ймовірність настання	Вплив на цінність
Постачальники	Наявність постачальника в Україні	100%	Дешева ціна за постачання	Неякісна сировина	50%	Невиправдані очікування замовника, як наслідок, незадоволеність замовника продуктом
	Якість ресурсів	60%	Наявність усіх сертифікатів якості на продукт	Відсутня наявність транспорту для доставки	60%	Необхідність додаткових витрат на постачання

	Періодичність постачання	90%	Вплив на швидкість реалізації проєкту	Затримки постачання	20%	Затримки в виконанні проєкту
	Величина асортименту	50%	Підбір матеріалів та властивостей конструкцій під задачу замовника			
Посередники	Великий об'єм замовлень	70%	Підвищення рейтингу стартапу, більший прибуток	Збільшення кінцевої собівартості розробки	10%	Кінцева ціна за розробку може вплинути на рішення замовника у виборі розробника
	Збільшення впізнаваності бренду	40%	Збільшення зацікавленості потенційних клієнтів	Відсутність повного контролю якості процесів реалізації	90%	Вплив на імідж стартапу
	Делегування процесів реалізації	60%	Зосередження уваги на інших процесах стартапу			
Конкуренти	Мала конкуренція в Україні	90%	Більший об'єм охопту підприємств в Україні	Конкуренція з закордонними розробниками	60%	Можлива схильність вибору виробників, конструкторських рішень закордонних розробників, як наслідок зменшення потенціальних замовників стартап розробки
	Можливість конкурувати з закордонними компаніями	60%	Фактор вітчизняного продукту хорошої якості позитивно вплине на рішення при виборі споживача продукту	Високий рівень довіри клієнтів конкурентної компанії	60%	Недостатня довіра до ідеї стартапу від потенційних споживачів
	Монополізація ринку	10%	Контроль ринку.	Кращі умови ресурсів та послуг у конкурентної компанії	70%	Небажання споживачів переплачувати за продукт з урахуванням новизни ідеї
Споживачі	Можливість використання розробки в багатьох сферах виробництва	40%	Можливість втілення стартап ідеї в підприємства різнопланового напрямку виробництва	Мала кількість споживачів	70%	Збільшення затрат на пошук потенціальних споживачів для втілення стартап проєкту
	Контроль та втілення усіх етапів реалізації проєкту	90%	Споживачу не потрібно думати про те як втілити наприклад перевезення	Лояльність споживачів	30%	Низький рівень лояльності

			конструкції, встановлення і т.д.			

6.1.9 Просування цінності стартап-проєкту на ринок.

Таблиця 2.14 Методи просування стартап-проєкту

Метод просування	Об'єкт просування	Мета просування	Засіб просування	Переваги	Недоліки
Пропаганда	Ідея модернізації гріючої камери пластинчастого типу з електронагрівомvipарного апарату плівкового типу для випарювання лимонної кислоти	Організувати суспільну думку яка націлена на переконання споживачів у тому що дана розробка сприятиме поліпшенню процесів виробництва на підприємствах.	1. Консультування споживачів. 2. Проведення презентацій. 3. E-Mail розсилка. Статті в наукових газетах ,журналах, інтернет-блоггах.	1. Ознайомлення споживача з продуктом. 2. Розширення аудиторії. 3.Зміцнення партнерських стосунків зі споживачем.	1. Можливість негативної думки про розробку.
Реклама	Цінність розробки гріючої камери пластинчастого типу з електронагрівомvipарного апарату плівкового типу для випарювання лимонної кислоти	Викликання зацікавленості до цінності гріючої камери пластинчастого типу з електронагрівомvipарного апарату плівкового типу для випарювання лимонної кислоти. Створи ти та підтримувати популярність нової розробки	1.Банери, плакати, рекламні щити, електронні щити. 2. Каталоги, брошури. 3. Рекламний ролик. 4. Реклама на цільових сайтах, блогах.	1.Інформує споживача про новий продукт. 2. Ясно показує переваги що відрізняють продукт від аналогів. 3.Стимулює споживача про продукт більше.	1. Необхідний достатній бюджет 2.Додаткові затрати на створення та розповсюдження фізичних носіїв реклами. 3. Дозвіл на процес зйомки виробництва.

					Консультативних спеціалістів маркетологів для створення успішного медіа плану.
Стимулювання збуту		Долучити споживачів до участі у створенні стартап-проекту. Отримати інформацію від споживача про конкретні потреби, заохочення.	1. Можливість продажу в кредит. 2. Вручення подарункових послуг (безкоштовна консультація, розрахунок апарату, тощо.) 3. Створення знижок на наступну покупку.	1. Можливість кредитування на власних умовах. 2. Можливість стимулювати споживача до покупки апарату, створити дружні	1. Довгий період отримання коштів. 2. Додаткові витрати і як наслідок зменшення розміру прибутку.
Особистий продаж	Певна доля прибутку від реалізації стартап-проекту	Залучити споживача фінансувати стартап-проект	1. Особисто дізнатися і обговорити потреби споживача. 2. Попередньо вивчити клієнта і запропонувати саме те що потрібно.	1. Безпосередній контакт продавця з покупцем. 2. Можливість урахувати індивідуальні особливості клієнта	1. Невелике охоплення аудиторії. 2. Необхідність висококваліфікованого продавця.
Інтернет-маркетинг	Ідея стартапу. Цінність розробки	1. Зацікавити потенційних	1. Соціальні мережі. 2. Корпоративні сайти. 3. Пошукові системи	1. Можливість аналізу реакції покупців на пропозиції, на основі аналізу оперативно	1. Хаотичність.

	гріючої камери пластинчастого типу з електронагріво мвипарного апарату плівкового типу для випарювання лимонної кислоти	споживачів інноваційною ідеєю.		корегувати рекламну пропозицію. 2. Заощадження коштів на поширенні інформації	2. Інформац ійна перенава нтаженість сайтів. 3. Відсутніс ть наочно отримати досвід взаємодії та роботи продукту.
--	---	-----------------------------------	--	--	--

Найбільш ефективним методом просування мого стартап проєкту на ринок можна визнати особистий продаж. Так як продукція в деякій мірі специфічна і не для масового споживання та використання, так як при індивідуальному підході існує можливість врахувати всі потреб споживача, стимулювання збуту також можна визнати ефективним методом. Так як за рахунок долучення споживана до виробництва продукту, допоможе нам виявити всі потреби останнього.

6.2 Фінансові складові проєкту

6.2.1 Визначення економічних складових стартап-проєкту

Таблиця 2.15 Визначення складових стартап проєкту

№ п/п	Складова	Сума, грн	Джерело фінансових ресурсів
1	Сировина та матеріали	88 800	Власні заощадження компанії
2	Ціна виробничих робіт	7 560	Власні заощадження компанії
3	Нематеріальні активи	10 000	Власні заощадження компанії
4	Заробітна плата (+22%)	25 000+25 000 = 50 000	Власні заощадження компанії

5	Разом собівартість	156 360	
---	--------------------	---------	--

6.2.2 Розрахунок ціни інноваційної пропозиції

6.2.2.1 Витратний метод

$$Ц = C + 5\% = 156\,360 + (156\,360 * 0.05) = 164\,178 \text{ грн/м}^3$$

6.2.2.2 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 конкурентоспроможності.

$$Ц_{\text{нovoї моделі}} = Ц_{\text{базової моделі}} * (\text{балова оцінка нової моделі} / \text{балова оцінка базової моделі}) = 200\,000 * (9/7.5) = 240\,000 \text{ грн/м}^3$$

6.2.2.3 Метод на основі 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 ціни, і визначення їх впливу на обсяги збуту, необхідного для подолання рівня беззбитковості. (2)

$$Ц = (A + O_{\text{бз}} * B) / B = (0 + 156\,360 * 1) / 1 = 156\,360 \text{ грн/м}^3$$

6.2.2.4 Конкурентний метод

Аналогів такої конструкції випарного апарату я не знайшов, буду використовувати мінімальну та максимальну ціну $O_{\text{бз}}$ яку можна знайти на ринку для виготовлення апарату, таким чином визначу наближений діапазон цін для подібних конструкцій.

Таблиця 2.16 Ціна за матеріали та роботу

Назва елемента	Діапазон цін аналогів
Пластинчатий нагрівальний елемент (шт)	1 000 - 1 900 грн

Мінімальна
собівартість

Металевий лист (10 мм)	2 700 - 5 000 грн/м ²
Ціна за зварювання	300 - 1 500 грн/м.п.
Ціна за нарізання металу	15 - 100 грн/м.п.

можлива

$C_{\min} = ((4 \cdot 1000 + 2700 \cdot 4 + 300 \cdot 4 + 15 \cdot 4) \cdot 6) + 50\,000(\text{ЗП}) + 10\,000(\text{Нематеріальні активи}) = 156\,360 \text{ грн/6м}^3$.

Максимально можлива собівартість $C_{\max} = ((4 \cdot 1900 + 5\,000 \cdot 4 + 1\,500 \cdot 4 + 100 \cdot 4) \cdot 6) + 50\,000(\text{ЗП}) + 10\,000(\text{Нематеріальні активи}) = 264\,000 \text{ грн/6м}^3$.

$C_{\min} = C + 5\% = 156\,360 + (156\,360 \cdot 0.05) = 164\,178 \text{ грн/м}^3$.

$C_{\max} = C + 5\% = 264\,000 + (264\,000 \cdot 0.05) = 277\,200 \text{ грн/м}^3$.

6.2.2.5 Агрегатний метод

Пластинчатий нагрівальний елемент 1 000 грн/шт (500мм*200мм*12мм).

Металевий лист 2 700 грн/м² (10мм).

Ціна за зварювання 300 грн/м.п

Ціна за нарізання металу 15 грн/м.п.

Для виготовлення 1 м³ поверхні випарювання з нагрівальним елементом необхідно 4 шт. пластинчатих нагрівальних елемента, 1 м² металевий лист, 4 м. п. зварювального шва, 4 м. п. прорізу металу. Об'єм гріючої камери буде 6м³.

$C = (4 \cdot 1000 + 2\,700 + 300 \cdot 4 + 15 \cdot 4) \cdot 6 + 50\,000(\text{ЗП}) + 10\,000(\text{Нематеріальні активи}) = 156\,360 \text{ грн}$.

$C = C + 5\% = 156\,360 + (156\,360 \cdot 0.05) = 164\,178 \text{ грн/м}^3$.

6.2.3 Найоптимальніший метод для стартап-проекту

Таблиця 2.17 Визначення складових стартап проекту

Метод ціноутворення	Прогнозна ціна, грн	Плановий прибуток, грн	Максимально допустима
------------------------	------------------------	---------------------------	--------------------------

			собівартість, грн
Витратний	164 178	7 818	156 360
Агрегатний	164 178	7 818	156 360
Параметричний	240 000	83 640	156 360
Конкурентний	164 178 - 277 200	7 818-120 840	156 360
На підставі точки беззбитковості	156 360	0	156 360
Найбільш оптимальний	277 200	120 840	156 360

З представлених методів найбільш оптимальним буде конкурентний з
максимальною ціною 277 200 грн.

$$P = (П/С) * 100\% = (120\,840 / 156\,360) * 100\% = 77.31\%.$$

ВИСНОВОК

Представлений стартап-проект виробництва обладнання для випарювання лимонної кислоти а саме гріючої камери пластинчастого типу з електронагрівом для випарного апарату плівкового типу. У даній роботі здійснено аналіз внутрішнього та зовнішнього середовищ підприємств. Даний аналіз показав, в якому напрямку варто рухатися 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.

Метод Шонфільда вказує що найбільшими ключовим фактором який забезпечить конкурентноспроможність стартапу є фактор продуктивності випарного апарату.

Ринок збуту поширюється на 3 великих промисловості, а саме - харчова, хімічна, біотехнологічна, Ціну модернізованого апарату обрано 277 200 грн/од (конкурентний метод | найоптимальніший). | Планований прибуток 120 840 грн/од. Максимальна собівартість апарату 156 300 (за методом конкурентних цін), рентабельність проекту 45.77 %. 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 проекті.

Проаналізувавши всі фактори, визначивши слабкі і сильні сторони даного проекту, можна дійти до висновку що дана ідея має всі шанси розробити конструкцію гріючої камери пластинчастого типу з електронагрівом для випарного апарату плівкового типу для випарювання лимонної кислоти.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даному магістерському проєкті описано процес модернізації плівкового випарного апарату.

Розглянуто технологічний процес основних та допоміжних етапів процесу вироблення лимонної кислоти.

На основі розглянутих існуючих конструкцій плівкових випарних апаратів розроблено нову конструкцію гріючої камери з використанням пластин з електронагрівом, описано принцип його роботи.

Проведено комп'ютерне моделювання для визначення найбільш ефективної поверхні нагріву для процесу випарювання в ході якого встановлено що характерною перевагою для пластинчатих поверхонь є більш рівномірний розподіл плівки стікання по поверхні і як наслідок менші напруження зсуву розчину в потоці порівняно з трубами.

Описані теплові витрати та показники теплопередачі, виконаний матеріальний розрахунок та значення показників барометричного конденсатору, розрахована ефективність вакуум-насосу. Проведено конструктивний розрахунок, розраховані фланцеві з'єднання та надійність та стабільність основних вузлів апарату. Використані типові компоненти (фланці, штуцери і т.і.) які покращують ремонтпридатність апарату і зменшують матеріальні витрати на його забезпечення. Наведено положення з монтажу та експлуатації випарного апарату та техніка безпеки на підприємстві з вироблення лимонної кислоти.

Зроблено план стартап-проєкту який показує перспективу реалізації конструкції на ринку.

Розроблена конструкція плівкового випарного апарату а саме модернізації гріючої камери досить практична для використання, проста, зручна в обслуговуванні і економічно вигідна в порівнянні до аналогічних конструкції, до того ж відповідає сучасним стандартам науково-технічних виробництв.

GENERAL CONCLUSIONS

This master's project describes the process of modernization of the film evaporation apparatus.

The technological process of the main and auxiliary stages of the production of citric acid is considered.

On the basis of the considered existing designs of film vaporizers, a new design of a heating chamber using electrically heated plates was developed, and the principle of its operation was described.

Computer modeling was carried out to determine the most effective heating surface for the evaporation process, during which it was established that a characteristic advantage of plate surfaces is a more uniform distribution of the runoff film on the surface and, as a result, lower shear stresses of the solution in the flow compared to pipes.

The heat consumption and heat transfer indicators are described, the material calculation and values of the barometric condenser indicators are performed, and the efficiency of the vacuum pump is calculated. The structural calculation was carried out, the flange connections and the reliability and stability of the main units of the apparatus were calculated. Typical components are used (flanges, fittings, etc.) that improve the maintainability of the device and reduce material costs for its provision. Provisions for the installation and operation of the evaporation apparatus and safety techniques at the enterprise for the production of citric acid are given.

A start-up project plan has been drawn up, which shows the prospect of implementing the design on the market.

The developed design of the film evaporation apparatus, namely the modernization of the heating chamber, is quite practical to use, simple, easy to maintain and economically profitable compared to similar designs, and also meets modern standards of scientific and technical production.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

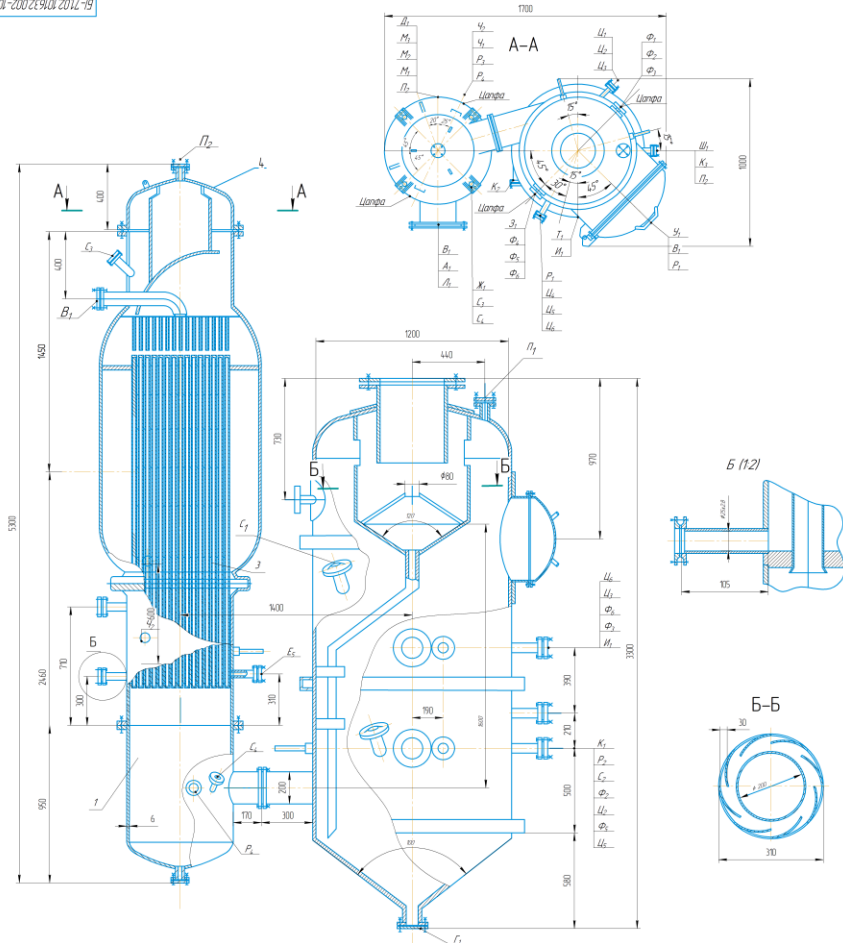
1. Мосичев М.С., Котов В.Б. Общая технология микробиологических производств. М:1982.
2. <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266112/index.html>
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0
4. Мосичев М.С., Складнев А.А., Котов В.Б. Общая технология микробиологических производств. Учебное пособие, - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982, - 264 с.
5. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок: Учеб. пособие для вузов/ А. М. Бакластов, В. А. Горбенко, П. Г. Удыма;
6. http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE32702.html

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
Перв. примен.									
				Документація					
	A4			Завдання	1				
	A4			Реферат	1				
Спроб. №	A4		БІ-11мп.02.50232.000-10 ПЗ	Пояснювальна записка	1				
				Креслення					
	A1		БІ-11мп.02.50232.001-10 АС	Лінія виробництва лимонної кислоти.	1				
				Апаратурна схема					
	A1		БІ-11мп.02.50232.002-10 СБ	Плівковий випарний апарат	1				
				пластинчатого типу з електронагрівом.					
				Складальне креслення					
	A1		БІ-11мп.02.50232.003-10 СБ	Плакт результатів дослідження.	1				
				Складальне креслення					
Підп. і дата	A3		БІ-11мп.02.50232.004-10 СБ	Кришка гріючої камери.	1				
				Складальне креслення					
Інв. № додл.									
Взам. инв. №									
Підп. і дата									
Інв. № подл.									
БІ-11мп.02.50232.000 ОП Изм. Лист № докум. Подп. Дата				Лит. Лист Листов					
Разраб. Ганєв К.З.				Модернізація плівкового випарного апарату Опис			НТУУ "КПІ" ім. І. Сікорського ФБТ, БІ-11мп		
Пров. Шидецький В.Ю.							1		
Н.контр. Шидецький В.Ю.									
Утв. Мельник В.М.									

Копировав

Формат А4

65-7102-101632002-10 65



Таблиця шпигерів

Позначення	Розрахунок	Кіль.	О _п	Р _п
Б	Виді встановити парк	1	500	0,01
В	Вид розрахунок	2	100	0,02
Г	Виді розрахунок	1	100	0,02
Д	Виді кондитерські	1	100	0,01
Е	Технологічні	1	100	0,01
Ж	Для роботи	1	50	0,01
З	Для роботи	1	50	0,01
И	Технологічні	1	100	0,02
К	Виді робіт	2	20	0,02
Л	Залив	1	80	0,02
М	Забезпечення з аттестованих	3	50	0,01
П	Забезпечення з аттестованих	2	50	0,02
Р	Забезпечення з аттестованих	2	50	0,02
С	Для перенесення даних	4	50	0,02
Т	Для перенесення з мобільних	1	50	0,02
У	Виконання з мобільних	2	500	1
Ф	Виконання з мобільних	6	150	1
Ц	Виконання з мобільних	6	50	0,02
Ч	Для виконання роботи	2	50	0,02
Ш	Для виконання роботи	2	50	0,02

Технічна характеристика

1. Апарат призначений для випаровування С6Н8О7 від початкової концентрації 16%.
2. Об'єм номінального апарату 24,5л³, внутрішнього простору 18л³.
3. Випаровна сила 1399 кг/с (по вихідному розчині).
4. Площа поверхні теплообіму 63 м².
5. Абсолютний тиск в апараті від 0,0054 до 1 МПа.
в внутрішньому просторі от 0,016 до 1 МПа.
6. Середовище в апараті і трубах простору – водний розчин С6Н8О7.
в внутрішньому просторі – нахисний водний пар.

Технічні вимоги

1. При використанні апарату користувачі: ДСТ 26-01-112-79;
ГОСТ 122.023-79;
2. Корпус апарату: наміряє до випарованого розчину датою відомості і стає штир ГОСТ 5632-72, між штир ШІЗ по ГОСТ 380-71;
3. Апарат вирободить на тишину в газозастійному положенні проблем згладжувати тишину ДІН МІА;
4. Задані з'єднання контролювати реакції напруження-розпруження в діаметрі 100% по ДСТ 26-01-71; Задані з'єднання невідомістю (створіти) контролювати на тишину, протекти невідомістю керуючі по ДСТ 6532-84;
5. Небезпечно покласти штиршувальний - 120 мм;
6. Діагностика покласти штиршувальний, покласти штиршувальний, між штир на дві А.

[illegible]

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №	A1			Б1102.101632.0.0.00-10 СК	Документація		
					Складальне креслення		
					Складальні одиниці		
	A1	1		Б17102.606322.0.1.00-10	Днище	1	
	A3	2		Б17102.606322.0.2.00-10	Корпус	1	
	A3	3		Б17102.606322.0.3.00-10	Корпус гріючої камери	1	
	A3	4		Б17102.606322.0.4.00-10	Кришка корпусу	1	
Взаим. инв. №	A1	5		Б17102.606322.0.5.00-10	Сепаратор	1	
	A3	6		Б17102.606322.0.6.00-10	Труба циркуляційна	1	
					Стандартні вироби		
Подп. и дата				7	Б1-710250232.05.01-10	Болт М16-8d x 120	24
						ОСТ 26-2037-96	
				8	Б1-710250232.05.02-10	Гайка М16-7Н	24
						ОСТ 26-2038-96	
				9	Б1-710250232.05.03-10	Шайба 16	24
						ОСТ 26-2042-96	
Подп. и дата	A4			10	Б1-710250232.05.04-10	Прокладка А-800	1
						ГОСТ 15180-86	
				11	Б1-710250232.05.05-10	Болт М16-8d x 120	24
						ОСТ 26-2037-96	
				12	Б1-710250232.05.06-10	Гайка М16-7Н	24
						ОСТ 26-2038-96	
Подп. и дата				13	Б1-710250232.05.07-10	Шайба 16	24
						ОСТ 26-2042-96	
Инв. № подл.					Б1-11мп.02.101632.001-10		
	Изм. / лист	№ докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.	Ганєв К.З.					
	Пров.	Шидецький В.Ю.					
	Н.контр.	Шидецький В.Ю.					
	Утв.	Мельник В.М.					
					Плівковий випарний апарат пластинчатого типу з електронагрівом.		
					Лит.	Лист	Листов
						1	2
					НТУУ "КПІ" ім. І. Сікорського, ФБТ, Б1-11мп		

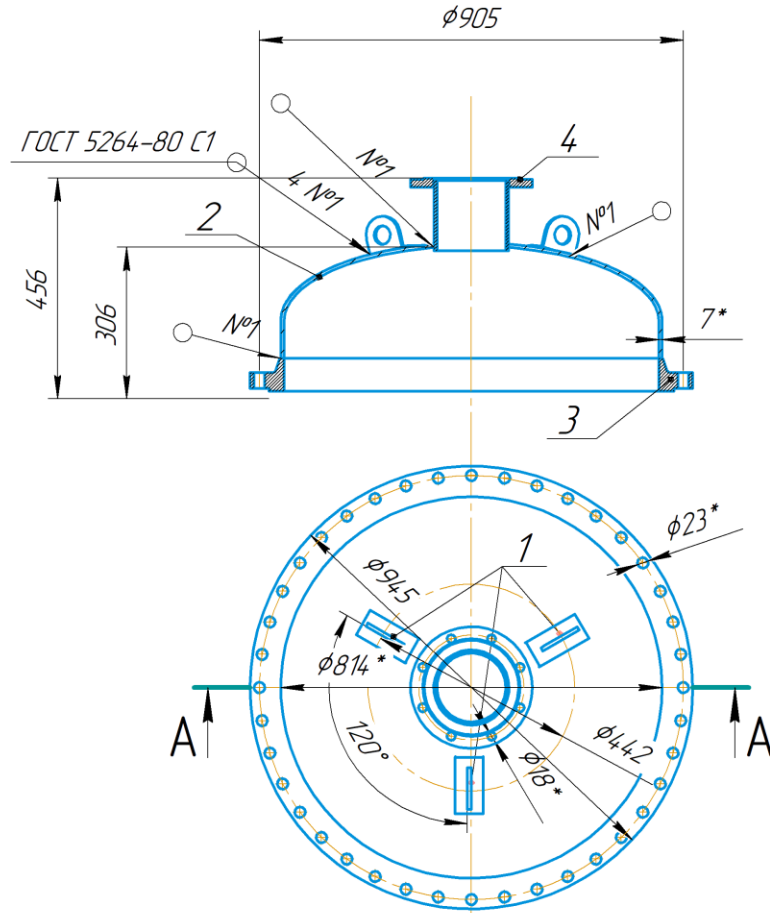
Копіював

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.		14	БІ-11мп0250232.05.08-10	Прокладка А-800	1	
				ГОСТ 15180-86		
		15	БІ-11мп0250232.05.09-10	Болт М16-8g x 120	24	
				ОСТ 26-2037-96		
		16	БІ-11мп0250232.05.10-10	Гайка М16-7Н	24	
				ОСТ 26-2038-96		
		17	БІ-11мп0250232.05.11-10	Шайба 16	24	
				ОСТ 26-2042-96		
		18	БІ-11мп0250232.05.12-10	Прокладка А-800	1	
				ГОСТ 15180-86		
Справ. №		19	БІ-11мп0250232.05.13-10	Болт М24-8g x 120	24	
				ОСТ 26-2037-96		
		20	БІ-11мп0250232.05.14-10	Гайка М24-7Н	24	
				ОСТ 26-2038-96		
		21	БІ-11мп0250232.05.15-10	Шайба 24	24	
				ОСТ 26-2042-96		
		22	БІ-11мп0250232.05.16-10	Прокладка А-500	1	
				ГОСТ 15180-86		
		23	БІ-11мп0250232.05.17-10	Болт М24-8g x 55	24	
				ОСТ 26-2037-96		
Подп. и дата		24	БІ-11мп0250232.05.18-10	Гайка М24-7Н	24	
				ОСТ 26-2038-96		
		25	БІ-11мп0250232.05.19-10	Шайба 24	24	
				ОСТ 26-2042-96		
		26	БІ-11мп0250232.05.20-10	Прокладка А-500	1	
				ГОСТ 15180-86		
Инв. № докл.						
	БІ-11мп.02.101632.001-10					
	Изм. / Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разраб.	Ганєв К.З.			Лит.	Лист
	Пров.	Шидецький В.Ю.				1
Инв. № подл.	Н.контр.	Шидецький В.Ю.			Листов	
	Утв.	Мельник В.М.			2	
	Плівковий випарний апарат пластинчатого типу з електронагрівом.				НТУУ "КПІ" ім. І. Сікорського, ФБТ, БІ-11мп	

Копіював

Формат А4



(*) розміри для довідок

						БІ-11мп.02.101632.004-10 СБ				
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата			Кришка зріючої камери.		Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Ганєв К.З.					Складальне креслення			115,79	1:10
Проб.	Шидецький В.Ю.									
Т.контр.										
								Лист	Листов	1
Н.контр.	Шидецький В.Ю.							НТУУ "КПІ" ім. І. Сікорського,		
Утв.	Мельник В.М.							ФБТ, БІ-11мп		

Копіював

Формат А3

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл.

[illegible]

ПЛАКАТ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

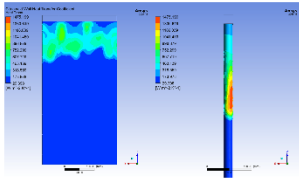


Рис.1 Модель пластини 20 мм і струди 20 мм
Contour Citric Acid Heat Transfer Coefficient (Коефіцієнт теплообміну, гПа/мм²)

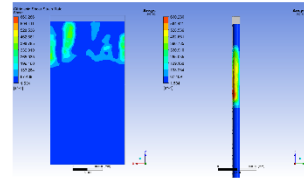


Рис.2 Модель пластини 20 мм і струди 20 мм
Contour Citric Acid Shear Stress Rate (Напруження зсуву, гПа/мм²)

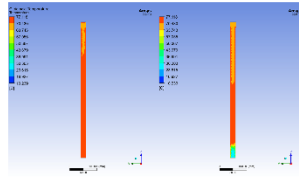


Рис.3 Модель пластини 20 мм і струди 20 мм
Contour Citric Acid Temperature (Температура, гПа/мм²)

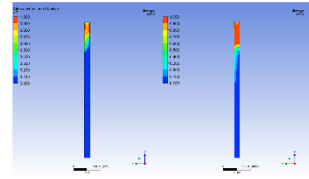


Рис.4 Модель пластини 20 мм і струди 20 мм
Contour Citric Acid Volume Fraction (Вміст вологи, гПа/мм²)

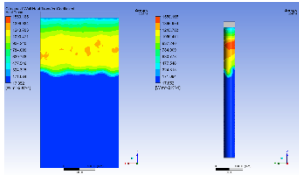


Рис.5 Модель пластини 40 мм і струди 40 мм
Contour Citric Acid Heat Transfer Coefficient (Коефіцієнт теплообміну, гПа/мм²)

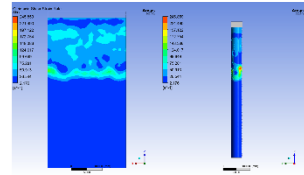


Рис.6 Модель пластини 40 мм і струди 40 мм
Contour Citric Acid Shear Stress Rate (Напруження зсуву, гПа/мм²)

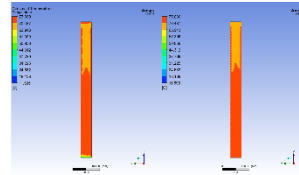


Рис.7 Модель пластини 40 мм і струди 40 мм
Contour Citric Acid Temperature (Температура, гПа/мм²)

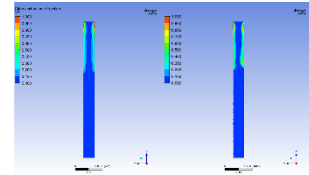


Рис.8 Модель пластини 40 мм і струди 40 мм
Contour Citric Acid Volume Fraction (Вміст вологи, гПа/мм²)

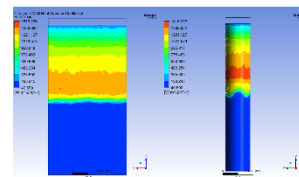


Рис.9 Модель пластини 60 мм і струди 60 мм
Contour Citric Acid Heat Transfer Coefficient (Коефіцієнт теплообміну, гПа/мм²)

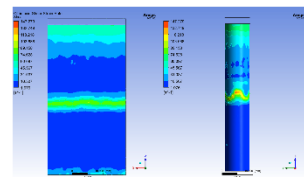


Рис.10 Модель пластини 60 мм і струди 60 мм
Contour Citric Acid Shear Stress Rate (Напруження зсуву, гПа/мм²)

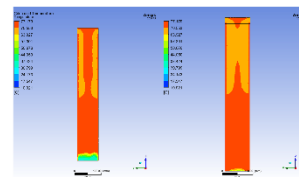


Рис.11 Модель пластини 60 мм і струди 60 мм
Contour Citric Acid Temperature (Температура, гПа/мм²)

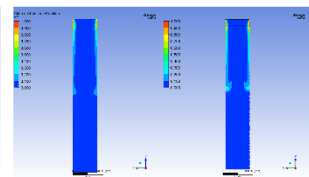


Рис.12 Модель пластини 60 мм і струди 60 мм
Contour Citric Acid Volume Fraction (Вміст вологи, гПа/мм²)

Виконав: Ганєв К.З.
Група: БІ-11 МП
Перевірив: Шидецький В.Ю.