

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського”

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ’ЄКТІВ

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів, які навчаються за
спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,
освітня програма «Технічні та програмні засоби автоматизації»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

Математичне моделювання технологічних об'єктів: Розрахунково-графічна робота. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології” / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: З. Я. Козаневич, Т.А. Дунаєва. Електронні текстові дані (1 файл 1Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 30с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 09.12.2021 р.) за поданням Вченої ради Інженерно-хімічного факультету (протокол № 10 від 29.11.2021 р.)

Електронне мережне навчальне видання

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Укладачі: Козаневич Звенислава Ярославівна, к. т. н., с. н. с.

Дунаєва Тамара Альбінівна, к.ф.-м.н, доцент

Відповідальний

редактор

Жученко А.І., завідувач кафедри технічних та програмних засобів автоматизації, д. т. Н., професор

Рецензент

Степанюк А. Р., к. т. н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних та нафтопереробних виробництв інженерно-хімічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

Запропонований навчальний посібник містить матеріали для виконання розрахунково-графічної роботи з кредитного модуля «Математичне моделювання технологічних об'єктів і систем».

Призначений для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» всіх форм навчання.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Склад, обсяг та структура розрахунково-графічної роботи.....	5
2. Вказівки та рекомендації до виконання складових частин роботи.	7
3. Вказівки до оформлення та подання розрахунково-графічної роботи.....	10
4. Завдання на розрахунково-графічну роботу.....	11
5. Порядок захисту та контрольні запитання.....	12
Список рекомендованої літератури.....	13
Додаток А. Титульний лист роботи.....	14
Додаток Б. Варіанти 1.1 - 1.5.....	15
Додаток В. Варіанти 2.1 – 2.3.....	17
Додаток Г. Варіанти 3.1 – 3.5	19
Додаток Д. Варіанти 4.1 – 4.6.....	21
Додаток Е. Варіанти 5.1 – 5.7.....	23
Додаток Є Варіанти :6.1 – 6.3.....	26
Додаток Ж. Лінеаризація рівнянь балансів	27
Додаток З. Отримання передатних функцій і перехідних характеристик на основі матеріальних/енергетичних балансів...	29

ВСТУП

Математичне моделювання різних процесів хімічної технології разом з їхньою апаратною реалізацією є обов'язковою початковою стадією синтезу систем автоматичного регулювання та керування цими процесами.

Математичне моделювання ґрунтується на аналізі конкретного процесу в відомому апараті як технологічного об'єкту керування (ТОК) та створенні на основі законів збереження мас, компонентів чи/та енергій математичних моделей цих об'єктів з наступним отриманням їх статичних і динамічних характеристик та візуального їх представлення при використанні цифрової техніки (в даному випадку ППП MathCad).

Метою даної розрахунково-графічної роботи (РГР) є формування знання та вміння аналітичної побудови і дослідження математичних моделей ТОК різних процесів хімічних виробництв, а також навички визначення та відображення статичних і динамічних характеристик за каналами керування і збурення на основі їх математичних моделей, зокрема вміння дослідити вплив зміни навантаження на динамічні характеристики математичної моделі ТОК.

Назва РГР: «Математичне моделювання <назва технологічного процесу чи устаткування> як технологічного об'єкту керування <назва параметру, що підлягає регулюванню>»

Кожен студент отримує один з запропонованих варіантів ТОК з відповідними початковими даними, приведеними для цього варіанту.

1. СКЛАД, ОБСЯГ ТА СТРУКТУРА РОБОТИ

В даній РГР студенти повинні виконати:

- аналіз конкретного технологічного процесу хімічної технології як технологічного об'єкту керування;
- одержати математичну модель конкретного ТОК аналітичним способом;
- перетворити математичну модель ТОК як до різного виду визначальних величин (фізичні величини, величини у відхиленнях, безрозмірні значення), так і різної форми використовуваних рівнянь (форма Коші, канонічна форма);
- перетворити за Лапласом змінну часу і отримати передатні функції за каналами збурення і керування;
- визначити передатні функції розширеного ТОК (з врахуванням динаміки вимірювача і виконавчого механізму) за каналами збурення і керування;
- отримати і графічно представити перехідні та імпульсні перехідні функції розширеного ТОК за каналами збурення та керування;
- отримати і графічно представити перехідні функції при збільшенні та зменшенні навантаження (витрати основного потоку) на 20%, 40% і 60%;
- дати порівняльну оцінку на основі отриманих перехідних функцій зміни динамічних характеристик при зміні навантаження на технологічний об'єкт.

Текстовий матеріал РГР повинен складатися з наступних розділів:

Вступ

1. Процес (або *апарат, назва*) як технологічний об'єкт керування
2. Математична модель ТОК
 - 2.1 Рівняння теплових чи/і матеріальних балансів
 - 2.2 Математична модель статички
 - 2.3 Математична модель динаміки

2.3.1 Лінеаризація рівнянь

2.3.2 Рівняння в безрозмірному виді змінних

2.3.3.Рівняння в канонічній формі і в формі Коші

2.3.4 Перетворення за Лапласом змінної часу

2.3.5 Визначення коефіцієнтів рівнянь, аналіз їх розмірностей

2.3.6 Передатні функції за каналами збурення і керування

2.3.7 Передатні функції розширеного ТОК

3. Перехідні та імпульсні перехідні характеристики розширеного ТОК

4. Передатні функції за каналами збурення та керування при зміні навантаження на об'єкт

5. Перехідні характеристики розширеного ТОК при зміні навантаження

6. Порівняльна оцінка перехідних процесів в технологічному об'єкті при зміні навантаження

2. ВКАЗІВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН РОБОТИ

1. Процес (або апарат, назва) як технологічний об'єкт керування

Наводиться короткий опис технологічного процесу і вибраного основного апарату. Основні визначальні величини. Вхідні величини, розподіл їх на збурення і керуючі дії. Структурно-параметрична схема об'єкту.

2. Математична модель ТОК

2.1. Рівняння теплових чи/і матеріальних балансів

Розрахункова схема ТОК. Основні спрощення (допущення). Обмеження на змінні. Позначення змінних. Рівняння теплових і/або матеріальних балансів для динаміки основних акумулюючих ємностей у фізичних величинах.

2.2 Математична модель статики

Прирівнюючи до нуля похідні по часу в рівняннях балансів, отримати математичну модель статики. Таблиця основного статичного режиму. Розрахувати і представити статичні характеристики за каналами керування і збурення.

2.3 Математична модель динаміки

2.3.1. Лінеаризація рівнянь

Лінеаризація рівнянь в точці основного статичного режиму. Отримання системи рівнянь у відхиленнях. Перевірка розмірностей коефіцієнтів.

2.3.2 Рівняння в безрозмірному виді змінних

Приведення системи рівнянь до безрозмірного виду визначальних величин $\varphi_i = (\Delta x_{i\text{визн}})/(x_{i\text{визн}0})$; збурень $\lambda_i = (\Delta x_{i\text{збур}})/(x_{i\text{збур}0})$ та керуючих дій $\mu_i = (\Delta x_{i\text{кер}})/(x_{i\text{кер}0})$, де індекс «0» відноситься до основного статичного режиму, а індекс «i» вказує на порядковий номер змінної.

2.3.3. Рівняння в канонічній формі і в формі Коші

Перевести систему рівнянь в канонічну форму (діленням усіх складових кожного i-го рівняння на коефіцієнт при першій степені i-ї визначальної величини) та в

форму Коші (визначаючи першу похідну і-ї визначальної величини як функцію визначальних величин і керуючих дій).

2.3.4. Перетворення за Лапласом змінної часу

Перетворити за Лапласом змінну часу в усій системі рівнянь при нульових початкових умовах.

2.3.5. Визначення коефіцієнтів рівнянь, аналіз їх розмірностей

Виходячи із значень основного статичного режиму та **використовуючи канонічну форму**, обчислити коефіцієнти в системі рівнянь. Звернути увагу на їх розмірність.

2.3.6. Передатні функції за каналами збурення і керування

Записати передатні функції за каналами збурення і керування в загальному виді та в конкретних цифрах.

2.3.7 Передатні функції розширеного ТОК

Представивши передатні функції вимірювача і виконавчого механізму аперіодичними ланками 1-го порядку, навести передатні функції розширеного ТОК за каналами збурення і керування.

3. Перехідні та імпульсні перехідні характеристики розширеного ТОК

Використовуючи зворотнє перетворення Лапласа та зображення за Лапласом $1(t)$ і δ -функції, записати та побудувати графіки перехідних та імпульсних перехідних характеристик ТОК за каналами керування і збурення

4. Передатні функції за каналами збурення та керування при зміні навантаження на об'єкт

Завдаючи збільшення і зменшення навантаження (витрати основного потоку) на 20, 40 і 60%, отримати і навести конкретні значення передатних функцій.

5. Перехідні характеристики розширеного ТОК при зміні навантаження

Розрахувати і навести графіки перехідних характеристик при зміні навантаження на об'єкт

6. Порівняльна оцінка перехідних процесів в технологічному об'єкті при зміні навантаження

Навести графіки перехідних характеристик за каналами керування і збурення при номінальному навантаженні та при його зміні. Дати порівняльну оцінку динаміки цих каналів.

Всі розрахунки, як і графічну частину, бажано проводити з використанням Mathcad PRO.

3. ВКАЗІВКИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАННЯ РГР

РГР подається як в паперовому, так і електронному варіанті.

Текстовий і графічний матеріал виконується на листах формату А4 відступ 20мм з усіх боків; шрифт Times New Roman 14пт; абзац 1см; міжрядковий інтервал – одинарний. Нумерація сторінок наскрізна, знизу посередині, починаючи з 2-ї сторінки.

Зразок титульного листа наведений в Додатку А.

Вісі координат графіків повинні бути оцифровані.

Варіанти початкових даних розрахунково-графічної роботи для різних технологічних об'єктів наведені в Додатках Б – Є.

Деякі розділи РГР, у відповідності з вимогами до конкретних варіантів, можуть бути опущені або замінені іншими.

Текстовий та графічний матеріали брошуруються в папці або швидкозшивачі.

4.ЗАВДАННЯ НА РГР

Варіанти завдань на дану РГР наведені в Додатках Б –Є..

5. ПОРЯДОК ЗАХИСТУ ТА КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

Захист РГР відбувається в індивідуальному порядку шляхом представлення студентом виконаної роботи в електронному і паперовому виді.

Контрольні запитання:

- основні можливі збурення при регулюванні визначального параметру;
- які, крім вибраного для дослідження, можливі контури регулювання даного технологічного процесу;
- навіщо використовується перетворення за Лапласом змінної часу;
- чим відрізняються канонічна форма диференційного рівняння від форми Коші; в яких випадках застосовуються кожна з цих форм;
- чим відрізняється ТОК від розширеного ТОК;
- навіщо переводять змінні параметри ТОК до безрозмірного виду в їх математичних моделях;
- які параметри перехідних характеристик беруться до уваги при їх порівнянні.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматическое управление в химической промышленности: Учебник для вузов. Под ред. Е.Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987. 368с.
2. Остапенко Ю.О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування. – К.: Задруга, 1999. – 424с. ISBN 966-7405-36-2
3. Кубрак А.І. Замкнені та нелінійні системи [Текст]: навч. посіб./А.І. Кубрак, О.А. Жученко, О.В. Ситніков. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 380с. – Бібліогр.: с. 371-375. – 100 пр.
4. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с., ISBN 978-966-06-0447-6.[

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет
Кафедра технічних і програмних засобів автоматизації

Розрахункова графічна робота

з кредитного модуля «Комп’ютерне моделювання процесів і систем-2.

Математичне моделювання технологічних об’єктів і систем»

Варіант Х.Х

<Назва РГР>

Виконана

студентом гр.. ЛА-ХХ

XXXXXXXXXXXX

Прийнята _____

з оцінкою _____

Київ

2021

Варіанти 1.1-1.5

**«Процес змішування в збірнику моногідратного абсорбера у виробництві
сірчаної кислоти»**

У збірник поступають:

F1 кг/год моногідрата концентрацією c_1 % H_2SO_4 ;

F2 кг/год сушильної кислоти концентрацією c_2 % H_2SO_4 ;

F3 кг/год олеуму концентрацією c_3 % H_2SO_4 ;

F4 кг/год води.

Моногідрат зі збірника насосом подається на моногідратний абсорбер.

Параметри основного статичного режиму

№ п/ п	Назва параметру	по- зна ч	один иці вимір	Числові значення для варіантів				
				1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1	Витрата моногідрату	F1	кг/го д	35000 0	3000 00	27500 0	32000 0	28000 0
2	Витрата сушильної кислоти	F2	кг/го д	37000	3200 0	28000	32000	30000
3	Витрата олеума	F3	кг/го д	17000	1500 0	12000	20000	18000
4	Витрата води	F4	кг/го д	Визначити зі статичного режиму				
5	Конц-ція моног-ту по H_2SO_4	c_1	%	98,6	98,5	98,4	98,7	98,8
6	Конц-ція сушил-ї к-ти по H_2SO_4	c_2	%	94,0	94,5	94,6	95,0	95,5
7	Концентрація олеуму по H_2SO_4	c_3	%	104,5	103,0	102,0	101,0	104,0

8	Кількість кислоти в збірнику	G	кг	40000	3500 0	30000	40000	35000
9	Завдання по концентрації моногідрату на виході зі збірника	C *	%	98,3	98,3	98,3	98,3	98,3
10	Концентрація моногідрату на виході зі збірника стабілізується за допомогою ... при збуренні по			F2 с1	F4 с2	F2 F4	F4 F2	F2 с3

Навантаження – витрата моногідрату

Варіанти 2.1-2.3

«Процес випарювання каустику (NaOH) в випарному апараті»

3-х корпусна випарна установка використовується для випарювання $F_0=40000\text{кг/год}$ ($11,12\text{ кг/с}$) водного розчину NaOH від початкової концентрації $X_0=5\%$ до кінцевої $X_3=40\%$.

Нагрів відбувається насиченою водяною парою тиском $P_p=1,079\text{Мпа}$.

Витрата гріючої пари $F_p=3,464\text{кг/с}$.

Тиск в барометричному конденсаторі $P_{бк}=0,0147\text{Мпа}$.

Випарювання відбувається за принципом прямотоку.

Відбір екстрапари відсутній.

Розчин поступає в 1-й корпус підігрітим до температури кипіння.

Параметри основного статичного режиму

№ п/ п	Назва параметру	по- знач	один иці вимір	Числові значення для корпусів			Барометричний конденсатор
				1	2	3	
1	Продуктивність во випареній воді	w	кг/с	3,04	3,21	3,47	
2	Концентрація розчинів	x	%	6,8	11,3	40,0	
3	Температура гріючої пари	Θп	Град. С	183,2	166,3	140,6	
4	Температура кипіння розчину	Θр	Град. С	170,07	146,74	87,43	
5	Корисна різниця температур	ΔΘо	Град. С	13,13	19,56	53,17	
6	Теплові навантаження	Q	кВт	6407	6099	6896	

7	Густина розчину	ρ	кг/м ³	1062	1104	1399	
8	Поверхня теплопередачі	S	м ²	160	160	160	
9	Діаметр труб	d _н	м	0,038x0,002	0,038x0,002	0,038x0,002	
10	Висота труб	H	м	4,0	4,0	4,0	
11	Діаметр гріючої камери ВА	D _к	м	1,2	1,2	1,2	
12	Діаметр випарного апарату	D ₁	м	2,4	2,4	2,4	
13	Висота, занята киплячою рідиною в ВА	H ₂	м	2,5	2,5	2,5	
14	Тепловміст пари	i	КДж/кг	2787	2772	2741	2595
15	Теплота пароутворення	r	КДж/кг	2068	2140	2340	
16	Густина розчину	ρ_p	Кг/м ³	1062	1104	1399	
17	Питома теплоємність розчину	c _p	КДж/кг•К	3,771	3,561	2,765	
18	Густина вторинної пари	$\rho_{п}$	Кг/м ³	3,75	2,0	0,098	
19	Коефіцієнт теплопередачі	k	Вт/м ² •К	2022	1870	1673	
20	Керуюча дія	μ		F _p	F ₁	F ₃	
21	Регульована величина	ϕ		X ₁	L ₂	X ₃	
22	Збурення	λ		F ₁	F ₂	X ₂	

Навантаження – витрата початкового розчину F₀.

Варіант 2.1 відноситься до корпусу 1.

Варіант 2.2 відноситься до корпусу 2.

Варіант 2.3 відноситься до корпусу 3.

Варіанти 3.1-3.5

«Процес пилевидного випалювання колчедану у виробництві сірчаної кислоти»

Динаміка печі пилевидного випалювання колчедану досліджувалася експериментально.

При збільшенні подачі колчедану в піч з 2500 до 2890 кг/год температура газу в газоході змінювалася наступним чином:

Час, сек	0	10	20	30	40	50	60	90
Темп-ра, град.С	797	797	798	799	801	803	805	811
Час, сек	120	150	180	240	360	420	540	630
Темп-ра, град.С	817	822	827	835	846	851	854	855

Необхідно:

1. Виконати аналіз апарату як об'єкту автоматизації.
2. Прийнявши деякі спрощення, розробити математичну модель статичної і динамічної ТОК для основних визначальних параметрів.
3. Апроксимувати експериментальну перехідну характеристику

Варіант	Вид апроксимації
3.1	Аперіодичною ланкою 1-го порядку з запізненням
3.2	Двома аперіодичними ланками 1-го порядку з однаковими постійними часу
3.3	Двома аперіодичними ланками 1-го порядку з однаковими постійними часу та запізненням
3.4	Двома аперіодичними ланками 1-го порядку з різними постійними часу

3.5	Двома аперіодичними ланками 1-го порядку з різними постійними часу та запізненням
------------	---

Необхідно визначити апроксимуючу передатну функцію та дослідити вплив динамічних властивостей вимірювача і виконавчого механізму (при представленні їх аперіодичними ланками 1-го порядку з різними постійними часу) на перехідні процеси в розширеному об'єкті

Варіанти 4.1-4.6

«Біохімічний реактор для виробництва біомаси»

В біохімічний реактор поступають

- Субстрат;
- Вода для розведення субстрату;
- Аміачна вода для регулювання рН;
- Розчин солей живлення;
- Повітря для перемішування і підтримання аеробного процесу;

В внутрішній вбудований теплообмінник біохімічного реактора (ферментатора) і на його зовнішні стінки подається вода для підтримання заданої температури екзотермічного процесу вирощування біомаси.

Непарні варіанти розглядають реактор як ТОК концентрації біомаси (керуюча дія – витрата субстрату).

Парні номери варіантів розглядають реактор як ТОК температури (керуюча дія – витрата води у внутрішній дифузор).

Навантаження – витрата субстрату F_c .

Параметри основного статичного режиму

№п /п	Назва параметру	по- знач	одиниці вимір.	Числові значення для варіантів		
				4.1, 4.2	4.3, 4.4	4.5, 4.6
1	Повний об'єм	V	м ³	600	1300	1300
2	Робочий об'єм	V _p	м ³	200	320	360
3	Температура в апараті	Θ	Град.С	37	38	39
4	Витрата субстрату	F _c	м ³ /год	40	60	70
5	Витрата води на розбавлення	F _p	м ³ /год	10	20	20
6	Витрата аміачної води	F _a	м ³ /год	0,1	0,15	0,20
7	Витрата розчину солей живлення	F _c ж	м ³ /год	0,8	0,85	0,90
8	Витрата повітря	F _p	м ³ /год	10000	16000	17500
9	Витрата чистої культури	F _k	м ³ /год	періодично	періодично	періодично
10	Концентрація РВ в субстраті на вході	s ₀	%	2,3	2,4	2,5

11	Концентрація РВ після розбавлення	s_{01}	%	1,84	1,80	1,94
12	Концентрація РВ в культуральній рідині	s	%	0,15	0,17	0,18
13	Концентрація біомаси - абс. Сухої	x	Г/л	8,0	10,0	10,5
14	Вихід біомаси з РВ	Y	%	48	50	50
15	Поверхня теплообміну	S	м ²	250	290	290
16	Витрата води на охолодження БХР	F_B	м ³ /год	Знаходиться з балансу тепла		
17	Питоме тепловиділення	q	Дж/кг·с	12000	12000	12000
18	Температура в БХР	Θ	град. С	37	38	38
19	Коефіцієнт в рівнянні Моно	μ_{max}	год ⁻¹	0,508	0,50	0,51
20	Параметр в рівнянні Моно	K_s	%	0,15	0,17	0,18
21	Температура зовн. повітря	$\Theta_{п}$	град.С	20	20	20
22	Темп. субстрату на вході	Θ_0	град.С	40	40	40
23	Густина повітря	$\rho_{п}$	кг/м ³	1,293	1,293	1,293
24	Густина води	ρ_B	кг/м ³	1000	1000	1000
25	Питома теплоємність повітря	c_n	кДж/кг·град	0,939	0,939	0,939
26	Питома теплоємність води	c_B	кДж/кг·град	4,187	4,187	4,187
27	Питома теплоємність суспензії і субстрату	c	кДж/кг·град	4,190	4,190	4,190
28	Температура води охолодження на вході в БХР	Θ_{B0}	град.С	15	15	15
29	Температура води охолодження на виході з БХР	Θ_{B1}	град.С	25	25	25
30	Коефіцієнт теплопередачі з зовнішнім середовищем	$K_{зс}$	кДж/м ² ·год·град	20	20	20

Варіанти 5.1 - 5.7

«Гідролізна установка у виробництві спирту»

Гідролізна установка у виробництві спирту призначена для отримання етилового спирту та виділення сірчаної кислоти. Схема установки приведена на рисунку

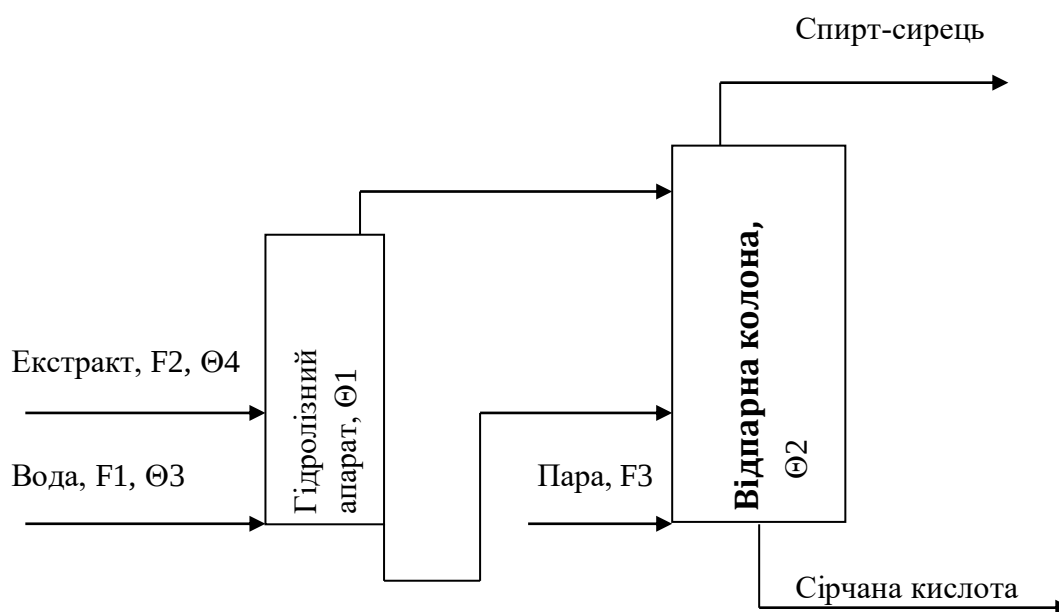


Рис.Е-1 Спрощена технологічна схема процесу отримання спирту

В нижню частину гідролізного апарату поступають екстракт і вода; продуктами реакції гідролізу є розбавлена сірчана кислота і спирт-сирець. Виділені в процесі реакції етан з етиленом, а також пари спирту з ефіром зверху гідролізного апарату поступають в паровий простір відпарної колони. Гідролізат (суміш етилового спирту, сірчаної кислоти і непрореагованої етилсірчаної кислоти) поступає у верхню частину відпарної колони. З кубу колони відводиться 40-45-процентна сірчана кислота, а пара спирту разом з газами відводяться зверху колони.

Найважливішими координатами, які характеризують нормальне протікання процесу і є зручними з точки зору простоти, надійності і точності вимірювання, є температури в гідролізному апараті $\Theta 1$ і відпарній колоні $\Theta 2$.

В таблиці Е.1 наведеної знайдені експериментальним шляхом передатні функції для деяких динамічних каналів.

Таблиця Е.1

Експериментальні передатні функції для динамічних каналів

Назва каналу	Передатна функція
Витрата води $F_1 \rightarrow$ температура в гідролізапараті θ_1	$W_{11}(p) = [2(42p+1)\exp(-50p)] / (6,56 \cdot 10^4 p^2 + 4,74 \cdot 10^2 p + 1)$
Витрата екстракту $F_2 \rightarrow$ температура в гідролізапараті θ_1	$W_{12}(p) = [0,325 \exp(-210p)] / (4,48 \cdot 10^6 p^3 + 5,33 \cdot 10^4 p^2 + 3,64 \cdot 10^2 p + 1)$
Температура води $\theta_3 \rightarrow$ температура в гідролізапараті θ_1	$W_{13}(p) = [0,4 \exp(-90p)] / (10^5 p^3 + 0,87 \cdot 10^4 p^2 + 1,7 \cdot 10^2 p + 1)$
Температура екстракта $\theta_4 \rightarrow$ температура в гідролізапараті θ_1	$W_{14}(p) = [0,55(15p+1)\exp(-300p)] / (1,61 \cdot 10^4 p^2 + 1,8 \cdot 10^2 p + 1)$
Температура в гідролізапараті $\theta_1 \rightarrow$ температура в відпарній колоні θ_2	$W_{21}(p) = [1,25 \exp(-150p)] / (25,7 \cdot 10^6 p^3 + 22,4 \cdot 10^4 p^2 + 7,15 \cdot 10^2 p + 1)$
Витрата пари $F_3 \rightarrow$ температура в відпарній колоні θ_2	$W_{23}(p) = [0,68(33p+1)\exp(-60p)] / (1,95 \cdot 10^4 p^2 + 2,61 \cdot 10^2 p + 1)$

В таблиці Е.2 наведені канали регулювання та збурення для різних варіантів розрахунково-графічної роботи.

**Канали регулювання і збурення для різних варіантів завдань на
розрахунково-графічну роботу**

Варіант	Канал регулювання	Канал збурення
6.1	Витрата води $F_1 \rightarrow$ температура в гідролізапараті θ_1	Витрата екстракту $F_2 \rightarrow$ температура в гідролізапараті θ_1
6.2	Витрата води $F_1 \rightarrow$ температура в гідролізапараті θ_1	Температура води $\theta_3 \rightarrow$ температура в гідролізапараті θ_1
6.3	Витрата води $F_1 \rightarrow$ температура в гідролізапараті θ_1	Температура екстракта θ_4 $\rightarrow$ температура в гідролізапараті θ_1
6.4	Витрата пари $F_3 \rightarrow$ температура в відпарній колоні θ_2	Температура в гідролізапараті $\theta_1 \rightarrow$ температура в відпарній колоні θ_2
6.5	Витрата пари $F_3 \rightarrow$ температура в відпарній колоні θ_2	Витрата екстракту $F_2 \rightarrow$ температура в відпарній колоні θ_2
6.6	Витрата пари $F_3 \rightarrow$ температура в відпарній колоні θ_2	Температура води $\theta_3 \rightarrow$ температура в відпарній колоні θ_2
6.7	Витрата пари $F_3 \rightarrow$ температура в відпарній колоні θ_2	Температура екстракта θ_4 $\rightarrow$ температура в відпарній колоні θ_2

Необхідно дослідити вплив динамічних властивостей вимірювача і виконавчого механізму при представленні їх аперіодичними ланками 1-го порядку на перехідні процеси в розширеному об'єкті

Зокрема, при яких значеннях постійних часу вимірювача і виконавчого механізму час перехідного процесу (досягнення 97% від нового статичного стану) збільшиться на 10%.

Варіанти 6.1-6.3

«Пароводяний теплообмінник»

Вода нагрівається насиченою парою в пароводяному теплообміннику з мідними трубками зовнішнім діаметром 19мм, товщиною стінки 1,07мм довжиною 2,44м.

Параметри основного статичного режиму

№ п/ п	Назва параметру	по- знач	одиниці вимір.	Числові значення для варіантів		
				7.1	7.2	7.3
1	Швидкість води	w	м/с	0,305	0,405	0,350
2	Середня температура води	$\theta_{\text{ср}}$	Град.С	65	60	70
3	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до води	α_1	Дж/м ² .с .град.К	764	900	800
4	Коефіцієнт тепловіддачі від гріючої пари до стінки	α_2	Дж/м ² .с .град.К	3500	3500	3500
5	Температура пари	Θ_p	Град.С	120	130	140

Регульована величина – температура води на виході з теплообмінника.

Керуюча дія – температура насиченої пари.

Збурення – швидкість води.

Додаткові дані прийняти індивідуально (за необхідності)

Навантаженням вважати швидкість води.

Дослідити вплив зміни навантаження в 20, 40 і 60% на перехідні характеристики за каналами керування і збурення.

Лінеаризація рівнянь балансів

Лінеаризація рівнянь балансів відбувається з використанням формули розкладання функції багатьох змінних в ряд Тейлора.

Функція $f(\mathbf{X})$, де $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

x_i – наступні змінні:

- *параметри стану* (регульовані і проміжні змінні);
- *керівні дії* (керівні впливи);
- *збурення*.

Функцією $f(\mathbf{X})$ позначаємо ліву і праву сторону рівняння балансу окремо.

Лінеаризацію $f(\mathbf{X})$ здійснюємо *в точці статичного режиму* $\mathbf{X}_0$, параметри якого (x_i) позначаємо індексом «0»: x_{i0} .

Залишаючи *2 складові при розкладі* $f(\mathbf{X})$ *в ряд Тейлора*, будемо мати:

$f(\mathbf{X}) \cong f(\mathbf{X}_0) + \Delta f(\mathbf{X})$, де

$$\Delta f(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f(\mathbf{X})}{\partial x_i} \right) \Big|_0 \cdot \Delta x_i$$

Якщо $f(\mathbf{X})$ в рівнянні балансів відображає різницю між отриманою і витраченою кількістю матеріалу, компоненту суміші чи енергії, то

- на основі закону збереження кількості матерії чи енергії $f(\mathbf{X}_0) = 0$, бо відображає цю різницю в статичному режимі;
- Значення параметрів x_i в статичному режимі, тобто x_{i0} , є постійними в часі $x_{i0} = \text{const}$, тому $\frac{\partial x_{i0}}{\partial t} = 0$.

Отримана чи витрачена кількість матеріалу/енергії при складанні рівнянь балансів для кожної акумулюючої ємності включає в себе ту, що

- прийшла чи відійшла з відповідними **матеріальними потоками**;
- прийшла/відійшла внаслідок **зміни фізичного стану** (випаровування/конденсація, розчинення/кристалізація і т. п.);

- прийшла/відійшла внаслідок **масообміну** в процесах сорбції (абсорбція, адсорбція, десорбція) і переходу речовини з одної акумулюючої ємності в іншу;
- прийшла/відійшла внаслідок **теплообміну**;
- прийшла/відійшла внаслідок **хімічних перетворень** і появи продуктів реакції.

В реальних апаратах для різних акумулюючих ємностей можуть бути присутніми, і це треба враховувати, **усі або тільки деякі** з наведених вище складових балансів.

Отримання передатних функцій і перехідних характеристик на основі матеріальних/енергетичних балансів

Передатні функції і перехідні характеристики динамічних каналів технологічних об'єктів керування можна отримати за наступним алгоритмом:

1. Аналіз процесу/устаткування як ТОК. Встановлюються:
 - Регульована(-і) величин (-и),
 - керуюча(-і) дія(-ї),
 - проміжна(-і) змінні величина(-и) ,
 - збурення
 - параметри стану як сукупність регульованих і проміжних змінних величин
 - акумулюючі ємності, динаміка яких істотно впливає на величини (параметри стану) процесу
 - допущення при складанні рівнянь балансів
2. Складаються рівняння матеріальних чи/і енергетичних балансів для прийнятих акумулюючих ємностей.
3. . Складається система диференціальних рівнянь, що описує ТОК
4. Складаються лінеаризовані рівняння балансів (у відхиленнях) .
5. Перетворення за Лапасом змінної часу і отримання системи лінійних рівнянь в зображеннях:.
6. Рішення методом Крамера систем рівнянь, отриманих в п.5, відносно регульованої величини, при прийнятих керуючій дії і збуренні.

7. Встановлення передатних функцій за каналами керування і збурення на основі рішень п.6 як коефіцієнтів при зображеннях відповідних відхилень.
8. Отримання перехідних характеристик за допомогою зворотного перетворення за Лапласом добутку передатної функції і зображення за Лапласом одиничної функції