

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра “Автоматизації хімічних виробництв”

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

на тему: «Автоматизація технологічного процесу синтезу метилового спирту
з окису вуглецю та водню»

Виконав:

*Максимчук О.В.,
ІХФ, Група ЛА-52*

Керівник дипломного проекту

ст. викл. Ситніков О. В.

Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського 2019 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»

ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

А.І.Жученко

« » 2019р

Дипломний проект

освітньо-кваліфікаційного рівня « бакалавр »

(назва ОКР)

з напрямку підготовки (спеціальності) 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизація технологічного процесу синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню»

Виконав: студент IV курсу, групи ЛА-52

(шифр групи)

 Максимчук Олександр В'ячеславович
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: ст.вик. Ситніков Олексій Володимирович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Охорона праці к.т.н., доц. Ковтун В. М.
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

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

Студент
(підпис)

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

Інститут (факультет) інженерно-хімічний _____
(повна назва)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Жученко А. І.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«27» _____ лютого _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Максимчук Олександр В'ячеславович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація процесу синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню _____,

керівник проекту ст.викл. Ситніков Олексій Володимирович _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «15» _____ травня _____ 2019 р. № 1521-с

2. Термін подання студентом проекту 20 червня 2019 р. _____

3. Вихідні дані до проекту система керування, що забезпечує задані часові показники якості процесу керування, автоматичний контроль таких параметрів: температура маси, що надходить в холодильник-конденсатор; температура маси на виході з холодильника-конденсатора а також технологічна сигналізація таких параметрів: температура на виході з холодильника-конденсатора; тиск у трубопроводі подачі води у холодильника-конденсатора;

4. Зміст пояснювальної записки Аналіз технологічного процесу синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню; автоматизація технологічного процесу синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню; математичне моделювання холодильника-конденсатора; синтез системи керування; функціональна схема автоматизації; програмні засоби автоматизації; розробка 3Д принтеру; охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації технологічного процесу; принципова електрична схема дистанційного керування і аварійного захисту та технологічного блокування електродвигунів; принципова електрична схема

технологічних блокувань та технологічної сигналізації контрольованих параметрів;

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., доц. Ковтун В. М.		

7. Дата видачі завдання 6 березня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Опис технологічного процесу	14.04.2019	
2	Розробка креслень	18.04.2019	
3	Моделювання об'єкта	24.04.2019	
4	Синтез системи керування	16.05.2019	
5	Функціональна схема автоматизації	21.05.2019	
6	3Д принтер	25.05.2019	
7	Охорона праці	30.05.2019	

Студент

(підпис)

О. В. Максимчук

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

О. В. Ситніков

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

Реферат

Дипломний проект на тему "Автоматизація технологічного процесу синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню" містить пояснювальну записку об'ємом у 74 сторінки, одне креслення форматом А1 та одне креслення формату А2.

Пояснювальна записка містить 20 рисунків, 9 таблиць, 1 додаток і 15 літературних джерел.

У розділах пояснювальної записки виконаний аналіз технологічного стану виробництва, запроектовано автоматичну систему керування, розроблена математична модель статичного й динамічного режимів роботи об'єкта керування. Виконано синтез дискретної системи керування. Розроблена фізична модель об'єкта керування. Також у дипломному проекті розглянуто питання охорони праці на виробництві метилового спирту.

При виконанні дипломного проекту були використані методи теорії автоматичного керування, теорії надійності та математичного моделювання.

За результатами роботи опубліковано тези на міжнародній конференції. Основні результати можуть бути використані для попередньої оцінки параметрів налаштування реальних систем керування та в якості дидактичних матеріалів курсів «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів», «Проектування систем управління», «Автоматизація хімічних виробництв» та «Теорія автоматичного керування»

Ключові слова: метиловий спирт, окис вуглецю та водню, автоматизація, холодильник-конденсатор, технологічний процес, схема автоматизації, контроль та регулювання, сигналізація та блокування, об'єкт керування, передатна функція, перехідна характеристика, синтез регулятора, техніка безпеки, 3Д-моделювання, 3Д-друк, фізична модель.

Abstract

The project entitled "Automation of technological process of synthesis of methyl alcohol from carbon monoxide and hydrogen" contains an explanatory note on 74 pages, one A1 drawing and one A2 drawing.

An Explanatory statement contains 20 figures, 9 tables, 1 appendix and 15 references.

The sections of the explanatory statements gives us technological analysis of production status, projected automatic management system, designed mathematical modes of static and dynamic regimes of control object working. Synthesis of discrete control system is made, and physical model of control object is also designed.

Furthermore, This diploma project consider issues of occupational safety in factories that produce methyl alcohol.

Theses of the results of the work was released at the international conference. The main results can be used for previous parameter estimates of settings of real management systems and as additional materials of courses such as Identification and design of modern technical objects, management system designing, automation of chemical production and theory of automatic control

.Keywords: methyl alcohol, carbon monoxide and hydrogen, automation, refrigerator-condenser, technological process, the layout of automatization, monitoring and control, alarm and lock, facility management, transfer function, transient response, a synthesis of a regulator, safety at work, 3D modeling, 3D print, physical model.

Зміст

Вступ	3
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ МЕТИЛОВОГО СПИРТУ З ОКИСУ ВУГЛЕЦЮ ТА ВОДНЮ	4
1.1. Теоретичні основи процесу синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню	4
1.2. Аналіз технологічної схеми синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню	15
1.3. Постановка задачі автоматизації синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню	24
2.МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИКА-КОНДЕНСАТОРА	25
2.1 Характеристика холодильника-конденсатора.....	25
2.2 Модель статичного режиму об'єкта	27
2.3 Модель динамічного режиму об'єкта	27
3. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	30
3.1 Налаштування регуляторів	30
3.2 Дослідження системи на стійкість	31
4. ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	35
4.1 Загальний опис функціональної схеми автоматизації	35
4.2 Опис окремих елементів функціональної схеми автоматизації.....	37
4.3 Опис холодильника-конденсатора на функціональній схемі автоматизації	41
5. ПОБУДОВА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ХОЛОДИЛЬНИКА-КОНДЕНСАТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ЗД-ДРУКУ	42
5.1 Розробка 3Д-моделі холодильника-конденсатора в 3Д-редакторі.....	42
5.2 Конструювання 3Д-принтера	48
5.3 Друк 3Д-моделі холодильника-конденсатора на 3Д-принтері.....	60

					<i>ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Автоматизація процесу синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб</i>		<i>Максимчук О.В.</i>						
<i>Перев</i>								
<i>Реценз</i>								
<i>Н.Контр.</i>								
<i>Затв.</i>					<i>НТУУ “КПІ”, ІХФ, ЛА-52</i>			

Висновок.....	72
Список використаної літератури.....	73

					<i>ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб</i>		<i>Максимчук О.В.</i>			Автоматизація процесу синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев</i>								
<i>Реценз</i>								
<i>Н.Контр.</i>						<i>НТУУ “КПІ”, ІХФ, ЛА-52</i>		
<i>Затв.</i>								

Вступ

В даній дипломній роботі для дослідження була вибрана тема «Автоматизація процесу синтезу метилового спирту метилового спирту з окису вуглецю та водню».

Загалом, це дуже важлива тема для вивчення, якщо зауважити важливість виробництва метилового спирту та широкий спектр його застосування в промисловості.

Довгий час, метиловий спирт могли отримати тільки завдяки сухій перегонці деревини, але зараз основним способом його отримання є синтез з окису вуглецю та водню. Також перспективним на даний момент способом є неповне окислення метану. Незалежно від способу ,метиловий спирт виробляється зараз в великих кількостях і темпи його виробництва з кожним роком ростуть, що зумовлено необхідністю використання його в багатьох хімічних процесах. Близько половини всього виробленого метилового спирту витрачається на отримання формальдегіду.

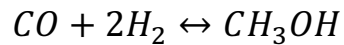
Задачею дипломної роботи є розробка схеми автоматизації, яка б дозволила нам максимізувати вихід продукції при мінімізації енергетичних та матеріальних затрат. Також, побудова 3Д моделі одного з апаратів та подальший друк фізичної моделі з використанням технологій 3Д друку.

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		9

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА

1.1. Теоретичні основи процесу виробництва метилового спирту з окису вуглецю та водню

Метиловий спирт утворюється при реакції:



$$\Delta H = -26,5 \text{ ккал.}$$

В даному випадку як і при синтезі аміаку та інших подібних процесах, підвищення тиску, згідно принципу Ле-Шательє, сприяє зсуву рівноваги вправо та збільшенню виходу метилового спирту. При підвищенні температури рівновага зсувається вліво і вихід метанолу зменшується.

Константа рівноваги даної реакції може бути розрахована по одному з наступних рівнянь:

$$\lg K = \frac{27000}{4,57T} - 3,5 \lg T - 3,6$$

$$K = \frac{(3 - 2y)^2}{4P^2} * \frac{y}{(1 + y)^2}$$

$$K = \frac{p_{CH_3OH}}{p_{CO} p_{H_2}^2}$$

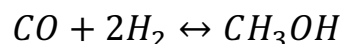
Де T – абсолютна температура, °К;

y – молярна частка метилового спирту в суміші продуктів, що утворилися з 1 моль CO та 2 моль H_2 ;

p – парціальний тиск компонентів;

P – загальний тиск в системі, ат.

В наступній таблиці приведені значення констант рівноваги реакції



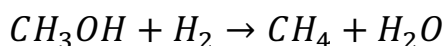
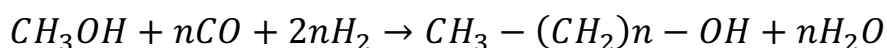
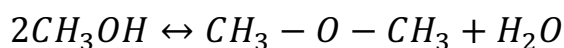
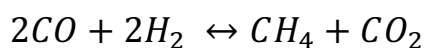
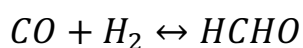
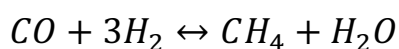
при різних температурах та тисках і відповідні для них теоретично можливі мольні долі утвореного метилового спирту в реакційній суміші. [1]

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						10
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

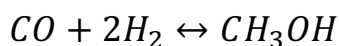
Константа рівноваги К	Температура, °С	Молярна частка CH_3OH , у		
		При 1 ат	При 100 ат	При 300 ат
0,34	200	$12 * 10^{-2}$	0,95	0,98
0,0011	300	$5 * 10^{-4}$	0,66	0,85
0,000018	400	$8 * 10^{-6}$	0,07	0,33

Як бачимо з таблиці, ступінь перетворення суміші $CO + 2H_2$ в метанол (ступінь конверсії) збільшується з підвищенням тиску і зменшується з підвищенням температури.

При відсутності каталізаторів метиловий спирт майже не утворюється, а застосовані в підприємстві каталізатори цього процесу виявляють активність лише при високих температурах. Тому синтез метанолу проводять при 300-400 с. Застосування високого тиску дозволяє збільшити ступінь конверсії вихідної газової суміші і одночасно зменшити швидкість протікання небажаних побічних реакцій, головним образом наступних:



Із порівняння цих реакцій з основною реакцією



видно, що з найбільшим зменшенням об'єму протікає саме основна реакція, внаслідок чого за високого тиску вона йде з найбільшою швидкістю. При низькому ж тиску швидкість основної реакції знижується, а побічні реакції утворення диметилового етилу, метану та двоокису вуглецю пришвидшуються. [1]

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		11

Ступінь перетворення вихідної газової суміші $CO + 2H_2$ в метиловий спирт за один прохід через каталізатор практично невелика- значно менше теоретично прорахованої. На виробничих установках вона займає 5-20%. Для збільшення загального виходу спирту газову суміш, що непрореагувала, після виділення з неї спирту повертають в контактний апарат, додаючи свіжу суміш, тобто проводять процес по безперервній циклічній схемі.

В більшості каталізаторів, застосованих для синтезу метилового спирту, міститься окис цинку. Щоб збільшити строк служби каталізатора і зробити його більше стійким до дії високої температури, окис цинку зазвичай змішують з іншими окисами, частіше за все з окисами міді чи хрому. Досить стійкий до високої температури і порівняно мало чутливий, що складається з оксидів цинку та хрому ($8ZnO \cdot Cr_2O_3 \cdot CrO_3$), був запропонований Б. Н. Борговим і А. З. Карповим. Каталізатор легко регенерується і володіє високою селективністю, направляючи процес в потрібну сторону гальмуючи протікання небажаних побічних реакцій. Цей високоактивний цинк-хромовий каталізатор можна отримати шляхом ретельного змішування сухих оксидів цинку і хрому з розчином хромового ангідриду; потім утворену пасту складу $8ZnO \cdot Cr_2O_3 \cdot CrO_3 \cdot H_2O$ формують, сушать при $110-120^\circ C$ і відновлюють реакційними газами в тих же умовах, в яких протікає синтез метилового спирту. [1]

Для синтезу метилового спирту можна застосовувати також мідні каталізатори, активовані добавками Cr_2O_3, ZnO, V_2O_5 та ін. Мідні каталізатори активніші, ніж цинк-хромові, але менш стійкі до високих температур, більш чутливі до контактних отрут і важче регенеруються. Крім того, вони менш селективні; тому реакційні гази містять підвищену кількість двоокису вуглецю і метану, а рідкі продукти реакції забруднені різними кисневмісними органічними сполуками. Порівняльна характеристика мідних і цинк-хромових каталізаторів, які застосовуються для синтезу метилового спирту, приведена в таблиці:

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

Показники	Мідні каталізатори	Цинкові або цинк-хромові каталізатори
Метод підготовки	Осадження з подальшим відновленням	Осадження або змішування окисів
Умови роботи	~300°C та 150 ат	370-400°C та 250-300 ат
Чутливість до отруєння чи перегріву	Легко отруюються; Дезактивуються при перегріві	Мало чутливі до отрут; Зберігають чутливість при 100°C та вище
Можливість регенерації	Не регенеруються або регенеруються з великими зусиллями	Легко регенеруються
Оптимальне відношення $CO:H_2$ в газовій суміші	Від 1:3 до 1:6	Від 1:1,5 до 1:2,5
Середній вихід , л/год. на 1 л. каталізатора	1,5-2	1,2-1,6
Склад отримуваних продуктів	Метанол-сирець містить домішки вищих спиртів та інших кисневмісних сполук; В газі багато CO та CH_4	Метанол-сирець містить лише 0,2-0,4% інших кисневмісних сполук

Крім тиску, температури і каталізатора, на ступінь перетворення впливає також об'ємна швидкість газової суміші. Зі збільшенням об'ємної швидкості ступінь перетворення газу за один прохід його через каталізаторну масу

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата
----	-----	----------	--------	------

ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ

Арк

13

зменшується. В процесі з рециркуляцією газів збільшення об'ємної швидкості викликає підвищення загального виходу метилового спирту (таблиця), так як ступінь перетворення зменшується повільніше, ніж зростає об'ємна швидкість.

Залежність виходу метилового спирту від об'ємної швидкості вихідної газової суміші:

Об'ємна швидкість	Тривалість контакту	Вихід метилового спирту г/год на 1 л каталізаторної маси	Об'ємна швидкість	Тривалість контакту	Вихід метилового спирту г/год на 1 л каталізаторної маси
3000	120	170	1800	20	375
9000	40	327	3600	10	750

При великих об'ємних швидкостях досягається більш рівномірний розподіл температур в каталізаторній масі і запобігаються місцеві перегрівання каталізатора. Перегрівання вельми небажані, так як вони прискорюють старіння (деактивацію) каталізатора, внаслідок чого зменшується вихід метилового спирту і утворюються великі кількості побічних продуктів. Не варто, проте, забувати, що проведення процесу при високій об'ємній швидкості газу пов'язане з підвищенням питомої витрати електроенергії і більш швидким зносом обладнання. Зазвичай синтез метилового спирту проводять при об'ємній швидкості вихідної газової суміші $10000-35000 \text{ ч}^{-1}$.

Спирт-сирець представляє собою безбарвну прозору рідину (густина $0,805-0,808 \text{ г/см}^3$), що містить до 2% органічних домішок і через це мають неприємний запах. [2]

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

Приблизний склад спирту-сирця (в %):

Метиловий спирт	Диметиловий ефір	Вищі спирти	Вода
92-93	1,0-1,4	0,4-1,0	3,7-5,5

Вміст домішок в спирті-сирці невеликий, але через утворення різних азеотропних сумішей для отримання чистого метилового спирту потребує багатократну ректифікацію спирту-сирця в поєднанні з екстракцією. Схема цієї очистки приведена на рисунку 1.1.

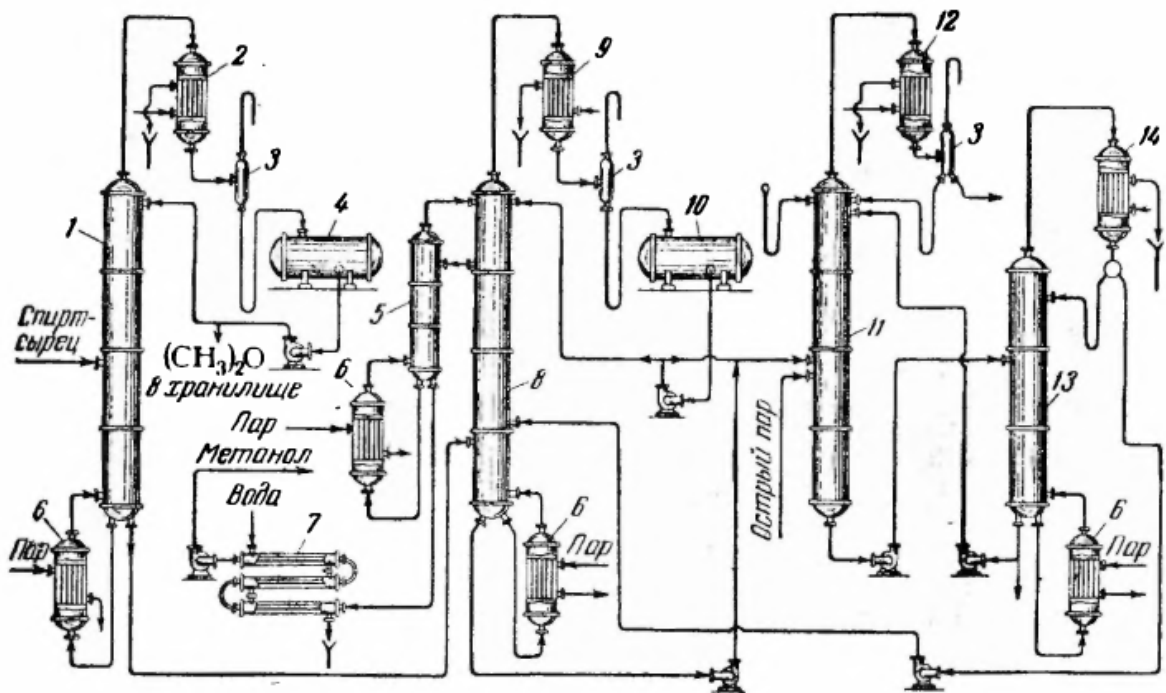
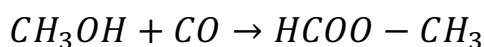
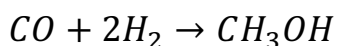


Рис. 1.1 Схема очистки метилового спирту-сирця: 1, 5, 8, 13 – ректифікаційні колони; 2, 9, 12, 14 – конденсатори; 3 – сепаратори; 4, 10 - збірники; 6 - кипятильники; 7 - холодильник; 11 – колона екстрактивної перегонки;

В колоні 1 з спирту-сирця відганяють диметиловий ефір, пари якого надходять в конденсатор 2. Конденсат відділяється від неконденсованих газів

Теоретична витрата синтез-газу на 1 т метилового спирту становить 2100 м³ (700 м³ CO і 1400 м³ H₂).

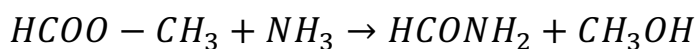
При виробництві метанолу за вказаною схемою на 1 г спирту витрачається 2420-2500 мг суміші CO + H₂, тобто з 1 м³ синтез-газу отримують 400-410 г спирту. Таким чином, ступінь конверсії газової суміші в метиловий спирт становить 84-87% від теоретичної. Проводилися дослідження процесу одночасного синтезу метанолу і метилформиату з окису вуглецю і водню 272 по реакціях:



Синтез проводили при 260 ° C, 250 ат і об'ємній швидкості газу від 4000 до 15000 ч⁻¹. ;

Процес йшов на мідно-цинковому каталізаторі з добавкою лугу. Каталізатор готували з водних розчинів міді і цинку, до яких додавали алюмінат натрію. [2]

Вихід метилформиату підвищується зі збільшенням вмісту лугу в каталізаторі (рис. 115). Оптимальні виходи метанолу і метилформиату виходять на каталізаторі, що містить 50% міді, 20% цинку і 4% лугу (в розрахунку на Na₂O). Зі збільшенням відношення H₂:CO в початковій суміші вихід метилформиату знижується. Метилформиат може застосовуватися як низькокиплячий розчинник, з аміаком метилформиату дає формахід:



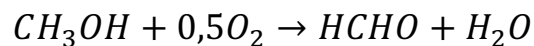
Застосування і переробка метилового спирту: у хімічній промисловості метиловий спирт застосовується в якості напівпродукту для багатьох промислових синтезів. У найбільших кількостях метиловий спирт використовується для отримання формальдегіду, а також в якості метилуючого агента у виробництві таких важливих продуктів, як диметилтерефталат, метіонін, метилметакрилат, деяких пестицидів. Найважливіші синтези на основі метилового спирту наведені на схемі VI.

									Арк
									17
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ				

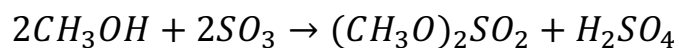
У нафтопереробній промисловості метиловий спирт служить селективним розчинником для очищення бензинів від меркаптанів і азеотропним агентом при виділенні толуолу ректифікації. У суміші з етиленгліколем метиловий спирт застосовується для екстракції толуолу з бензинів.

Метиловий спирт володіє високим октановим числом і може застосовуватися як складова частина моторного палива; недоліки його як палива є невисока теплотворна здатність (5332 ккал / кг для метилового спирту, 11 000 Ккал / кг для бензину). [3]

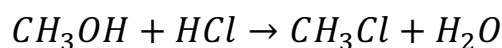
Неповним каталітичним окисленням метилового спирту киснем повітря при високих температурах отримують формальдегід:



Цим способом формальдегід проводиться в великих промислових масштабах. Дією на метиловий спирт сірчаного ангідриду або олеума отримують важливу метилову речовину – диметилсульфат (Рідина; т. кип. 188°C; щільність 1,332 г/см³ при 20°C):



Метиловий спирт утворює з газоподібним хлористим водородом хлористий метил:



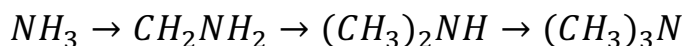
Хлористий метил отримують у великих кількостях хлоруванням метану, однак синтез хлористого метилу з метилового спирту і хлористого водню використовують і в даний час в промислових масштабах.

Метиловий спирт застосовується для метилування ароматичних амінів в присутності сірчаної кислоти як каталізатора. Наприклад, метилуванням аніліну в автоклаві при 30 ат і 200°C в присутності сірчаної-кислоти отримують диметиланілін.

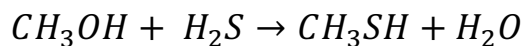
Диметиланілін є важливим напівпродуктом у виробництві барвників, а також використовується для отримання тетрилу –

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						18
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

тринітрофенілметилнітраміна $(NO_2)_3C_6H_2 - N(CH_3)NO_2$, сильної вибухової речовини. Взаємодією метилового спирту з аміаком отримують метиламіни:



При взаємодії метилового спирту з сірководнем утворюється метилмеркаптан:



Метилмеркаптан використовується для синтезу метіоніну - речовини, що стимулює ріст рослин і застосовуваного в якості добавки до корму птиці для прискорення її росту. [3]

Для нагріву каталізатора через міжтрубний простір пропускають топкові газы. Продукти реакції охолоджуються в холодильнику 4 при цьому утворюються в результаті реакції пари води конденсуються і вода відводиться з його нижньої частини. Після холодильника продукти реакції надходять в абсорбер 5, зрошений охолодженим до $-25^\circ C$ метиловим спиртом. Останній поглинає метилмеркаптан; сірководень і інші газоподібні продукти (CO_2 , N_2) відводять з верхньої частини абсорбера.

Розчин метилмеркаптан в метанолі з абсорбера через теплообмінник 9 надходить на ректифікацію. Спочатку метилмеркаптан відокремлюють в колоні 8 від метанолу (малюнок), який повертають в реактор, потім очищають в іншій ректифікаційній колоні 7. [4]

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						19
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

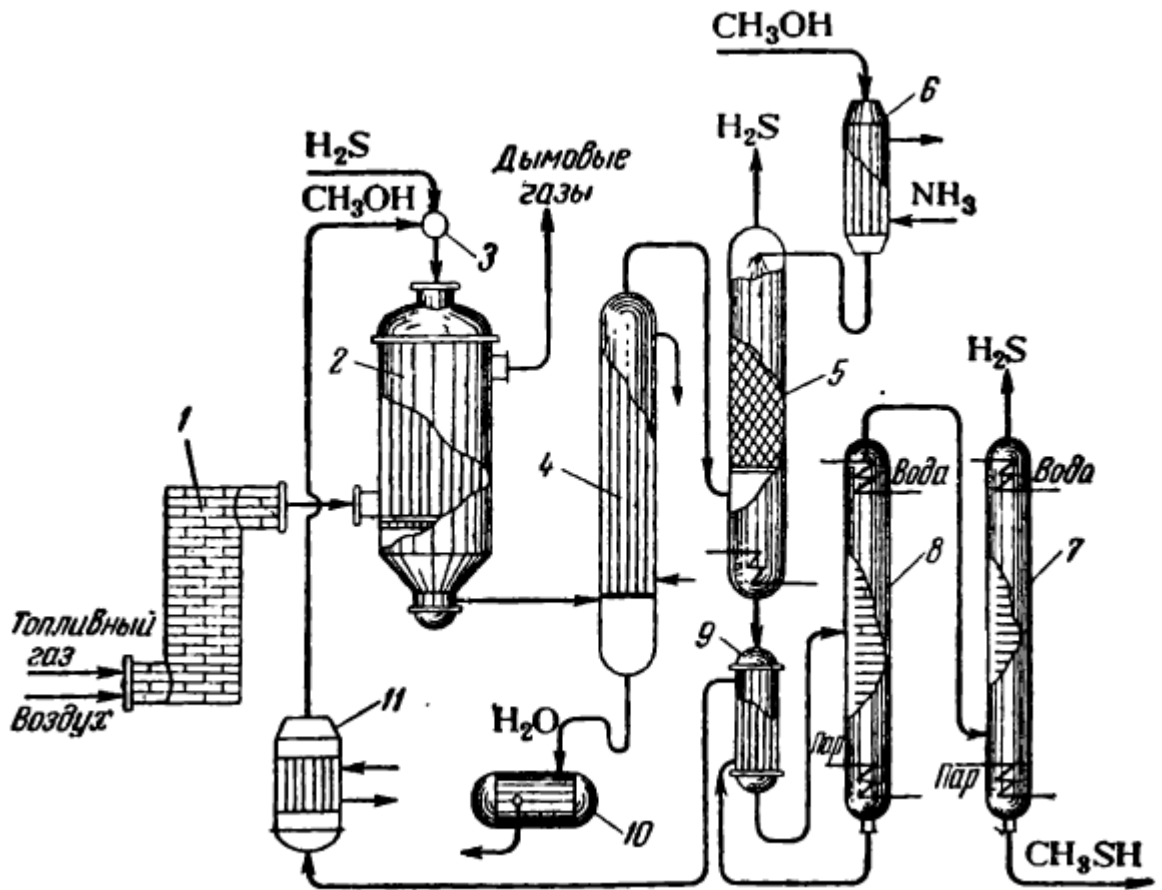
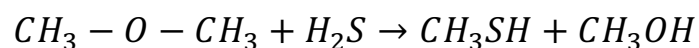


Рис. 1.3 Схема отримання метилмеркаптану: 1-топка, 2-реактор, 3-змішувач, 4-холодильник, 5-абсорбер, 6-аміаковий холодильник, 7,8 – ректифікаційні колони, 9-теплообмінник, 10-збірник, 11-випарник метанолу.

В якості каталізаторів для синтезу метилмеркаптан запропоновані також оксиди лужних металів, їх карбонати або солі кислот, утворених елементами VI групи (наприклад, K_2WO_4), в якості носія – активований окис алюмінія.

Найбільш ефективними є каталізатори, що містять 5-10% одного із зазначених сполук лужних металів. Вони забезпечують високий вихід продуктів реакції з вмістом метилмеркаптан до 97%. Завдяки великій механічній міцності каталізатор може застосовуватися в псевдорозрідженому шарі.

Замість метанолу для отримання метилмеркаптан можна застосовувати диметиловий ефір:



Нижче наводяться результати синтезу метилмеркаптану з метилового спирту та метилового ефіру. Умови процесів: 400°C, атмосферний тиск, об'ємна швидкість подачі спирту - (або ефіру) 210 ч⁻¹, молярне зіставлення H₂S: спирт (або ефір) дорівнює 2:1. [5]

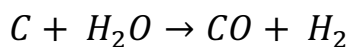
	На основі CH ₃ OH	На основі CH ₃ OCH ₃
Ступінь конверсії, %	93	71
Вихід продуктів реакції, %	90	69,5
Вміст CH ₃ SH в продуктах реакції, %	97	98

1.2. Аналіз технологічної схеми синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню.

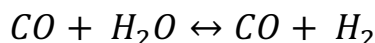
Виробничий синтез метилового спирту включає три основні стадії:

- 1) отримання суміші окису вуглецю і водню (синтез-газ);
- 2) отримання метилового спирту-сирцю;
- 3) виділення і очищення метилового спирту.

Протягом тривалого часу єдиним джерелом синтез-газу був водяний газ, одержуваний з кам'яного вугілля або коксу за добре відомою реакцією:



Відношення CO : H₂ у водяному газі становить 1: 1 * 25. Якщо потрібно збагатити водяний газ воднем, частину газу відбирають і піддають конверсії водяної пари:



Утворений разом з воднем двоокис вуглецю відмивають в скруберах водою під тиском, а водень додають до водяного газу. цим способом можна отримати синтез-газ з будь-яким співвідношенням CO : H₂ і навіть чистий водень.

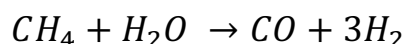
В даний момент для отримання синтез-газу використовують в величезних кількостях природні гази з великим вмістом метану .

Вуглеводні, що піддаються каталітичній конверсії, повинні бути очищені від ненасичених вуглеводнів, так як в умовах реакції останні дуже швидко розкладаються та утворений вуглець осідає на каталізаторі, знижуючи його активність.

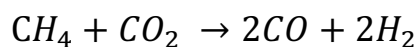
Завдяки доступності парафінових вуглеводнів з них отримують газ для синтезу різних продуктів не тільки в органічній, але і в неорганічній технологіях (наприклад, для отримання аміаку і концентрованого водню).

Можливі три шляхи отримання суміші окису вуглецю з воднем з метанових вуглеводнів:

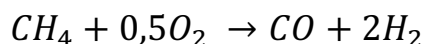
1) обробка водяною парою при високій температурі



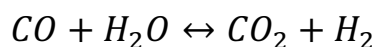
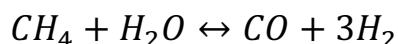
2) взаємодія з двоокисом вуглецю



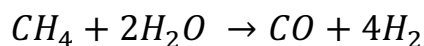
3) неповне окиснення



При конверсії метану водяним паром можуть протікати наступні реакції:



Або сумарно:



					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						22
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

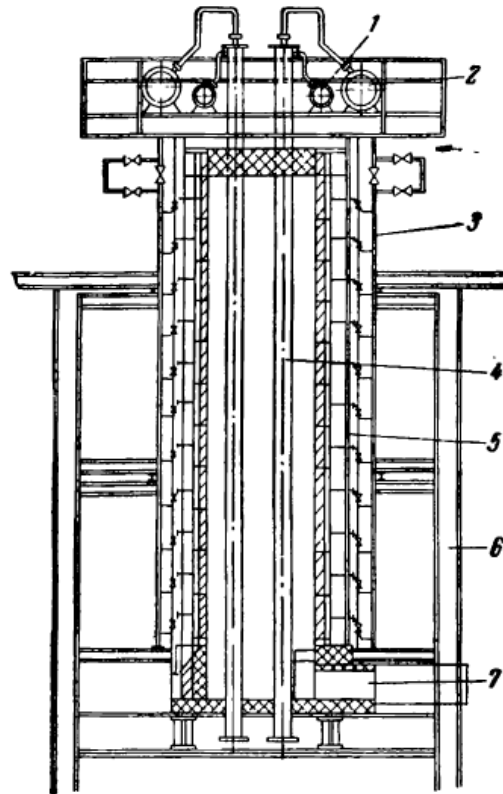


Рис. 1.4 Піч для конверсії метану з водяною парою

1 - колектор паро-газової суміші; 2 - збірний колектор конвертованого газу; 3 - колектор отоплюючого газу; 4 - реакційний елемент; 5 панельная пальник; 6 -металлоконструкція; 7 -димохід.

Здавалося б, продуктами реакції (3) повинні бути тільки двоокис вуглецю і водень. Однак на практиці в продуктах конверсії метану водяною парою завжди містяться значні кількості окису вуглецю, так, як при підвищених температурах рівновагу реакції (1) зрушено вправо, а вище 900° С ця реакція практично протікає до кінця. [1, 2]

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		23

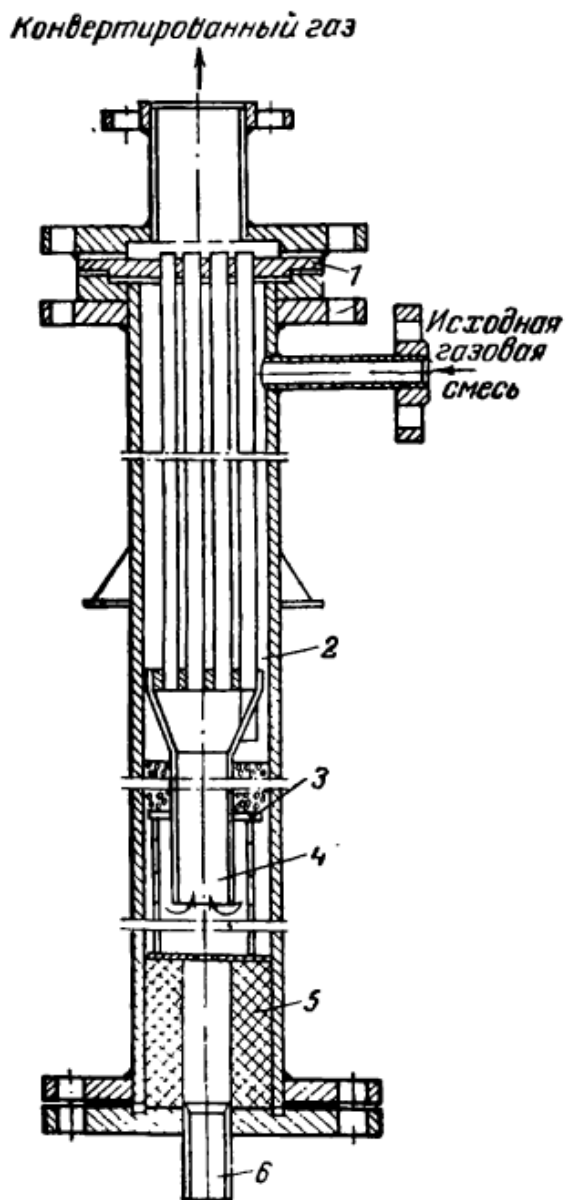


Рис. 1.5 Реакційний елемент печі для конверсії метану:

1 - трубна решітка; 2 - теплообмінник; 3 - каталізаторна решітка; 4 - центральна труба;

5 - футерування з шамотної цегли; 6 - гільза для термопар.

При досить високих температурах головними продуктами конверсії метанових вуглеводнів водяною парою окису вуглецю і водню. Їх співвідношення можна регулювати, змінюючи температуру конверсії і склад вихідної газової суміші.

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		24

Рівновага реакції $CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$

Температура °С	Склад рівноважної газової суміші, об'ємн. %				Температура °С	Склад рівноважної газової суміші, об'ємн. %			
	CH_4	H_2O	CO	H_2		CH_4	H_2O	CO	H_2
500	44,6	44,6	2,7	8,1	710	8,8	8,8	20,6	61,8
580	31,6	31,6	9,2	27,6	835	2,2	2,2	23,9	71,7
635	19,8	19,8	15,1	45,3	940	0,8	0,8	24,6	73,8

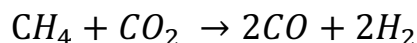
За відсутності каталізаторів конверсію метану водяною парою доводиться проводити при температурах вище 1200 ° С. Застосування каталізаторів дозволяє знизити температуру до 700-870 ° С. Найбільш поширеним каталізатором є нікель, нанесений на окис алюмінію або на магнезит і активований невеликою кількістю міді.

На рисунку 1.4 схематично показана одна з поширених конструкцій печей для конверсії метану водяною парою. Піч являє собою прямокутну камеру, викладену з вогнестійкої цегли. Трубчасті реакційні елементи розташовані по поздовжній осі в два ряди. Верхня частина реакційного елемента (малюнок 1.5) являє собою кожухотрубний теплообмінник, нижня частина складається з двох труб, вставлених одна в одну («труба в трубі»). У зазор між зовнішньою і внутрішньою трубою засипають каталізатор. Вихідна паро-газова суміш ($H_2O + CH_4$) проходить міжтрубний простір і каталізаторну зону і через труби теплообмінника виводиться з реактора. [2]

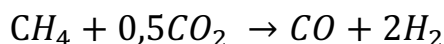
У таких печах для підведення тепла використовуються панельні пальники. Завдяки високому коефіцієнту тепловіддачі радіацією і порівняно невеликим втратам тепла ці агрегати працюють з високим тепловим коефіцієнтом корисної дії.

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						25
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

При отриманні синтез-газу з метану (або, його гомологів) і двоокису вуглецю реакція протікає при таких же температурах і в присутності тих же каталізаторі, що і реакції вуглеводнів з водяною парою.



Процес отримання синтез-газу неповним окисленням метанових вуглеводнів екзотермічний:



Тепло, що отримуємо, використовують для проведення ендотермічної реакції конверсії метану водяною парою. Для окислення вуглеводнів застосовують висококонцентрований технічний кисень, щоб не розбавляти продукти реакції азотом повітря. Суміш метану, кисню і водяної пари пропускають через каталізатор. Умови процесу (температура, каталізатор) також аналогічні умовам реакції метану з водяною парою.

Рівноважний склад синтез-газу, отриманого різними методами з парафінових вуглеводнів при 827°C

Склад вихідної суміші	Співвідношення компонентів в	Рівноважний склад сухої газової суміші, %			
		CH_4	CO	CO_2	H_2
$CH_4 + H_2O$	1:2	0,1	19,2	4,62	76,08
$CH_4 + H_2O + O_2$	1:1:0,6	0,04	22,91	9,44	67,61
$CH_4 + H_2O + CO_2$	1:1,3:0,7	0,11	31,59	7,67	60,63
$CH_4 + H_2O + CO_2 + O_2$	1:0,7:0,3:0,6	0,05	28,94	11,95	59,06

В таблиці зіставлений склад синтез-газу, одержуваного різними методами конверсії метану при 827 ° С.

Слід зазначити, що для синтезу метанолу дуже економічне використання синтез-газу, що утворюється як побічний продукт при отриманні ацетилену піролізом вуглеводнів в присутності кисню. Це

Зм	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата

підтверджується наведеним нижче зіставленням техніко-економічних показників виробництва метанолу із застосуванням синтез-газу, отриманого з різної сировини (показники для синтез-газу з вугілля прийняті за 100%):

	Синтез-газ з вугілля	Синтез-газ з метану	Синтез-газ ацетиленового виробництва
Капіталовкладення, %	100	50-60	45-50
Собівартість, %	100	33-37	30-33

Синтез-газ попередньо очищається від домішок, які є контактними отрутами; при використанні мідних каталізаторів газ особливо ретельно відокремлюють від сірчистих сполук (H_2S , SO_2 та ін.). Співвідношення $CO:H_2$ в газовій суміші встановлюють в залежності від застосовуваного каталізатора. При цинк-хромовому каталізаторі співвідношення $CO:H_2$ близько до стехіометричному (від 1: 1,5 до 1: 2,5).

Для мідних каталізаторів потрібно знизити температуру в реакційній зоні, тому водень подають у великому надлишку і співвідношення $CO:H_2$ зазвичай становить 1: 3, а іноді навіть 1: 5.

Схема синтезу метилового спирту показана на рисунку 2.3. Газова суміш стискається багатоступеневим компресором до тиску 200-350 ат (ступінь стиснення газу в кожному ступені компресора дорівнює 3).

Переходячи з рівня в рівень, стиснений газ охолоджується в проміжних водяних холодильниках 2 до температури, яку він мав на вході в дану щабель стиснення. після кожного холодильника газ відокремлюється в водороздільники 3 від вологи, сконденсований при охолодженні. [1]

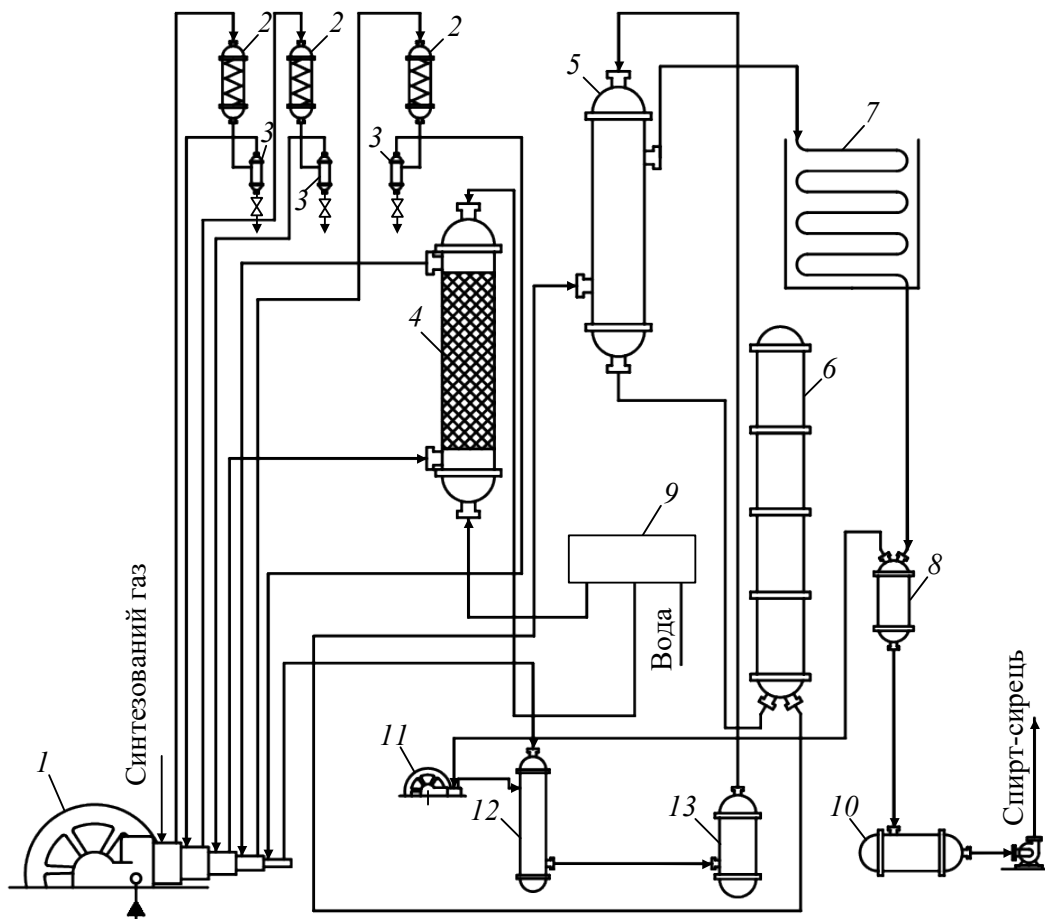


Рис. 1.6 Схема синтезу метилового спирту з окису вуглецю і водню:

1 - компресор; 2-холодильники газу; 3-водороздільники; 4-скруббер; 5- теплообмінник високого тиску; 6-колона синтезу; 7-холодильник-конденсатор; 8- сепаратор; 9-агрегат мотор-насос-турбіна; 10-збірник спирту-сирцю; 11 - циркуляційний компресор; 12-змішувач свіжого і циркуляційного газу; 13-вугільний фільтр.

Періодично через кожні 30-60 хв водороздільники продувають тим же газом протягом декількох секунд для видалення вологи, так як при переповненні окремою рідиною порушується нормальна робота компресора. З третього ступеня компресора газ під тиском 27 ат направляється до насадного скрубера 4, зрошуваного водою. У скрубері газ відмивається від двоокису вуглецю, яка під тиском добре розчиняється у воді.

Вода на зрошення скрубера подається з водопровідної мережі відцентровим насосом, сполученим еластичними муфтами з одної сторони з електродвигуном, з іншого - з гідравлічною турбіною. Такий агрегат зветься: мотор-насос-турбіна. Напір води, створюваний насосом, перевищує тиск газу в скрубери на 2-4 ат; вода, що витікає з нижньої частини скрубера, насичена двоокисом вуглецю, надходить на лопатки турбіни і приводить їх в обертання; тиск води в турбіні знижується майже до атмосферного. [1]

Таким чином, енергія дроселювання води використовується для обертання валу відцентрового насоса; недостатня потужність заповнюється за рахунок роботи електродвигуна. Використання енергії води, яка витікає з скрубера, дозволяє значною мірою (на 30% і більше) зекономити витрата електроенергії на подачу води в скрубери 4.

Очищений від двоокису вуглецю газ стискається в четвертій і п'ятій ступенях компресора і під тиском 243 ат надходить в змішувач 12, де змішується з поворотним (циркуляційним) газом, що нагнітається компресором 11. Далі газова суміш очищується в фільтрі 13, заповненому активним вугіллям, від пентакарбоніла заліза $Fe(CO)_5$.

Пентакарбоніл заліза - летюча речовина, що утворюється при взаємодії окису вуглецю з матеріалом апаратури в умовах підвищених температури і тиску. Пентакарбоніл заліза є найбільш шкідливою домішкою газу, так як в результаті його розкладання на каталізаторі відкладається дисперсове залізо, прискорюючи побічні реакції утворення метану. Крім того, пентакарбоніл заліза сприяє корозії апаратури.

Газ, очищений від $Fe(CO)_5$, надходить в труби теплообмінника 5, де нагрівається контактними газами, що відходять, до 320 °С. При цій температурі газова суміш надходить в колону синтезу 6.

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						29
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Реакція утворення метанолу протікає з виділенням тепла (26,5 ккал / моль), тому для підтримки температури в контактній зоні в межах 400-420 °С в цю зону вводять холодний газ.

Контактні гази з колони синтезу охолоджуються до 80-100 °С в теплообміннику 5, а потім - до 30 °С в холодильнику-конденсаторі 7. Тут пари спирту конденсуються; рідина (Спирт-сирець) відділяється від газів в сепараторі 8, а гази циркуляційним компресором 11 нагнітаються в змішувач 12. Спирт сирець зливається в збірник 10. На трубопроводі між сепаратором і збіркою встановлений дросельний вентиль, понижуючи тиск. рідини до атмосферного. При зниженні тиску спирт, що надходить до збірки, відділяється від газів, які були розчинені в ньому під тиском. Далі спирт-сирець направляється на очистку і ректифікацію. [1]

1.3 Постановка задачі автоматизації синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню

Головна задача дипломного проекту – це створення системи автоматичного керування холодильника-конденсатора, функціональної схеми автоматизації процесу синтезу метилового спирту та розробка фізичної моделі холодильника-конденсатора.

Система автоматичного керування та функціональна схема автоматизації повинні забезпечити:

6. Підтримку необхідних для синтезу умов
7. Оптимальне налаштування керування апаратом
8. Зменшення недоцільних витрат ресурсів виробництва
9. Збільшення ефективності виробництва в цілому
10. Зменшення впливу людського фактору в виробництві
11. Одержання продукції, що буде задовольняти необхідні стандарти якості

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						30
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИКА

2.1 Характеристика основного об'єкта

Гази охолоджують з 80 °С до 30 °С холодною водою.

Вхідними параметрами до конденсатора є:

- витрата газової суміші, кг/с;
- витрата холодної води, кг/с;
- температура газової суміші, К;
- температура холодної води, К;
- питома теплоємність газової суміші, Дж/(кг · К);
- питома теплоємність парів, Дж/(кг · К);

Вихідними параметрами є:

2. температура газової суміші, К;
3. витрата газової суміші, кг/с;
4. витрата конденсату, кг/с;
5. температура конденсату, К;
6. температура відпрацьованої води, К;
7. витрата відпрацьованої води, кг/с.

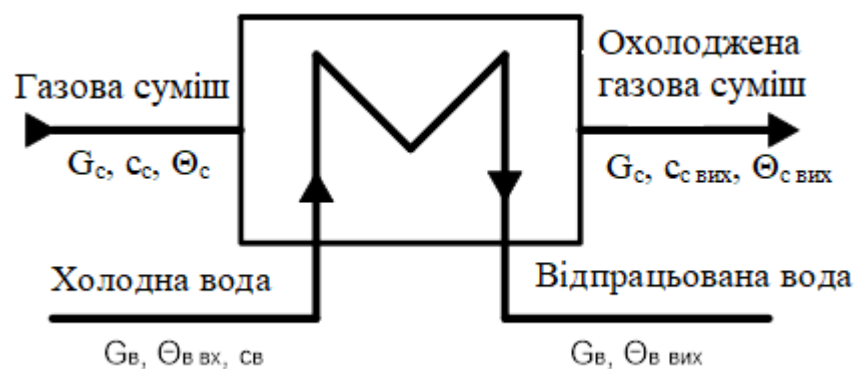


Рис. 2.1 Структурно параметрична схема холодильника-конденсатора

G_c – витрата газової суміші;

G_k – витрата конденсату;

$\Theta_{c \text{ ВХ}}$ – температура газової суміші на вході;

Θ_c – температура суміші на виході;

c_c – питома теплоємність газової суміші;

r_k – питома теплота конденсації спирту;

G_B – витрата води;

$\Theta_{B \text{ ВХ}}$ – температура відпрацьованої води;

c_B – питома теплоємність води;

$c_{c \text{ ВХ}}$ – питома теплоємність газової суміші;

$\Theta_{B \text{ ВХ}}$ – температура відпрацьованої води;

$\Theta_{c \text{ ВХ}}$ – температура газової суміші на виході.

Як видно зі структурно-параметричної схеми на виході змінюються лише температури речовин, так як масообмін відсутній. На температури охолодженої газової суміші та відпрацьованої води впливають їх витрати, вхідні температури та тепловіддача в оточуюче середовище.

Складемо тепловий баланс для конденсатора виходячи із структурно-параметричної схеми об'єкта:

$$G_c \cdot c_c \cdot \Theta_{c \text{ ВХ}} + G_B \cdot c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВХ}} = G_c \cdot c_{c \text{ ВХ}} \cdot \Theta_{c \text{ ВХ}} + G_k \cdot r_k + G_B \cdot c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВХ}}$$

Всі складові перелічені вище.

Виведемо рівняння статички для каналу «витрата води – температура охолодженої газової суміші»

$$\Theta_{c \text{ ВХ}} = \frac{G_c \cdot c_c \cdot \Theta_{c \text{ ВХ}} + G_B \cdot c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВХ}} - G_k \cdot r_k - G_B \cdot c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВХ}}}{G_c \cdot c_{c \text{ ВХ}}}$$

Згідно даних виробництва:

$$G_c = 0,93 \text{ кг/с}; c_c = 2,97 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}; \Theta_{c \text{ ВХ}} = 353 \text{ К};$$

$$c_B = 4,183 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}; \Theta_{B \text{ ВХ}} = 283 \text{ К}; G_k = 0,19 \text{ кг/с}; \Theta_{B \text{ ВХ}} = 303 \text{ К};$$

$$c_{c \text{ ВХ}} = 2,34 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}; r_k = 1100 \text{ кДж/кг}.$$

Таким чином виведемо залежність вихідної температури підігрітої сировини, від витрати гарячої води на вході до теплообмінника. [7]

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						32
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Theta_{\text{с вих}} = \frac{0,93 \cdot 2,97 \cdot 353 + G_B \cdot 4,183 \cdot 283 - 0,19 \cdot 1100 - G_B \cdot 4,183 \cdot 303}{0,93 \cdot 2,34}$$

$$= 352 - 76,89G_B$$

2.2. Модель статичного режиму об'єкта

Побудуємо відповідну статичну характеристику для (1): $\Theta_{\text{с вих}} = f(G_B)$

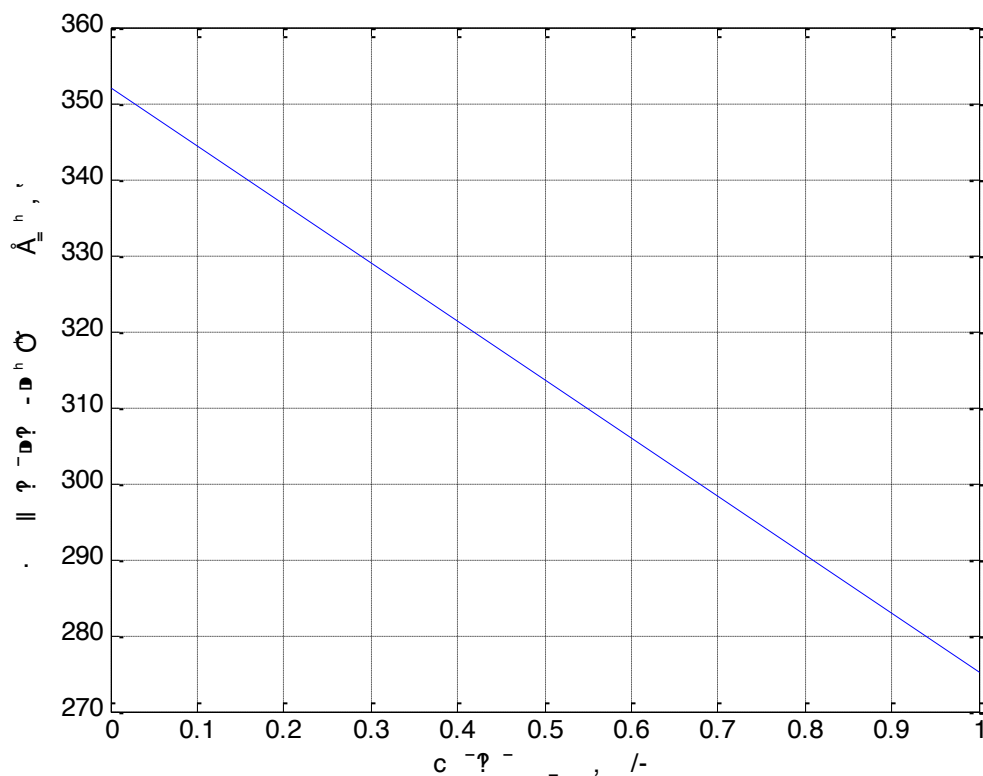


Рис. 2.2 Статична характеристика конденсатора за каналом «витрата води – температура охолодженої суміші»

Слід зазначити, що значення температури на виході приводиться в кельвінах та зменшення витрати води, при зафіксованій витраті газової суміші, збільшує температуру на виході, так як апарату не достатньо води на охолодження. [7]

2.3. Модель динамічного режиму об'єкта

Рівняння динаміки для конденсатора має вигляд:

$$G_C \cdot c_C \cdot \Theta_{\text{с вх}} + G_B \cdot c_B \cdot \Theta_{\text{в вх}} - G_C \cdot c_{\text{с вих}} \cdot \Theta_{\text{с вих}} - G_K \cdot r_K - G_B \cdot$$

$$c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВИХ}} = c_{C \text{ ВИХ}} \cdot V \cdot \rho \cdot d\Theta_{C \text{ ВИХ}}/dt \quad (2)$$

де V – об'єм газової суміші, що проходить через конденсатор за визначений проміжок часу;

ρ – густина газової суміші.

$$V = 0,63 \text{ м}^3;$$

$$\rho = 0,54 \text{ кг/м}^3.$$

Лінеаризація рівняння динаміки [4]

Вхід – G_B

Вихід – $\Theta_{H \text{ ВИХ}}$

Запишемо рівняння динаміки (2) в приростах:

$$G_C \cdot c_C \cdot \Theta_{C \text{ ВХ}} + \Delta G_B \cdot c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВХ}} - G_C \cdot c_{C \text{ ВИХ}} \cdot \Delta \Theta_{C \text{ ВИХ}} - G_K \cdot r_K - \\ - \Delta G_B \cdot c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВИХ}} = c_{C \text{ ВИХ}} \cdot V \cdot \rho \cdot d\Delta \Theta_{C \text{ ВИХ}}/dt \quad (3)$$

Перетворимо за Лапласом лінеаризоване рівняння (3):

$$G_C \cdot c_C \cdot \Theta_{C \text{ ВХ}} + G_B(p) \cdot c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВХ}} - G_C \cdot c_{C \text{ ВИХ}} \cdot \Theta_{C \text{ ВИХ}}(p) - G_K \cdot r_K - \\ - G_B(p) \cdot c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВИХ}} = c_{C \text{ ВИХ}} \cdot V \cdot \rho \cdot \Theta_{C \text{ ВИХ}}(p)/p$$

Передатна функція за каналом «завдання - вихід» (витрата води – температура газової суміші) має вигляд :

$$W_{G_B-\Theta_{C \text{ ВИХ}}}(p) = \frac{(c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВХ}} - c_B \cdot \Theta_{B \text{ ВИХ}})p}{G_C \cdot c_{C \text{ ВИХ}} \cdot p + c_{C \text{ ВИХ}} \cdot V \cdot \rho}$$

або

$$W_{G_B-\Theta_{C \text{ ВИХ}}}(p) = \frac{-38,38p}{p + 0,37}$$

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						34
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

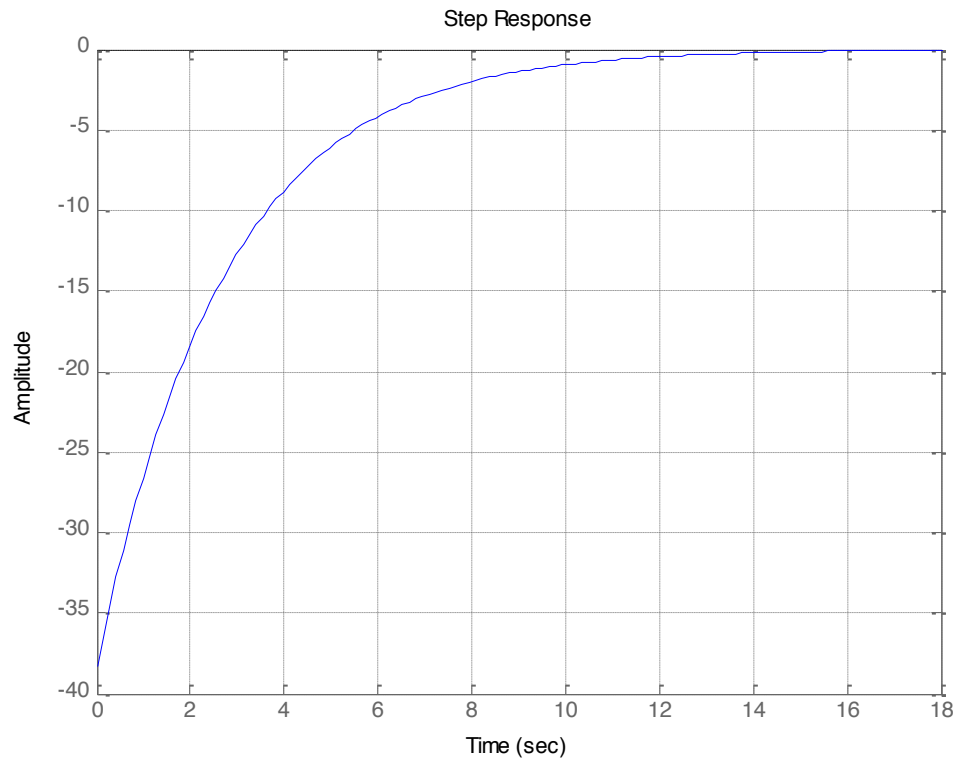


Рис. 2.3 Динамічна характеристика холодильника за каналом «витрата води – температура охолодженої газової суміші»

Спростувати (апроксимувати) отриману передатну функцію аперіодичною ланкою другого порядку немає сенсу, так як отримана ланка, як і прогнозувалось, являє собою аперіодичну першого порядку. [8]

3. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Налаштування регуляторів

Для налаштування ІІІ-регулятора методом М-кола використаємо розроблену раніше в середовищі MATLAB програму. В результаті її виконання буде створено АФХ розімкненої системи і М-коло, коефіцієнти регулятора треба підбирати вручну.

Будемо виконувати налаштування системи на коливності $M=1,1$.

В результаті виконання програми для ІІІ-регулятора було отримано наступний рисунок.

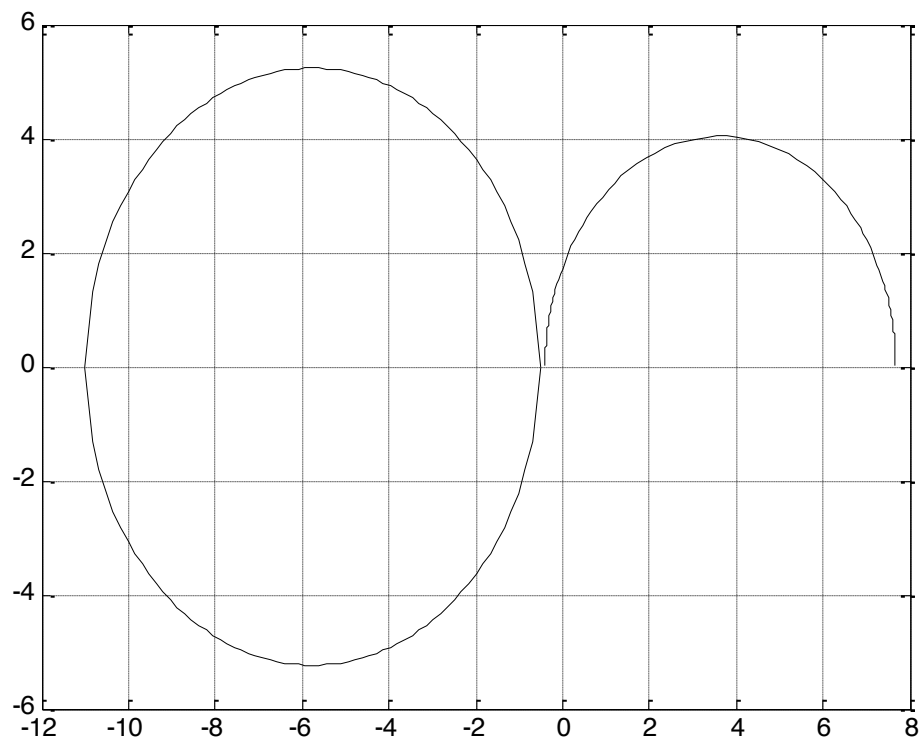


Рис. 3.1 Налаштування ІІІ-регулятора методом М-кола

Отже при коефіцієнтах регулятора $T_{in} = 259$ та $K_p = -0,2$ система має ступінь коливності $M=1,1$.

Налаштувати дану систему з ІІ-регулятором методом М-кола неможливо через те, що об'єкт представляє собою аперіодичну ланку першого

end

Метод Циглера-Нікельса полягає у розрахунку коефіцієнтів регулятора за наступними формулами:

$$K_p = 0.6 * K_u$$

$$K_i = 2 * \frac{K_p}{T_u}$$

$$K_d = K_p * \frac{T_u}{8}$$

$K_p = -0.2$, $K_i = -0.0015$, $K_d = -6.475$.

Побудуємо перехідний процес замкненої одноконтурної системи за ПІД-регулятором користуючись отриманими настройками:

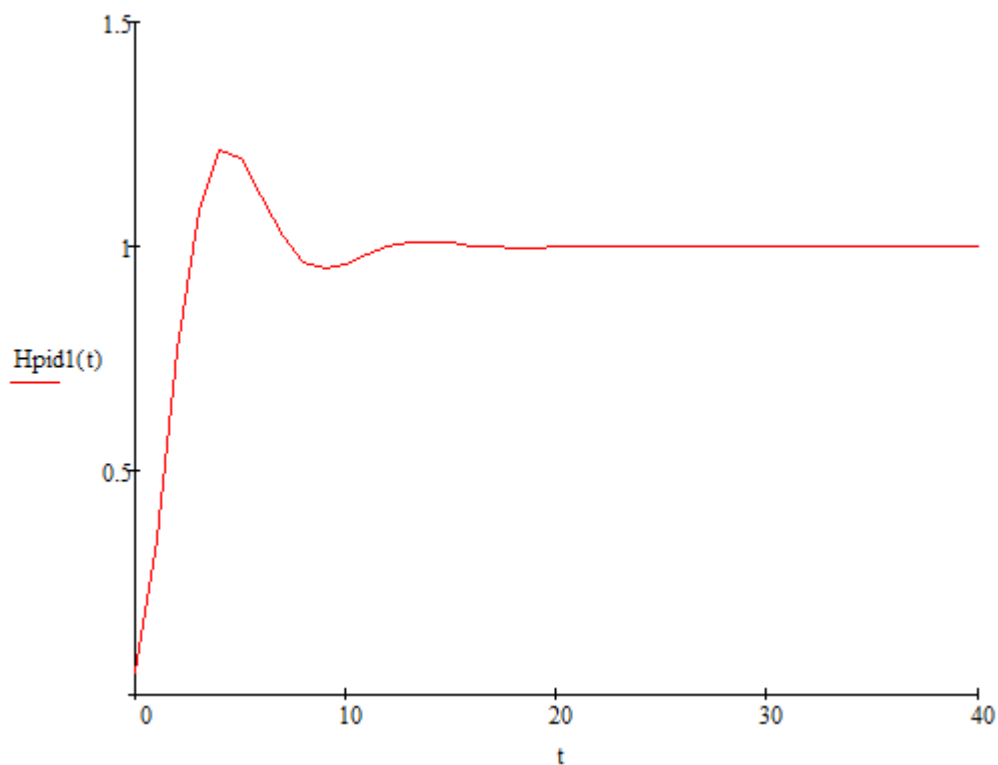


Рис. 3.2 Перехідний процес замкненої одноконтурної системи за каналом «завдання вихід»

Проте цей метод не вийде використати для аперіодичної ланки якщо в системі немає запізнення, адже в такому випадку будуть відсутні коливання при використанні лише П-регулятора (що є першим кроком цього методу). [9]

3.2 Дослідження системи на стійкість

Найпростіший спосіб дослідження системи на стійкість за наявності її передатної функції – по розташуванню її полюсів на комплексній площині. Для того щоб неперервна система була стійка необхідно щоб всі її полюси мали від’ємну дійсну частину.

Щоб перевірити це розглянемо передатну функцію системи:

$$W_c(p) = W_o(p) * W_r(p) / (1 + W_o(p) * W_r(p))$$

$$W(p) = \frac{-38,38p}{p + 0,37}$$

$$W_r(p) = \frac{Kp * Tin * p + 1}{Tin * p} = \frac{-51.8 * p + 1}{259 * p}$$

отже

$$W_c(p) = \frac{0,885(p - 0,019)}{p + 0,026}$$

З полінома знаменника знаходимо полюс:

$$p_1 = -0,02$$

Так як він від’ємний, то система стійка.

Також перевіримо систему на стійкість за критерієм Гурвиця. Для цього використаємо написану раніше в середовищі MATLAB програму, код якої наведено в додатку Б. Вона повністю автоматична, достатньо просто дати вхідні значення. За критерієм Гурвиця для стійкості системи необхідно і достатньо щоб визначники всіх діагональних мінорів матриці Гурвиця (що складається з коефіцієнтів характеристичного рівняння системи) були додатні.

Лістинг програми для перевірки системи на стійкість за критерієм Гурвиця:

```
Wo=tf([-38.38 0],[1 0.37]);
```

```
Wr=tf([-51.8 1],[259 0]);
```

```
Wc=(Wr*Wo)/(1+Wr*Wo);
```

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						39
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

```

Wc=tf(Wc);
den=Wc.DEN{1};
for i1=1:(length(den)-1) %Формування матриці Гурвиця
    for i2=1:(length(den)-1)
        if ((length(den)-(i2*2-i1))>=1)&&((length(den)-(i2*2-i1))<=length(den))
            gurv(i1,i2)=den(length(den)-(i2*2-i1));
        else gurv(i1,i2)=0;
        end
    end
end
i2=0;
for i1=1:(length(den)-1)
    mgurv=gurv;
    mgurv(i1,:)=[];
    mgurv(:,i1)=[]; %i1-ий діагональний міnor матриці Гурвиця
    if det(mgurv)>0
        i2=i2+1;
    end
end
if i2==(length(den)-1)
    disp('Система стійка за критерієм Гурвиця, так як всі визначники Гурвиця
додатні.')
else
    disp('Система НЕ стійка за критерієм Гурвиця, так як не всі визначники
Гурвиця додатні.')
end

```

Результат виконання даної програми:

«Система стійка за критерієм Гурвиця, так як всі визначники Гурвиця додатні.»

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		40

4. ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Загальний опис функціональної схеми автоматизації

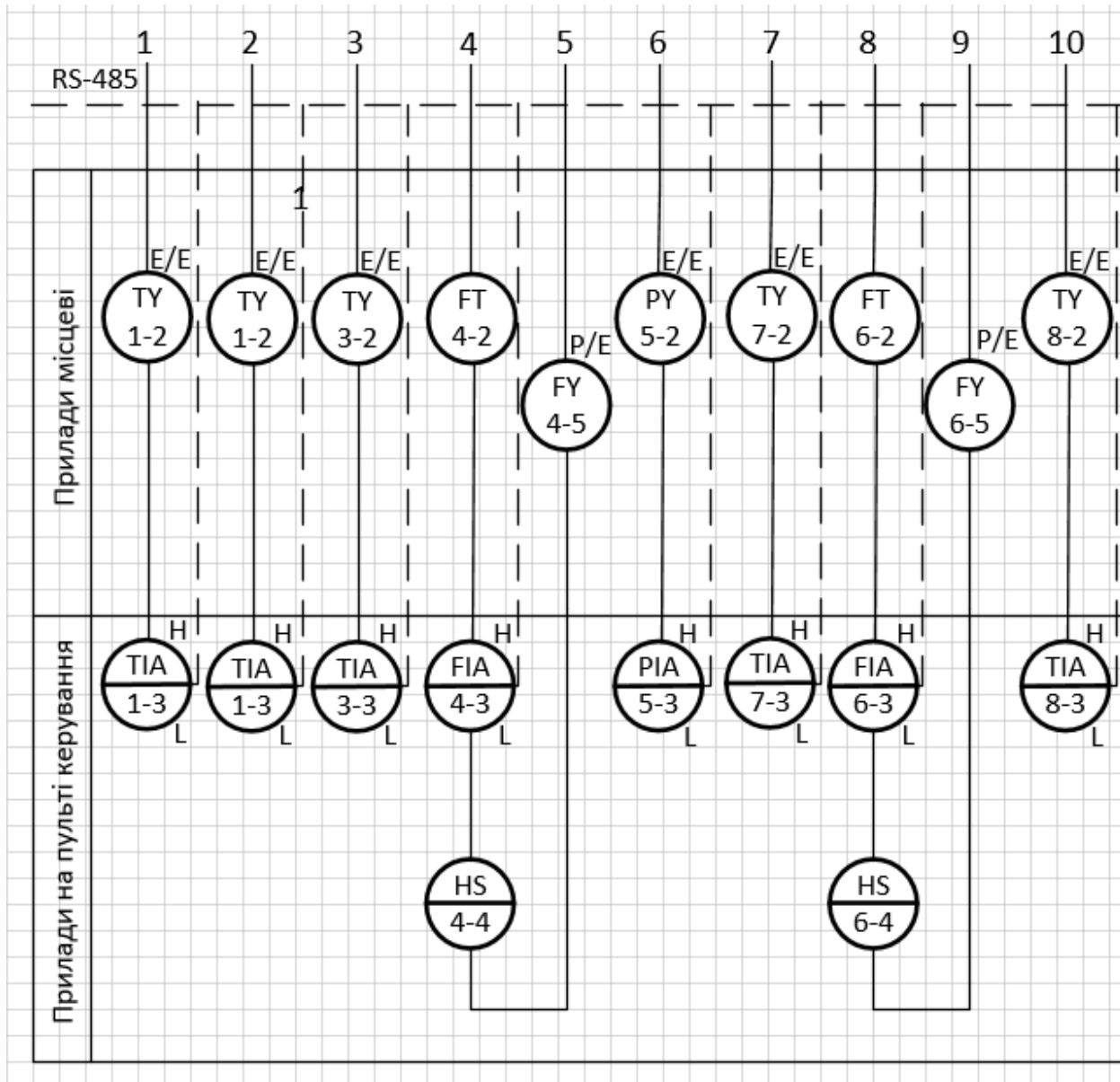


Рис. 4.1 Контури 1-10 на функціональній схемі автоматизації

Газову суміш стискають у багатоступінчатому компресорі 1. Переходячи з ступеня в ступінь, стиснений газ охолоджується у водяних проміжних холодильниках 2 до температури, яка була у нього на вході в даний ступінь стиснення. Після кожного холодильника газ відокремлюється від вологи, що сконденсувалася при охолодженні, у водовіддільниках 3. З третього ступеня компресора газ під тиском 27 ата подають у насадочний

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата
----	-----	----------	--------	------

у межах 400...420 °С в цю зону вводять холодний газ. Контактні гази з колони синтезу, проходячи через міжтрубний простір теплообмінника 5, охолоджуються до 80...100 °С, а далі – до 30 °С у холодильнику-конденсаторі 7. Тут пари спирту конденсуються; рідина (спирт-сирець) відокремлюється від газів у сепараторі 8; гази циркуляційним компресором 11 нагнітаються в змішувач 12. Спирт-сирець зливають в збірник 10. Далі спирт-сирець подають на очистку та ректифікацію .

4.2 Опис окремих елементів функціональної схеми автоматизації

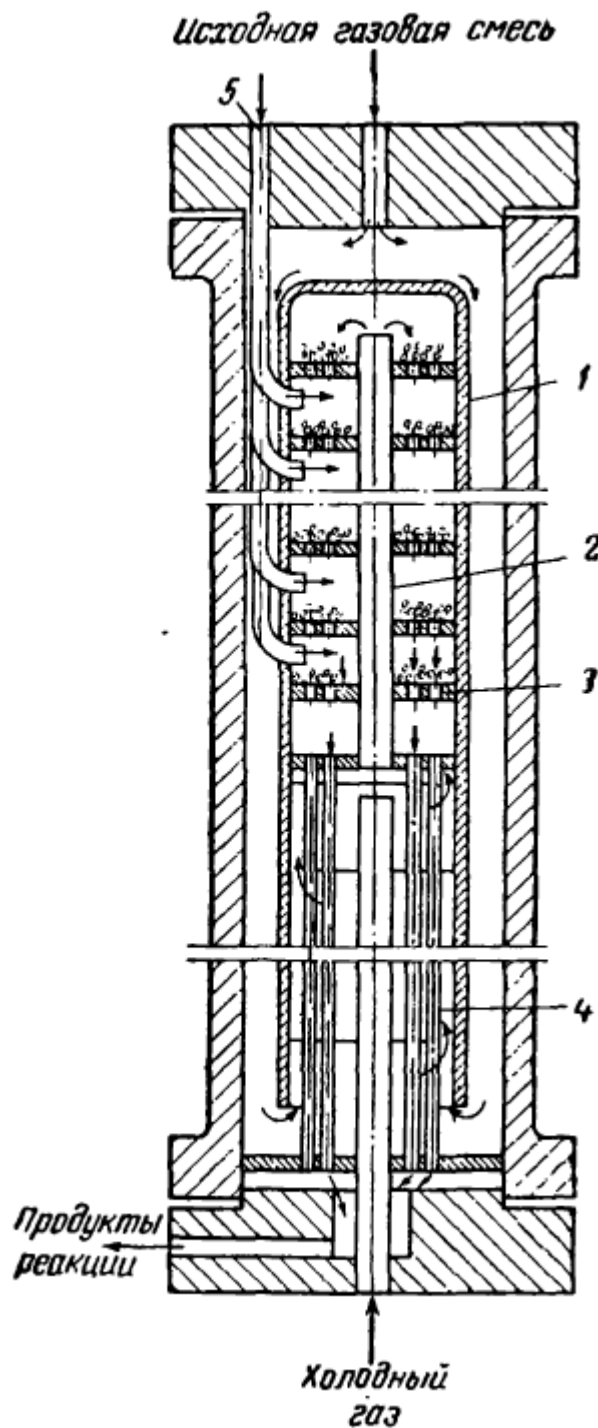
Основним апаратом виробництва метилового спирту з окису вуглецю і водню є колона синтезу, подібна до устрою з контактним апаратом для синтезу аміаку. Колони зазвичай виготовляють з високолегованої сталі, яка добре чинить опір корозійній дії CO і H_2 , або з низьколегованих конструкційних сталей з футеровкою стінок міддю або її сплавами. Продуктивність колони синтезу метанолу в великій мірі залежить від конструкції насадки. У промисловості застосовуються колони з насадками різноманітних конструкцій.

На рисунку 4.3 схематично зображено колона синтезу з поличної насадкою (внутрішній діаметр колони 800 мм, висота 12 м, товщина стінок корпусу 90 мм). У верхній частині колони розміщуються каталізаторна коробка / с полками 3 для каталізатора і електропідігрівачем для підігріву газу в пусковий період, в нижній частині колони є теплообмінник 4. Основний потік синтез-газу вводиться зверху і проходить вниз за кільцевим проходом між корпусом колони і корпусом каталізаторної коробки. Далі газ надходить в міжтрубний простір теплообмінника 4 і підігрівається за рахунок тепла продуктів реакції, проходять по трубках. У міжтрубному просторі теплообмінника є перегородки, що направляють частину газового потоку поперек труб, завдяки чому значно збільшується коефіцієнт тепловіддачі.

З теплообмінника 4 газ через центральну трубу 2 надходить в каталізаторний простір, де протікає реакція утворення метилового спирту. Продукти реакції проходять по трубках теплообмінника, охолоджуючись,

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						43
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

надходять свіжим газом, і через трійник в нижній кришці виводяться з колони синтезу. Для запобігання перегріву каталізаторної маси в колону по дають холодний («байпасний») газ. Для цього на кожну полицю апарату підведені трубки, вигнуті по колу і мають дрібні отвори, через які холодний газ надходить до контактної маси. Кількість що холодильного газу, що надходить регулюється клапанами, встановленими на підвідних трубках. [10]



Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата
----	-----	----------	--------	------

Рис. 4.3 Колона для синтезу метилового спирту: 1-корпус каталізаторної коробки; 2-труба для електронагрівача; 3-полички для каталізатора; 4-теплообмінник.

Теплообмінник високого тиску схематично зображений на рисунку 4.4. Він складається зі сталевого корпусу 4 (внутрішній діаметр 330 мм, товщина циліндричної стінки 90 мм), кришки 1, двох трубних решіток і ввальцованих в решітки трубок 6. Зсередини поверхня корпусу футерована листами червоної міді для запобігання стали від корозійного дії CO і H_2 . Верхня трубна решітка 2 жорстко закріплена між кришкою і корпусом апарату, для ущільнення використовують мідні прокладки 3. В процесі експлуатації теплообмінника температура труб може відрізнятись від температури корпусу, термічне видовження труб і корпусу буде при цьому відрізнятись. При жорсткому кріпленні обох трубних решіток може відбутись їх деформація і навіть виривання труб з решіток. Тому нижня трубна решітка закріплена не жорстко і може переміщатись в вертикальному напрямку (плаваюча головка – А на рисунку 3.2)

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						45
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

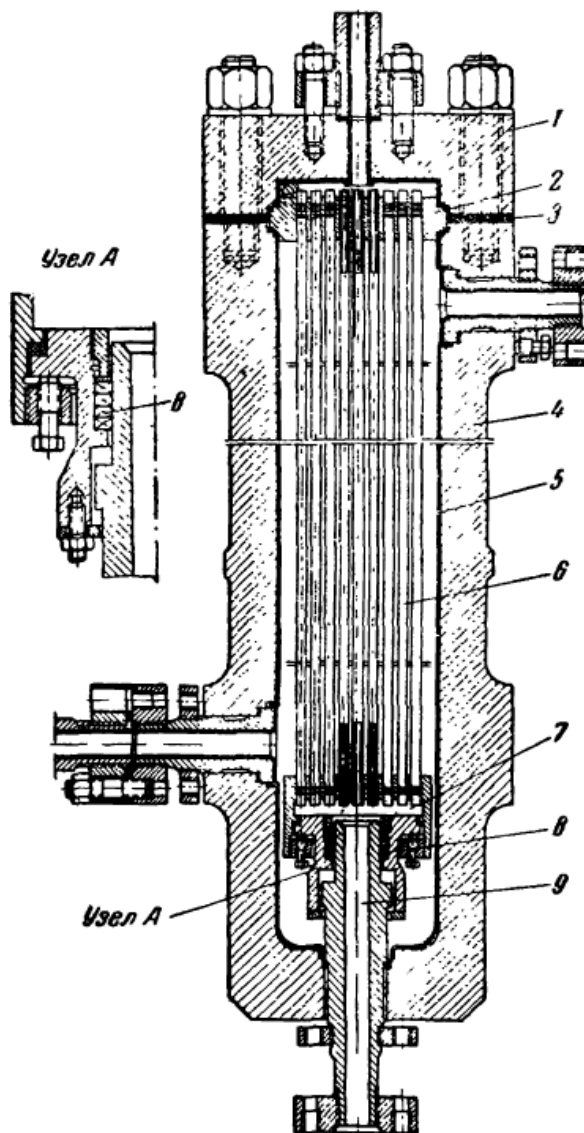


Рис. 4.4 Теплообмінник високого тиску: 1-кришка; 2-верхня трубчата решітка; 3-мідні прокладки; 4-корпус; 5-мідна футеровка; 6-теплообмінні трубки; 7-нижня камера; 8-сальник; 9-центральна труба.

4.3 Опис холодильника-конденсатора на функціональній схемі автоматизації

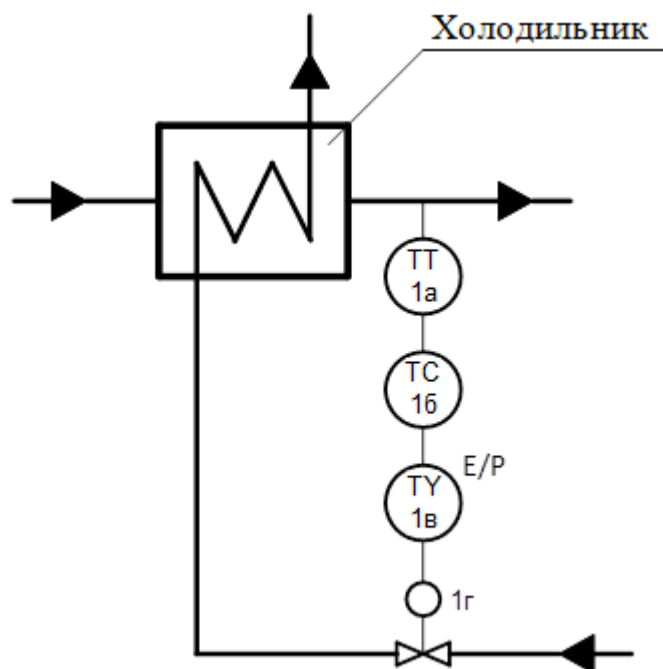


Рис. 4.5 Холодильник-конденсатор на функціональній схемі автоматизації

Двома вихідними параметрами, що важливі з точки зору технології, є витрата та температура газової суміші. Керування витратою відноситься до системи керування попереднім апаратом, тому в даній роботі розглядатись не буде. Лишається одна вихідна величина – температура. Керувати нею можна двома способами – за допомогою зміни витрати холодної води та її температури. Так як змінювати температуру холодної води недоцільно (бо для цього треба б було встановлювати додатковий теплообмінник, що значно знизило б ККД), то лишається один вхід, за допомогою регулювання якого доцільно керувати температурою газової суміші – витрата води.

Отже головним контуром керування буде керування температури охолодженої газової суміші за допомогою регулювання витрати води. [11]

5. ПОБУДОВА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ХОЛОДИЛЬНИКА-КОНДЕНСАТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ЗД-ДРУКУ

Для виготовлення фізичної моделі апарату нам потрібно:

- 1) Розробити 3Д-модель
- 2) Сконструювати 3Д-принтер

3) Роздрукувати 3D-модель

В результаті буде роздрукований прототип фізичної моделі апарату з можливістю подальшого виробництва подібних моделей.

5.1 Розробка 3D-моделі холодильника-конденсатора в 3D-редакторі

Для початку, нам потрібно вибрати 3D-редактор в якому буде розроблена модель нашого апарату. Для подібних цілей дуже добре підходить програма 3Ds Max від Autodesk.

3Ds Max є одним з перших редакторів тривимірної графіки, перша версія з'явилася ще в 1990 році. Він по праву вважається одним із найбільших пакетів для 3D моделювання, який містить безліч плагінів і доповнень для виконання найрізноманітніших завдань.

Традиційно ця програма вважається професійним інструментом архітекторів і дизайнерів інтер'єру. Причиною цього є зручність в 3D моделюванні твердотільних об'єктів, велика свобода в створенні моделей і якісні модулі для фотореалістичної візуалізації. Проте, сучасні версії Autodesk 3Ds Max дозволяють виконувати величезну кількість функцій і виходити далеко за рамки архітектурних моделей. Наприклад, як і в нашому випадку, моделювання інженерних об'єктів.

За рахунок грамотно продуманого механізму розрахунку фізики моделювання поведінки твердих і м'яких тіл не викликає труднощів.

Основна функція програми - створення і редагування 3D графіки. Решта опцій призначені для доповнення створених об'єктів і доведення їх до реалістичного зовнішнього вигляду. Програма оснащена величезною кількістю різноманітних модифікаторів, інструментів для роботи з моделями. 3Ds Max пропонує такі типи проектування тривимірних об'єктів:

- Полігональне моделювання. Найпоширеніший вид 3D-моделювання, що зустрічається у багатьох пакетах тривимірної графіки. Може використовуватися для розробки моделей різної складності;
- Моделювання на основі примітивів. 3Ds Max містить вбудовану бібліотеку стандартних об'єктів, так званих примітивів. У багатьох

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						48
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

випадках створення моделей починається саме з них, адже до таких примітивів застосовні різноманітні модифікатори;

- На основі сплайнів. Також один з базових способів моделювання. Полягає в побудові каркаса з тривимірних кривих (сплайнів). На його основі генерується сам 3D-об'єкт;
- На основі NURBS-кривих. NURBS, або неоднорідний раціональний B-сплайн - особлива технологія розробки 3D-моделей. Ідеальний варіант для моделювання органіки і об'єктів, що мають гладку поверхню;
- На основі поверхонь Безьє. Особливий спосіб 3D моделювання на основі кривих Безьє. Найчастіше застосовується до окремих частин 3D моделі, для яких створюється мережа контрольних точок. З їх допомогою поверхня можна розтягувати в будь-якому напрямку.

В своєму моделюванні я використав полігональне моделювання з вбудованими пакетами 3Ds Max.

Інструменти полігонального моделювання:

У розпорядження інженера надається повний набір інструментів, включаючи Create (створити), Collapse (згорнути), Attach (приєднати), Bridge (створити полігон між двома гранями), Flip (інвертувати нормаль виділеного полігону), Hinge from edge (видавлювання полігонів уздовж межі обертанням), Turn (повернути), Cut (вирізати), Split (розділити геометрію), Slice (зріз), Quick slice (швидкий зріз), Wedge (клин), Bevel (скіс), Extrude (видавлювання), Chamfer vertex (фаска в вершині), Extrude along a curve (видавлювання по кривій), Mirror (симетрія), Edge loop (послідовність ребер), і Edge ring (кільце з ребер).

Для розрахунку і оптимізації топології сіток можна використовувати інструмент ProBooleans. Для розрізання 3D геометрії на частини підійде інструмент ProCutter.

Для підвищення ефективності робочого процесу передбачений ряд спеціальних можливостей, таких як опція Preserve UVs, яка відокремлює координати текстур від вершин полігонів (при цьому сітку можна редагувати,

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						49
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

не зачіпаючи UV текстури); подоб'єкти (вершини, ребра, грані); виділені набори, що дозволяють перемикатися між об'єктами різного типу (наприклад ребрами і вершинами); інтерактивний попередній перегляд результатів редагування, включаючи зміни анімації; можливість призначати ярлики для найчастіше використовуваних команд моделювання та ін.

Для роботи з геометрією об'єктів і подоб'єктів передбачена велика кількість модифікаторів, включаючи Projection (проекція), Edit Normals (редагування нормалей), Vertex Paint (розфарбовування вершин) і ін. З їх допомогою ми можемо створювати вигини, скоси, отвори, поперечним перерізом видавлювання і т.д. [12]

В даній роботі мною були використані такі інструменти:

- 12.Create (створити)
- 13.Attach (приєднати)
- 14.Extrude (видавлювання)
- 15.Edge ring (кільце з ребер).
- 16.Mirror (симетрія)

За основу побудови було взято креслення стандартного холодильника-конденсатора:

					<i>ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

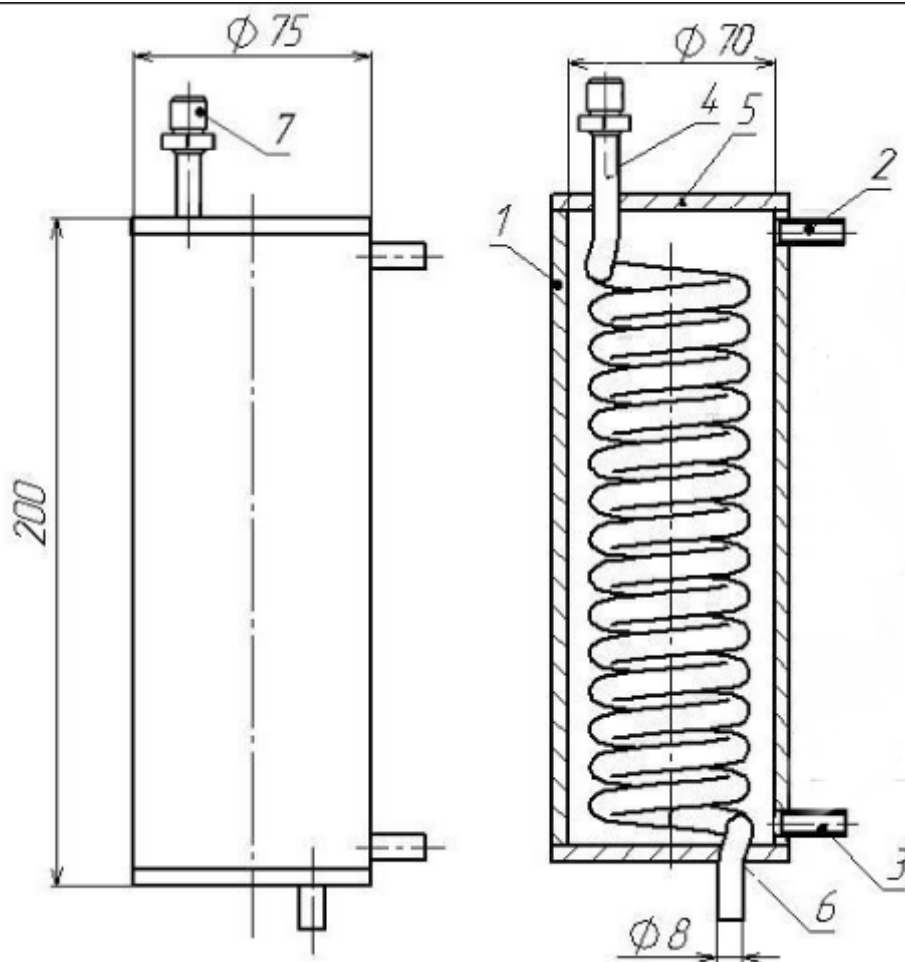


Рис.5.1 Холодильник-конденсатор: 1-корпус холодильника, 2-трубка зливу води, 3-трубка подачі води, 4-змієвик, 5-верхня кришка, 6-нижня кришка, 7-штуцер.

Для демонстрації розробленої моделі, потрібно скористатися базовими можливостями 3Д-візуалізації. Для цього, я скористався плагіном для рендерингу v-ray.

Основним завданням будь-якої програми рендеринга є обчислення освітленості і кольору довільної точки тривимірної сцени. Завдання це дуже непросте. Обчислювальні методи комп'ютерної графіки виконали досить довгий шлях еволюційного розвитку, перш ніж досягли сучасного рівня фотореалістичності синтезованих на комп'ютері зображень.

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

Монте-Карло і методу фотонних карт. Метод фотонних карт створює для кожної поверхні об'єкту сцени базу даних, в якій зберігається інформація про зіткнення «фотонів» з поверхнею - координати зіткнення, напрямок і енергія фотона. Під фотоном розуміється порція енергії освітлення, що розповсюджується в деякому напрямку від даного джерела світла. Щільність фотонної картки, потрібно ввести в подальших розрахунках для оцінки освітленості точки в результаті дифузного розсіювання світла на поверхнях оточення. Всі рендери, що використовують метод фотонних карт, виконують розрахунок освітленості за два проходи. На першому проході виконується трасування фотонів від джерел світла до поверхонь, і створюються фотонні карти для них. На другому проході виконується зворотна трасування променів від камери, а фотонні карти використовуються для розрахунку дифузійної освітленості точок перетину променів зворотного трасування з поверхнями.

Четверта компонента освітленості займається спеціальним випадком освітленості - розраховує світлові ефекти, що виникають в результаті фокусування через заломлення або відбиття променів світла в деякій області поверхні. Ці ефекти одержали назву caustic-ефектів освітлення, а прекрасним ілюструє прикладом «з життя» може служити лінза, фокусуються сонячне світло на поверхні об'єкту. Розрахунок caustic-ефектів освітлення може бути виконаний методом фотонних карт, але при цьому потрібно локальна фотонна карта дуже високої щільності. Тому такі фотонні карти створюються окремо при виникненні необхідності.

Отже, можна стверджувати, що сучасний рівень розвитку обчислювальних методів комп'ютерної графіки дозволяє розраховувати освітленість довільної точки тривимірної сцени як суму чотирьох компонент: прямий освітленості, дзеркальних заломлення і caustic-ефектів. [13]

Розроблена мною модель має вигляд:

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						53
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

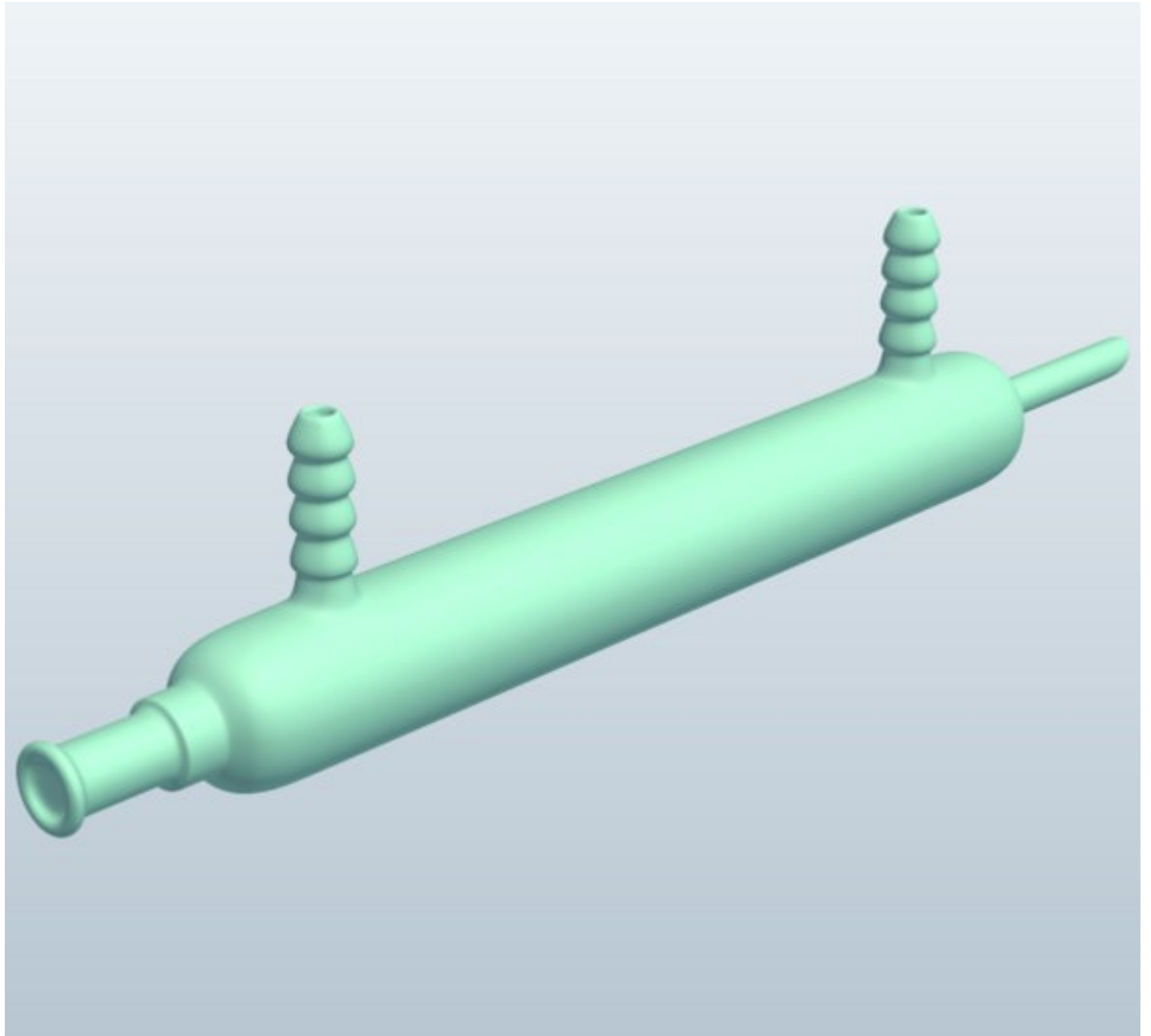


Рис. 5.2 3Д модель холодильника-конденсатора

Вона задовільняє всі потреби фізичного моделювання ,а її розмірні параметри відповідають всім заданим можливостям області друку 3Д-принтера.

5.2 Конструювання 3Д-принтера

В даному розділі ми зконструюємо 3Д-принтер моделі Prusa i3, відкалібруємо його та налаштуємо програму для роботи з ним. По-перше розберемося в конструкції даної моделі:



Рис. 5.3 Схема 3Д-принтера Prusa i3

- 1) Корпус, який тримає інші складові.
- 2) Блок живлення, який видає потрібну для роботи напругу.
- 3) Керуюча плата, до якої підключаються всі дроти і яка керує рухами і нагрівом принтера.
- 4) Екран. Потрібно розуміти, що на нього не тільки виводиться інформація, але він також приймає участь в управлінні принтером.
- 5) Крокові двигуни (в моєму випадку їх 5). По одному по осях X, Y, два для осі Z, один для подачі пластикового прутка.
- 6) Каретка з друкуючою головкою - на ній знаходиться екструдер (наша друкуюча головка, та частина принтера яка нагріває пластик і випускає його тонкою ниткою через сопло, туди ж входить і радіатор для відведення тепла), мотор для подачі пластикового прутка, кулер обдування екструдера, кулер обдування моделі.
- 7) Горизонтальні направляючі (зліва направо) - це вісь X. На них знаходиться каретка, яку рухає мотор, що знаходиться збоку, за допомогою ремня.
- 8) Вертикальні направляючі - це вісь Z. По ній рухаються напрямні X за допомогою валів з різьбою, які обертають два двигуна, що стоять на землі.
- 9) Горизонтальні напрямні - це вісь Y. За ним рухається стіл

10) Стіл на горизонтальних напрямних, який часто має підігрів. Його рухами керує двигун, горизонтально лежить на землі, за допомогою спеціального ременя.

11) Кінцевики - три кінцевика в кінці кожної осі, які повідомляють принтеру, що рухатися більше нікуди і саме тут знаходиться нульова точка відліку.

Основні параметри принтера Prusa i3:

1. Область друку: 200x200x220 мм
2. Висота шару: 50 мкм
3. Швидкість друку: рекомендована 50 мм / с, максимальна рекомендована 120 мм / с
4. Матеріал, що використовується: ABS, PLA, HIPS, FLEX, PVA (діаметр нитки 1.75 мм)
5. Підігрівається платформа: максимальна температура 120 0C
6. Arduino mega 2560
7. RAMPS 1.4
8. LCD дисплей з SD - картридером і кнопкою управління
9. Блок живлення 350 Вт, 12 В
10. Нагрівальний стіл MK2A
11. Програмне забезпечення: Repetier-Host, Slic3r, Cura
12. Прошивка: Marlin
13. Сумісність з ОС: Windows, Mac OS, Linux
14. Параметри екструдера: Діаметр сопла: 0.4 мм (можливість установки сопла 0.2-0.5 мм) ; діаметр нитки: 1.75 мм; кількість головок: 1

Визначимося з корпусом нашого принтеру. Для менших грошових затрат краще вибрати корпус з дерева або акрилу з товщиною 6-8мм – він має витримати всі навантаження та забезпечити якісний друк.

Далі виберемо спосіб подачі пластику. Існує 2 типу подачі філаменту (пластикового дроту для друку):

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		56

Пряма подача, коли мотор, який тягне філамент, знаходиться прямо на каретці над екструдером. Так виходить більш точна подача пластика, але мотор важкий і створює додаткову інерцію по осі X.

Боуден подача, коли за мотором, тягнучому філамент знаходиться гладка трубка, утикана в екструдер. Це практично необхідна конструкція для принтерів зі слабкою конструкцією при наявності декількох екструдерів (кожному потрібен свій мотор). Ця конструкція полегшує вісь X (а значить і Z), але складніше налаштувати точну подачу - частіше зустрічається і сильніше вираженою проблемою є мимовільно впливаючі «соплі» з сопла. Також, в цьому випадку є можливість реалізувати швидку зміну декількох пластиків.

Зважаючи на наш корпус, ми вибираємо боуден подачу, яка зменшить інерцію на осі Z.

Також розберемося з екструдером. Друкуюча головка FDM-принтера називається екструдером (від extrude - видавлювати), що відображає її принцип дії: екструдер створює об'єкт пошарово, видавлюючи розм'якшений матеріал через сопло. Тюбик із зубною пастою, клейовий пістолет, шприц з силіконовим герметиком - діють за аналогічною схемою.

Найчастіше, для друку в FDM-пристроях використовуються термопластики ABS і PLA у вигляді філамента (нитки), тому, в першу чергу, ми розглянемо такі екструдери.

Типовий екструдер для друку пластиком ділиться на дві основні частини: блок з механізмом подачі філамента (колд-енд, "холодний кінець", cold end) і сопло з нагрівачем (хот-енд, "гарячий кінець", hot-end).

Подавач філамента складається з колеса (шестерні), з'єданого з електромотором (безпосередньо або через редуктор), і притискного механізму. Подає колесо, обертаючись, витягує філамент з котушки і направляє його в хот-енд, де пластик плавиться під впливом високої температури і видавлюється через отвір в соплі.

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		57

"Гарячий кінець" екструдера роблять з металу з високою теплопровідністю (алюмінію або латуні); нагрівальний елемент, як правило, виконаний у вигляді одного-двох резисторів або спіралі з ніхромового дроту. Для відстеження та подальшої регулювання температури, до сопла екструдера кріпиться датчик (термопара).

Хот-енд сильно розігрівається під час роботи, а решта частини екструдера повинні залишатися холодними, інакше філамент починає плавитися занадто рано. Тому, між "холодним" і "гарячим" кінцями екструдера встановлюється теплоізолююча вставка (зазвичай з термостійкого пластика РЕЕК). Крім того, для охолодження колд-енду, в друкувальну голівку часто вбудовують радіатор з вентилятором.

Хоча в конструкції будь-якого екструдера, в принципі, немає нічого складного, існують кілька важливих нюансів.

В першу чергу, це матеріал корпусу і механізмів.

Деякі виробники оснащують свої екструдери, аж до навантажених компонентів, дешевими 3D-друкованими деталями. Потрібно врахувати, що литі деталі міцніше 3D-друкованих, тому, варто звернути на це увагу.

Надійність подачі філамента. Від механізму, що подає залежить безперебійність друку, в результаті - її результат.

Філамент, як і будь-яка довга нитка, може просто заплутатися, що призведе до заклинювання механізму. Досить потужний подавач, в такому випадку, зможе "проковтнути" філамент навіть з невеликими вузликами або перехлестами.

Крім того, через недостатнє зчеплення ролика з філаментом, пластикова нитка може прослизати, через що виникають затримки в її подачі.

У зв'язку з цим варто згадати друк нейлоном (капроном). Через м'якість і слизькості цього пластика, екструдери, розраховані на ABS і PLA, не завжди можуть з ним нормально працювати: подає колесо з гладкими зубцями просто не здатне надійно зачепитися за філамент.

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		58

Тому, при друку нейлоном бажано використовувати ролик з гострими зубчиками або агресивною рисою.

Найважливіший аспект - розмір сопла екструдера. Саме від нього залежить, у великій мірі, якість друку.

Виробники 3D-принтерів зазвичай оснащують свої екструдери соплами з отвором діаметром 0.4-0.5 мм - цей розмір є оптимальним. У свою чергу, використання сопла меншого діаметра (0.3-0.2 мм) може забезпечити кращу деталізацію, чіткість граней і чистоту поверхні об'єкта, тому що видавлюються більш дрібні краплі пластика.

З іншого боку, маленьке сопло збільшує час друку об'єкта, воно більш схильне до забивання сміттям і застиглої пластмасою. Потенційно, також зростають вимоги до потужності подавача філамента, тому що екструдеру стає складніше проштовхнути пластик через маленький отвір.

В даний час на ринку представлено кілька моделей 3D-принтерів, що друкують головки яких оснащені двома (і навіть трьома!) Екструдерами (наприклад, MakerBot Replicator Dual і 2X)

Друкуюча головка 3D-принтера Replicator Dual

Подвійний екструдер добре підходить для друку двоколірних об'єктів або створення структур підтримки з розчинного полімеру, тому що дозволяють мати наготові і оперативно використовувати два види пластика. Але, в цілому, технологія подвійної екструзії сирувата і знаходиться в стадії розвитку, тому у неї маса недоліків.

Найголовніше, що сучасні 3D-принтери не можуть повноцінно друкувати одночасно обома екструдерами - вони жорстко закріплені на загальній друкуючій голівці, і не рухаються незалежно. Тому, принтер задіє кожен екструдер в міру необхідності.

Метод по-справжньому одночасного друкування існує - називається він "Ditto printing". Екструдери, працюючи одночасно, будують дві копії одного об'єкта. Але, Ditto printing має дуже обмежене застосування, тому що дозволяє

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		59

отримувати тільки маленькі об'єкти одного кольору, або двоколірні великі, але з повторюваною структурою, на зразок ланцюга або плетінки. [14]

До недоліків 3D-принтерів з подвійним екструдером також є їхня підвищена вартість і складність в налаштуванні. Навішування додаткових деталей друкує головку збільшує її габарити, масу і інерцію, що зменшує швидкість роботи принтера і розміри області друку. Крім того, сопло незадействованного під час друку екструдера може чіпляти і деформувати об'єкт або залишати на його поверхні патьоки філамента.

У Prusa версії 3 можна використовувати будь-який відповідний контролер. Найпоширенішим варіантом є Arduin MEGA + RAMPS 1.4, але підійдуть і майже будь-які інші варіанти, наприклад Sanguinololu. Мінімальні вимоги: 4 драйвера крокового двигуна, 1 вхід для термістора екструдера, 1 вихід для нагрівача екструдера. Бажано мати ще один вхід для термістора підігрівача стіл і вихід для нагрівача столу. Рекомендується відразу забезпечити контролер обвісом в вигляді LCD та кардридера, це дозволить друкувати без участі ПК / ноутбука і позитивно вплине на якість друку тому екструдер не буде простоювати чекаючи інструкцій по Serial. Вибір контролера справа смаку і можливостей. Ми вибрали Arduin MEGA + RAMPS 1.4.

Список потрібних деталей:

Деталь	Кількість
Кроковий двигун NEMA17 4кг	5
Шків GT2 16 зубців	2
Гнучка муфта 5x5мм	2
Ремінь GT2 6mm	3
Алюмін. Мех. Подачі пластику	1
Хомути 3мм (500 шт)	1
Пла пластик 0.5 кг 1.75мм	1
Плата розширення Ramps 1.4	1

Екструдер E3D V6 Боудена	1
Механічний кінцевий вимимикач KW11-3Z-7	3
Фанерний корпус 8мм	1
Печатні деталі (набір)	1
Скло 214мм	1
Пружина для екструдера 20мм	1
Квадратне нагрівальне дно	1
Драйвер крокового двигуна DRV8825	1
Драйвер крокового двигуна A4988	4
Печатні деталі для екструдера	1
Направляючі 2.5 м	1
Підшипник LM8UU	10
Рад підшипник 625ZZ	4
Arduino Mega 2560 R3	1
M5 Стержень різьбовий 1м	1
Винт метричний 3x12 мм 40 шт	1
Винт метричний 3x20 мм 30 шт	1
Гайки, M5	1
Гайки шестигранні M3	1
Винт метричний 3x16 мм 35 шт	1
Винт метричний 5x20 мм 12 шт	1
Резьбовий стержень 8x1000мм	2
Шайба плоска M8 25 шт	2
Гайка шестигранна M8 25 шт	2
Накутник вузький 50x50	2
Накутник вузький 60x60	2
Гвинт 3x30 упаковка	1
Кнопка середня без фіксації	1
Пневматичний фітинг M6	1

Термістор 1м	1
Тефлонова трубка 2х3 мм, 1м	1
Модуль куревання LCD	1

Матеріал з якого буде зроблена фізична модель – пластик PLA. PLA-пластик (полілактид, ПЛА) - є біорозкладаним, біосумісним, термопластичних алифатическим поліефіром, структурна одиниця якого - молочна кислота. ПЛА-пластик виробляють з кукурудзи або цукрового очерету. Сировиною для отримання служать також картопляний і кукурудзяний крохмаль, соєвий білок, крупа з бульб маніока, целюлоза.

На сьогоднішній день полілактид активно використовується в якості витратного матеріалу для друку на 3D-принтерах.

Переваги PLA-пластика при 3D-друку:

4. нетоксичний;
5. широка палітра кольорів;
6. при друку немає необхідності в нагрітій платформі;
7. розміри стабільні;
8. ідеальний для рухомих частин і механічних моделей;
9. відмінне ковзання деталей;
10. економія енерговитрат через низьку температури розм'якшення нитки;
11. немає необхідності застосовувати каптон для змазування поверхні для нарощування прототипу;
12. гладкість поверхні надрукованого виробу;
13. отримання більш детальних і повністю готових до застосування об'єктів.

Робота PLA-пластиком на 3D-принтері ведеться за допомогою технології моделювання методом пошарового наплавлення (FDM-Fused Deposition Modeling). Нитка розплавляється, після чого доставляється за спеціальною насадкою на поверхню для роботи і осаджується. В результаті

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		62

побудови моделі розплавленим пластиком створюється повністю готовий до застосування об'єкт. Вироби з PLA-пластика піддають шліфуванню й свердління, фарбують акрилом. Однак варто пам'ятати, що предмет з ПЛА потрібно обробляти з обережністю через його крихкості. Ще одним мінусом PLA-пластика є його недовговічність: матеріал служить від декількох місяців до декількох років.

PLA-пластик є ідеальним матеріалом для 3D-друку прототипів і виробів, що не передбачається експлуатувати тривалий час. Це можуть бути декоративні об'єкти, вироби для презентацій і предмети, що вимагають ретельної деталізації.

Скомпонувавши всі деталі та підключивши електроніку, наступним кроком буде калібрування. Відстань в 3D-принтері вимірюється не в міліметрах, а в кроках, які робить двигун. Саме підбір правильних коефіцієнтів забезпечить правильне співвідношення електронної відстані з реальною. Далі необхідно виставити ліву і праву каретки на один рівень. Можна скористатися лінійкою, рулеткою або штангенциркулем. За початок відліку можна взяти, наприклад, кріпильний фланець двигуна осі Z. Нам потрібно розрахувати співвідношення діючого коефіцієнту з відношенням реальної величини з програмною. Та замінити коефіцієнт на новий.

Щоб відкалібрувати друкувальної платформи необхідно «загнати» каретку з екструдером в центр столу. Відстань між поверхнею дзеркала і сопла має бути зрівнена з товщиною паперового аркуша А4.

Перед проведенням всіх цих маніпуляцій, потрібно завантажити на Arduino прошивку. Ми використаємо прошивку Marlin, завантаживши її, ми зможемо швидко приступити до налаштування нашого принтеру. [15]

Для взаємодії з комп'ютером встановимо програму Repetier-Host. Перевага програми Repetier-Host в тому, що вона менш вимоглива до ресурсів комп'ютера в порівнянні з аналогічними програмами для 3D-друку. Програма Repetier-Host сумісна з усіма сучасними операційними системами: Microsoft Windows, Mac OSX, Linux.

					<i>ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		63

Repetier-Host володіє простим інтерфейсом, що дозволяє USB з'єднанню з 3D принтером, перегляд моделі в форматі .stl, її нарізку і перетворення в Gcode за допомогою слайсерів Slic3r або Skeinforge. Друк Ваших моделей можливий і за допомогою програми Slic3r. Тим не менш Ви зможете переконатися, що Repetier-Host має дружнє оформлення і пропонує великий спектр налаштувань управління і перегляду файлів .stl і Gcode.

Робота з об'єктами. Вкладка Object Placement дозволяє імпортувати одну або більше 3D-моделей, а потім робити з ними різні маніпуляції - пересувати, масштабувати, обертати, репліцирувати і т.д.

Слайсінг. Вкладка Slicer дозволяє обробляти об'єкт за допомогою різних слайсерів, підбираючи при цьому найбільш оптимальні настройки.

Прев'ю. У вкладці Print Preview можна перевірити те, що вийшло - або все відразу, або окремими ділянками, або шар за шаром.

Друк. Repetier-Host дозволяє друкувати або безпосередньо від хоста (через USB або TCP / IP), або опосередковано - з SD-карти або через Repetier-Server

Одним з доповнень до Repetier-Host є Repetier-Server. Він володіє наступними можливостями:

3. Отримати доступ і управляти принтерами можна звідки завгодно - через браузер з будь-якого ПК, Mac, смартфона або планшета.
4. Можливість спостерігати за ходом друку через вебкамеру, а також створювати таймлапс-відео - або для власного користування, або для того, щоб з ким-небудь ними поділитися.
5. Можливість оперувати кількома принтерами одночасно.
6. Repetier-Server працює не тільки на Windows, Mac і Linux, але і на маленьких і дешевих системах на кшталт Raspberry Pi.
7. Можливість друку без запуску Repetier-Host.
8. Нова система управління файлами дозволяє друкувати файли будь-якого розміру.

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		64

9. Ви отримуєте інформацію про виробничі витрати ще до запуску друку.

Більш того, порахувати витрати можна для кожного екструдера окремо.

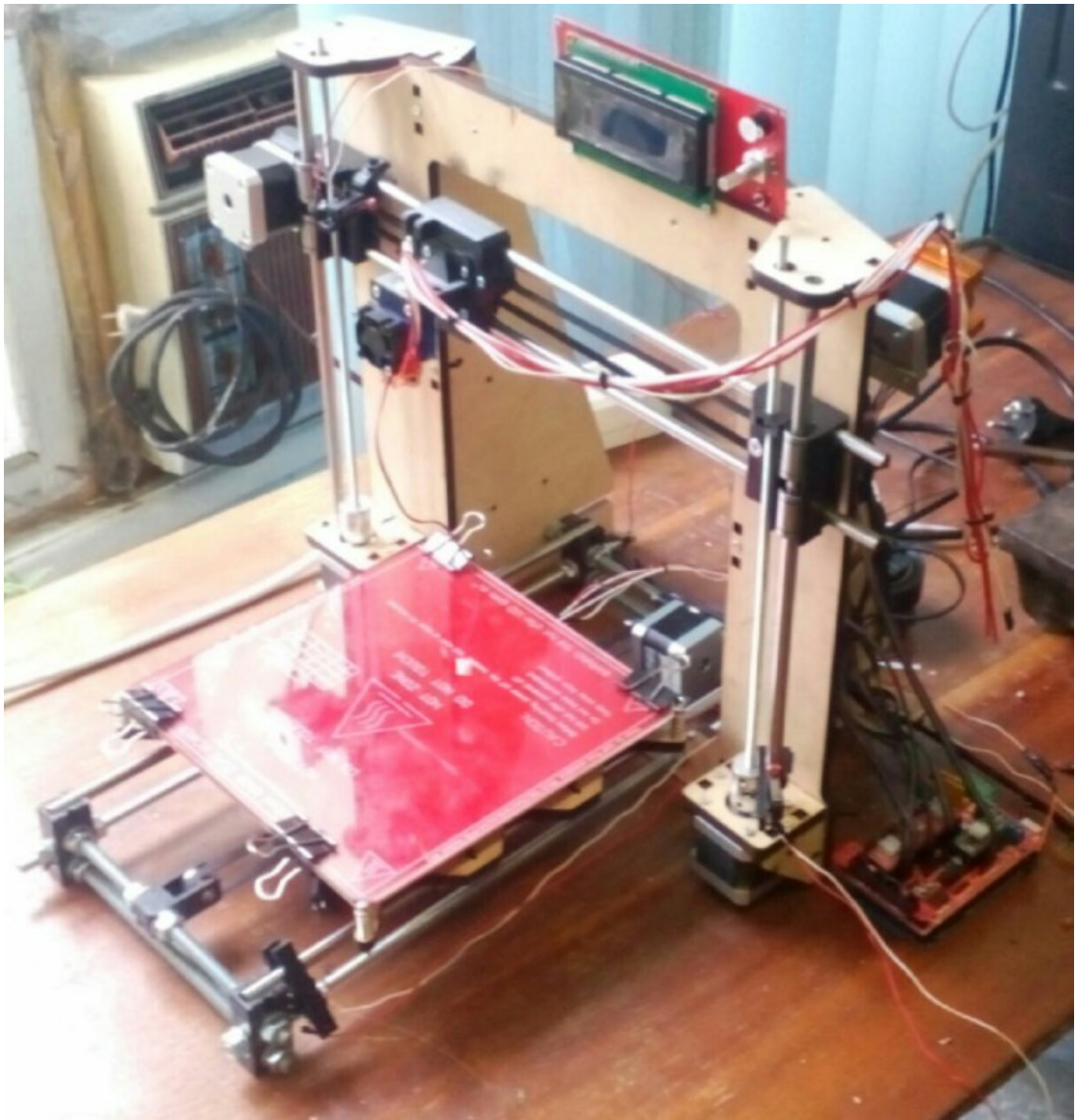
10. Якісні і наочні прев'ю-зображення.

11. Замір швидкостей нагріву і охолодження, необхідний для прогнозування точного часу друку.

10) Можливість завантаження нової прошивки для принтерів через веб-інтерфейс Repetier-Server.

Окрім режиму друку в цій програмі також є режим калібрування. Ми можемо задавати напрямок руху всіх елементів, та дивлячись на електронну відстань, порівнювати її з реальною, змінюючи коефіцієнти нашої прошивки.

В підсумку, зібраний та відкалібрований принтер має такий вигляд:



Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ

Арк

65

Всі елементи налаштовані правильно (всі осі переміщуються по правильним координатам, нагрів столу та екструдера працює правильно, LCD-дисплей показує всю потрібну інформацію, охолоджуючі елементи виконують свою роль). [14]

Отож, принтер готовий до друку.

5.3 Друк 3D-моделі холодильника-конденсатора на 3D-принтері

Почнемо з того, що нам потрібно підготувати модель для друку, або іншими словами – перевести її в G-code (точки і напрямки координат, по яким принтер буде рухати сопло екструдера). Skorистаємося програмою Cura2.

При першому використанні Cura 2, всі налаштування автоматично встановлені на рекомендований режим (Recommended mode). Надалі цей параметр можна змінити і вибрати призначений для користувача режим (Custom mode). Підготовка моделі починається з вибору профілю (Profile), який відповідає за швидкість і якість друку. Для 3D принтера Ultimaker тут є чотири режими друку:

Draft print (пробний друк): виконується «чорновий начерк» виробу на високій швидкості;

Fast print (Швидкий друк): висока швидкість друку зі збереженням прийнятної якості;

Normal quality (Нормальна якість): друк в хорошій якості з достатньою швидкістю. Профіль цього застосуємо для більшості завдань;

High quality (Висока якість): друк виробів високої деталізації.

Після вибору необхідних параметрів при рекомендованих настройках залишається налаштувати всього лише три позиції:

Заповнення (Infill). Всього чотири варіанти - ніякого (hollow, тобто порожній об'єкт), легке заповнення (light), щільне заповнення (dense) і повне заповнення (solid);

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		66

Прилипання до платформи (Print build plate adhesion). Навколо моделі вибудовується одношарова плоска область, що забезпечує краще прилипання до робочої платформи принтера.

Друк підтримуючої структури (Print support structure). Складні об'єкти з нависаючими елементами вимагають додаткового друку підтримки, щоб уникнути деформації виробу. У Cura генеруються оптимальні структури для кожного конкретного об'єкта.

Власне, після цього можна зберігати G-code і запускати 3D-принтер в роботу, але ми хочемо більш детально познайомити вас з функціоналом простого і корисного слайсера Cura. Ключем до його повних можливостей є призначений для користувача режим (Custom mode), який ми зараз і розглянемо.

Призначений для користувача режим програми Cura 2

Всі настройки режиму знаходяться в бічній панелі справа і для зручності розділені на секції:

Якість (Quality). Тут налаштовується візуальна якість об'єкта;

Корпус (Shell). Параметри друку для зовнішньої частини моделі;

Заповнення (Infill). Те, що буде всередині виробу;

Матеріал (Material). Налаштування типу і поведінки матеріалу для друку;

Швидкість (Speed). Швидкість пересування голівки під час відтворення об'єкта;

Переміщення (Travel). Траєкторія руху і поведінку друкуючої головки;

Охолодження (Cooling). Параметри, які визначають, як охолоджується пластик;

Підтримка (Support). Те, що стосується підтримки структур при друку складних виробів;

Прилипання до платформи (Platform adhesion). Цей параметр визначає тип прилипання до столу принтера;

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		67

Коригувальна сітка (Mesh fixes). Ця опція допомагає при наявності помилок в 3D-моделі;

Спеціальні режими (Special modes). Особливості, які впливають на спосіб друку;

Експериментальні функції (Experimental)

Налаштування якості 3D друку в програмі Cura 2

Почнемо з налаштування якості (Quality). Воно характеризується трьома основними параметрами - Висота шару (Layer height), Висота першого шару (Initial layer height) і Ширина лінії (Line width). Для першого параметра є три стандартні попередні установки:

0,06 мм: Висока роздільна здатність, при якому шари ледь видно;

0,1 мм: Оптимальна для більшості завдань на 3D-друк. Золота середина між швидкістю і гарною якістю;

0,15 - 0,2 мм: Застосовується для швидкого друку. Якість виробів в цілому прийнятна, при високій швидкості відтворення.

Висота першого шару виставляється окремо для кращого прилипання об'єкта до платформи. Як правило, перший шар трохи товщий за інші.

Третій параметр може бути встановлений для різних елементів друкованого виробу. У меню запропоновані такі варіанти:

Ширина лінії стінки (Wall line width). Причому можна регулювати ширину як внутрішніх, так і зовнішніх стінок;

Верхня / нижня ширина лінії (Top / bottom line width). Ширина лінії для верхніх і нижніх шарів;

Ширина ліній заповнення (Infill line width);

Ширина ліній «спідниці» / Бріма (Skirt / Brim line width). Ширина ліній допоміжної області навколо об'єкта;

Ширина ліній підтримки (Support line width). Ширина ліній для опорних структур моделі;

Оболонка об'єкта: типові налаштування

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		68

Далі йде параметр оболонки об'єкту (Shell). Він визначає налаштування зовнішньої частини виробу і складається з ряду установок:

Товщина стінок (Wall thickness). Кура може автоматично розрахувати оптимальну товщину стінок, яка безпосередньо залежить від діаметру сопла. Цей параметр можна змінювати в певних межах;

Товщина верхніх / нижніх шарів (Top / bottom thickness). Більш високе значення гарантує відсутність погано надрукованих ділянок і прогалин, однак разом з ним збільшиться час друку і витрата матеріалу. Розробники рекомендують встановлювати кратні значення висоти шару і даного параметра. Наприклад, при висоті шару в 0,15 мм оптимальним значенням товщини верхніх / нижніх шарів буде 0,6 мм;

Візерунок верхніх / нижніх шарів (Top / bottom pattern). В наявності є таке передумовки:

Концентричний візерунок (Concentric);

Lines (Лінії);

Зіг-заг (Zig Zag).

Вставка зовнішньої стінки (Outer wall inset). Ця опція компенсує положення зовнішньої стінки при істотній різниці в ширині лінії і діаметрі сопла;

Зовнішні стінки перед внутрішніми (Outer before inner walls). Тут виставляється пріоритет по друку зовнішніх або внутрішніх стінок. Ви можете вибрати, яка з них буде друкуватися в першу чергу.

Чергування додаткових стінок (Alternate extra wall). Ця установка додає додаткову стінку до будь-якого іншого шару. Таким чином, можливо домогтися більшої міцності створюваних виробів.

Баланс перекриття стінок (Compensate wall overlaps). Дана опція відповідає за рівномірність подачі пластика під час друку. Якщо друкуюча головка повинна двічі пройти тонку область моделі, потік пластика на цей період буде зменшений. Отже, поверхня моделі вийде повністю однорідною.

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		69

Горизонтальне розширення (Horizontal expansion). Якщо допуски 3D моделі мають для вас значення - цей параметр виявиться дуже корисним. Незначна деформація пластику призводить до того, що фізичні розміри готового виробу можуть не відповідати розмірам цифрової моделі. Регулювання значення горизонтального розширення може компенсувати такі відхилення.

Вирівнювання шва (Z seam alignment). Тут можна налаштувати місце переходу на новий шар таким чином, щоб зменшити видимість шва на готовому об'єкті. Розробниками передбачено три варіанти:

Найкоротший (Shortest). Наступний шар починається в кінцевій точці попереднього. Найпростіший і швидкий спосіб друку, проте видимість шва в цьому випадку максимальна;

Назад (Back). Початок нового шару доводиться на задню частину об'єкта (виходячи з розташування в Cura). Таким чином можна самостійно вибрати місце розташування шва на моделі;

Випадковий (Random). Кожен шар починається в випадковій точці, завдяки чому виключається сама можливість утворення шва. При цьому час друк і збільшиться через необхідність переміщення екструдера до нового місця.

Ігнорування зазорів по осі Z (Ignore small Z gaps). Невеликі зазори між шарами в Z-напрямку можуть бути заповнені в процесі друку. Цей параметр за замовчуванням активний. При його деактивації заповнення не відбуватиметься.

Параметр заповнення (Infill)

В першу чергу варто налаштувати щільність заповнення (Infill density). Цей параметр визначає кількість пластику, що використовується у внутрішній стороні виробу. Чим вище щільність - тим міцніше об'єкт. Високі значення даного параметра доцільно виставляти для функціональних деталей і елементів.

Далі слід ряд не менш важливих параметрів, серед яких:

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						70
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Візерунок заповнення (Infill pattern) представлений в п'яти різних варіантах:

Сітка (Grid);

Лінії;

Трикутники (Triangles);

Куби (Cubic);

Сura 2 кубічний візерунок заповнення

Тетраедри (Tetrahedral);

Програма Cura 2 візерунок заповнення тетраедр

Концентричний візерунок (Concentric);

Сura 2 концентричний візерунок заповнення

Зіг-заг (Zig Zag).

Програма Cura 2 візерунок заповнення зигзаг

Звернемо увагу на те, що в параметрах «Лінії» і «Зіг-заг» відбувається побудова структури «Сітка», але з різним напрямком друку заповнення.

Заповнення перекриття (Infill overlap). Відповідає за кількість перекриттів між стінками і заповнювачем. Більш високі значення з одного боку покращують зчеплення внутрішньої частини виробу з зовнішньої, а з іншого можуть привести до переекструзії і погіршення зовнішнього вигляду об'єкта.

Перекриття оболонки (Skin overlap). Принцип дії ідентичний описаному в попередньому пункті.

Infill wipe distance. За допомогою цієї функції на певному етапі друку заповнення 3D принтер може зупинити подачу пластика. Для цього слід встановити значення відстані (в мм) від фінальної точки. Дана опція реалізована з метою уникнення переекструзії.

Товщина шару заповнення (Infill layer thickness). Оскільки на візуальну якість висота шару заповнення ніяк не впливає, значення можна виставити і нижче, скоротивши таким чином час друку. Але варто стежити за тим, щоб

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						71
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

налаштування даного параметра була кратне висоті шару. В іншому випадку програма Cura 2 сама округлить її до потрібного значення.

Кроки поступового заповнення (Gradual infill steps). Даний параметр зменшує кількість елементів заповнення за рахунок зниження відсотка заповнювача на нижніх шарах.

Кожен крок ділить заповнення з коефіцієнтом 2.

Висота кроку поступового заповнення (Gradual infill step height). Ця опція має на увазі собою висоту, на якій відбувається зменшення заповнення виходячи з верхніх шарів. Таким чином, вся модель буде добре надрукована при використанні невеликої кількості матеріалу для заповнювача.

Заповнення перед стінками (Infill before walls). При активації даного параметра 3D-друк заповнення буде в пріоритеті і почнеться раніше, ніж друк стінок. Перевага такого методу полягає в тому, що стінки будуть кріпитися до вже надрукованому заповнювача. Мінусом є можливе просвічування матеріалу заповнення через стінки, що призводить до нерівномірності поверхні.

Програма Cura 2: настройка параметра «матеріал»

Тепер потрібно налаштувати все, що стосується матеріалу (Material). Перерахуємо параметри, які входять в даний пункт.

Температура друку (Printing temperature). Йдеться безпосередньо про температуру екструдера, яка залежить від типу конкретного полімеру.

Температура робочої платформи (Build plate temperature). Доступна для 3D-принтерів з функцією підігріву столу.

Діаметр (Diameter). Тут можна вибрати діаметр нитки використовуваного пластику. Це дозволить програмі правильно розрахувати швидкість його подачі.

Потік (Flow). Під цим параметром розуміється обсяг матеріалу, який повинен бути екструдований за хвилину часу. Значення обчислюється на основі діаметра філаменту і швидкості друку.

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		72

Включити втягування (Enable retraction). Доцільно включати цю функцію у випадках друку декількох об'єктів одночасно. Це дозволить уникнути подачі матеріалу в процесі пересування голівки між виробами. З цим параметром варто бути акуратним при друку гнучкими полімерами.

Відстань втягування (Retraction distance). Відстань втягування пластика в міліметрах.

Швидкість втягування (Retraction speed). Швидкість (мм / с) втягування матеріалу.

Кількість додаткового початкового втягування (Retraction extra prime amount). Додаткова кількість матеріалу, що подається після втягування для компенсації пластика, поданого після початку руху екструдера. Надзвичайно корисне налаштування при друку гнучкими матеріалами.

Мінімальна рух втягування (Retraction minimum travel). Визначає мінімальну відстань, яке має пройти друкуюча голівка при початку втягування пластика.

Максимальна кількість втягування (Maximum retraction count). За допомогою цієї установки можна встановити максимальну кількість втягувань пластика на певну довжину нитки. Варто враховувати, що інші налаштування при цьому будуть проігноровані.

Вікно мінімальної відстані екструзії (Minimum extrusion distance window). Довжина нитки полімеру, для якої реалізований попередній параметр

Температура в режимі очікування (Standby temperature). Ця установка реалізована для принтерів з двома екструдерами. У той час, як одне сопло використовується для друку, друге знаходиться в режимі очікування. Слід підібрати оптимальне значення параметра, оскільки занадто висока температура викликає просочування пластика, а надто низька - збільшує час прогріву екструдера для друку.

Довжина втягування при перемиканні сопла (Nozzle switch retraction distance). Довжина втягування нитки пластика, коли екструдер переходить в режим очікування.

Швидкість втягування при перемиканні сопла (Nozzle switch retraction speed). Швидкість втягування полімеру при переході екструдера в режим очікування

Налаштування швидкості в Cura 2

Наступний параметр - швидкість (Speed). І почати її настройку варто зі швидкості друку (Print speed). Від неї залежить швидкість, з якою друкуюча головка переміщається в процесі відтворення об'єкта. На підставі цих даних ПО розраховує також швидкість подачі матеріалу. Більш високі значення даного параметра скоротять час друку, але можуть зажадати підвищення робочої температури, щоб пластик встигав плавитися.

Зверніть увагу, що існує можливість встановити не тільки загальну швидкість друку, але і швидкість друку конкретних елементів, а саме:

Швидкість заповнення (Infill speed). Оскільки при друку заповнення візуальне якість не має значення - тут можна виставити більш високі значення. Однак слід враховувати, що це може вплинути на міцність моделі;

Швидкість стінок (Wall speed). Це швидкість друку зовнішньої частини виробу. За аналогією з попереднім пунктом, більш низька швидкість призведе до більш якісної відтворенню оболонки;

Швидкість верхніх / нижніх шарів (Top / bottom speed). Тут можна вибрати, з якою швидкістю буде друкуватися верхній і нижній шар об'єкта. Чим нижче швидкість - тим вище якість.

Швидкість підтримок (Support speed). Визначає, з якою швидкістю будуть відтворюватися опорні структури моделі. Оскільки їх якість не дуже важливо, доцільно вибрати високі значення.

Після цього в даному пункті залишається налаштувати всього чотири параметри:

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						74
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість пересування (Travel speed). Тут виставляється швидкість переміщення друкуючої головки з однієї точки в іншу без екструдуювання. Наприклад, коли екструдер переміщається між деталями. Високі значення знижують ймовірність просочування пластика, а в той же час з'являється ризик зачепити соплом вже надруковану деталь. Запобігти цьому може настройка параметра Z-стрибок.

Швидкість першого шару (Initial layer speed). Перший шар - найважливіший, він визначає успіх подальшої друку. Для кращого прилипання моделі к платформі краще виставити тут низькі значення.

Максимальна швидкість по осі Z (Maximum Z Speed). Визначає максимально допустиму швидкість руху робочої платформи.

Кількість повільних верств (Number of slower layers). Цей параметр визначає кількість шарів, яке необхідно пройти для досягнення швидкості друку верхнього шару моделі. Швидкість поступово підвищуватиметься, ґрунтуючись на швидкості друку першого шару. Чим вище значення даного параметра, тим краще буде якість об'єкта, але час відтворення при цьому істотно зростає.

Крім того, програма Cura 2 дозволяє активувати такі параметри в цьому розділі:

Врівноважити потік пластика (Equalize Filament Flow). Ділянки, більш тонкі, ніж нормальна товщина лінії, будуть друкують швидше, тим самим зберігаючи середню швидкість подачі філаменту в секунду на одному рівні;

Включити контроль прискорення (Enable Acceleration Control). Активує регулювання прискорення друкуючої головки.

Включити управління ривками (Enable Jerk Control). Дозволяє контролювати ривки друкуючої головки при зміні швидкості на осях X / Y.

Параметри переміщення (Travel)

Далі програма Cura 2 пропонує налаштувати параметр «Переміщення» (Travel), який містить всього чотири пункти:

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		75

Режим поділу (Combing Mode). При виборі даного параметра друкуюча головка буде рухатися в межах внутрішньої частини моделі під час переміщення від одного точки до іншої. Пластик при цьому не втягується. Якщо ж даний параметр відключений - 3D-принтер буде вибирати найкоротший шлях для переміщення екструдера, завжди втягуючи філамент під час цього;

Уникати друкованих частин при переміщенні (Avoid printed parts when Traveling). Активуванням цієї настройки ви даєте знати принтеру, що переміщення друкуючої головки без екструдювання має відбуватися строго поза відтворюваних елементів. Це зменшує ймовірність потрапляння зайвого пластика на модель або її випадкового пошкодження;

Відстань уникнення (Avoid distance). Після включення попередньої функції тут налаштовується дистанція між соплом і друкованим елементом під час пересування голівки. Відповідно, чим вище значення, тим менша ймовірність потрапляння матеріалу на об'єкт;

Z-стрибок при втягуванні (Z Hop when Retracted). При активації цього параметра робоча платформа буде опускатися на вказане значення при переміщенні голівки для того, щоб не зачіпати відтворювані деталі.

Переходимо до налаштування охолодження (Cooling).

В першу чергу програма Cura 2 запропонує вам включити охолодження (Enable Print Cooling). При його активації переконайтеся, що матеріал правильно охолоджується перед нанесенням наступного шару. За допомогою даної функції можна значно підвищити якість друку, особливо на складних моделях з нависають елементами і коротким часом друку одного шару.

Якщо ввімкнути функцію попередньої функції потрібно налаштувати ще кілька параметрів, один з яких - швидкість вентилятора (Fan speed). Більш висока швидкість забезпечує краще охолодження, але може також збільшити усадку матеріалу. Тобто, регулювати її варто в залежності від типу конкретного пластика. Параметр розділяється на три підпункти:

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						76
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Постійна швидкість вентилятора (Regular fan speed). Швидкість обертання вентилятора до досягнення порогового значення. Якщо шар друкується швидше цього значення, швидкість обертання поступово зростає до максимальної;

Максимальна швидкість вентилятора (Maximum fan speed). Швидкість обертання вентилятора на мінімальному часу друку шару.

Поріг постійної / максимальної швидкості вентилятора (Regular / maximum fan speed threshold). Визначає час друку шару (поріг), на якому вентилятор буде переключатися між постійною і максимальною швидкістю.

Висота запуску постійної швидкості вентилятора (Regular fan speed at height). Висота, на якій вентилятори будуть обертатися при максимальній швидкості. Грунтується на постійній швидкості вентилятора. Шари, що знаходяться нижче вказаного значення, будуть друкуватися з постійною швидкістю охолодження, яка поступово зростає до максимальної. Також за допомогою цього параметра можна регулювати кількість шарів, які повинні друкуватися на максимальній швидкості охолодження. Більш високі значення покращують прилипання до платформи, проте можуть привести до витікання пластика, що погіршить якість готового об'єкта

Мінімальний час друку шару (Minimum layer time). Якщо на друк шару піде менше часу, ніж задано в цьому пункті, принтер почне уповільнювати друк для досягнення зазначеного значення. За рахунок цього друкується шар отримає достатньо часу для охолодження перед нанесенням наступного.

Мінімальна швидкість друку (Minimum speed). Тут вказується мінімальна швидкість друку незалежно від уповільнення, викликаного активацією попереднього параметра. Занадто велике уповільнення загрожує зниженням тиску в соплі, що призведе до погіршення якості друку.

Підняття друкуючої головки (Lift head). Активація цього налаштування призводить до підняття екструдера на мінімальній швидкості друку в разі, якщо мінімальний час друку шару ще не досягнуто. До цього часу друкуюча

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						77
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

головка буде знаходитися в режимі очікування, а потім повернеться до друку. За рахунок цього виконується додаткове охолодження матеріалу.

Налаштувавши файл конфігурації нашого принтеру через цю програму, завантажуюмо модель на слайсинг з потрібними нам параметрами заповненості, точності та швидкості друку. Далі, використавши програму *geretier host* або скориставшись картою SD, завантажуюмо G-code на друк та чекаємо закінчення процесу друку. [14, 15]

Висновки

Мною, в рамках дипломного проекту, був досліджений процес синтезу метилового спирту з окису вуглецю та водню. Створена функціональна схема автоматизації та визначений об'єкт автоматизації – холодильник-конденсатор.

Критерієм оптимального керування холодильником-конденсатором є мінімізація витрати води при підтриманні температури охолодженої газової суміші 30 °С. Для цього я розробив математичну модель об'єкту, розрахував його статичні та динамічні характеристики. Також, я налаштував ПІ-регулятор та дослідив систему на стійкість. Таким чином, були підібрані ідеальні параметри витрати води на вході холодильника-конденсатора.

В заключній частині, створений прототип фізичної моделі холодильника-конденсатора для демонстраційних цілей з подальшою можливістю виробництва.

					<i>ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ</i>	Арк
						78
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ док.ум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Список використаної літератури

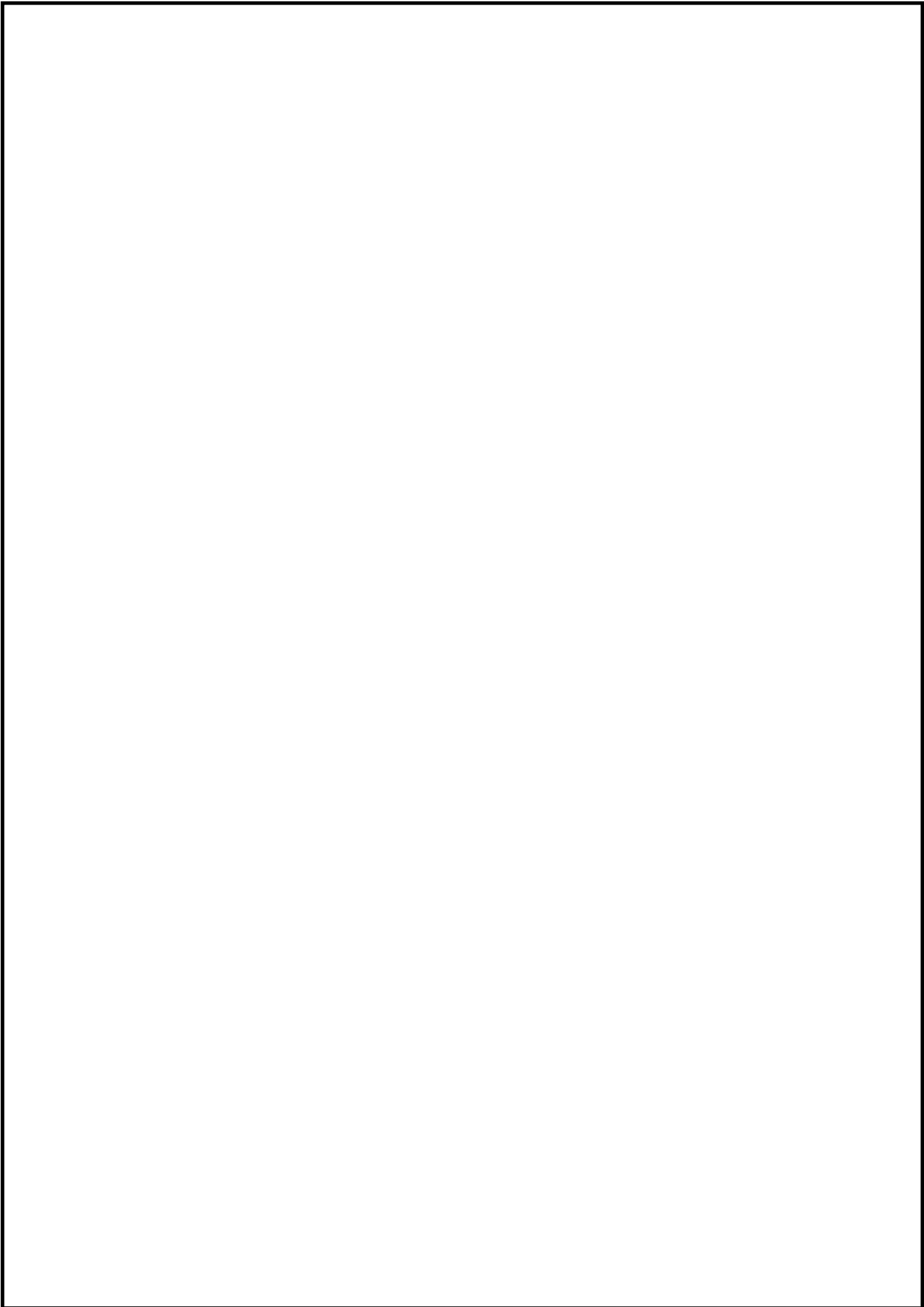
1. Юкельсон І.І. Технологія основного органічного синтезу. М.: «Хімія», 2008, 846 с.
2. Брунштейн Б.А., Клименко В.Л., Цыркин Е.Б. Производство спиртов из нефтяного и газового сырья. Л.: Недра, 1964, 200 с.
3. Колесников А.Л. Технический анализ продуктов органического синтеза. М.: Высшая школа, 1966, 232 с.
4. Белов П.С. Основы технологии нефтехимического синтеза. Л.; М.: Химия, 1965, 380 с.
5. Халаим А.Ф. Технология спирта. М.: Пищевая промышленность, 1972, 192 с.
6. Киричков В. Н. Идентификация объектов систем управления технологическими процессами: Учеб. Пособие/ В. Н. Киричков – К.: Вища шк., 1990, – 263 с.
7. Жученко А. І. Математичні моделі цифрових систем керування [Текст]: Навч. посібник / А. І. Жученко ; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". - К. : [б.в.], 1997. - 238 с.
8. Кубрак А.И. Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем: Навч. посібник/ А.И. Кубрак, А.И. Жученко, М.З. Кваско – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2004, – 424с.
9. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом

					ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ	Арк
						79
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

«Автоматизація і комп'ютер.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Біблігр.: с. 230-231. – 200.

10. Кубрак А. И. Определение передаточных функций элементов автоматических систем [Текст] : монография / А. И. Кубрак, А. И. Жученко. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 261 с.: рис. – Библиогр.: с. 256–258. – 200 пр.
11. Остапенко Ю.О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування [Текст]: підручник/ Ю.О. Остапенко – К.: Задруга , 1999. – 424с.
12. Harper J.M. Mastering Autodesk 3ds Max. Sybex, 2012, 982 p.
13. Bradley Brian. Photographic Rendering with V-Ray for SketchUp. Packt Publishing, 2014, 328 p.
14. Redwood Ben, Schoffer Filemon, Garret Brian. The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications. 3D Hubs, 2017, 304 p.
15. Horvath Joan. Mastering 3D Printing. Apress, 2014, 224 p.

					<i>ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>80</i>



					<i>ДП ЛА52.09.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>81</i>