

Пояснювальна записка

До дипломного проєкту

**На тему: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з
розробкою теплообмінника кожухотрубного»**

**Національний технічний університет України Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського**

Факультет біотехнології і біотехніки

(повна назва)

Кафедра біотехніки та інженерії

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 133 – галузеве машинобудування

(код і назва)

Затверджую

Завідувач кафедри

Вікторія Мельник

(підпис)

« » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

На дипломний проєкт студенту

Ружанському Антону Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проєкту «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою теплообмінника кожухотрубного»

Керівник проєкту доцент кафедри біотехніки та інженерії,

к.т.н., Костик С. І.

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

2. Строк подання студентом проєкту « » _____ 2021 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Витрата повітря 1000 м³/год, температура повітря початкова 180°C, температура повітря кінцева 30°C, температура води початкова 20°C, температура води кінцева 25°C.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Опис технологічного процесу отримання ітаконової кислоти, технічні характеристики теплообміннику, опис і обґрунтування вибраної конструкції, розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції теплообмінника.
5. Перелік графічного матеріалу: Апаратурно-технологічна схема (A1), Теплообмінник. Складальне креслення (A1), креслення деталей (A1)

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

6. Дата видачі завдання 23.02.2021

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Опис технологічного процесу отримання біоетанолу з відходів деревини	01.04.2021-05.04.2021	
2.	Апаратурно-технологічна схема лінії для отримання біоетанолу з відходів деревини	12.05.2021-20.05.2021	
3.	Призначення та область застосування ректифікаційної колони, обґрунтування вибору обраної конструкції	01.05.2021-10.05.2021	
4.	Патентний пошук	20.03.2021-10.04.2021	
5.	Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції	20.05.2021-22.05.2021	
6.	Рекомендації з охорони праці	21.05.2021-23.05.2021	
7.	Складальне креслення апарата; Креслення складальних одиниць і деталей	24.04.2021-15.05.2021	
8.	Оформлення ПЗ	23.05.2021-27.05.2021	

Студент

(підпис)

Ружанський А. С.

Керівник проєкту

(підпис)

Костик С. І.

Реферат

Дипломний проєкт на здобуття ступеня бакалавр за спеціальністю 6.050503 — «Машинобудування» на тему: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою теплообмінника кожухотрубного». Детальний розгляд стадії виробництва.

Об'єм дипломного проєкту складає 4 аркушів креслень на перерахунок формату А1 та пояснювальної записки. Пояснювальна записка містить: 9 рисунки, 4 таблиці, перелік посилань складається з 33 літературних джерел, зміст пояснювальної записки складається з основних розділів:

1. Призначення виробу і галузь його застосування
2. Опис технологічного процесу виготовлення лимонної кислоти
3. Обґрунтування вибору проєктованої конструкції ферментера
4. Технічна характеристика ферментера
5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції ферментера
6. Рекомендації з монтажу та експлуатації

В дипломному проєкті розглянуто лінію для отримання ітаконової кислоти, здійснено розробку теплообміннику кожухотрубного, виконані розрахунки, що підтверджують працездатність, надійність апарату та можливість реалізації інженерних рішень. Даний теплообмінник був обраний через ряд переваг таких як вартість апарату, його обслуговування та продуктивність на гривню собівартості. Розрахунки та креслення виконані згідно чинних стандартів, з використанням сучасних системних та інформаційних технологій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕПЛООБМІННИК, КОЖУХОТРУБНИЙ, ДВОХОВОВИЙ, ІТАКОНОВА КИСЛОТА, ТЕПЛООБМІН, ГЕЛІКОЇД.

Abstract

Diploma project for a bachelor's degree in specialty 6.050503 - "Mechanical Engineering" on the topic: "Production line of itaconic acid with the development of a shell and tube heat exchanger." Detailed consideration of the production stage.

The volume of the diploma project consists of 4 sheets of drawings for recalculation of A1 format and explanatory note. The explanatory note contains: 9 figures, 4 tables, the list of references consists of 33 literature sources, the content of the explanatory note consists of the main sections:

1. Purpose of the product and its field of application
2. Description of the technological process of citric acid production
3. Rationale for the choice of the designed design of the fermenter
4. Technical characteristics of the fermenter
5. Calculations confirming the efficiency and reliability of the fermenter design
6. Recommendations for installation and operation

In the diploma project the line for obtaining itaconic acid is considered, the shell-and-tube heat exchanger is developed, the calculations confirming the efficiency, reliability of the device and the possibility of implementing engineering solutions are performed. This heat exchanger was chosen because of a number of advantages such as the cost of the device, its maintenance and performance per hryvnia cost. Calculations and drawings are made according to current standards, using modern system and information technologies.

KEY WORDS: HEAT EXCHANGER, COAT PIPE, TWO-SHAFT, ITACONIC ACID, HEAT EXCHANGE, HELICOID.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ	
ТЕПЛООБМІННИКІВ.....	11
1.1. Призначення теплообмінника і галузь його застосування	11
1.2. Характеристика кінцевої продукції	12
2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА	
ІТАКОНОВОЇ КИСЛОТИ	13
3. ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	16
3.1. Технічна характеристика апарату	17
3.2. Вибір матеріалів для виготовлення.....	18
3.3. Патентний пошук та огляд літературу	18
4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	
ТЕПЛООБМІННИКА КОЖУХОТРУБНОГО	22
4.1. Тепловий розрахунок апарата	22
4.2. Ком'ютерне моделювання гелікоїдної труби.....	27
4.3. Гідравлічний розрахунок апарата	35
4.4. Конструктивний розрахунок апарата	36
4.5. Розрахунок трубної решітки	36
4.6. Розрахунок стінки корпусу апарата на міцність під дією	
внутрішнього тиску	37

Взам. инв. №										
Подп. и дата										
Инв. № подл.							<i>БІ7108.9010.000 – 10 ПЗ</i>			
	Изм.	Коллч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	<i>Теплообмінник кожухотрубний двоходовий Пояснювальна записка</i>	Стадия	Масса	Масштаб
	Розроб.		Ружанський А. С.							
	Перевір.		Костик С. І.							
	Реценз.		Дзигун Л. П.							
							Лист			
							Листов 1			
							<i>КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФБТ БІ-71</i>			
	Н. Контр		Костик С. І.							
	Затверд		Мельник В. М.							

4.7.	Розрахунок еліптичного днища апарата на міцність під дією внутрішнього тиску	37
4.8.	Розрахунок теплової ізоляції апарата	38
4.9.	Розрахунок опор апарату	38
5.	РЕКОМЕНДАЦІЇ З МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ	39
	ВИСНОВКИ	41
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	42

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	БІ7108.9010.001 – 10 ПЗ			

ВСТУП

Сьогодні біотехнологія займає первинне місце застосування отриманої продукції в фармацевтичній, мікробіологічній та харчовій галузях, медицині та сільському господарстві. Обладнання для біотехнологічних процесів має багато спільного із обладнанням галузей хімічної та харчової промисловості. Виробництво в Україні розпочалося після створення в лабораторіях ПАТ «Фармак» даного препарату. Даний апарат відразу вивів як ПАТ «Фармак» на новий рівень, так і Україну в цілому.

В даному курсовому проєкті представлено лінію виробництва ітаконової кислоти. Метою проєктування є розробка теплообмінника кожухотрубного двоходового. [1]

Кожухотрубний теплообмінник – це різновид теплотехнічного апарату рекуперативного типу, в якому відбувається теплообмін між двома не змішуваними середовищами, розділеними стінками прохідних каналів. Своєю назвою він зобов'язаний особливостям своєї конструкції, в якій труба (або частіше за все - пучок труб), по якій рухається один теплоносій, знаходиться всередині труби більшого діаметру, званої кожухом, по якій прокачується інший теплоносій.

Система внутрішніх теплообмінних труб називається трубним (внутрішньо трубним) простором, а ємність всередині кожуха - міжтрубним простором кожухотрубного теплообмінника. Теплообмін між двома середовищами в ньому відбувається через стінки внутрішньої труби або трубок внутрішнього пучка. Велика труба-кожух одночасно служить основою зовнішнього корпусу такого теплообмінника. Класичною конструкцією вважається схема одно-ходового кожухотрубного теплообмінника. У ньому внутрішньо-трубний простір утворюється пучком труб, затиснутих між двома трубними решітками, виготовленими за діаметром кожуха, і герметично в ньому закріпленими.

Внутрішньо-трубний простір замикається двома торцевими кришками з приробленими патрубками (впускним і випускним, відповідно).

Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ	Лист

Внутрішньо-трубний теплоносій з подаючої лінії по впускному патрубку потрапляє в простір під першою кришкою, розподіляється трубною решіткою по окремим трубках в пучку, проходить по ним, виходить в простір під другою кришкою, і виходить через її випускний патрубок. Міжтрубний простір для другого середовища утворюється бічними стінками кожуха і зворотними сторонами трубних решіток. Впускний і випускний патрубки міжтрубного теплоносія, як правило, розміщуються на корпусі. [2]

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
Изм.	Кол.цч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ			

1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛООБМІННИКІВ

1.1. Призначення теплообмінника і галузь його застосування

Недоліком одноходового кожухотрубного теплообмінника є відносно мала швидкість руху теплоносія у міжтрубному просторі (всередині широкого кожуха), що тягне за собою відносно низьку інтенсивність теплообміну і малу передану теплову потужність. Для інтенсифікації теплообміну і збільшення переданої теплової потужності, застосовується багатоходова конструкція кожухотрубного теплообмінника. У ній простір всередині кожуха розділений перегородками, одночасно виконуючими функцію проміжних опор для трубного пучка, які утворюють поперечні «ходи» для міжтрубного середовища. [2] [3]

Перетин поперечних ходів робиться істотно меншим, ніж у прямоточного одноходового кожуха, за рахунок чого збільшується швидкість проходження міжтрубногосередовища по теплообміннику. Поперечні перегородки також стають причиною утворення сильної турбулентності (перемішування) міжтрубного середовища, що викликає інтенсифікацію його теплообміну. У свою чергу, для утворення турбулентності теплоносія, що прокачується по внутрішньотрубної простору, замість гладкостінних застосовуються спеціально профільовані, так звані гелікоїдні трубки. [4]

Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм.	Кол.цч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	БІ7108.9010.001 – 10 ПЗ	Лист

1.2. Характеристика кінцевої продукції

Ітаконова кислота (метиленбутандіова кислота, метиленбурштинова кислота, 3-карбокси-3-бутенова кислота, пропілендикарбонова кислота) є двохосновною ненасиченою органічною кислотою із загальною формулою $C_5H_6O_4$. Застосовується як кополімер для карбоксилатних каучуків. В органічному синтезі використовується в реакціях гетероциклізації для одержання піролідонів, бутиролактона, метилбутандіола, детергентів, гербіцидів, стирен-бутадієнових полімерів, нітрільних латексів, розчинників (реєстраційні дані речовини CAS №: 97-65-4 HS №: 2917 1900).

Ітаконова кислота є кристалічною речовиною білого кольору без запаху з молекулярною масою 130,1. $T_{\text{плав}}$ 167 – 168 °C, $T_{\text{кип}}$ 268 °C.

Константи дисоціації $K_b=1,40 \cdot 10^{-4}$, $K_a=3,56 \cdot 10^{-6}$. Розчинність у воді – 8,3 г/л (20 °C), 29,3 (50 °C), 72,6 (70 °C). Кислота розчиняється в етанолі, метанолі, ТГФ, діоксані, погано розчинна в диетиловому ефірі та бензолі.

Як вихідна речовина для отримання ітаконової кислоти хімічним способом може бути використана лимонна або аконітова кислота.

Світове виробництво перевищує 40 тис. тон на рік. Головними споживачами є хімічні компанії – виробники полімерів. Є можливість зростання попиту на кислоту у зв'язку із заборонаю транспортування акрилонітрилу в Європі. [5]

Ітаконову кислоту використовують у виробництві карбоксильного стирен-бутадієнового латексу, у виробництві пластику, високоміцного скла, адгезійних і фарбуючих агентів, при виробництві карбоксильної акрилової смоли.

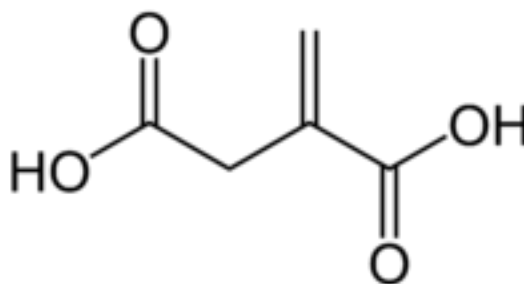


Рисунок 1 Структурна форма ітаконової кислоти

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.							Лист	
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ				

2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ІТАКОНОВОЇ КИСЛОТИ

Технологічна схема складається з трубопроводів, по яким до апаратів подається повітря та очищена вода. Схема включає в себе основні апарати - реактор-змішувач, теплообмінник для охолодження повітря, та допоміжні - переносні ємності, ваги і фільтри. Апаратурно-технологічна схема представлена в додатку А. [5]

Виробництво ітаконової кислоти складається з однієї технологічної лінії. При промисловому виробництві кислоти сировина та матеріали, включаючи допоміжні роботи, проходять тривалий технологічний процес, що може бути представлений у вигляді окремих стадій виготовлення готової продукції. [6]

Ітаконова кислота $C_5H_6O_4$ є ненасиченою двухосновною кислотою. Наявність в молекулі двох карбоксильних груп і активної метиленової групи визначає високу активність полімеризації ітаконової кислоти і участь в різних реакціях приєднання. [6]

Ітаконова кислота являє собою білий кристалічний порошок, добре розчинний у воді і деяких органічних розчинниках, має молекулярну масу 130,1, щільність 1,63 і температуру плавлення 167-168 °С.

Ітаконова кислота застосовується у виробництві синтетичних волокон і смол, поверхнево-активних речовин, барвників і ряду інших складних органічних сполук. Ітаконову кислоту можуть синтезувати деякі штами мікроскопічних грибів роду *Aspergillus* (*Asp. Terreus*, *Asp. Itaconicus*), вирощувані глибинним або поверхневим способами на поживних середовищах, що містять сахарозу, м'ясо і навіть продукти гідролізу деревини.

Виробництво ітаконової кислоти включає наступні основні технологічні стадії: отримання посівного матеріалу, культивування продуцента глибинним способом, виділення ітаконової кислоти. [7]

Біосинтез ітаконової кислоти пов'язаний з реакціями циклу Кребса. При декарбоксилюванні вихідного продукту - цис-аконітової кислоти - утворюється ітаконова кислота. Під час реакції у вуглецевому кістязку

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №						
Ізм.	Кол.цч.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ		Лист

відбувається переміщення електронів, в результаті подвійний зв'язок переходить з положення 2,3 в положення 3,4

Для виробництва ітаконової кислоти поверхневим і глибинним способами використовують відселекціоновані штами *Asp. terreus* і *Asp. itaconicus*. Посівний матеріал розмножується в пробірках з агаризованому середовищем (сусло-агар), а потім в колбах на рідкому поживному середовищі. Тривалість кожної стадії 2-6 добу, оптимальна температура культивування 30-32 ° С.

Культивування *Asp. terreus* глибинним способом. При отриманні ітаконовою кислоти глибинним способом культивування продуцента для підрощування міцелію і на стадії виробничої ферментації може бути використане середовище однакового складу, але з різною концентрацією входять до її складу компонентів.

Живильне середовище для підрощування міцелію доцільно засівати попередньо (за 10-12 год) замоченими в середовищі конидіями з розрахунку 0,75 г конідій на 1 м3 середовища.

Біосинтез ітаконової кислоти протікає найбільш інтенсивно при засіву виробничого ферментатора культурою, що знаходиться в кінці логарифмічної фази зростання, що відповідає приблизно 30 год росту. Процес утворення кислоти в ферментаторі протікає при постійному перемішуванні і аерації середовища при температурі 33-36 °С протягом 72 год. До кінця процесу ферментації зміст ітаконової кислоти становить 37-38 г / л при загальному вмісті кислот в збродженому розчині 38,5-39,0 г / л.

В умовах поверхневого способу збродження розчину сахарози (шар 12 см) культурою *Asp. terreus* за 10-12 діб утворюється 56-58% ітаконової кислоти в перерахунку на цукор, причому ітаконова кислота становить 94-97% від суми всіх утворилися кислот (фумарової, щавлевої, бурштинової).

У зброджених розчинах в середньому міститься від 3 до 6% ітаконової кислоти, 0,5-1,5% незброджених цукрів, 0,3-0,6% інших органічних кислот і невелика кількість різних солей і фарбувальних речовин. Киплячий

Інв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ		Лист

зброджений розчин, звільнений від грибного міцелію, обробляють активним вугіллям (0,3-0,5%) і фільтрують. Фільтрат упарюють при температурі 50-60 °С до 1 / 4-1 / 10 початкового об'єму. Упарений розчин подається в кристалізатор, де охолоджується до 13-15 ° С. Кристалізується ітаконова кислота 75-80% від її змісту в розчині.

Технічна ітаконова кислота відокремлюється на центрифугі. Вона містить 3-6% води, 1-3% інших органічних кислот і 2-5% різних домішок. Для очищення технічну ітаконову кислоту розчиняють в гарячій воді до 25% -ної концентрації і освітлюють активним вугіллям (5-8% по масі кислоти). Гарячий розчин фільтрують, а потім кристалізують. В процесі центрифугування кристали кислоти промивають дистильованою водою. Висушені кристали мають наступний склад і властивості (%): Маточний розчин після перекристалізації випарюють до 30-40% початкового об'єму і кристалізують вдруге. З цією метою гарячий розчин знову фільтрують і концентрують. Концентрат повільно охолоджують, а потім центрифугують. Випали кристали ітаконової кислоти промивають дистильованою водою, сушать. Третя стадія очищення передбачає спільну обробку маткових та зброджених розчинів в зазначеній послідовності.

При підвищеному вмісті залишкових цукрів і інших домішок в зброджених розчинах рекомендується проводити виділення ітаконової кислоти за допомогою іонообмінних смол. Використання аніоніта Еде-10П дозволяє виділити 94-100% ітаконової кислоти від її кількості, що міститься в зброженому розчині при витраті 5-8 г аніоніти на 1 г очищеної кислоти. Здійснює регенерацію відпрацьованого іоніта здійснюється соляною кислотою, а переклад в основну форму - розчином аміаку. [6]

Інв. № подл.	Взам. інв. №	Підп. и дата						
Ізм.	Кол.цч.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ		Лист

3. ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

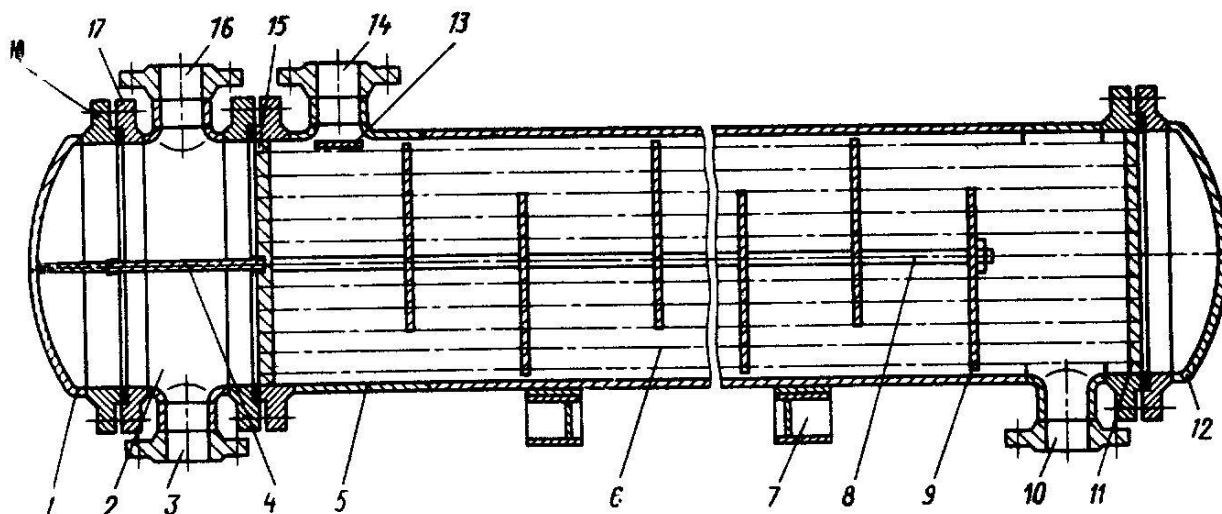


Рисунок 2 Теплообмінник кожухотрубний двоходовий

1, 12 - кришка (днище); 2 - розподільна камера; 3, 16 - штуцера для введення і виведення теплоносія, що подається в трубне простір; 4 - перегородка; 5 - кожух; 6 - трубний пучок; 7 - сідловидна опора; 8 - стяжка; 9 - сегментна перегородка; 10, 14 - штуцера для введення і виведення теплоносія, що подається в міжтрубний простір; 11, 15 - трубна решітка; 13 - відбійник; 17, 18 - фланці.

Даний теплообмінний апарат можна використовувати для охолодження і нагрівання, в якості рекуператорів тепла. Вони також можуть використовуватися в процесах, що супроводжуються частковим кипінням або конденсацією теплоносія.

Обраний теплообмінник має наступні переваги: Кожухотрубні теплообмінники характеризуються стійкістю до гідроударів, зниженими вимогами до чистоти середовищ, відносно низьким коефіцієнтом теплопередачі і, як наслідок, великими габаритами і площами, необхідними для обслуговування, а також високою ціною через великий металоємності. Крім того, ремонт таких теплообмінників зазвичай пов'язаний з заглушкою пошкоджених трубок, що веде до зменшення площі теплообміну. Тому зазвичай теплообмінники вибираються з великим запасом по поверхні, що також обумовлює їх великі габарити. [7]

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

Изм.	Коллич	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ

Auctm

Спроба регулювання по конденсату на горизонтальних кожухотрубних теплообмінниках викликає складності. Це виникає через те, що при незначній зміні рівня конденсату, площа теплообміну змінюється нелінійно і набагато істотніше.

Проте, сучасні кожухотрубні теплообмінники за показниками ефективності, коефіцієнта теплопередачі і габаритам наближаються до пластинчастих і кожухопластинчатим теплообмінникам.

Це досягається за рахунок застосування так званих турболізатору потоку - перегородок в трубках і міжтрубному просторі, а також рифлених трубок, в яких потік середовища сильно турбулізованим, що веде до підвищення коефіцієнта теплопередачі, і, як наслідок, до зменшення габаритів. Останнім часом для зменшення використання виробничої площі застосовуються вертикальні кожухотрубні теплообмінники. Вони дозволяють організувати регулювання по конденсату, якщо це необхідно. [8]

Труби приварюються до трубної решітки, адже вони виконані з матеріалу який можна приварити до решітки.

3.1. Технічна характеристика апарату

В апараті

- Продуктивність теплообмінника – 1000 м³/год
- Площа поверхні теплообміну – 13 м²
- Тиск:

в трубному просторі – 0,6 МПа

в міжтрубному просторі – 0,6 МПа

- Швидкість руху:

в трубному просторі – 2,5 м/с

в міжтрубному просторі – 0,9 м/с

- Середовище:

в трубному просторі – вода

в міжтрубному просторі – повітря

- Габаритні розміри:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист	
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ				

Висота – 635 мм

довжина – 1888 мм

ширина – 450мм

- Маса теплообмінника – 304 кг

3.2. Вибір матеріалів для виготовлення

Матеріал повинен бути обраний з врахуванням процесу і умов роботи апарату. Конструктивний матеріал повинен мати високу корозійну стійкість для забезпечення необхідної довговічності та для запобігання забруднення продукту. Також матеріал апарату повинен бути хімічно інертним - не вступати в хімічну реакцію з середовищем.

Так як процес проходить за досить високої температури (100 °C), тоді для труб вибираємо аустенітну корозійностійку та хімічно-стійку Сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72. Швидкість корозії цієї сталі становить не більше 0,1 мм/ рік.

Фланці апарату виконуються з аустенітної корозійностійкої та хімічно стійкої Сталі 12X18H10T ГОСТ5632-72.

Кріпильні елементи (болти, шайби, гайки) виконуються з сталі марки СтЗсп ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005. [9]

3.3. Патентний пошук та огляд літературу

Патентна документація

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № БІ7101.401211.00 – 8

- Найменування Теплообмінник кожухотрубний
- Шифр теми БІ7101.401211.00 – 10
- Етап Проектування пристрою
- Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень
- № БІ7101.401211.00 - 10, 10.05.2021 р.
- Обґрунтування регламентного пошуку Предмет пошуку – теплообмінники кожухотрубні. (Об’єктом пошуку є винаходи та корисні моделі).
- Початок пошуку 10.05.2021 р. Закінчення пошуку 19.05.2021 р.

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.							Лист
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	БІ7108.9010.001 – 10 ПЗ			

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

Изм.	
Кол-во	
Лист	
№ док.	
Подп.	
Дата	

Б17108.9010.001 – 10 ПЗ	Лист

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: мпк, нпк, мкпз, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
1	2	3	4	5	6
Теплообмінник	Визначення патентоздатності проєктованого апарата й тенденцій розвитку цього напрямку в техніці	Україна	УДК 661.158	2010-2021	Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей; УРЖ “Джерело” (1995- 2004рр.). Журнал “Хімічні промисловість України”.

Таблиця 1 Регламент пошуку (форма Б.1 згідно з ДСТУ 3575-97)

ДОВІДКА ПРО ПОШУК № БІ7101.7084.21215000. – 10

Завдання на проведення патентних досліджень БІ7101.401211.00 – 10 ДП

Етап Проектування пристрою

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

№ БІ6101.401211.00 - 10, 10.05.2021 р.

Номер, дата регламенту пошуку № БІ7101.401211.00 - 10, 10.05.2021 р.

Початок пошуку 10.05.2021 р.

Закінчення пошуку 19.05.2021 р.

ОГД, його складові частини	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
Теплообмінник	Патент № 73952 (UA), C12M 1/06. Теплообмінник / Безгін Микола Миколайович; Магазій Петро Миколайович. — Заявка № U201204381, 09.04.2012.; Опубл. 10.10.2012, бюл. № 19/2012.	Не діє
Теплообмінник	Патент № 115347 (UA), C12M 1/02 (2006.01). Теплообмінник / Драгузя Олена Василівна (UA); Дахненко Валерій Леонідович (UA). - Заявка № и201611397, 10.11.2016.; Опубл. 10.04.2017, бюл. № 7/2017.	Не діє
Теплообмінник	Патент № 126191 (UA), C12M 1/00. Теплообмінник/ Мікульонок Ігор Олегович (UA); Національний Технічний Університет України "Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського". - Заявка № и201713019, 28.12.2017.; Опубл. 11.06.2018, бюл. № 11/2018.	Дію патенту припинено, але може бути поновлено

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

Изм.	Кол.цч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

БІ7108.9010.001 – 10 ПЗ

Лист

Теплообмінник	Патент № 135732 (UA), C12M 1/02 (2006.01). Теплообмінник / Тертус Олена Григорівна (UA); Степанюк Андрій Романович (UA). - Заявка № и201901646, 18.02.2019.; Опубл. 10.07.2019, бюл. № 13/2019.	Дію патента припинено, але може бути поновлено
Heat-exchanger	Patent No . : US 10,179,898 B2, C12M 3 / 02 (2006.01), C12M 1 / 00 (2006 /01), / Heat-exchanger / Lonza Biologies PLC, Slough (GB), Mohsan Khan, Watford (GB), Lonza Biologies PLC, Slough (GB) / Date of Patent: * Jan . 15,2019	Діє

Таблиця 2 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

Інв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист	
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ				

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛООБМІННИКА КОЖУХОТРУБНОГО

4.1. Тепловий розрахунок апарата

Для розрахунків обираємо стандартний двоходовий теплообмінник кожухотрубний з заданими параметрами (ГОСТ 15118-79):

- Діаметр кожуха $D = 0,325 м$
- Загальна кількість труб $n_{труб} = 56шт$
- Поверхня теплообміну $F = 13 м^2$
- Довжина труб $L = 3 м$

В трубний простір теплообмінника подається знесолена холодна вода, в міжтрубний простір подається повітря, яке охолоджується. Продуктивність теплообмінника за виходом повітря становить:

$$G_n = 1000 \frac{м^3}{год}$$

Вихідні дані:

- Початкова температура повітря: $t_{nn} = 180^\circ C$
- Кінцева температура повітря: $t_{нк} = 30^\circ C$
- Початкова температура води: $t_{en} = 20^\circ C$
- Кінцева температура води: $t_{ек} = 25^\circ C$
- Довжина труб у пучку: $L = 3 м$
- Внутрішній діаметр труб: $d_{en} = 0,021 м$
- Зовнішній діаметр труб: $d_{зовн} = 0,025 м$

Визначимо середню різницю температур теплоносія (повітря) та продукту (води):

Більша різниця температур між гарячим теплоносієм та повітрям:

$$\Delta t_o = t_{nn} - t_{en} = 160^\circ C$$

Менша різниця температур між гарячим теплоносієм та повітрям:

$$\Delta t_m = t_{нк} - t_{ек} = 5^\circ C$$

Інв. № подл.	Взам. інв. №							
		Підп. і дата						
Ізм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ		Лист

Визначаємо середню логарифмічну різницю:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_m}} = 44,724^{\circ}\text{C}$$

Середня температура води очищеної:

$$t_{nc} = \Delta t_{cp} - t_{en} = 24,724^{\circ}\text{C}$$

Теплофізичні властивості повітря при 24С:

$$c_n = 1005,34 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad \rho_n = 5,857 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \nu_n = 3,0824 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\mu_n = 18,0555 \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с} \quad \lambda_n = 2,5967 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad \alpha_n = 2,5967 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{Pr}_n = 0,699$$

Теплове навантаження теплообмінника:

$$Q = G_{нов} \cdot c_n \cdot (t_{nn} - t_{нк}) = 163005,32 \text{Вт}$$

Витрати повітря з врахуванням 5% втрат тепла:

$$G_{нов} = G_{нов} - 5\% = 1,031 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Мінімальне значення коефіцієнта теплопередачі для випадку теплообміну від пари, що конденсується, до води:

$$K_{\min} = 300 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$F_{\max} = \frac{Q}{K_{\min} \cdot \Delta t_{cp}} = 12,149$$

Підбираємо стандартний теплообмінник по ГОСТ 1511815122-79

$$D = 0,325 \text{м} \quad n_{\text{труб}} = 56 \text{шт} \quad l_{\text{труб}} = 3 \text{м} \quad F = 13 \text{м}^3$$

$$S_T = 1 \cdot 10^{-2} \quad S_M = 1,5 \cdot 10^{-2} \quad S_{\sigma} = 1,3 \cdot 10^{-2}$$

$$n_P = 8 \quad h = 0,18$$

Розміри трубок:

$$d_{\text{труб}} = 0,025 \text{м}$$

Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ	Лист

$$d_{втр} = 0,025 м$$

Площа перетину однієї труби по внутрішньому діаметру:

$$f = \frac{\pi \cdot d_{втр}^2}{4} = 4,909 \cdot 10^{-4} м^2$$

Число труб:

$$n_{труб} = \frac{S_M}{f} = 31 шт$$

Об'ємна витрата повітря:

$$V_{нов} = \frac{G_{нов}}{\rho_n} = 0,176 \frac{м^3}{с}$$

Швидкість руху повітря:

$$\omega_{нов} = \frac{V_{нов}}{S_M} = 11,734 \frac{м}{с}$$

Критерій Рейнольдса для повітря:

$$Re = \frac{\omega_{нов} \cdot d_{труб}}{\nu_n} = 9,517 \cdot 10^4$$

Критерій Нуссельта можливо визначити за наступним рівнянням:

$$Nu = 0,24 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr_n^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_n}{Pr_n} \right)^{0,25} = 204,801$$

$$t = 0,0035 \quad D_{тр} = 0,05$$

$$h_{тр} = 0,5 \cdot (D_{тр} - d_{труб}) = 0,013$$

Критерій Нуссельта можливо визначити за наступним рівнянням:

$$Nu = \left(\frac{d_{труб}}{t} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h_{тр}}{t} \right)^{-0,14} \cdot Re^{0,65} \cdot Pr_n^{0,4} = 431,853$$

Значення теплопередачі:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_n}{d_{труб}} = 448,557 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

$$d_{втр} = d_{труб} = 0,025$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ			

$$d_{\text{втр}} = d_{\text{мпуб}} - 0,002 \cdot 2 = 0,021$$

Властивості води:

$$c_{\text{вод}} = 4199 \quad \rho_{\text{вод}} = 999,04 \quad \nu_{\text{вод}} = 1,015 \cdot 10^{-6} \quad \lambda_{\text{вод}} = 0,62 \quad \text{Pr}_n = 6,3$$

$$G_{\text{вод}} = G_{\text{вод}} \cdot c_{\text{вод}} \cdot (t_{\text{вк}} - t_{\text{вн}}) = 7,405$$

Об'ємна витрата води:

$$V_{\text{вод}} = \frac{G_{\text{вод}}}{\rho_{\text{вод}}} = 0,007$$

Швидкість руху води:

$$\omega_{\text{вод}} = \frac{V_{\text{вод}}}{S_T} = 0,741$$

Критерій Рейнольдса для повітря:

$$\text{Re}_{\text{вод}} = \frac{\omega_{\text{вод}} \cdot d_{\text{втр}}}{\nu_{\text{вод}}} = 1,534 \cdot 10^4$$

Критерій Нуссельта можливо визначити за наступним рівнянням:

$$\text{Nu}_{\text{вод}} = 0,023 \cdot \text{Re}_{\text{вод}}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{\text{вод}}^{0,4} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{\text{вод}}}{\text{Pr}_n} \right)^{0,25} = 107,155$$

Критерій Нуссельта можливо визначити за наступним рівнянням:

$$\text{Nu}_{\text{вод}} = \left(\frac{d_{\text{мпуб}}}{t} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h_{\text{мр}}}{t} \right)^{-0,14} \cdot \text{Re}_{\text{вод}}^{0,65} \cdot \text{Pr}_{\text{вод}}^{0,4} = 317,647$$

Значення теплопередачі:

$$\alpha_2 = \frac{\text{Nu}_{\text{вод}} \cdot \lambda_{\text{вод}}}{d_{\text{втр}}} = 9,378 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Середнє значення теплопровідності забруднень стінок:

$$r_{\text{забр1}} = \frac{1}{r_{\text{забр1}}} = \frac{1}{2900} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Середнє значення теплопровідності забруднень стінок:

$$r_{\text{забр2}} = \frac{1}{r_{\text{забр2}}} = \frac{1}{11600} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Взам. инв. №						
	Подп. и дата					
Инв. № подл.						Лист
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	
Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ						

Теплопровідність сталі:

$$\lambda_{cm} = 13 \frac{Вт}{м \cdot К} \quad \delta = 0,002 м$$

Середнє значення теплового опору забрудненої стінки:

$$\Sigma r_{cm} = r_{забр1} + \frac{\delta}{\lambda_{cm}} + r_{забр2} = 5,849 \cdot 10^{-4} \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

Розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma r_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}} = 342,362 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Поверхнева густина теплового потоку:

$$q = K \cdot \Delta t_{cp} = 1,531 \cdot 10^4 \frac{Вт}{м^2}$$

Перевірка прийнятих значень:

$$\Delta t_1 = \frac{q}{\alpha_1} = 34,135^\circ C$$

$$\Delta t_2 = \frac{q}{\alpha_2} = 1,633^\circ C$$

Розрахункова площа поверхні теплообміну:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = 10,646 м^2$$

$$F = 13 м^2$$

Запас площі поверхні теплообміну:

$$\frac{F - F_p}{F} \cdot 100\% = 18,109\%$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ

4.2. Комп'ютерне моделювання гелікоїдної труби

Дослідження у ANSYS

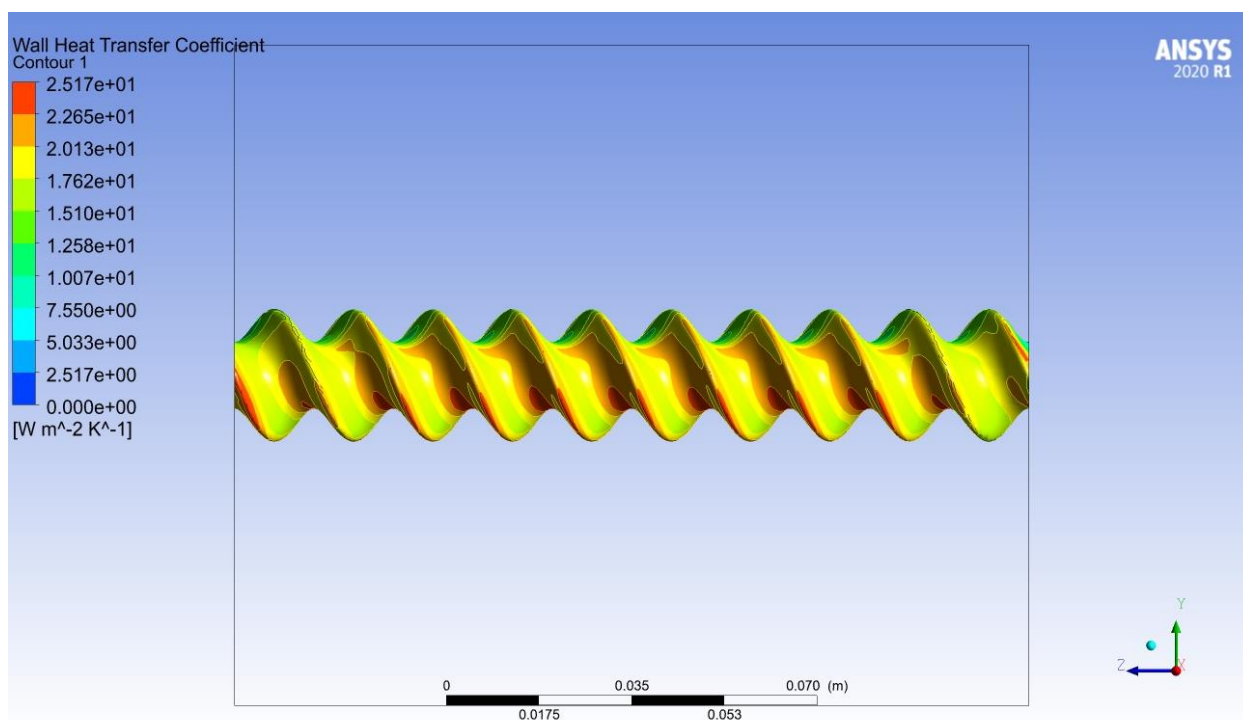


Рисунок 3 Теплопередача трубки поперек

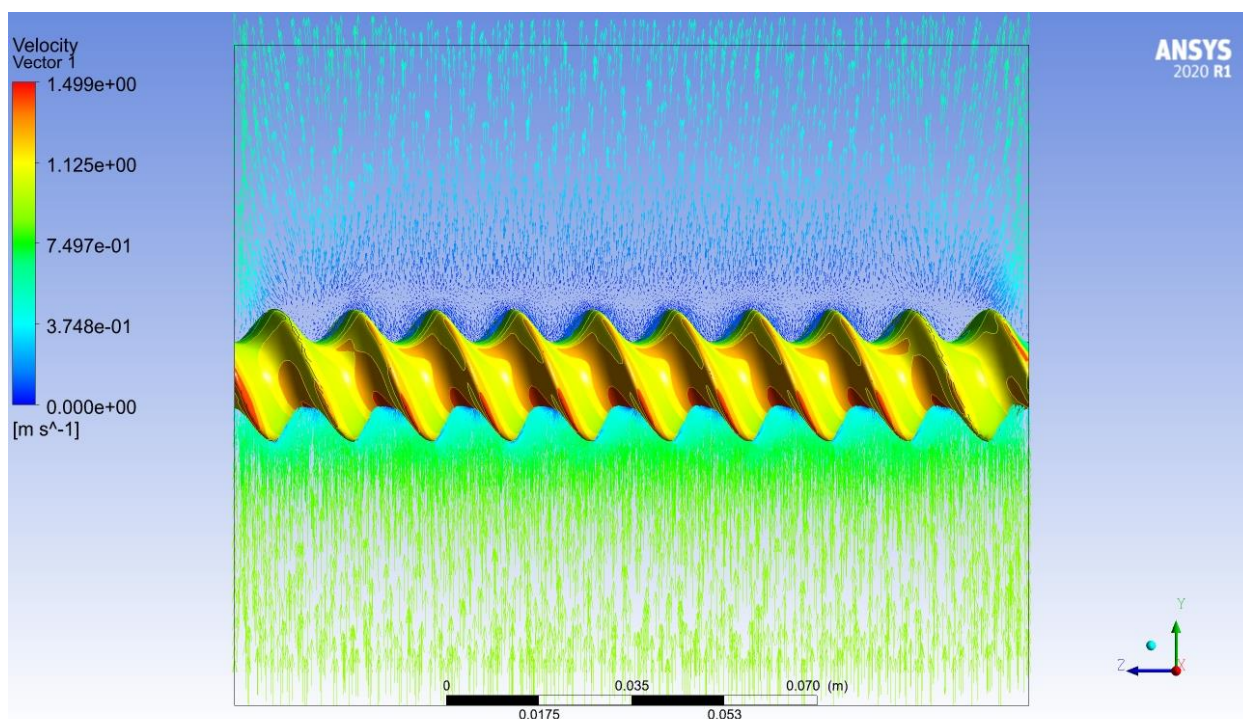


Рисунок 4 Швидкість потоку трубки поперек

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

Изм.	Коллч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ

Лист

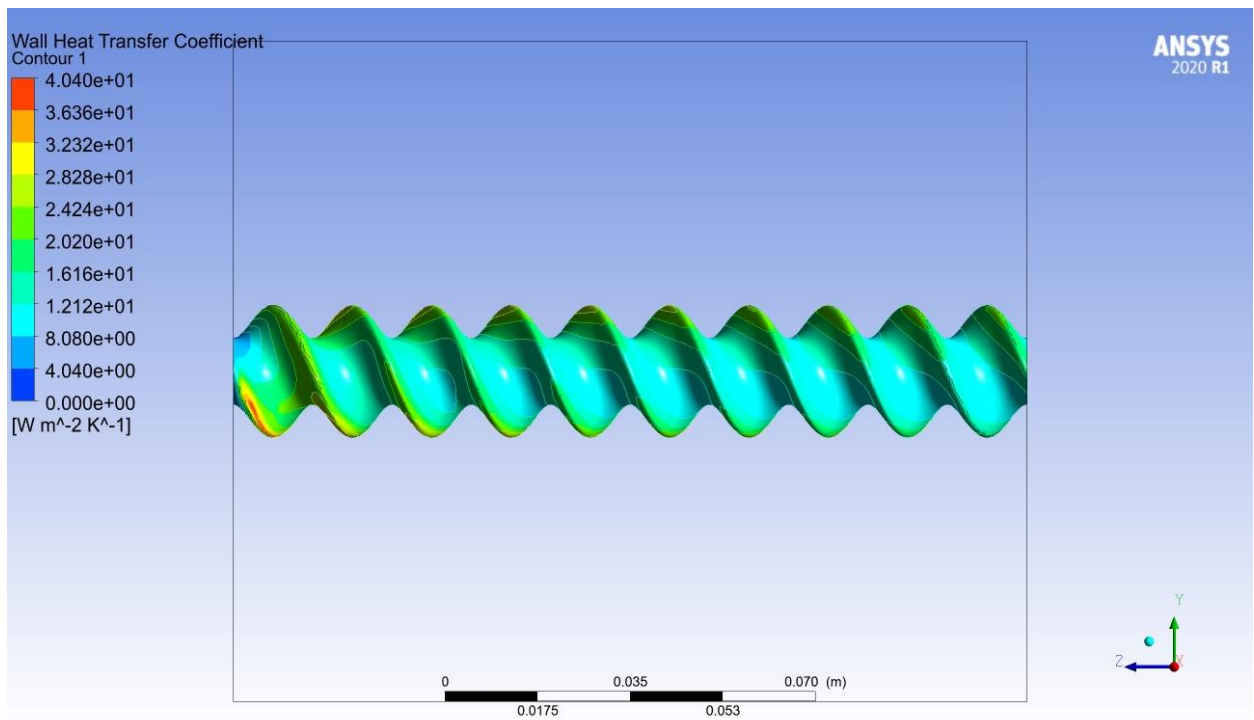


Рисунок 5 Теплопередача трубки вздовш

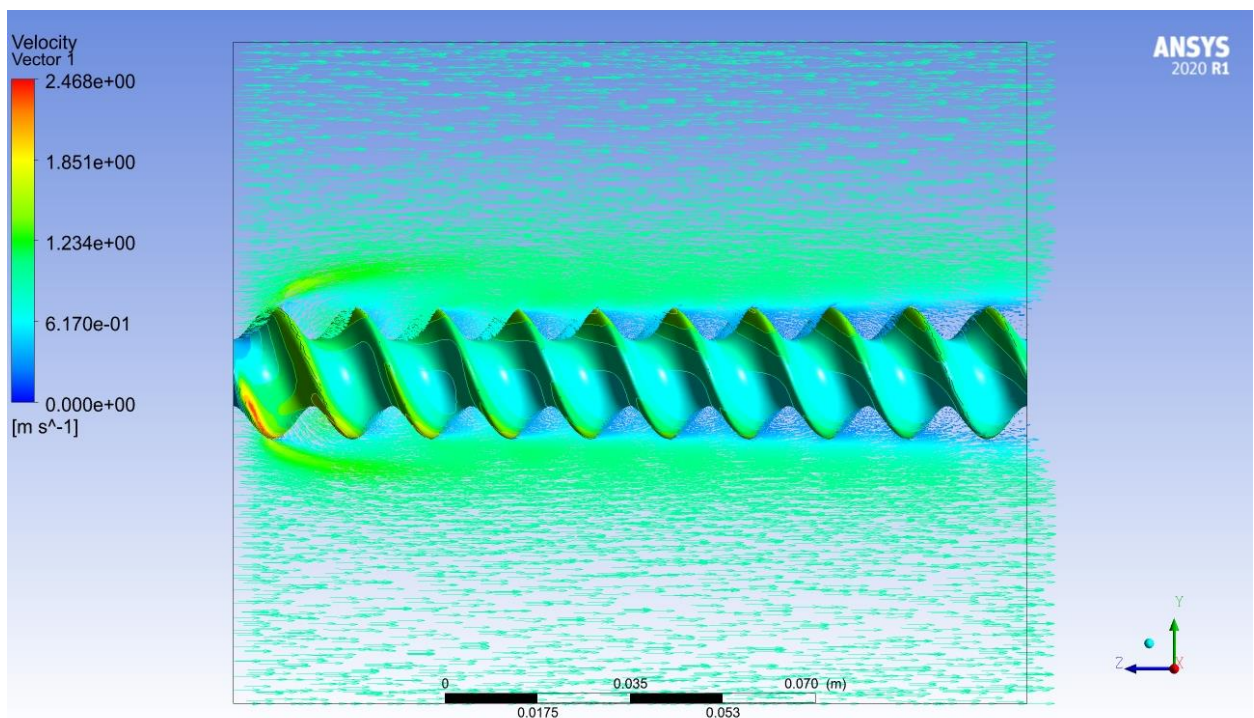


Рисунок 6 Швидкість потоку трубки вздовш

Инв. № подл.	Взам. инв. №				
	Подп. и дата				
Изм.	Коллч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ					Лист

Параметри теплопередачі труби

Details of **aveheatt**

DefinitionPlotEvaluate

ave(Wall Heat Transfer Coefficient)@Wall

Value18.9414 [W m^-2 K^-1]

ApplyReset

Рисунок 7 Теплопередача зовні труби

Details of **Aveheatt**

DefinitionPlotEvaluate

ave(Wall Heat Transfer Coefficient)@Wall

Value15.5928 [W m^-2 K^-1]

ApplyReset

Рисунок 8 Теплопередача всередині труби

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

Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Дослідження у SOLIDWORKS

Имя модели:Трубка
Название исследования:Статический 2(-По умолчанию-)
Тип эюры: Статический узловое напряжение Напряжение1

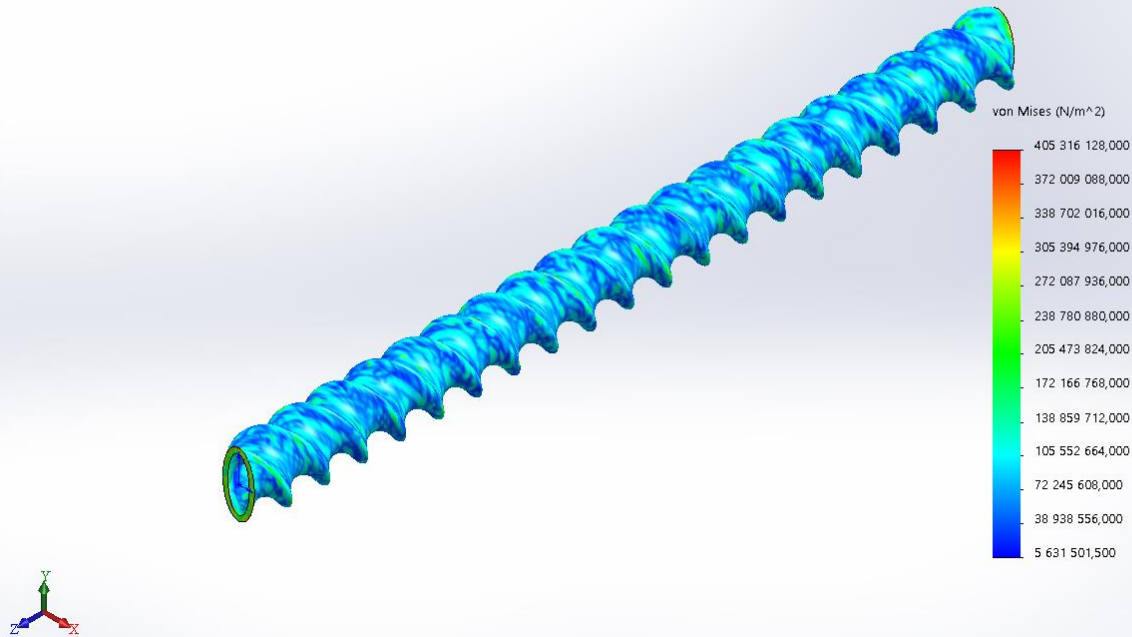


Рисунок 9 Гелікоїдна трубка еюра напружень

Имя модели:Деталь1
Название исследования:Статический 1(-По умолчанию-)
Тип эюры: Статический узловое напряжение Напряжение1

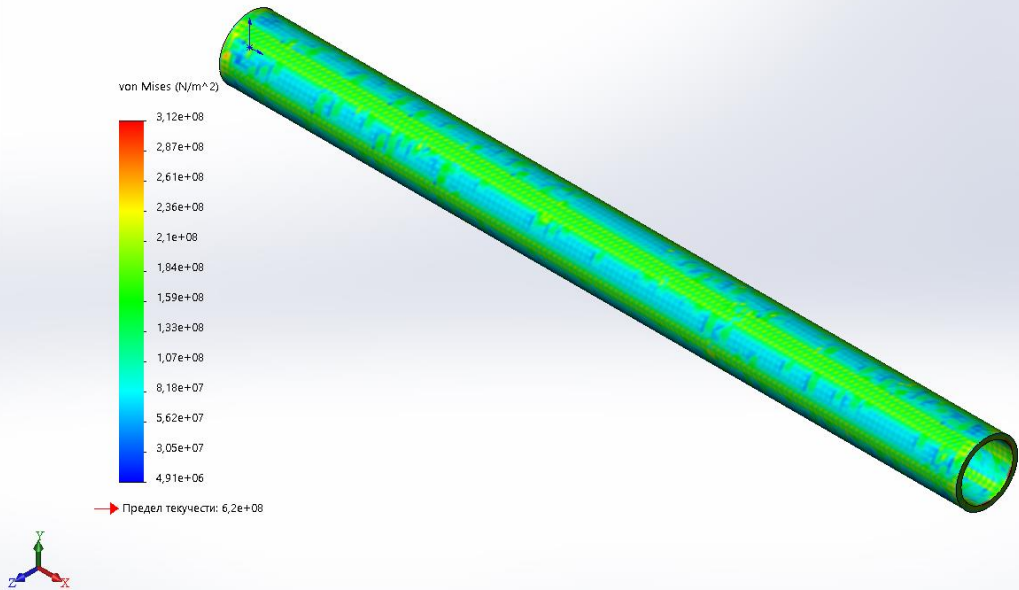


Рисунок 10 Гладка трубка еюра напружень

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
Изм.	Кол.ч.	Лист

БІ7108.9010.001 – 10 ПЗ

Лист

Имя модели:Трубка
Название исследования:Статический 2(-По умолчанию-)
Тип эпюры: Статическая деформация Деформация1

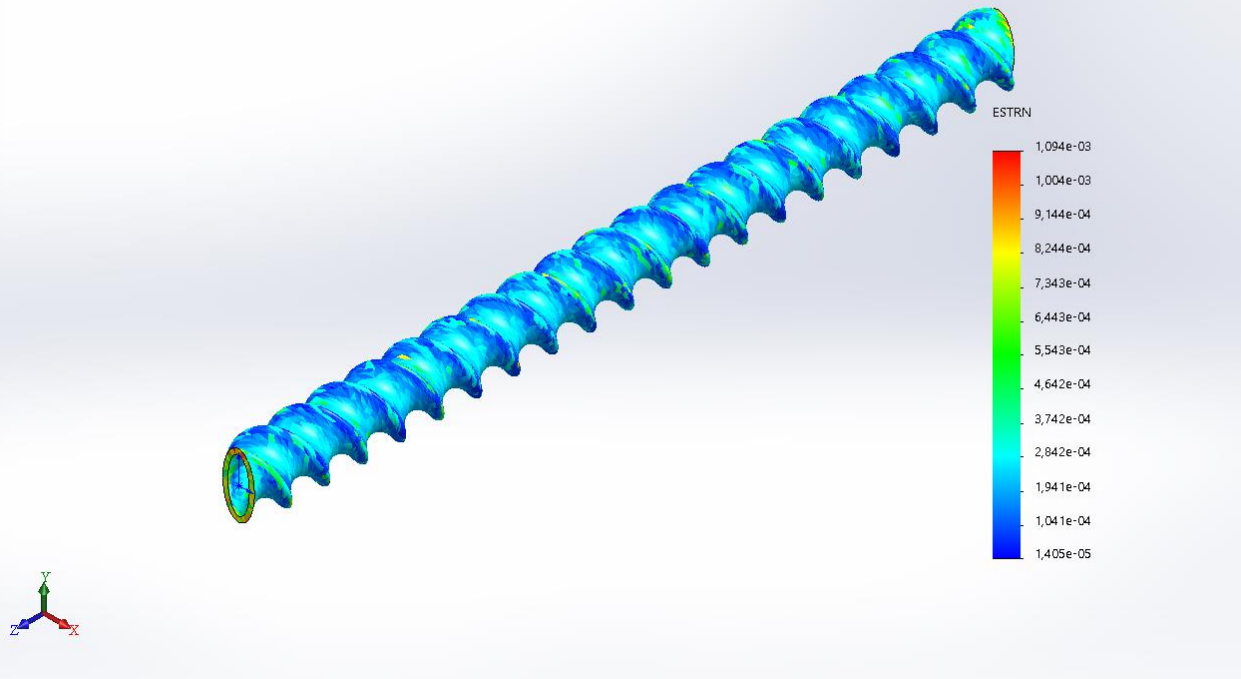


Рисунок 11 Гелікоїдна трубка епюра деформацій

Имя модели:Деталь1
Название исследования:Статический 1(-По умолчанию-)
Тип эпюры: Статическая деформация Деформация1

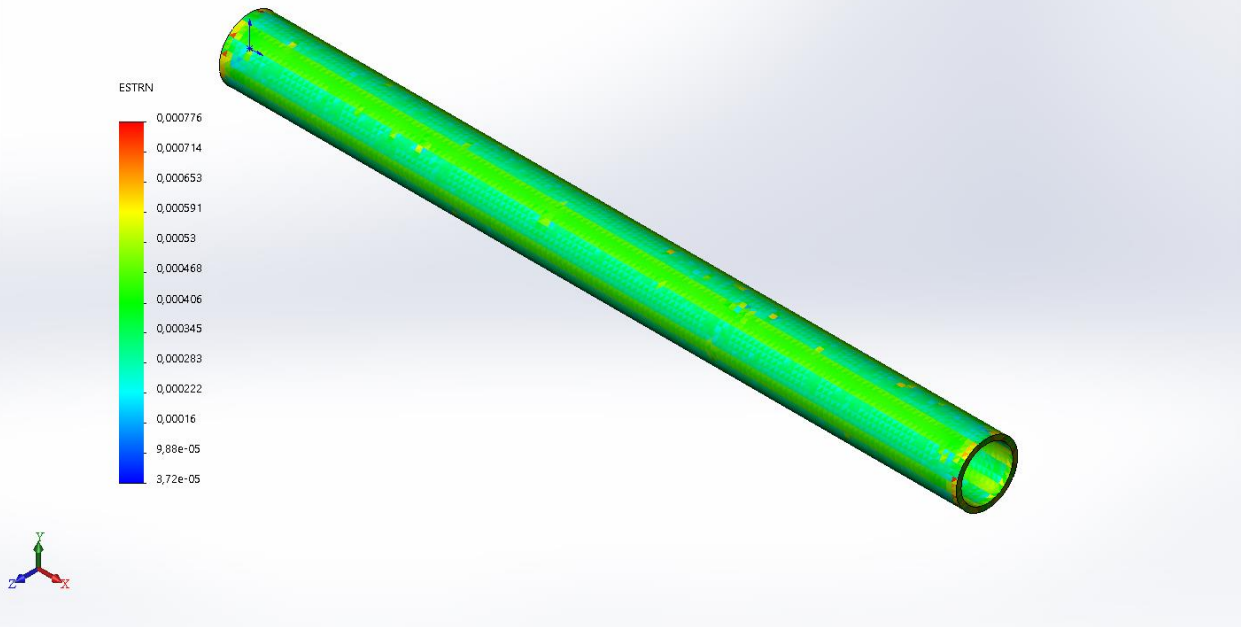


Рисунок 12 Гладка трубка епюра деформацій

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

Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ

Лист

Имя модели:Трубка
Название исследования:Статический 2-(По умолчанию-)
Тип эпюра: Статическое перемещение Перемещение1

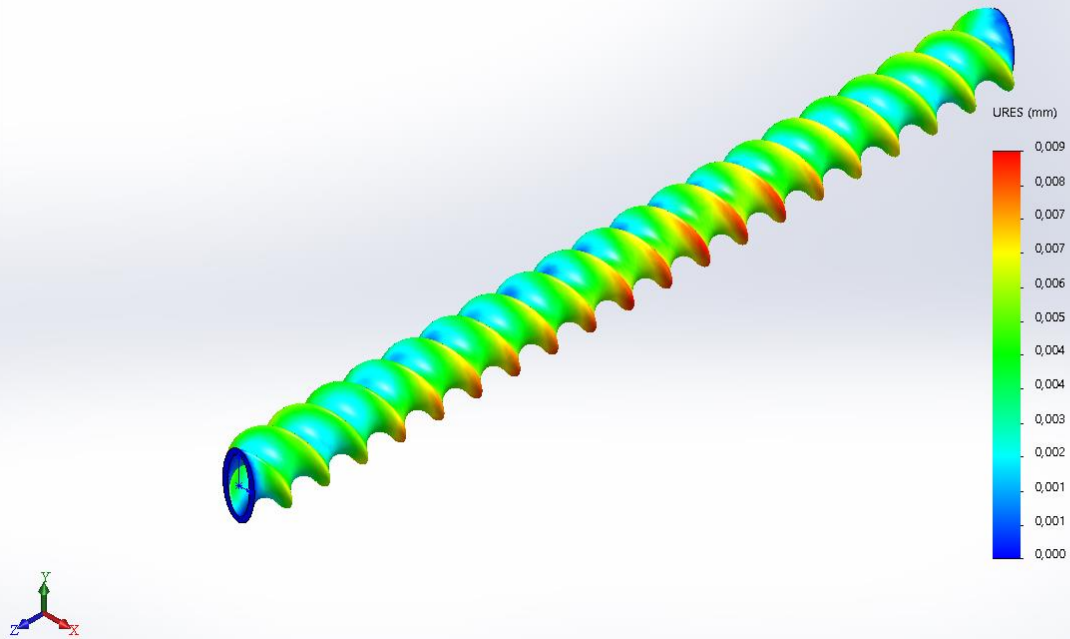


Рисунок 13 Гелікоїдна трубка епюра переміщень

Имя модели:Деталь1
Название исследования:Статический 1-(По умолчанию-)
Тип эпюра: Статическое перемещение Перемещение1

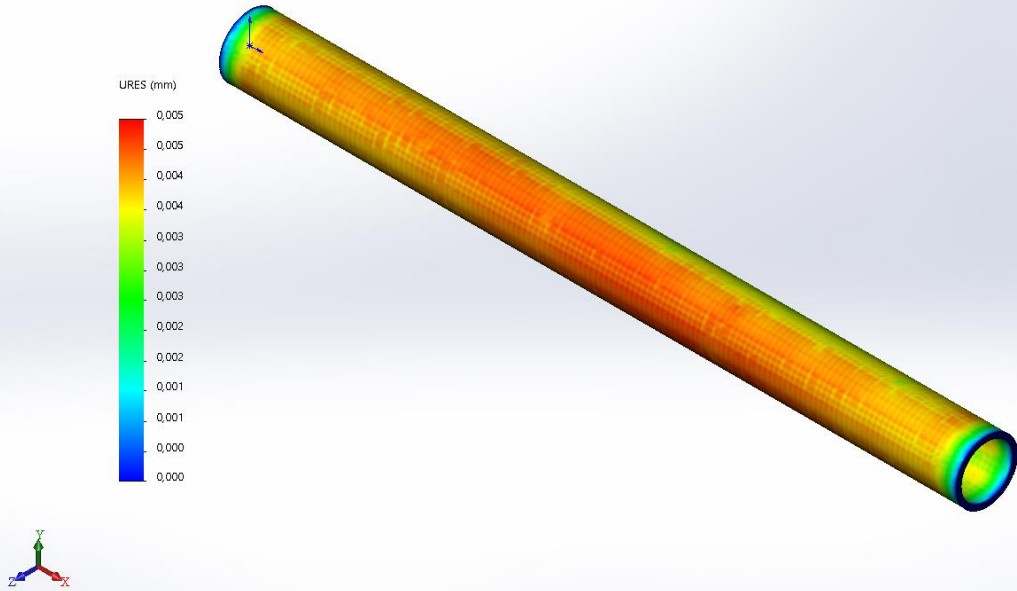


Рисунок 14 Гладка трубка епюра переміщень

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
Изм.	Кол.ч.	Лист

№ док.	Подп.	Дата

Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ

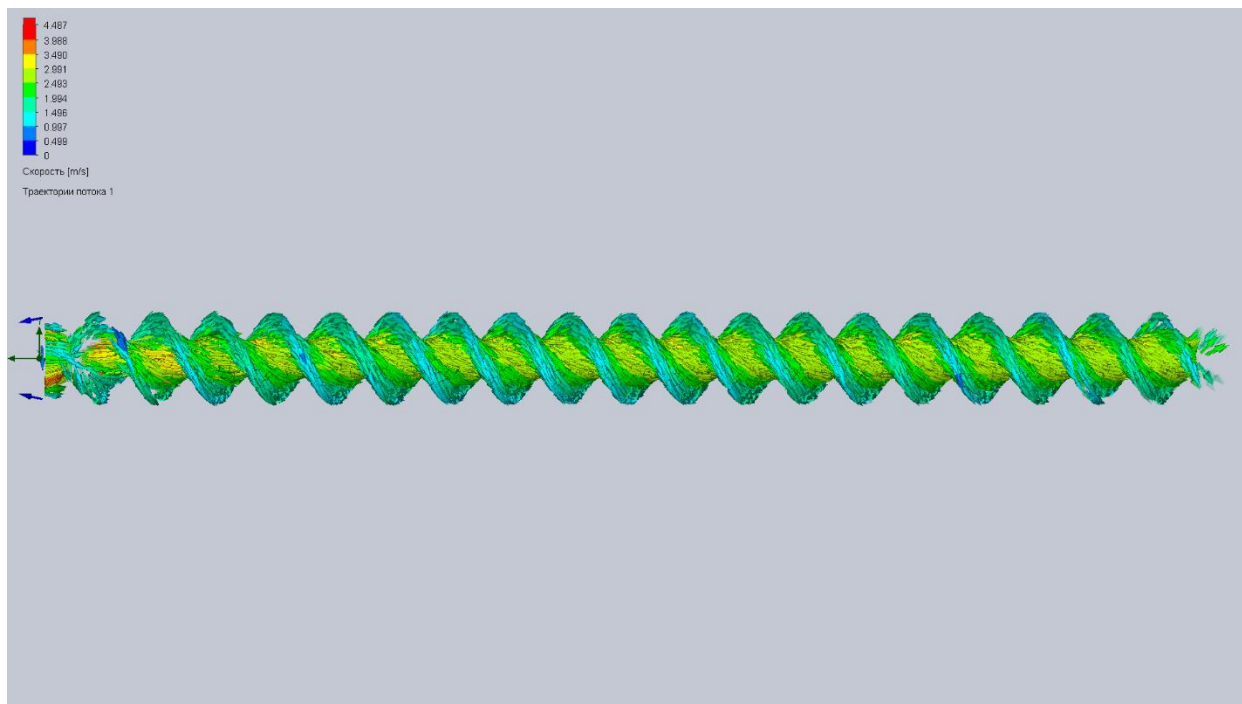


Рисунок 15 Гелікоїдна трубка етюра швидкості потоку

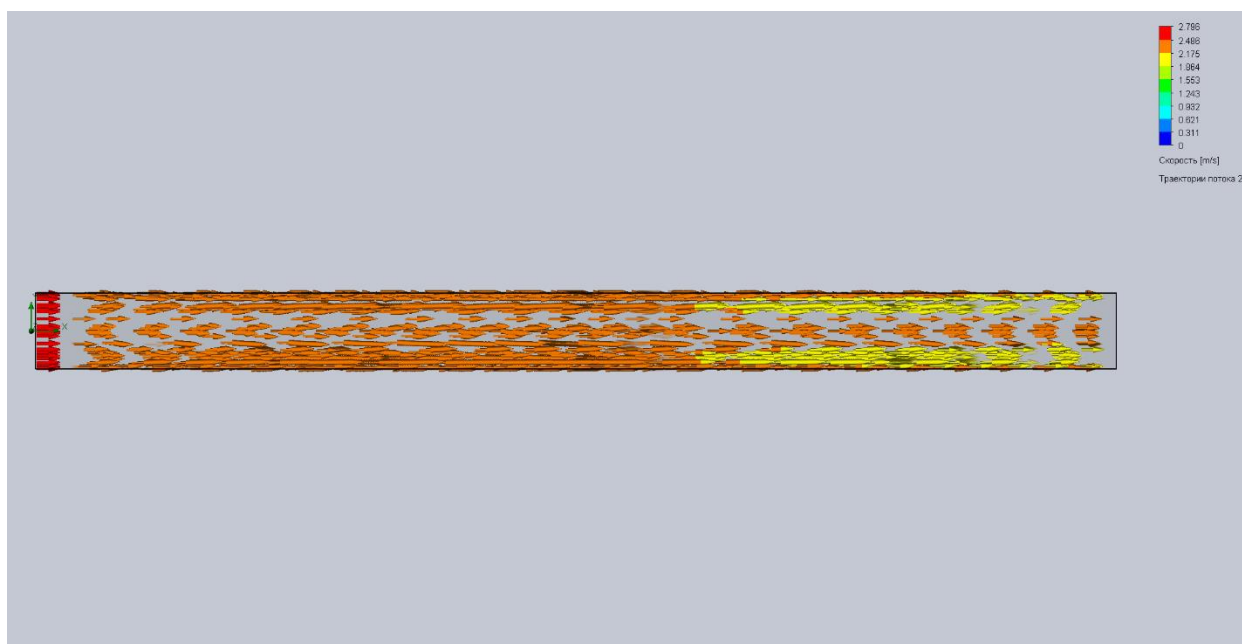


Рисунок 16 Гладка трубка етюра швидкості потоку

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
Изм.	Кол.уч.	Лист
№ док.	Подп.	Дата

Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ

Лист

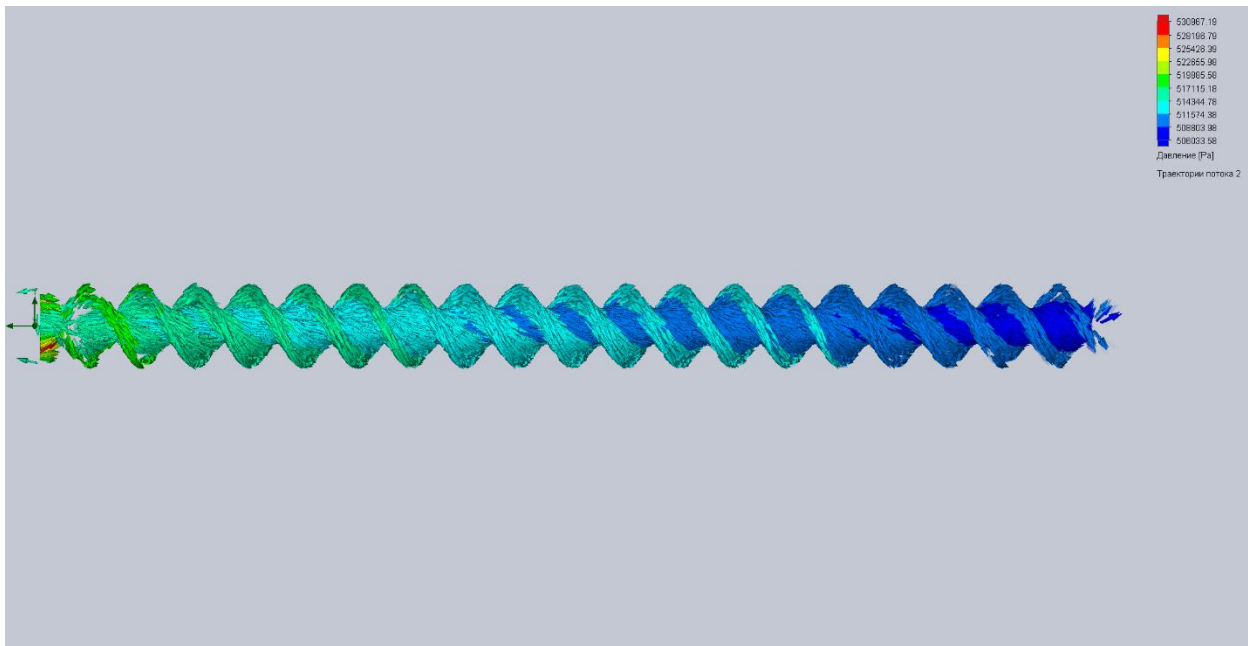


Рисунок 17 Гелікоїдна трубка епюра тиску потоку

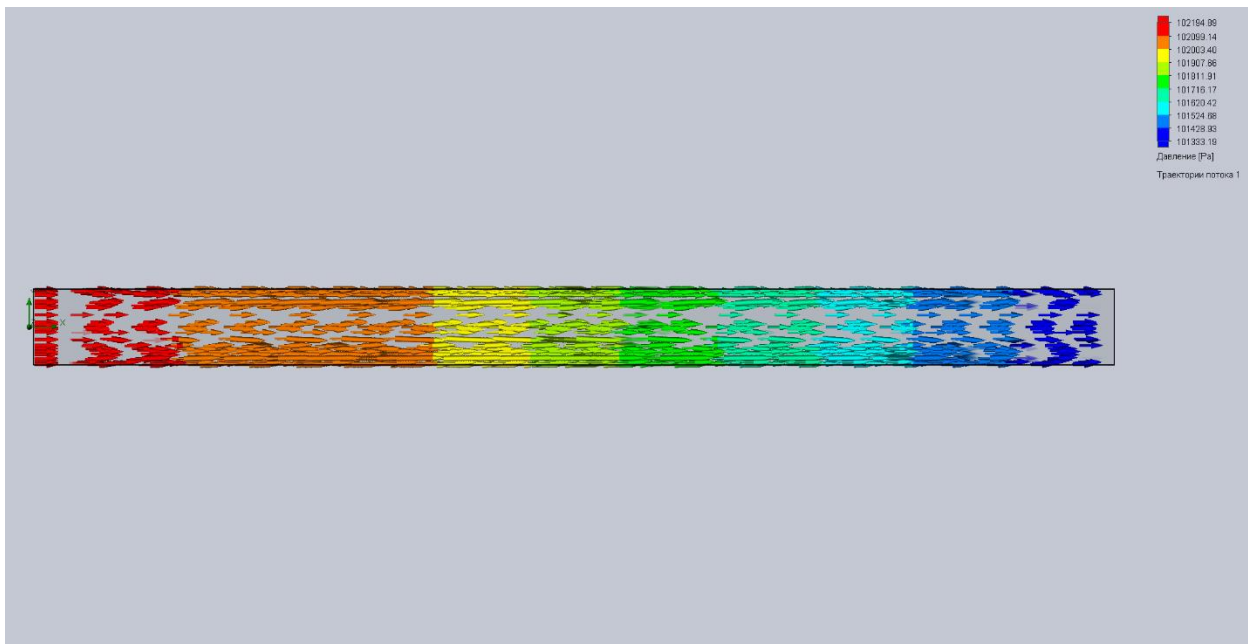


Рисунок 18 Гладка трубка епюра тиску потоку

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ	

4.3. Гідравлічний розрахунок апарата

$$\lambda = 0,25 \cdot \left(\log \left(\frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,021 \cdot 3,7} + \left(\frac{6,81}{13100} \right)^{0,9} \right) \right)^{-2} = 0,042$$

$$\Delta \rho_{mp} = \lambda \cdot \frac{L \cdot z}{d_{emp}} \cdot \frac{\omega_{вод}^2 \cdot \rho_{вод}}{2} + (2,5 \cdot (z-1) + 2 \cdot z) \cdot$$

$$\cdot \frac{\rho_{вод} \cdot \omega_{вод}^2}{2} + 3 \cdot \frac{\rho_{вод} \cdot \omega_{вод}^2}{2} = 5916 \text{ Па}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист	
			Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ

4.4. Конструктивний розрахунок апарата

Діаметри патрубків визначаємо за формулою:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot G_n}{\pi \cdot \rho_{nn} \cdot \omega_n}} = 0,226 м$$

Діаметр патрубка для входу води в апарат:

$$d'_e = \sqrt{\frac{4 \cdot G_n}{\pi \cdot \rho_{en} \cdot \omega_e}} = 0,022 м$$

$$d''_e = \sqrt{\frac{4 \cdot G_n}{\pi \cdot \rho_{ek} \cdot \omega_e}} = 0,022 м$$

4.5. Розрахунок трубної решітки

Розрахуємо товщину трубної решітки.

Визначимо радіус інерції поперечного перерізу труби:

$$r = 0,25 \sqrt{d_{en}^2 + d_3^2} = 0,25 \sqrt{0,021^2 + 0,025^2} = 0,0081 м$$

Визначимо гнучкість труби. Для $r = 0,0081 м$ та довжини труб $1,5 м$ гнучкість $\lambda = 2,4$

Знаходимо коефіцієнт зменшення допустимого навантаження осьового стискання для $\lambda = 2,4$ $\varphi = 0,8$

$$\frac{d_3^2 p_m}{d_3^2 - d_{en}^2} \leq \varphi \sigma_{co}$$

де $\sigma_{co} = 186,3 Па$ - допустиме напруження матеріалу труб на стиск.

Визначимо середнє арифметичне сторін прямокутника в решітці, утвореного центрами чотирьох суміжних труб:

$$l_1 = 1,18 \cdot t = 1,18 \cdot 0,052 = 0,061 м$$

Те ж саме для двох суміжних труб та контуру решітки:

$$l_2 = \frac{D_e - t \cdot (b - 1) + 2t}{4} = 0,029 м$$

Ведемо розрахунок по більшому значенню $l_1 = 0,061 м$.

Визначаємо номінальну розрахункову висоту трубної решітки за формулою:

Инв. № подл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					Лист
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 - 10 ПЗ	

$$h' = 0,525l \sqrt{\frac{P_m}{\left(1 - 0,7 \frac{d_{BH}}{l}\right) \sigma_\delta}} = 0,00191 м$$

4.6. Розрахунок стінки корпусу апарата на міцність під дією внутрішнього тиску

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S_R = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P} = 0,581 \cdot 10^{-3} м$$

де $[\sigma] = 140 МПа$ – допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі стінки 100 °С;

$$D = 325 мм \quad P = 0,5 МПа \quad \varphi_p = 1 \quad S = 3 мм$$

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = 0,6018 \cdot 10^6 Па$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P \leq [P]$$

$$0,5 МПа \leq 0,6018 МПа$$

Умова міцності виконується, що означає, що корпус апарата сконструйовано і обрано вірно і немає необхідності його додатково укріплювати, адже він не зруйнується при заданих умовах технологічного процесу.

4.7. Розрахунок еліптичного днища апарата на міцність під дією внутрішнього тиску

Розрахункова товщина днища:

$$S_R = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P} = 0,581 мм$$

Виконавча товщина стінки днища:

Допустимий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - C)}{R + 0,5 \cdot (S - C)} = 0,6024 \cdot 10^6 Па$$

Інв. № подл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ		Лист

4.8. Розрахунок теплової ізоляції апарата

В якості матеріалу для ізоляції обрано вату мінеральну ВМСТ ГОСТ 4640-93, що має коефіцієнт теплопровідності $\lambda_i = 0,72 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Приймаємо температуру зовнішньої поверхні стінки $t_{cm} = 45^\circ \text{C}$. Температуру зовнішнього середовища $t_0 = 22^\circ \text{C}$. Тоді товщина шару ізоляції:

$$s_i = \frac{\lambda_i (t_1 - t_{cm})}{\alpha_3 (t_{cm} - t_0)} = 0,205 \text{ м}$$

тут $\alpha_3 = 9,3 + 0,058 \cdot t_{cm} = 9,3 + 0,058 \cdot 45 = 11,91 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні апарата в навколишнє середовище.

4.9. Розрахунок опор апарату

Маса апарату без середовища

Маса $M = 508,042966 \text{ кг}$

Площа $S = 84,125468 \text{ м}^2$

Об'єм $V = 0,068494 \text{ м}^3$

Опори підібрані по ГОСТ 15118-79 [10]

Інв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ			

5. РЕКОМЕНДАЦІЇ З МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

На підприємство обладнання поступає крупними блоками, адже забезпечити точність та якість кріплень на місці є неможливим чи ж надзвичайно затратним, що є абсолютне нераціонально.

Оскільки ферментер це великогабаритне вертикальне обладнання то транспортування його територією цеху здійснюємо мостовим краном з дотриманням правил безпеки та монтажу і експлуатації. Важливо пам'ятати про важливість недопускання розміщення кріплень нижче чи на рівні центру мас.

Таке транспортування небезпечне перевертанням апарату. Так як наслідок створення небезпечної ситуації для працівників і збитків для підприємства.

При установці у робоче положення необхідно витримати вертикальність. При потребі використовують метод підливки цементу чи підкладні листи для опор. Також важливо підібрати та встановити відповідні анкерні болти для фіксації апарату.

При монтажі трубопроводів необхідно перевірити апарат на відсутність сторонніх предметів у ньому та зняти транспортні заглушки.

Після монтажу проводять пробний пуск та випробування на міцність і стійкість.

Апарати повинні бути заземлені. Дотримання умов експлуатації щодо дії кліматичних факторів зовнішнього середовища, категорії розміщення і групи умов експлуатації кожної одиниці обладнання сприяє її ефективній експлуатації і продовжує термін її служби. Змонтоване обладнання підлягає перевірці; гідравлічній і пневматичній на міцність; в холосту і під навантаженням.

Випробування вхолосту включають в себе, пробні пуски із зупинками для перевірки роботи всіх вузлів обладнання і усунення неполадок; безперервне Апробування в холосту.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взам. інв. №							Лист
Ізм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ			

Проектом виробництва монтаж-но-складальних робіт передбачається
Наступна послідовність операцій збирання. установка корпусу апарата на
металоконструкцію. [9]

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ			

ВИСНОВКИ

Даний дипломний проєкт був створений для закріплення теоретичних і набуття практичних навичок з проєктування та розрахунку апаратів призначених для фармацевтичної, мікробіологічної та харчової промисловості.

Розглянута в проєкті лінія виробництва ітаконової кислоти є поширеною і актуальною. Під час виконання проєкту був спроектований теплообмінник кожухотрубний двоходовий для охолодження повітря. Даний теплообмінник має наступні переваги: Кожухотрубні теплообмінники характеризуються стійкістю до гідроударів, зниженими вимогами до чистоти середовищ, відносно низьким коефіцієнтом теплопередачі і, як наслідок, великими габаритами і площами, необхідними для обслуговування, а також високою ціною через великий металоємності. Крім того, ремонт таких теплообмінників зазвичай пов'язаний з заглушкою пошкоджених трубок, що веде до зменшення площі теплообміну. Тому зазвичай теплообмінники вибираються з великим запасом по поверхні, що також обумовлює їх великі габарити. [11]

Спроба регулювання по конденсату на горизонтальних кожухотрубних теплообмінниках викликає складності. Це виходить через те, що при незначній зміні рівня конденсату, площа теплообміну змінюється нелінійно і набагато істотніше.

В ході курсового проєкту був проведений патентний пошук як в Україні, так і за її межами. Патентів не було знайдено, це зумовлено специфічністю апарату.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
Изм.	Кол.цч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	БІ7108.9010.001 – 10 ПЗ			

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии . Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. / Под ред. Ю. И. Дытнерского. - 2-е изд. перераб. и дополн. - М.: Химия, 1991.
2. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. - 750 с.
3. Мартыненко О.Г. Справочник по теплообменникам. Том 2. — Москва: Энготомиздат, 1987. - 349 с.
4. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1991. -351 с.
5. Стабников В.Н. Проектирование процесов и апаратов пищевых производств. - Киев: «Вища школа», 1982. - 198с.
6. Теплообменные аппараты «труба в трубе»: АТК 24.202.03-90. - [Чинний від 1992-01-01]. — Москва:ЦИНТИХИМНЕФТЕМАП, 1992. - 23с.
7. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химикотехнологического природоохранного оборудывания. Справочник. Том 1. - Издательство Н.Бочкаревой: Калуга, 2002. - 845 с.
8. Фланцы стальные свободные на приварном кольце:ГОСТ 12822-80. — [Чинний від 1980-05-20]. - К. : Міждержавні стандарта, 2012. — 112 с .— (Государственный стандарт СССР)
9. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. - Л.: Машиностроение, 1984. - 299 с.
- 10- Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. - Л.: Машиностроение, 1970. - 750 с.
11. Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры: ДСТУ ГОСТ 7798:2008. - [Чинний від 2008-01-01]. - К. : Державні стандарта України 2012. — 9 с. — (Національний стандарт України)

Инв. № подл.	Взам. инв. №						Б/7108.9010.001 – 10 ПЗ	Лист
	Подп. и дата							
	Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

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

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Вікторія Мельник

« ____ » _____ 2021р.

Дипломний проєкт

На здобуття ступеня бакалавра

З напрямку підготовки 133 галузеве машинобудування

**На тему: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою
теплообмінника кожухотрубного»**

Виконав:

Студент IV курсу, групи БІ-71

Ружанський Антон Сергійович _____

Керівник: доцент кафедри біотехніки та
інженерії,

к.т.н.,

Костик Сергій Ігорович _____

Консультант:

професор д.ф-м.н

Дуган Олексій Мартем'янович _____

Рецензент:

Доцент, к.б.н., старший науковий співробітник

Дзигун Лариса Петрівна _____

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

Київ – 2021 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	БІ7108.9010.000 – 10	Завдання на дипломний проєкт		
2	A4	БІ7108.9010.001 – 10 ПЗ	Пояснювальна записка		
3	A1	БІ7108.9010.002 – 10 АС	Апаратурно – технологічна схема		
4	A1	БІ7108.9010.003 – 10 СБ	Теплообмінник кожухотрубний двоходовий		
5	A2	БІ7108.9010.004 – 10 СБ	Камера		
6	A2	БІ7108.9010.005 – 10 СБ	Кришка		
7	A3	БІ7108.9010.006 – 10	Перегородка кришка		
8	A3	БІ7108.9010.007 – 10 СБ	Кришка		
9	A3	БІ7108.9010.008 – 10	Трубка гелікоїдна		
10	A3	БІ7108.9010.009 – 10	Трубна решітка		

				БІ7101.401211.00-10 ПЗ		
	ПІБ	Підпис	Дата			
Розробник	Ружанський А. С.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівник	Костик С. І.				1	1
Конс.	Дзигун Л. П.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБТ	
Н/кор.	Костик С. І.					
Зав. каф.	Мельник В. М.					

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавр

Виконаний на тему: Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою теплообмінника кожухотрубного.

Студентом: Ружанським Антоном Сергійовичем
(прізвище, ім'я, по батькові)

Дипломний проєкт складається з пояснювальної записки обсягом 50 сторінок та графічної частини (2 листи формату A1, 2 листи формату A2, 4 листи формату A3).

У дипломному проєкті Ружанським А. С. спроектовано теплообмінник кожухотрубний двоходовий. У пояснювальній записці сформульовано математична модель процесу теплообміну, визначено коефіцієнти критеріального рівняння дослідного апарату, встановлено величини швидкостей і напружень виходячи з умов міцності та стійкості теплообмінника під час процесу теплопередачі апарату.

Новизною запропонованої Ружанським А. С. розробки є використання гелікоїдних труб (15 W/m^2) які значно підвищують коефіцієнт теплопередачі у порівнянні з використанням гладких труб (7 W/m^2).

Всі креслення та пояснювальна записка виконані з використанням ПК, а саме прикладних програм Microsoft Office Word 2019, КОМПАС-3D v19.0.11, SolidWorks 2019 та ANSYS 2020 R1. Пояснювальна записка та графічна частина виконані у відповідності до норм Держстандарту. Проєкт виконаний у повному обсязі, відповідно до завдання.

Серед недоліків слід відзначити не відповідність між темою дипломного проєкту, де йдеться про виробництво ітаконової кислоти з розробкою теплообмінника кожухотрубного, календарним планом у завданні, де вже йдеться про виробництво біоетанола з відходів деревини та розрахунок ректифікаційної колони, та рефератом, де вже з'являється виготовлення лимонної кислоти та обґрунтування вибору проєктованої конструкції ферментера. У вступі дипломний проєкт дивним чином перетворюється на курсовий проєкт. Опис технології викликає питання, оскільки складно уявити, як технологічна схема може складатися з трубопроводів, по яким до апаратів подається повітря та очищена вода. Можливо ватро було б починати розділ з того, що технологічна схема складається стадії. Також серед недоліків слід відзначити відсутність конкретики та наявність посилання на літературне джерело. До незначних недоліків можу віднести наявність помилки набору тексту.

У відповідності до вимог що висуваються до першого (бакалаврського) рівня вищої освіти в рамках освітньої програми «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв» за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування, здобувач вищої освіти Ружанський Антон Сергійович заслуговує на присудження йому ступеня бакалавра та присвоєння освітньої

кваліфікації бакалавр з галузевого машинобудування

Рецензент

Старший викладач кафедри
промислової біотехнології, к.б.н.

Лариса ДЗИГУН

Имя пользователя:
Красицький Ігор Юрійович

Дата проверки:
15.06.2021 20:17:32 EEST

Дата отчета:
15.06.2021 20:18:58 EEST

ID проверки:
1008306343

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

ID пользователя:
77141

Название файла: Дипломний проект Ружанський

Количество страниц: 46 Количество слов: 5008 Количество символов: 39246 Размер файла: 4.53 MB ID файла: 1008374045

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

16.5% Совпадения

Наибольшее совпадение: 5.13% с Интернет-источником (https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39228/1/Bednarchuk_b...)

13% Источники из Интернета 67 Страница 48

11% Источники из Библиотеки 104 Страница 50

0.5% Цитат

Цитаты 3 Страница 51

Исключение списка библиографических ссылок выключено

0.46% Исключений

Некоторые источники исключены автоматически (фильтры исключения: количество найденных слов меньш...

0.46% Исключений из Интернета 112 Страница 52

0.02% Исключенного текста из Библиотеки 305 Страница 53

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 425

Подозрительное форматирование 12 страниц