

Міністерство освіти і науки України
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ІМ. О.С. ПОПОВА

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологічних процесів і виробництв

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для виконання лабораторних робіт
з дисципліни
«Інформаційні системи управління»

для магістрів
спеціальності 151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Одеса 2016

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Інформаційні системи управління»/ укл. Стопакевич А.О. – Одеса: ОНАЗ, 2016.– 72 с.

Рецензент – Кумиш В.Ю., к.т.н., ст. викл. кафедри мереж та систем поштового зв'язку

Наведені необхідні матеріали для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Інформаційні системи управління» для студентів магістратури спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Методичні вказівки містять необхідний теоретичний матеріал, контрольні питання та порядок виконання лабораторних робіт.

Ухвалено

на засіданні кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологічних процесів і виробництв
Протокол № 7 від 28.01.2016 р.

Затверджено

методичною радою академії зв'язку.
Протокол № 6 від 23.02.2016 р.

© Стопакевич А.О., 2016

© ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2016

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Варіанти завдань до циклу лабораторних робіт.....	7
1. <i>Лабораторна робота № 1. Знайомство з основними принципами роботи у САПР ТП.</i>	8
2. <i>Лабораторна робота № 2. Розрахунок ділянки виділення товарного метану в процесі розділення супутнього газу.</i>	14
3. <i>Лабораторна робота № 3. Розрахунок ділянки ректифікації в технологічному процесі розділення супутнього газу.</i>	18
4. <i>Лабораторна робота № 4. Моделювання динаміки технологічного процесу розділення супутнього газу.</i>	23
5. <i>Лабораторна робота № 5. Розробка системи автоматичного керування параметрами матеріального потоку за допомогою методу автоналаштування.</i>	30
6. <i>Лабораторна робота № 6. Отримання експериментальних статичних характеристик технологічного агрегату.</i>	35
7. <i>Лабораторна робота № 7. Отримання експериментальних динамічних характеристик технологічного агрегату.</i>	43
8. <i>Лабораторна робота № 8. Розробка системи автоматичного керування складним технологічним агрегатом з використанням експериментальної математичної моделі динаміки.</i>	49
9. <i>Лабораторна робота № 9. Розробка комп'ютерного тренажера оператора технологічного процесу.</i>	56
Перелік рекомендованої літератури.....	60
Додаток А. Призначення програмних функцій і скриптів програми дослідження технологічного агрегату.....	61
Додаток Б. Вихідний код деяких програмних функцій і скриптів.....	62
Додаток В. Вихідний код програми ідентифікації за методом Симою.....	67
Додаток Г. Вихідний код основних функцій комп'ютерного тренажера оператора технологічного процесу.....	70

Вступ

Системний підхід до дослідження та побудови інформаційних систем, окремим класом яких є системи управління технологічними процесами, передбачає не тільки вивчення закономірностей протікання цих процесів в окремих апаратах, але й аналіз виробництва в цілому з урахуванням їхньої взаємодії.

Сучасні досягнення в галузі комп'ютерної техніки та інформаційних технологій дають можливість зі значно більшою точністю розв'язувати задачі проектування та управління хімічними виробництвами. Використання комп'ютерних моделей реальних процесів і виробництв дає можливість розраховувати оптимальні режимні параметри технологічних процесів, синтезувати сучасні системи автоматизованого керування, проектувати експертні та інші прикладні інформаційні системи з елементами штучного інтелекту, розробляти комп'ютерні тренажери для підготовки операторів.

Розробка і проектування сучасних технологічних процесів, а також інформаційно-управляючих систем неможлива без застосування САПР, що не тільки забезпечуються високу точність розрахунків, а й дозволяють без значних матеріальних і часових витрат проводити дослідження. Такі модельні дослідження мають величезне значення не тільки для проектування, але і для функціонування діючих виробництв, тому що дозволяють врахувати вплив зовнішніх факторів (зміна складу сировини, зміна вимог до кінцевих і проміжних продуктів і т. п.) на показники цих виробництв.

У циклі лабораторних робіт розглядається дослідження технологічних процесів перероблення супутнього газу (насамперед отриманого при нафтопереробці) із застосуванням системного підходу до побудови інформаційних систем і сучасної системи автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП).

Апаратне оформлення технологічного процесу розподілу супутнього газу (рис. 1) складається з наступних агрегатів: низькотемпературна установка з вхідним сепаратором, теплообмінник газ/газ, холодильник, низькотемпературний сепаратор, ректифікаційна колона. Типовий склад супутніх газів : метан (0,4-0,7 мольної частки), етан, пропан, бутан, двоокис вуглецю, азот.

Вхідна суміш вологого супутнього нафтового газу надходить у сепаратор, в якому з газу відділяється рідина. Зверху сепаратора газ спрямовується в теплообмінник газ/газ, де охолоджується холодним газом. Для охолодження до потрібної температури газ спрямовується в пропановий випарник (чилер). У чилері важкі вуглеводи конденсуються для забезпечення у товарному газі необхідної точки роси. Далі потік розділяють в низькотемпературному сепараторі. Сухий холодний газ з цього сепаратора подається назад в теплообмінник газ/газ і спрямовується на реалізацію як товарний метан, що в першу чергу використовується як автомобільне паливо. Рідина, яка сконденсувалися у низькотемпературному сепараторі, змішується з рідиною з

вхідного сепаратора. Отримана суміш (молярна витрата якої складає 40-50% вхідної суміші) переробляється в ректифікаційній колоні (РК). Верхній продукт РК містить метан-етанову суміш, нижній – технічний бутан. Метан-етанова суміш може використовуватись для опалення, а технічний бутан використовується для органічного синтезу складних вуглеводних сполук.

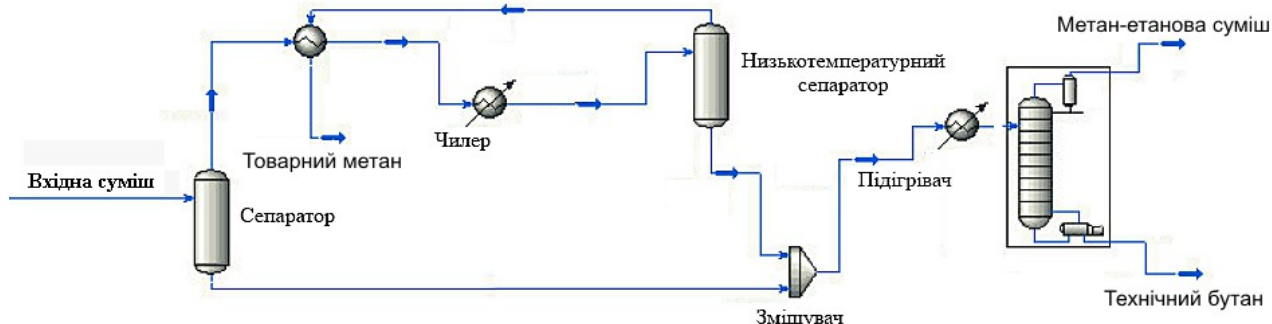


Рисунок 1 – Технологічний процес підготовки супутнього газу

Розглянутий технологічний процес можливо умовно поділити на дві автономні ділянки: виділення товарного метану та ділянку ректифікації. Для дослідження та розробки інформаційно-управляючої системи необхідно зробити наступні операції (рис. 2.):

- 1) провести технологічний розрахунок процесу у статиці;
- 2) внести дані для моделювання динаміки;
- 3) провести параметричний аналіз динамічної моделі для вибору каналів керування;
- 4) провести розробку системи автоматичного керування живленням;
- 5) провести розробку математичної моделі динаміки ректифікаційної колони;
- 6) провести дослідження статичних характеристик ректифікаційної колони, визначити допустимі межі змінних ділянки ректифікації;
- 7) провести розробку системи автоматичного керування ректифікаційною колоною;
- 8) розробити комп'ютерний симулятор технологічного процесу.

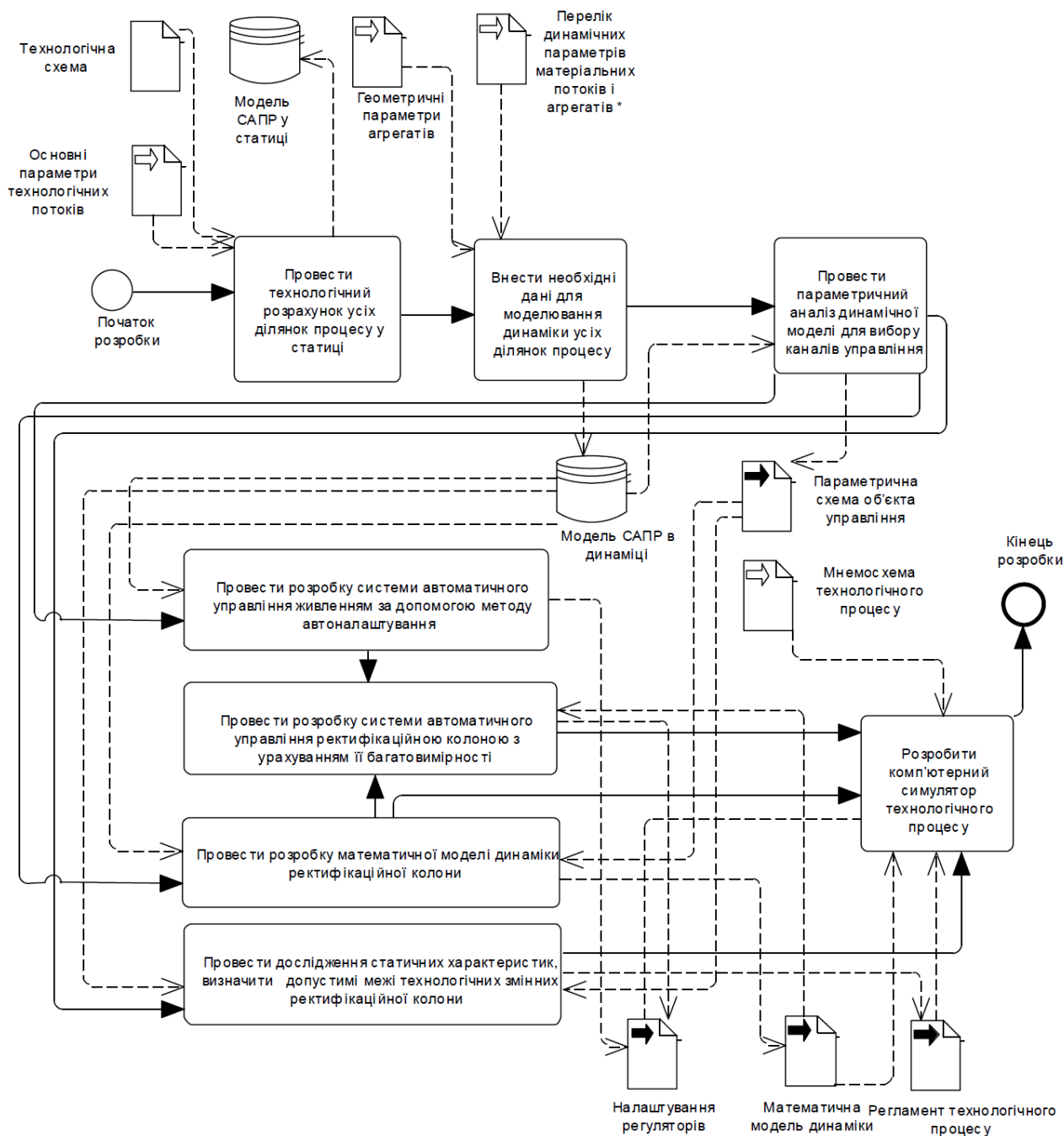


Рисунок 2 – Діаграма процесу розробки інтегрованої інформаційно-управляючої системи в нотації BPMN

- під динамічним параметром розуміється ознака (прапорець “Active”), яка означає, що головним при розрахунку динаміки апаратів є розподіл тисків у потоках та апаратах або розподіл витрат рідин.

Варіанти завдань до циклу лабораторних робіт

Цикл лабораторних робіт виконується за варіантом, що визначає параметри супутнього газу, який надходить до технологічної установки (табл.1).

Таблиця 1 – Варіанти завдань до циклу лабораторних робіт

№ варіанта	1	2	3	4	5
Масова витрата, $F \cdot 10^4$ кг/год (kg/h)	1	1,05	1,1	1,15	1,2
Температура, °C	12	12,5	13	13,5	14
Тиск, бар	40	40	40	40	40
Мольна частка					
Nitrogen (азот)	0,0132	0,0192	0,01	0,036	0,013
CO ₂ (вуглекислий газ)	0,006	0,003	0,005	0,023	0,004
Methane (метан)	0,6098	0,6572	0,6272	0,6172	0,6372
Ethane (етан)	0,0412	0,0312	0,0512	0,0425	0,0412
Propane (пропан)	0,0378	0,0678	0,083	0,082	0,075
i-Butane (ізобутан)	0,1866	0,1166	0,1166	0,0953	0,1266
n-Butane (н-бутан)	0,1054	0,105	0,107	0,104	0,103
№ варіанта	6	7	8	9	10
Масова витрата, $F \cdot 10^4$ кг/год (kg/h)	1,25	1,3	1,55	1,6	1,65
Температура, °C	14,5	15	15,5	16	16,5
Тиск, бар	40	40	40	40	40
Мольна частка					
Nitrogen (азот)	0,10	0,15	0,12	0,13	0,11
CO ₂ (вуглекислий газ)	0,051	0,041	0,031	0,042	0,032
Methane (метан)	0,5158	0,465	0,5	0,51	0,521
Ethane (етан)	0,039	0,03	0,04	0,043	0,044
Propane (пропан)	0,0320	0,0520	0,0350	0,0280	0,0350
i-Butane (ізобутан)	0,1526	0,142	0,162	0,132	0,145
n-Butane (н-бутан)	0,1096	0,12	0,112	0,115	0,113

Лабораторна робота № 1

Знайомство з основними принципами роботи у САПР ТП

Мета роботи: набути первинних навичок роботи з САПР ТП, що необхідні при виконанні будь-якого технологічного розрахунку. Побудувати графік залежності об'єму газу від температури.

1 Теоретичні посилання

В основу всіх САПР ТП закладені загальні принципи розрахунків матеріально-енергетичних балансів технологічних процесів.

Як правило, будь-який ТП складається зі стадій, на яких відбувається певне перетворення матеріальних потоків та енергії. Послідовність стадій звичайно описується за допомогою технологічної схеми, кожний апарат на якій відповідає певному процесу (або групі пов'язаних процесів). Апарати з'єднуються матеріальними і енергетичними потоками.

Будь-яка САПР ТП включає набір підсистем, які забезпечують моделювання технологічних процесів:

- пошук термодинамічних даних чистих речовин і засобів, що дозволяють обирати певні речовини для опису складу сумішей;
- ввід даних лабораторного аналізу вуглеводневих сумішей, головним чином – нафти та газоконденсатів;
- методи розрахунку термодинамічних властивостей речовин, таких як коефіцієнт фазової рівноваги, ентальпія, ентропія, густина, розчинність газів і твердих речовин у рідинах та ін.;
- параметричне моделювання окремих технологічних апаратів;
- засоби для формування технологічних схем з окремих елементів;
- засоби для розрахунку технологічних схем, що складаються зі значної кількості елементів, певним чином з'єднаних між собою.

Перевагами найбільш досконалих САПР ТП є зручний графічний інтерфейс, точні термодинамічні моделі, велика база даних (в найрозвиненіших – наявність понад 20 різних методів розрахунку термодинамічних і фізичних властивостей, понад 2000 бібліотечних компонентів, понад 16000 пар бінарних коефіцієнтів), можливість моделювання динаміки і систем автоматичного керування (САК), вбудована мова програмування, відкрита архітектура.

Розглянемо загальну послідовність етапів роботи у САПР ТП:

1. По-перше необхідно створити проект (Case) технологічного процесу.
2. Після створення проекту необхідно створити так називаний пакет потоків (fluid package), що є базою даних параметрів, необхідних для подальших технологічних розрахунків.
3. Останній етап – перехід у середовище моделювання (Simulation Flowsheet), за допомогою якого проводиться моделювання технологічного процесу.

Опишемо більш докладно основні поняття САПР ТП.

Проект технологічного процесу (Case) – файл, що містить базові налаштування (перелік компонентів, пакет рівнянь стану тощо), технологічні схеми з потоками й агрегатами, електронні таблиці й макроси.

Пакет потоків (Fluid Package) – база даних, що містить інформацію про всі властивості доданих в проект компонентів (реальних чи гіпотетичних хімічних речовин), обраних хімічних реакцій, внесених даних лабораторних досліджень.

Середовище моделювання (Simulation Environment) – основний компонент САПР ТП, в якому відбувається моделювання технологічних схем з використанням пакетів потоків, розробка макросів і скриптів, формування електронних таблиць для обміну даними.

Технологічна схема (PFD, Process Flow Diagram) – схема, за допомогою маніпуляції з якою проводяться розрахунки необхідних технологічних агрегатів, матеріальних і енергетичних потоків у відповідності з обраною системою одиниць вимірювань.

Матеріальний потік (Material Stream) – потік реальної рідини чи газу. Для характеристики матеріального потоку необхідно задати чотири його властивості. Обов'язково необхідно задати молярні чи масові частки компонентів потоку (Composition) і масову чи молярну витрату (Mass/Molar Flow). Також необхідно задати температуру (Temperature) цих компонентів, тиск (Pressure), частку парової фази (Vapor phase). Коректно заповнений матеріальний потік позначається синьою лінією, некоректно – світло-блакитною.

Енергетичний потік (Energy Stream) – потік віртуального теплоносія, що використовується для того, щоб уникнути докладного конструктивного розрахунку допоміжних технологічних агрегатів (в першу чергу теплообмінників).

Стаціонарний режим (Steady State, ) – режим середовища, в якому розраховуються параметри технологічних схем у статиці.

Динамічний режим (Dynamics Mode, ) – режим середовища, в якому відбувається моделювання динамічної зміни параметрів, розрахованих у стаціонарному режимі технологічних схем.

Розв'язник (Solver) та *інтегратор* (Integrator) – компоненти САПР ТП, що проводять математичні розрахунки при зміні вхідних даних відповідно в стаціонарному і динамічному режимах. Ці компоненти мають два режими: активний (зелений) і вимкнений (червоний).

В активному режимі розв'язника при кожній зміні вхідного параметра робиться повний перерахунок усіх параметрів технологічної схеми, у вимкненому – такий перерахунок не проводиться. При роботі у стаціонарному режимі потрібно постійно звертати увагу на режим розв'язника, оскільки після невірних введення даних розв'язник автоматично переходить у вимкнений режим і далі після вводу нових даних розрахунків не проводиться.

В активному режимі інтегратора відбувається моделювання динаміки, у вимкненому – моделювання припиняється. Більш докладно про інтегратор інформація надана в теоретичних посиланнях до лабораторної роботи № 4.

2 Контрольні питання

1. В чому полягає системний підхід до дослідження та побудови інформаційних систем технологічних процесів?
2. Для чого застосовують САПР ТП? Дайте приклади застосування.
3. Які властивості необхідно задавати для матеріальних потоків?
4. Для чого застосовуються енергетичні потоки?
5. Чим відрізняється стаціонарний і динамічний режим функціонування середовища САПР ТП?

3 Домашнє завдання

Підготувати протокол відповідно до вимог п. 5.

4 Завдання на дослідження

- 1 Виконайте запуск САПР ТП.

6. Створіть новий проект (виберіть пункт меню "File → New case" або натисніть Ctrl+N).

7. У менеджері базових параметрів моделювання (Simulation Basis Manager) перейдіть у вкладку компонентів (Components) і натисніть кнопку «Додати» (Add).

8. Заповніть список компонентів матеріальних потоків. У текстовому полі "Match" послідовно знайдіть і додайте наступні компоненти: Nitrogen, CO₂, Methane, Ethane, Propane, i-Butane, n-Butane. Додавання у список вибраних компонентів ("Selected Components") знайденого компоненту проводиться шляхом натиснення кнопки "Add Pure" (додати чистий компонент). Приклад заповнення списку компонентів показано на рис. 3.

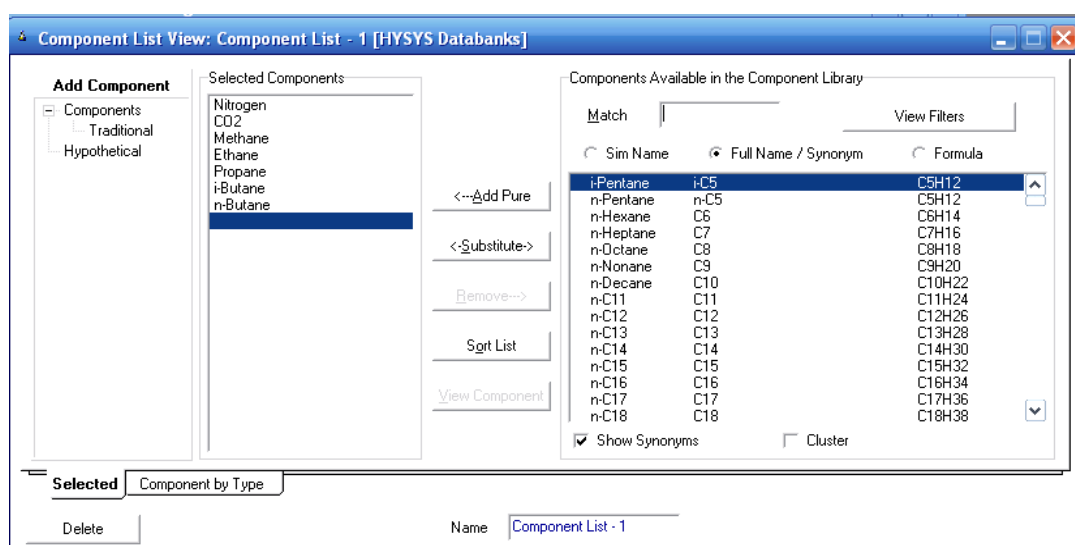


Рисунок 3 – Заповнене діалогове вікно списку компонентів

Закрийте діалогове вікно. У менеджері базових параметрів моделювання перемкніться у вкладку вибору пакета рівнянь для розрахунку фазових станів потоків (Fluid Pkgs). Натисніть кнопку "Add" (дати) і додайте пакет рівнянь "Peng-Robinson" і закрийте діалог.

9. Перемкніться в режим побудови технологічної схеми за допомогою кнопки "Enter Simulation Environment" (Перейти в середовище моделювання).

10. Перейдіть до звичних одиниць виміру – в пункт меню "Tools" → "Preferences",

виберіть вкладку

"Variables", в ній

виберіть зі списку

"Units" (одиниці)

варіант "EuroSi"

(одиниці системи Сі з деякими виключеннями для зручності інженерів країн Європи).



Рисунок 4 – Інструмент «матеріальний потік» на панелі інструментів

11. Додайте на технологічну схему матеріальний потік з ідентифікатором "Feed" (Живлення). Для цього виберіть його з вікна інструментів і помістіть в основне вікно. Якщо вікно інструментів приховане – натисніть F4.

12. Клацніть два рази по матеріальному потоку мишею й установіть наступні властивості потоку у вкладці робочої таблиці (Worksheet). Приклад заповнення параметрів матеріального потоку з перекладом значення кожного параметра показані на рис. 5. Масову витрату, температуру і тиск вкажіть за варіантом (варіанти наведені на с. 7). Інші параметри будуть розраховані після виконання наступного пункту.

Stream Name	V	Feed	Vapour/Phase Fraction - потік знаходиться в
Vapour / Phase Fraction		0.8833	стані газу (повністю газовий потік - 1) або
Temperature [C]	V	15.60	рідини (повністю рідинний потік - 0).
Pressure [bar]	V	44.50	Temperature – температура, °C
Molar Flow [m3/d [gas]]		2.920e+005	Pressure – тиск, бар
Mass Flow [kg/h]	V	1.300e+004	Molar Flow - молярна витрата, м³/день
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]		34.18	Mass Flow - масова витрата, кг/год
Molar Enthalpy [kcal/kgmole]		-2.122e+004	Std Ideal Liq Vol Flow - об'ємна витрата,
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]		148.0	м³/год
Heat Flow [kcal/h]		-1.092e+007	Molar Entalphy - молярна ентальпія,
Сині (V) - параметри матеріального			ккал/кмоль
потіку, що вводяться			Molar Entropy - молярна ентропія, кДж/
чорні – розраховані САПР ТП			(кДж·°C)
			Heat Flow - теплова витрата, ккал/год

Рисунок 5 – Приклад заповнення параметрів матеріального потоку "Feed"

13. Установіть молярні частки компонентів у потоці у вкладці робочої таблиці "Composition" згідно з рис. 6. Закрийте діалогові вікна і поверніться до набору технологічної схеми.

14. Після додавання матеріального потоку можливо досліджувати його властивості за різних заданих параметрів. Для цього САПР ТП має ряд інструментів. Проведемо дослідження залежності молярного об'єму (Molar Volume) від заданої температури. Для цього перейдемо в книгу даних

(Databook) за допомогою поєднання клавіш клавіатури Ctrl+D або пункту меню “Tools” → “Databook”.

15. У вкладці “Variables” діалогового вікна “Databook” натисніть на кнопку “Insert” (вставити). В діалозі “Variable Navigator” (навігатор змінних) в списку “Object” (об’єкт) оберіть потік “Feed”, в списку “Variable” (змінна) – “Molar volume” (молярний об’єм). Далі натисніть кнопку “Add” (додати), оберіть другу змінну “Temperature” (температура) і натисніть кнопку “Close” (закрити).

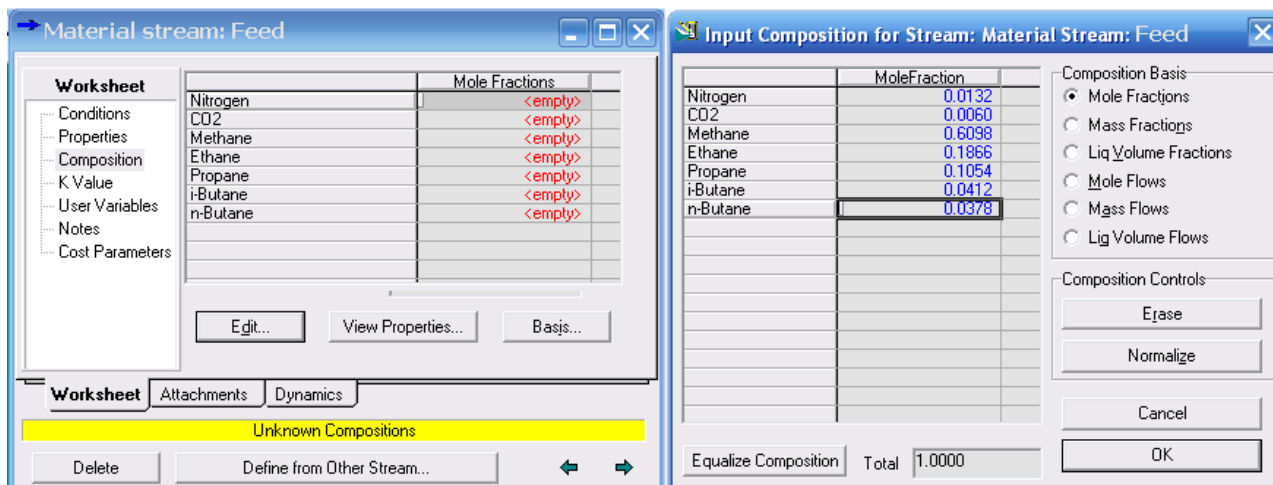


Рисунок 6 – Заповнення молярних часток компонентів потоку Feed

16. Перейдіть у вкладку “Case studies” (дослідження випадків) і натисніть кнопку “Add”. Заповніть діалогове вікно відповідно до рис. 7.

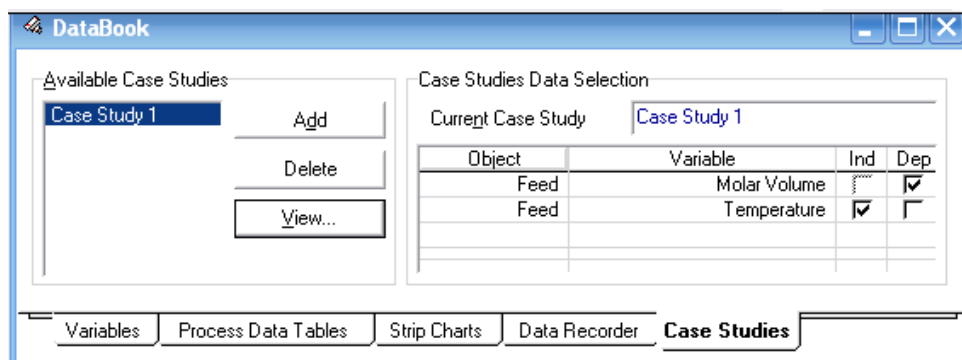


Рисунок 7 – Вкладка “Case Studies” вікна “Databook”

17. Натисніть на кнопку “View”. Заповніть діалогове вікно, що з’явиться, відповідно до рис. 8. Таким чином буде підготовлено запит на графік залежності молярного об’єму суміші потоку “Feed” від температури в діапазоні 10..50 °C з кроком 5 °C.

18. Натисніть на кнопку “Start” (запуск), потім на кнопку “Results” (результати). В результаті з’явиться вікно з графіком, що подібний з показаним на рис. 9.

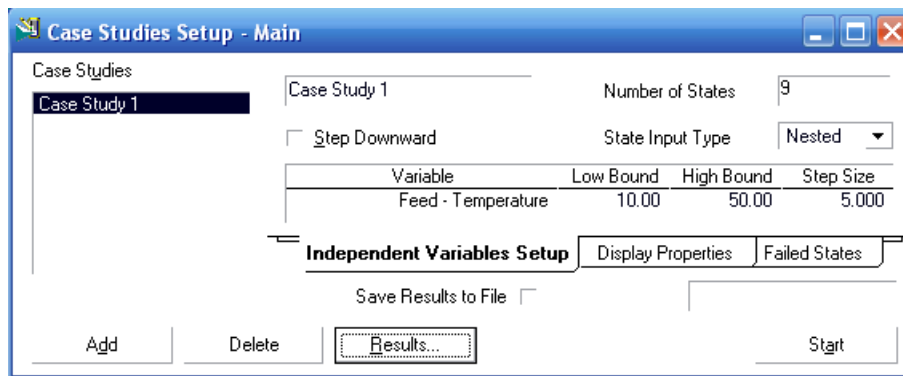


Рисунок 8 – Діалог задавання діапазону вхідних даних графіка залежності

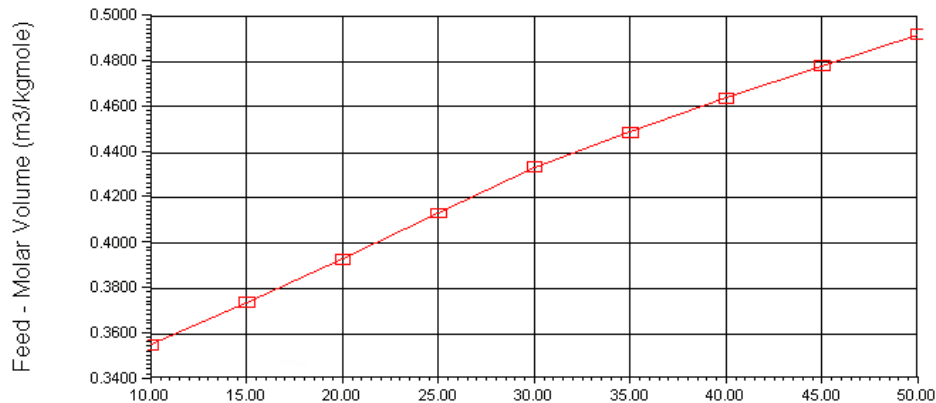


Рисунок 9 – Графік залежності молярного об'єму метану від температури

19. Збережіть розроблений проект (поєднання клавіш клавіатури Ctrl+S) з іменем lab1.

5 Зміст протоколу

Протокол лабораторної роботи оформлюється на аркушах паперу формату A4 і повинен містити назву лабораторної роботи, відповіді на контрольні питання, хід виконання завдання на дослідження, копію екрана з властивостями матеріального потоку “Feed”, отриманий графік залежності молярного об'єму потоку Feed від температури.

оскільки використовує стандартний парокомпресійний цикл для охолодження рідин.

Основні принципи розрахунку розглянутих технологічних агрегатів наведені в [1].

2 Контрольні питання

- 1 Для чого застосовуються сепаратори? Дайте основні дані та формули, що необхідні для розрахунку сепараторів.
 20. Для чого застосовуються теплообмінники? Назвіть основні конструктивні параметри теплообмінників.
 21. Як розраховується коефіцієнт теплопередачі та площа поверхні теплообміну теплообмінника?
 22. Для чого застосовуються чилери? Назвіть основні конструктивні параметри чилерів.
 23. Дайте класифікацію змішувачів, що застосовуються в промислових технологічних процесах.

3 Домашнє завдання

Підготувати протокол відповідно до вимог п. 5.

4 Завдання на дослідження

- 1 Зробіть копію останнього збереженого проекту у файл lab2 і відкрийте його. Зверніть увагу, що при виникненні помилок розв'язник вимикається і після корекції невірно введених параметрів його необхідно вмикати вручну.
 24. Додайте на технологічну схему сепаратор (Separator) після потоку "Feed" і дайте для нього ім'я "V-100". У властивостях сепаратора як вхідного потоку вкажіть потік "Feed". У верхньому (газовому) потоці сепаратора вкажіть ім'я нового потоку "SepVar", в нижньому (рідкому) – "SepLiq". Для того, щоб новий потік був створений – натисніть клавішу "Enter" в текстовому полі після введення його імені. Закрийте діалогове вікно властивостей.
 25. Додайте на технологічну схему вентиль (Valve) й установіть для нього ім'я "VLV-100". У вкладці властивостей вентилію "Design" введіть ім'я вхідного потоку "SepLiq", вихідного – "SepExit". Перейдіть до меню "Parameters" й введіть величину перепаду тиску (Delta P) величиною в 1 бар. Закрийте діалогове вікно властивостей.
 26. Додайте на технологічну схему теплообмінник (Heat Exchanger) й установіть для нього ім'я "E-100". У вкладці "Design", пункт "Connections" вкажіть, що в трубний простір (Tube Side Inlet) входить потік "SepVar", виходить – "CoolGas". У міжтрубчатий простір (кожух) входить потік "LTSVar" (газовий потік низькотемпературного сепаратора), виходить – "SalesGas" (газ на продаж). Перейдіть у цій же вкладці до пункту "Parameters". Вкажіть тип математичної моделі – "Exchanger Design (Weighted)". Далі в цій же вкладці перейдіть до пункту "Specs" і вкажіть параметри теплообмінника відповідно до рис. 11. Закрийте діалогове вікно.

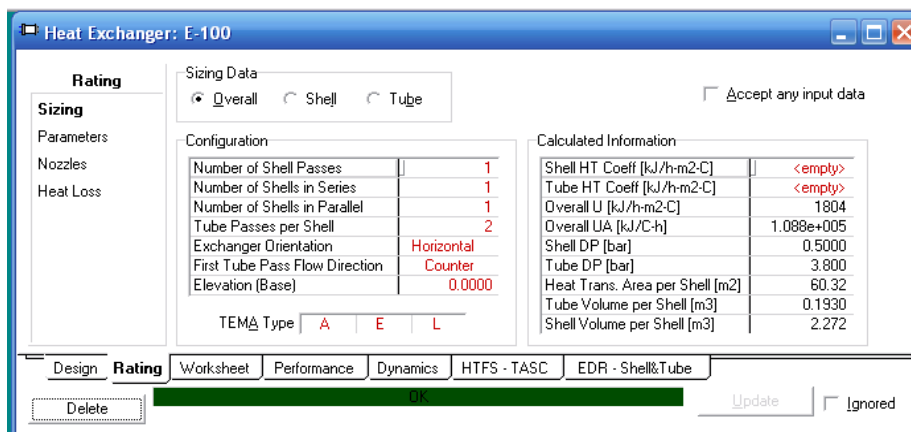


Рисунок 11 – Заповнені параметри теплообмінника E-100

27. Додайте на технологічну схему чилер як холодильник (Cooler) й установіть для нього ім'я “E-102”. У вкладці властивостей “Design” (пункт “Connections”) назвіть ім'я вихідного потоку (Outlet) – “ColdGas”, ім'я вхідного потоку (Inlet) – “CoolGas”. Ім'я енергетичного потоку (Energy) – “ChillerDuty”. У тій же вкладці в пункті “Parameters” вкажіть перепад тиску (Delta P) – 0,7 бар.

28. Задайте наступні параметри доданих матеріальних потоків. Для “ColdGas”: температура – -13,25 °C і тиск – 40 бар. Для “SalesGas”: температура – температура потоку “Feed” і тиск – 39,5 бар.

29. Додайте на технологічну схему сепаратор з ім'ям “LTS”. Назвіть ім'я вхідного потоку – “ColdGas”, вихідного газового потоку – “LTSVap”, вихідного рідкого потоку – “LTSLiq”. Потрібно переконатись, що теплообмінник “E-100” розрахований вірно (його колір не червоний).

30. Додайте вентиль й установіть для нього ім'я “VLV-101”. Назвіть ім'я вхідного потоку “LTSLiq”, ім'я вихідного потоку – “LTSExit”. Вкажіть такий перепад тиску щоб тиск потоку “LTSExit” став рівним 39 бар. Скоректуйте перепад тиску вентиля VLV-100 так, щоб тиск потоку “SepExit” був так само 39 бар.

31. Додайте змішувач (Mixer) й установіть для нього ім'я “MIX-100” (рис. 12). Назвіть вхідні потоки з іменами “LTSExit”, “SepExit”. Назвіть ім'я вихідного потоку “TowerInlet”. Необхідно переконатись, що обидва вхідні потоки мають тиск 39 бар.

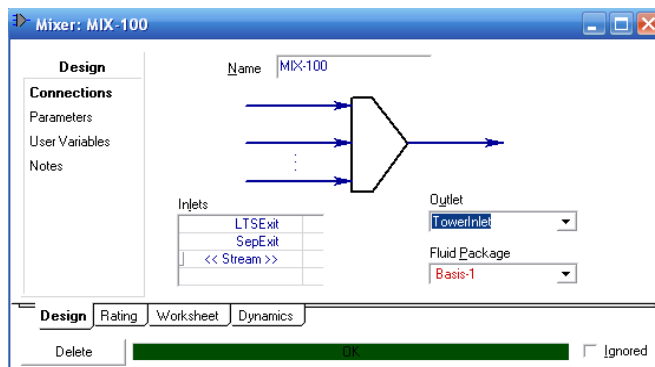
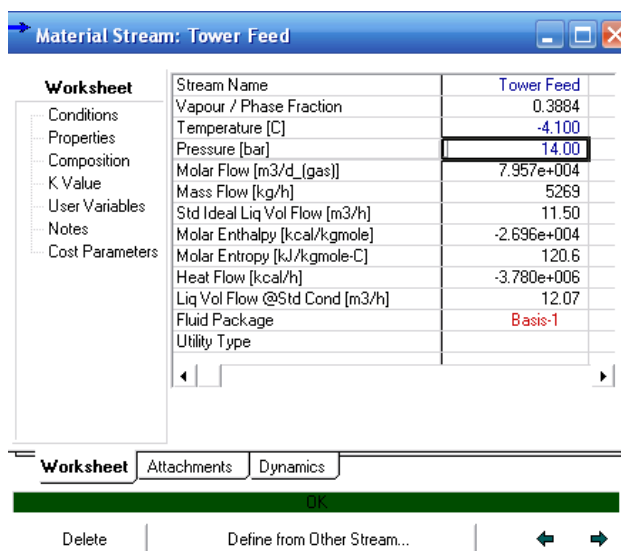


Рисунок 12 – Діалогове вікно властивостей змішувача MIX-100

32. Додайте на технологічну схему клапан між потоками "TowerInlet" і "Tower In", установіть для нього ім'я "VLV-102". Після потоку "Tower In" установіть підігрівач (Heater) і зв'яжіть його з потоком "Tower Feed" й енергетичним потоком "HeaterDuty". Установіть ім'я підігрівача – "E-101", перепад тиску – 1 бар. Підберіть таке значення перепаду тиску клапана "VLV-102" (приблизно в діапазоні 22..28 бар), щоб тиск потоку "Tower Feed" був 14 бар. Температуру потоку "Tower Feed" установіть рівним -4,1 °C. Приклад заповнення параметрів потоку "Tower Feed" (після проведеного коректного розрахунку) показано на рис. 13.



Material Stream: Tower Feed	
Stream Name	Tower Feed
Vapour / Phase Fraction	0.3884
Temperature [C]	-4.100
Pressure [bar]	14.00
Molar Flow [m3/d_(gas)]	7.957e+004
Mass Flow [kg/h]	5269
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	11.50
Molar Enthalpy [kcal/kgmole]	-2.696e+004
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	120.6
Heat Flow [kcal/h]	-3.780e+006
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	12.07
Fluid Package	Basis-1
Utility Type	

Рисунок 13 – Приклад розрахованих параметрів матеріального потоку "Tower Feed"

33. Ознайомтесь зі складом потоків у технологічній схемі. Для цього перейдіть до робочого зошиту (Workbook) за допомогою використання з'єднання клавіш клавіатури Ctrl+W.

34. Збережіть розроблений проект (з'єднання клавіш клавіатури Ctrl+S) з іменем lab2.

5 Зміст протоколу

Протокол лабораторної роботи оформлюється на аркушах паперу формату A4 і повинен містити назву лабораторної роботи, відповіді на контрольні питання, копію екрану з результативною технологічною схемою та розраховані параметри потоків з робочого зошита (п. 11).

Лабораторна робота № 3

Розрахунок ділянки ректифікації в технологічному процесі розділення супутнього газу

Мета роботи: навчитись застосовувати САПР ТП для розрахунку параметрів статичного складного технологічного агрегата – ректифікаційної колони.

1 Теоретичні посилання

Отримана з попередньої ділянки суміш переробляється в невеликій ректифікаційній колоні (РК), яка працює під тиском 1-2 МПа. В результаті переробки отримується верхній продукт – метан-етанова суміш і нижній – технічний бутан.

Метою розрахунку ректифікаційної колони є визначення її основних технологічних параметрів і геометричних розмірів, які забезпечують задану продуктивність і чіткість розділу продукту. Розрахунок колони повинен забезпечити оптимальну конструкцію при мінімальних витратах на її спорудження та експлуатацію.

Розрахунок поділяється на технологічний і гідравлічний. На підставі технологічного розрахунку визначається такий режим роботи колони, який забезпечив би задану якість розділу вихідного продукту. На підставі гідравлічного розрахунку визначаються розміри колони та її внутрішніх пристроїв, які забезпечують заданий розподіл вихідного продукту.

Технологічний розрахунок колони включає:

- 1 Вибір технологічної схеми розподілу: повна чи неповна ректифікація в залежності від вимог до ступеня очищення.

35. Вибір способу обігріву колон: за допомогою ребойлера (кип'ятильника), який підігріває нижній продукт і повертає його на певну тарілку ректифікаційної колони, чи за допомогою окремої подачі пари на нижні тарілки ректифікаційної колони.

36. Визначення флегмового числа. Зрошення (флегма колони) здійснюється за допомогою конденсату пари, що виходить із верхньої частини колони. Відношення кількості гарячого (при температурі конденсації) зрошення або флегми до повної кількості дистилату називається флегмовим числом.

37. Складання матеріального балансу колони. Рівняння матеріального балансу дають можливість установити залежність, яка зв'язує сполуки зустрічних потоків флегми й пари в будь-якому поперечному перетині колони.

38. Установлення співвідношення потоків пари та рідини й визначення числа теоретичних тарілок.

39. Складання теплового балансу, на підставі якого визначаються витрата грючої пари, яка надходить до колони, і кількість води або іншого холодоагента, необхідного для відведення тепла для конденсації пари, що виходить з колони.

40. Вибір типу тарілок. При виборі типу тарілки необхідно в першу чергу враховувати питому продуктивність тарілки, її ефективність,

економічність конструкції, а також здатність забезпечити оптимальні умови роботи колони для різних технологічних процесів.

41. Гідравлічний розрахунок. ККД тарілки залежить від гідродинамічних умов на тарілці, тому усталена робота буде відповідати таким навантаженням щодо пари і рідини, за яких досягається найбільш інтенсивний їхній контакт й висока ефективність. Цій умові повинен відповідати режим роботи тарілки, за якого пара рівномірно проходить по всій площі тарілки, а рідина зливається через переливний пристрій. Відстань між тарілками в першу чергу визначається необхідністю створити умови для оптимального контакту пари та рідини.

Більш докладну інформацію про розрахунок та моделювання ректифікаційних колон див. в [1-3].

2 Контрольні питання

- 1 Для чого проводиться переробка суміші в ректифікаційній колоні розглянутого технологічного процесу?
42. Дайте класифікацію типів ректифікаційних колон.
43. Що включає технологічний розрахунок ректифікаційних колон?
44. Що включає гідравлічний розрахунок ректифікаційних колон?
45. В чому перевага застосування САПР ТП для розрахунку ректифікаційних колон?

3 Домашнє завдання

Підготувати протокол відповідно до вимог п. 5.

4 Завдання на дослідження

- 1 Зробіть копію останнього збереженого проекту у файл lab3 і відкрийте його.
46. Додайте ректифікаційну колону (РК, Distillation Column) до технологічної схеми. Перейдіть до властивостей доданої РК. При першому виклику властивостей буде викликаний майстер налаштування параметрів, що виконується п'ятьма кроками.
47. На першому кроці (рис. 14) вкажіть наступні параметри: кількість тарілок (Stages) – 10, імена потоків і параметри РК назвіть відповідно до рисунка 14. Перейдіть на наступний крок налаштування (кнопка "Next").

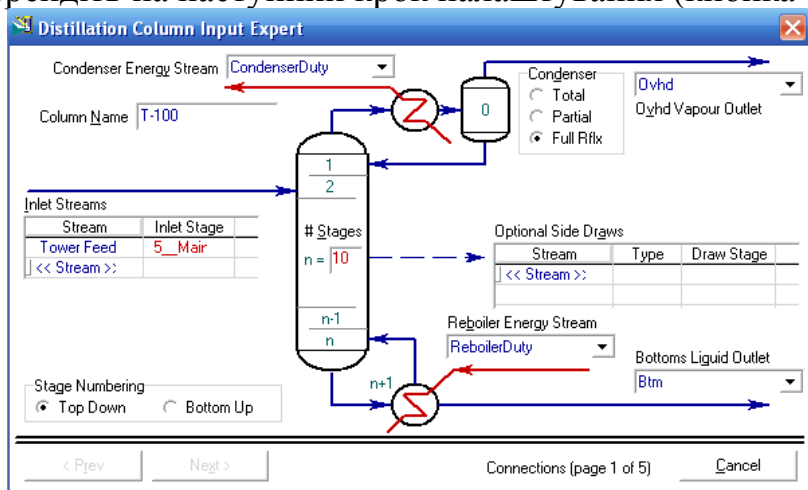


Рисунок 14 – Налаштування потоків ректифікаційної колони

48. На другому кроці залиште стандартні параметри налаштування ребойлера (кип'ятильника). Перейдіть на наступний крок налаштування.

49. На третьому кроці вкажіть тиск конденсатора (Condenser Pressure) – 13,91 бар, тиск ребойлера (Reboiler Pressure) – 13,95 бар. Перейдіть на наступний крок налаштування.

50. На четвертому кроці вкажіть оцінену температуру верха (Optional Top Stage Temperature Estimate) 35,5 °C. Перейдіть на наступний крок налаштування.

51. На п'ятому кроці вкажіть флегмове число (Reflux Rate) – 1. Закрийте

Name	Propane Frac
Stage	Reboiler
Flow Basis	Mole Fraction
Phase	Liquid
Spec Value	2.000e-002
Components:	Propane
	<< Component >>
Target Type	Stream ☐ Stage ☒
Parameters Summary Spec Type	

Рисунок 15 – Визначення бажаної мольної частки пропану в ребойлері майстер налаштування, натиснувши на кнопку “Done” (виконано).

52. Після закриття майстра потрібно визначити ще низку параметрів РК, значення яких достатнє для вирішення оптимізаційного завдання. Для цього перейдіть в меню “Specs” (специфікації) вкладки “Design”.

53. Натисніть на кнопку “Add”. У діалоговому вікні "Add Specs" (додати специфікації) виберіть пункт "Column Component Fraction" (частка компоненту в колоні). Задайте бажану мольну частку пропану в ребойлері РК відповідно до рис. 15.

Таким чином, в діалозі буде додано 5 параметрів, за двома з яких буде проводитись оптимізаційний розрахунок: флегмове число (Reflux Rate) і мольна частка пропану в рідині ребойлера (рис. 16). Інші параметри слід виставити відповідно до табл. 2. Послідовно обирайте кожен пункт списку “Column Specifications” і виставляйте прапорці напроти параметрів “Active” й “Use as Estimate” відповідно до таблиці.

54. Для розрахунку колони натисніть кнопку "Run". В результаті розрахунку повинен вийти статус “Converged” (Рішення сходиться). Для перегляду розрахованих результатів зручно перемкнутись у вкладку “Monitor” (рис. 17). У разі, якщо результат не буде отримано, необхідно переконатись, що значення “Degree of Freedom” (ступені свободи) дорівнює 0. Якщо ні – умови оптимізаційного розрахунку задані некоректно.

Таблиця 2 – Необхідні параметри для оптимізаційного розрахунку РК

№	Найменування (Спец)	Переклад найменування	Використовується в оптимізаційному розрахунку (Active)	Використовується для оцінки (Use as Estimate)
1	Reflux Ratio	Флегмове число	X	X
2	Ovhd Vap Rate	Витрата пари		

3	Reflux Rate	Витрата флегми		X
4	Btm Prod Rate	Витрата кубового продукту		X
5	Propane Frac	Мольна частка пропану	X	X

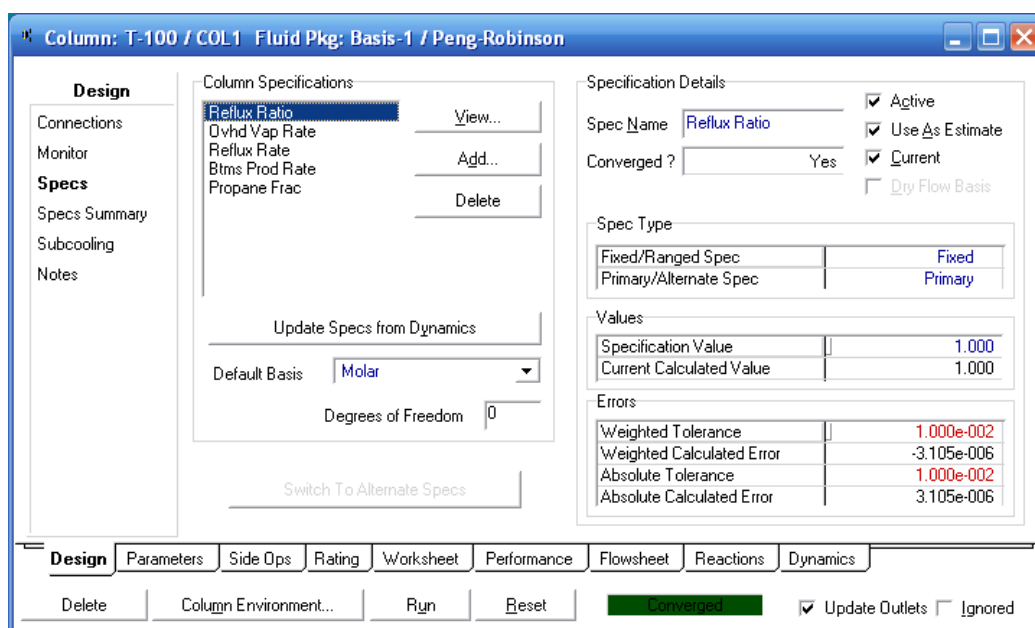


Рисунок 16 – Задавання параметрів для оптимізаційного розрахунку

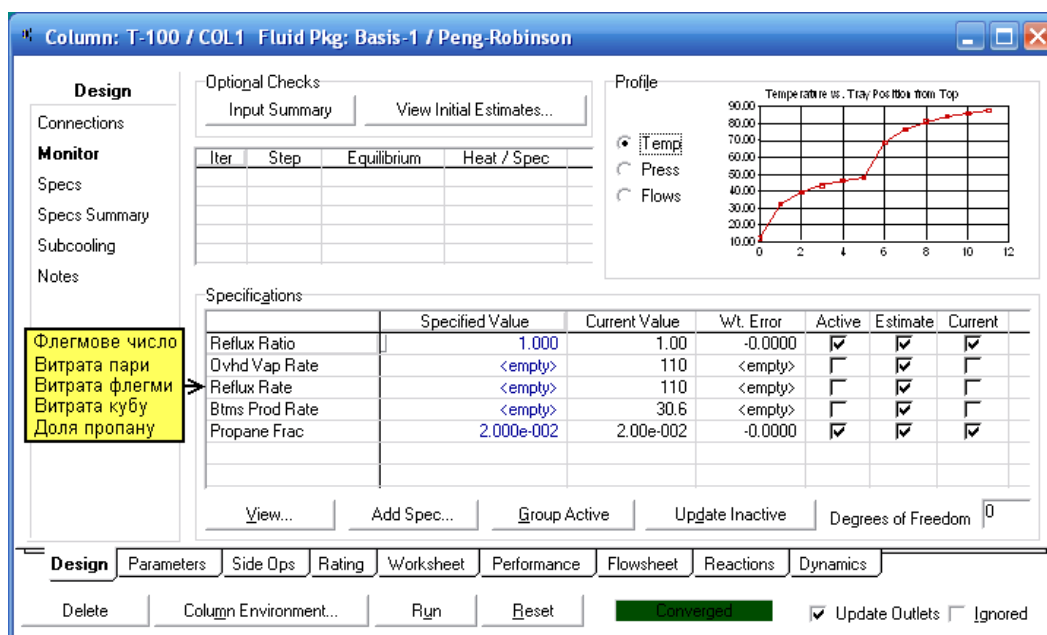


Рисунок 17 – Результат виконання оптимізаційного розрахунку

55. Ознайомтесь зі складом потоків у РК. Для цього перейдіть до робочого зошиту (Workbook) за допомогою використання з'єднання клавіш клавіатури Ctrl+W й оберіть колону з ім'ям "T-100".

56. Ознайомтесь з профілями температури, тиску, концентрації на тарілках РК. Для цього перейдіть до вкладки "Performance" властивостей РК й оберіть пункт "Plots" (графіки). Далі можливо обрати потрібний параметр і натиснути

на кнопку “View graph” (переглянути графік). Приклад температурного профілю РК показаний на рис. 18.

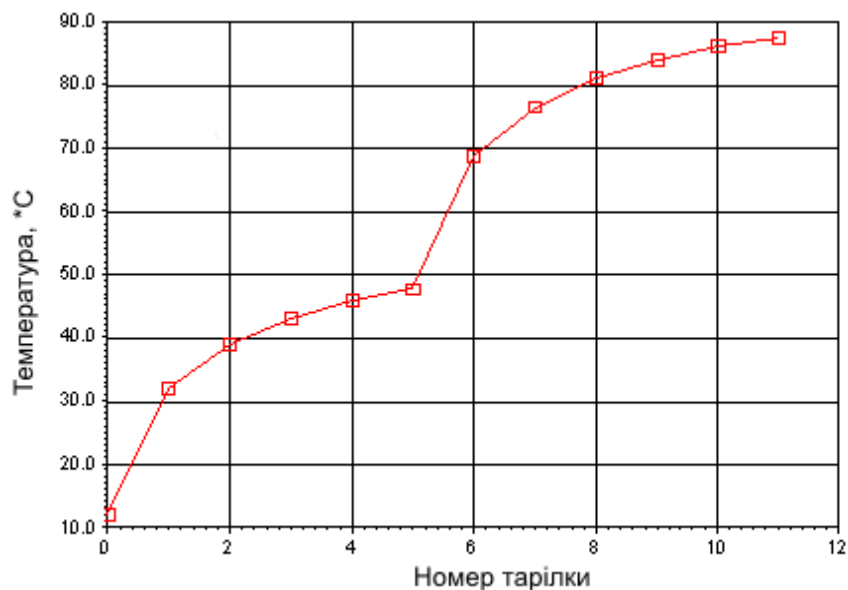


Рисунок 18 – Приклад температурного профілю РК

57. Збережіть розроблений проект (з'єднання клавіш клавіатури Ctrl+S) з іменем lab3.

5 Зміст протоколу

Протокол лабораторної роботи оформлюється на аркушах паперу формату A4 і повинен містити назву лабораторної роботи, відповіді на контрольні питання, копію екрана з результативною технологічною схемою та розрахованими параметрами потоків РК з робочого зошиту (п. 11), а також профілі тиску, температури та концентрації за тарілками РК (п. 12).

Лабораторна робота № 4

Моделювання динаміки технологічного процесу розділення супутнього газу

Мета роботи: навчитись застосовувати САПР ТП для моделювання динаміки технологічного процесу та аналізу перехідних процесів.

1 Теоретичні посилання

Моделювання динаміки технологічного процесу в САПР ТП дозволяє:

- досліджувати перехідні процеси при змінах параметрів потоків і технологічних агрегатів;
- будувати графіки статичних залежностей на основі встановлених значень перехідних процесів;
- розробляти структуру системи автоматичного керування на основі результатів аналізу перехідних процесів;
- проводити ідентифікацію отриманих перехідних процесів з метою побудови математичної моделі динаміки для синтезу систем автоматичного керування;
- досліджувати якість роботи розроблених системи автоматичного керування при заданих збуреннях (за допомогою вбудованих блоків регуляторів і механізмів міжпрограмної взаємодії);
- досліджувати якість роботи алгоритмів пуску, контролю та зупинки із використанням макросів чи механізмів міжпрограмної взаємодії, виявляти потенційні можливості аварійних ситуацій;
- розробляти комп'ютерні тренажери, що взаємодіють з САПР ТП за допомогою механізмів міжпрограмної взаємодії.

Використовуючи САПР ТП можливо провести повноцінне моделювання динаміки технологічного процесу на базі проведеного розрахунку його параметрів у статиці. Для розв'язання системи диференціальних рівнянь використовується зворотний метод Ейлера. Загальний матеріальний баланс, енергетичний баланс та компонентний баланси розраховуються з різними інтервалами часу. Так, загальний матеріальний баланс розраховується при кожному кроці, енергетичний – кожену секунду, а компонентний – кожні десять кроків. Це дозволяє досягти балансу між швидкістю та точністю моделювання. Зовнішній вигляд діалогового вікна налаштування інтегратора САПР ТП показано на рис. 19.

Повноцінне математичне моделювання динаміки технологічного процесу в САПР ТП не може бути проведено без додавання блоків регуляторів, що підключаються до технологічних потоків, оскільки за допомогою їх можливо проводити зміну технологічних параметрів в часі.

Таким чином, для повноцінного моделювання динаміки необхідно:

- 1 Провести розрахунок параметрів технологічного об'єкта у статиці.
- 58.Вказати геометричні характеристики технологічного обладнання.

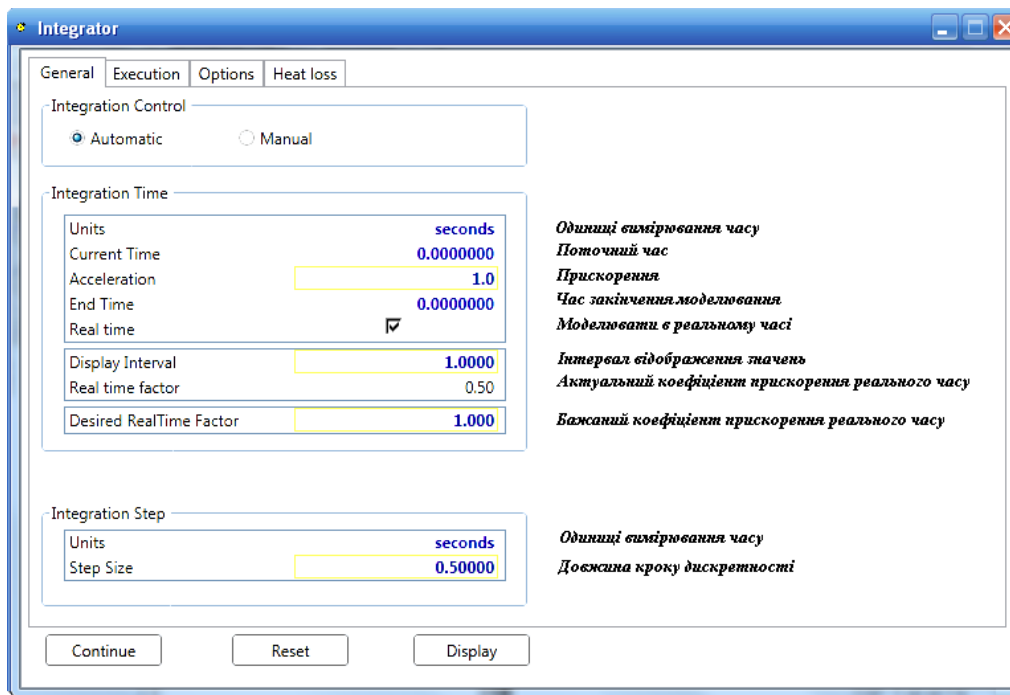


Рисунок 19 – Налаштування інтегратора САПР ТП

59. Перейти до динамічного режиму моделювання.

60. Додати регулятори та логічні блоки до технологічної схеми.

61. Дослідити перехідні процеси при зміні керуючих впливів регуляторів за допомогою графіків, таблиць з динамічним відображенням параметрів, механізмів міжпрограмної взаємодії.

Розглянемо основні принципи моделювання динаміки у САПР ТП:

1 Кожен живлючий і продуктовий матеріальний потік повинен мати динамічний параметр.

62. Для матеріальних потоків, значення яких мають змінюватись (як правило це продуктові потоки), рекомендується для покращення точності моделювання вказувати в якості динамічного параметру не витрату (Flow Spec), а тиск (Pressure).

63. На проміжних потоках бажано не вказувати динамічні параметри, оскільки це може призводити до некоректного моделювання.

64. Продуктові матеріальні потоки мають обов'язково мати вентилі, живильні – у випадку якщо їх параметри будуть змінюватись.

65. Не допустимо з'єднувати матеріальні потоки з сепараторів, баків, реакторів із ректифікаційною колоною без додавання вентиля.

66. Енергетичні потоки, що використовуються для спрощення моделювання допоміжних теплообмінних агрегатів, недостатньо реалістично моделюються, тому необмежена зміна їх значень може призводити до помилок моделювання.

67. Для моделювання більшості агрегатів САПР ТП пропонує на вибір декілька типів математичних моделей, що відрізняються складністю та кількістю вхідних даних. За відсутності повних даних про технологічні агрегати бажано використовувати найпростіші.

2 Контрольні питання

- 1 Для чого необхідно проводити моделювання динаміки технологічного процесу?
- 2 Дайте приклад розв'язування системи диференціальних рівнянь за допомогою прямого і зворотного методу Ейлера.
- 3 Яким чином досягається баланс між швидкістю та точністю моделювання в інтеграторі САПР ТП?
- 4 Що необхідно для повноцінного моделювання динаміки у САПР ТП?
- 5 Назвіть принципи моделювання динаміки в САПР ТП.

3 Домашнє завдання

Підготувати протокол відповідно до вимог п. 5.

4 Завдання на дослідження

- 1 Зробіть копію останнього збереженого проекту у файл lab4 і відкрийте його.
 68. Перейдіть в режим динаміки (кнопка “Dynamics Mode” на верхній панелі інструментів). Погодьтеся з перемиканням в режим.
 69. Запустіть (якщо його не було автоматично запущено) помічник динаміки (кнопка “Dynamics Assistant” на верхній панелі інструментів). У діалоговому вікні (рис. 20) погодьтеся з параметрами помічника динаміки, що пропонуються за замовчуванням, натиснувши на кнопку "Make Changes" (Прийняти зміни). Можлива поява спливаючих діалогових вікон з питаннями, на які треба відповідати ствердно. Переконайтесь, що після відповіді САПР ТП перемкнулось у режим динаміки.
 70. САПР ТП автоматично додасть вентилі на виході РК й установить режимні параметри динаміки. Проте при автоматичній роботі помічника динаміки можуть виникнути певні проблеми, в результаті яких моделювання перехідних процесів буде неможливим. Тому, перед запуском інтегратора необхідно переконатись, що параметри потоків на технологічній схемі (вкладка “Dynamics” у властивостях потоків) заповнені відповідно до табл. 3. Потoki РК за замовчуванням на технологічній схемі не відображуються, тому для того щоб перевірити їх параметри, необхідно відкрити вкладену технологічну схему РК за допомогою правого клацання мишею по зображенню РК і вибору пункту спливаючого меню “Open PDF”.

Таблиця 3 – Налаштування параметрів динаміки потоків

Ім'я потоку	Flow Spec (Mass)	Pressure
Feed, Reflux	X	-
SepVap, SepLiq, LTSVap, CoolGas, ColdGas, LTSLiq, LTSExit, SepExit, TowerInlet, Tower In, Tower Feed, Ovhd, Btm, To Reboiler, Boilup, To Condenser	-	-
Ovhd-1, Btm-1, SalesGas	-	X

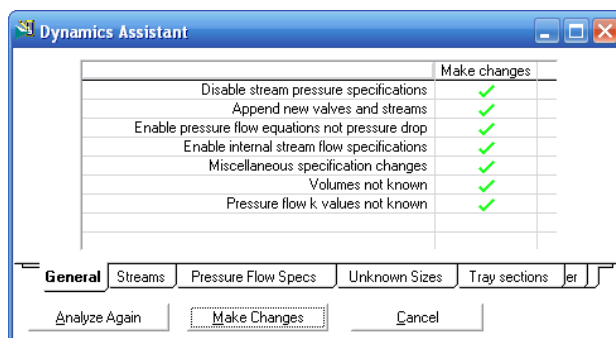


Рисунок 20 – Налаштування параметрів помічника динаміки

71. Додайте до технологічної схеми 5 ПІД регуляторів (панель інструментів - Control Ops, PID Controller). Задайте властивості регуляторів відповідно до табл. 4. Для цього у вкладці “Connections” (з’єднання) кожного регулятора за допомогою натиснення кнопок “Select PV...” (вибір керованої змінної) і “Select OP...” (вибір керуючого впливу) назвіть надані змінні (див приклад на рис. 22). У разі установаження зв’язку регуляторів з енергетичними потоками (зображуються червоним кольором) їх необхідно привести до відсоткової шкали в заданому діапазоні. Це робиться за допомогою натиснення на кнопку “Control Valve” (керування вентилем). У діалоговому вікні, яке з’явиться, мінімальне значення (“Min Flow”) для додатних значень затраченої енергії доцільно уставляти нульовим, а максимальне (“Max Flow”) як подвійне номінальне (“Actual Flow”), для від’ємних – навпаки. Приклад заповнених діалогових вікон керування вентилем показано на рис. 21.

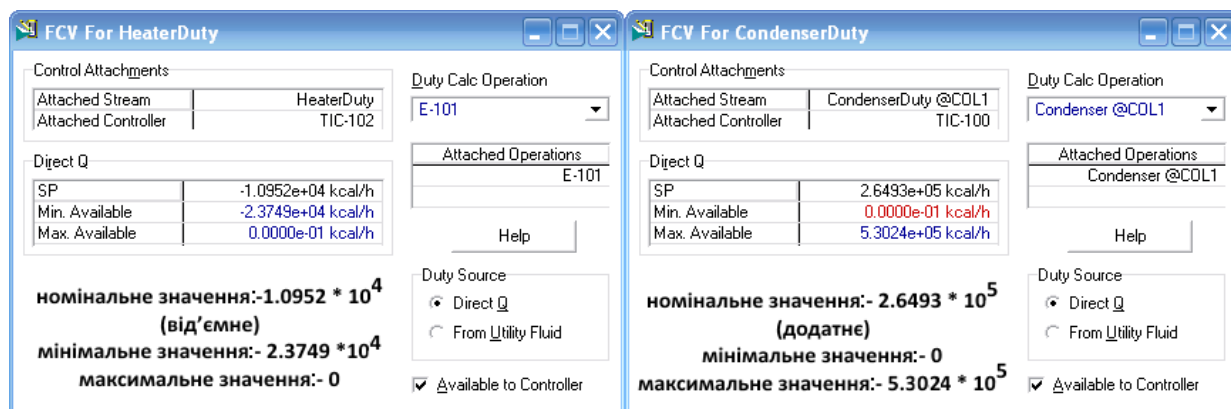


Рисунок 21 – Приклад налаштування параметрів вікон керування вентилем

Кожен регулятор працює лише в певному діапазоні керованої змінної, тому у вкладці “Parameters” (параметри) необхідно вказати мінімальне (PV minimum) і максимальне (PV maximum) припустиме значення керованої змінної. Також у цій вкладці треба установити “Mode” (режим роботи) – “Man” (ручний). Приклад технологічної схеми ділянки ректифікації з під’єднаними регуляторами, реалізованої в САПР ТП, показано на рис. 23.

Таблиця 4 – Налаштування регуляторів

№ з/п	Name	Вкладка “Connections”		Вкладка “Parameters”
		Process Variable Source	Output Target Object	PV Min/Max
1	LIC-100	Flowsheet – T-100 Object – Condenser Variable – Liquid Percent Level	Flowsheet – Case (Main) Object – VLV–Ovhd Variable – Actuator Des.Pos.	10/90%
2	TIC-100	Flowsheet – T-100 Object – Reflux Variable – Temperature	Flowsheet – T-100 Object – CondenserDuty Variable – Control Valve	-5/30 °C
3	TIC-101	Flowsheet – T-100 Object – Main TS Variable – Bottom Stage Temperature	Flowsheet – T-100 Object – ReboilerDuty Variable – Control Valve	70/100 °C
4	FIC-100	Flowsheet – Case (Main) Object – Tower Feed Variable – Mass Flow	Flowsheet – Case (Main) Object – VLV – 102 Variable – Actuator Des.Pos.	± 30 % від номіналу
5	TIC-102	Flowsheet – Case (Main) Object – Tower Feed Variable – Temperature	Flowsheet – Case (Main) Object – HeaterDuty Variable – Control Valve	-8/-1

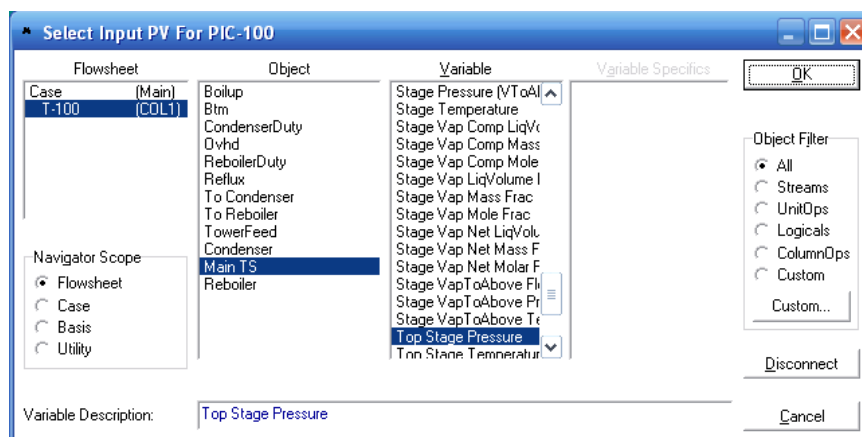


Рисунок 22 – Діалогове вікно вибору змінних для регуляторів

72. Клацніть правою кнопкою миші на пусту ділянку технологічної схеми та оберіть пункт меню “Add Workbook Table”. В діалозі, що з’явиться, із запропонованого списку оберіть “Material Streams” та натисніть на кнопку підтвердження. Після цього знизу технологічної схеми будуть додані основні параметри матеріальних потоків. Переглядаючи значення основних параметрів матеріальних потоків доволі легко виявляти наявність і силу зв’язків між змінними. Але в розглянутому технологічному процесі важлива також концентрація продуктових потоків, тому для аналізу таблиці з основними параметрами матеріальних потоків недостатньо.

7. Клацніть правою кнопкою миші по матеріальному потоку “Ovhd-1” й оберіть пункт “Show Table” (показати таблицю). Клацніть два рази по створеній таблиці та в діалоговому вікні натисніть на кнопку “Add Variable” (додати змінну). В новому діалоговому вікні у списку “Variable” (змінна) оберіть “Master Comp Mole Frac” (мольна частка компонента), у списку “Variable Specific” (специфічна змінна) оберіть “Nitrogen”.

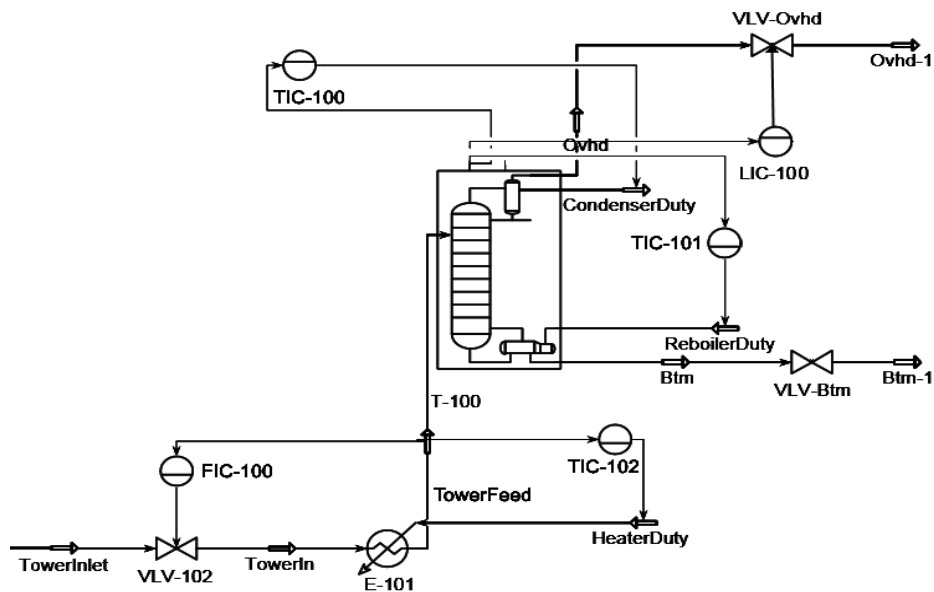


Рисунок 23 – Приклад технологічної схеми ділянки ректифікації з під'єднаними регуляторами, яка реалізована у САПР ТП

Повторіть операцію для всіх інших компонентів. Таким чином, на технологічну схему буде додана схема з мольними концентраціями дистилату ректифікаційної колони. Приклад таблиці показано на рис. 24. Аналогічно додайте таблицю з властивостями потоку “Btm-1”. Також додайте таблиці і-з параметрами доданих регуляторів.

Ovhd-1		
Temperature	16.03	C
Pressure	1357	kPa
Molar Flow	107.0	kgmole/h
Master Comp Mole Frac (Nitrogen)	0.0026	
Master Comp Mole Frac (CO2)	0.0054	
Master Comp Mole Frac (Methane)	0.2905	
Master Comp Mole Frac (i-Butane)	0.0616	
Master Comp Mole Frac (n-Butane)	0.0133	
Master Comp Mole Frac (Ethane)	0.3037	
Master Comp Mole Frac (Propane)	0.3229	

Рисунок 24 – Приклад копії екрана таблиці з властивостями потоку “Ovhd-1”

73. Перед запуском моделювання динаміки необхідно налаштувати параметри інтегратора. Установіть бажаний крок інтегратора (Step Size) – 0,05 секунд. При більшому кроці інтегратора моделювання динаміки технологічних схем з агрегатами різних типів у розглянутому випадку може призводити до помилок. Збережіть файл і запустіть інтегратор за допомогою кнопки “Integrator Active” на панелі інструментів. Зверніть увагу, що не завжди можливо легко повернути технологічну схему після помилок виконання інтегратора, тому бажано мати робочу копію моделі, яку можливо завантажити у випадку виникнення помилок. Також, бажано уникати постійної роботи інтегратора і вимикати його роботу в період обробки даних, виконання інших задач тощо.

Для паралельної роботи відмічайте прапорець “Real Time” й установлюйте бажане прискорення (Desired Real Time Factor) приблизно в 20..30 разів.

74. Дочекайтесь установлення змінних в робочому режимі (час, коли значення змінних не змінюються чи змінюються незначно). Зверніть увагу, що встановлене значення змінних для складних схем як правило не повністю збігається із розрахованими у статиці, тому зафіксуйте ті параметри, які не відповідають розрахованим у статиці. Зробіть знімок екрана таблиць й збережіть в окремому графічному файлі.

75. Змініть значення керуючого впливу (витрати) регулятора FIC-100, що працює в ручному режимі, з 50 до 55 відсотків і дочекайтесь установлення змінних. Зробіть знімок екрана таблиць і збережіть в окремому графічному файлі. Поверніть значення керуючого впливу на 50% і знову дочекайтесь установлення змінної.

76. Змініть значення керуючого впливу (теплоти) регулятора TIC-102, що працює у ручному режимі, з 50 до 55 відсотків і дочекайтесь установлення змінних. Зробіть знімок екрана таблиць і збережіть в окремому графічному файлі. Поверніть значення керуючого впливу на 50%.

77. Порівняйте значення таблиць після установлення в трьох випадках: 1) два регулятора мають керуючий вплив 50%; 2) керуючий вплив регулятора FIC-100 – 55%, TIC-102 – 50%; 3) керуючий вплив регулятора TIC-102 – 50%, FIC-100 – 55%. Зробіть висновок про наявність зв'язків між керуючими впливами регуляторів TIC-102 і FIC-100 і параметрами вихідних потоків й керованими змінними регуляторів TIC-100, TIC-101. Зобразіть виявлені зв'язки у вигляді параметричної схеми.

78. Збережіть розроблений проект (з'єднання клавіш клавіатури Ctrl+S) з іменем lab4.

5 Зміст протоколу

Протокол лабораторної роботи оформлюється на аркушах паперу формату А4 і повинен містити назву лабораторної роботи та її мету, відповіді на контрольні питання, копію екрана з технологічною схемою з підключеними регуляторами, копії екранів з таблицями параметрів при зміні керуючих впливів регуляторів FIC-100 і TIC-102 та розроблену параметричну схему у п. 12.

Лабораторна робота № 5

Розробка системи автоматичного керування параметрами матеріального потоку за допомогою методу автоналаштування

Мета роботи: навчитись застосовувати метод автоналаштування ПД-регуляторів САПР ТП для розробки систем автоматичного керування простими об'єктами.

1 Теоретичні посилання

Застосування систем автоматичного керування є обов'язковим для більшості технологічних процесів, оскільки реальні технологічні процеси проходять завжди не в повній відповідності до технологічних розрахунків. Це обумовлено як неточністю інженерних методів розрахунку, так і впливом збурень (змінюю витрати, температури та складу технологічних потоків, змінюю кліматичних умов, зношенням технологічного обладнання та ін.).

За допомогою моделювання динаміки можливо підтвердити, що технологічний процес, який проектується, буде виробляти необхідний продукт за умови безпеки виробництва та зручності його обслуговування. Моделювання динаміки дозволяє також знайти оптимальні для керування параметри, дослідити доцільність застосування різних стратегій керування, провести розрахунок та перевірити налаштування регуляторів без надмірних економічних втрат і порушень безпечності роботи ведення технологічного процесу.

Найбільш поширеною в промисловості структурою систем автоматичного керування є децентралізована, яка являє собою сукупність декількох незалежних контурів регулювання на базі стандартних П-, ПІ-, ПІД-регуляторів.

Структурна схема контуру регулювання зі стандартними позначеннями змінних, які прийняті у закордонних виробників контролерів (а також застосовуються у САПР ТП), показана на рис. 24.

Розглянемо більш докладно основні налаштування, що доступні в діалоговому вікні регулятора (рис. 25). Основними пунктами меню вкладки "Parameters" є пункти "Configuration" (конфігурація), "Advanced" (просунутий) й "Autotuner" (автоматичне налаштування).

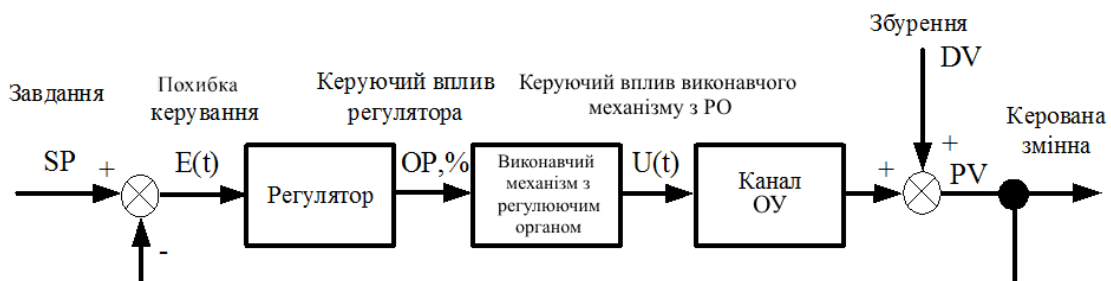


Рисунок 24 – Структурна схема контуру регулювання зі стандартними позначеннями змінних

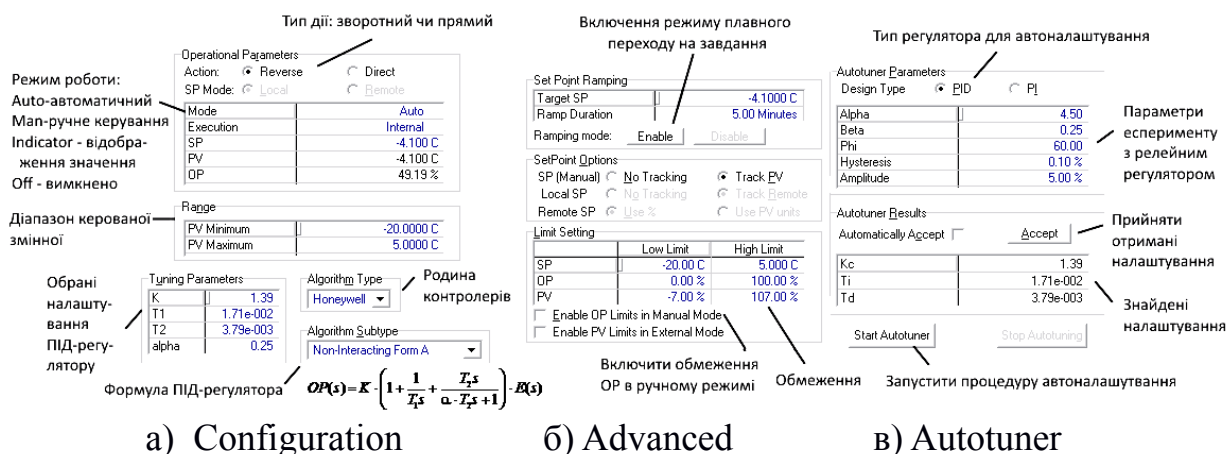


Рисунок 25 – Основні налаштування вкладки “Parameters” діалогового вікна налаштування регуляторів

У вкладці “Configuration” можливо задати:

- тип дії (Action) регулятора: прямий (Direct) – використовується для об’єктів керування з від’ємним коефіцієнтом передачі й зворотний (Reverse) – з додатним;
- режим роботи: автоматичний – ПІД-регулювання проводиться; ручний – можливо задавати значення керуючого впливу (OP), індикація, вимкнений;
- завдання (SP) для автоматичного і керуючого впливу (OP) – для ручного режиму;
- діапазон значень керованої змінної (PV Minimum, PV Maximum) за якого регулятор має працювати в автоматичному режимі (під час виходу за задані межі при виході за вказані регулятор залишає поточне значення OP незмінним і починає його знов змінювати при поверненні в задані межі PV);
- тип реалізації алгоритму (algorithm type): Honeywell (рекомендується), Foxboro, Yokogama;
- варіант ПІД-закону (рекомендується Non-Interacting Form A).

У вкладці “Advanced” можливо задати:

- обмеження керуючих впливів (OP) – рекомендується застосовувати для енергетичних потоків, керованих змінних (PV), завдань (SP);
- параметри режиму плавної зміни завдання (SP ramping), що бажано використовувати за необхідності забезпечити зміну завдання в широкому діапазоні при допустимості певного погіршення показників якості перехідних процесів.

У вкладці “Autotuner” можна задати:

- тип регулятора: ПІ чи ПІД;
- налаштування реле, яке приносить збурення при роботі в режимі автоматичного налаштування.

Найбільш простим із наявних у САПР ТП методом налаштування ПІД-регуляторів, що не вимагає математичної моделі каналів, є метод автоналаштування за допомогою реле. Цей метод дає хороші результати в першу

чергу для простих одновимірних об'єктів та об'єктів зі слабкими зв'язками між змінними. В розглянутому технологічному процесі метод дає хороші результати при розв'язанні задачі стабілізації температури та витрати живлючого потоку ректифікаційної колони (а також може бути застосований, наприклад, для стабілізації параметрів газу) і погані при вирішенні задач стабілізації параметрів ректифікаційної колони. Зазначений метод підключає в зворотній зв'язок релейний регулятор із заданим гістерезисом (h) і амплітудою (d), що при зміні завдання переводить об'єкт управління в автоколивальний режим.

Відправною точкою методів автоналаштування за допомогою релейного регулятора є метод Циглера-Нікольсона, який базується на визначенні критичного коефіцієнта пропорційного регулятора (K_u), за якого перехідний процес переходить в автоколивальний режим та його періоду коливальності (P_u). При застосуванні релейного регулятора (див. рис. 26) параметри можливо визначити за формулою:

$$K_u = \frac{4d}{\pi a}, P_u = P$$

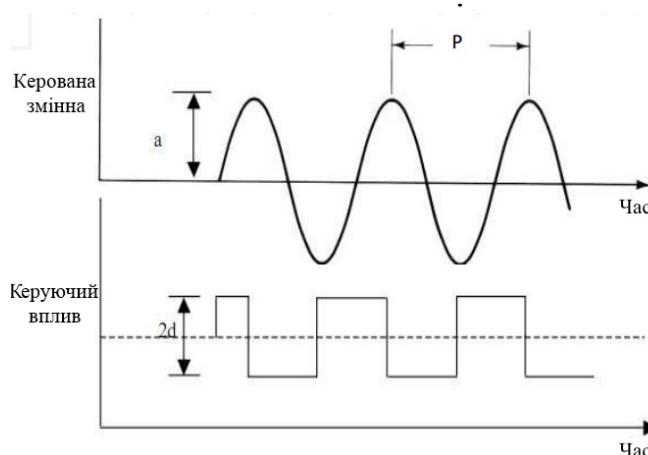


Рисунок 26 – Визначення амплітуди і періоду коливальності при релейному керуванні

Звідси за методом можливо отримати налаштування бажаного регулятора ПІД-типу

$$W_P(s) = 0,5 \times K_u, W_{PI}(s) = 0,4 \times K_u \times \left(1 + \frac{1}{(0,8 \times P_u) \times s} \right)$$

$$W_{PID}(s) = 0,6 \times K_u \times \left(1 + \frac{1}{(0,5 \times P_u) \times s} + (0,1 \times P_u) \times s \right)$$

У результаті в простих випадках буде отриманий перехідний процес з декрементом затухання (тобто відношенням першого максимуму до другого), який дорівнює 4 при керуванні за збуренням. У деяких випадках такий критерій не дозволяє досягти значного запасу стійкості, тому використовуються модифікації формул, що досягають перехідних процесів з іншими критеріями. У САПР ТП використовується модифікація формули, яка враховує при розрахунку параметрів регулятора частотні критерії (запас за фазою та амплітудою) і дає дещо кращі перехідні процеси в окремих випадках, порівняно з класичним методом Циглера-Нікольсона.

2 Контрольні питання

1 В чому переваги децентралізованої структури системи автоматичного керування?

79. Назвіть можливості налаштування для ПІД-регуляторів у САПР ТП?

80. В чому суть класичного методу налаштування ПІД-регуляторів Циглера-Нікольсона?

81. В чому суть методу автоналаштування за допомогою релейного регулятора?

82. Дайте приклад технологічного процесу для якого не бажано застосовувати метод автоналаштування ПІД-регуляторів. Обґрунтуйте свою думку.

3 Домашнє завдання

Підготувати протокол відповідно до вимог п. 5.

4 Завдання на дослідження

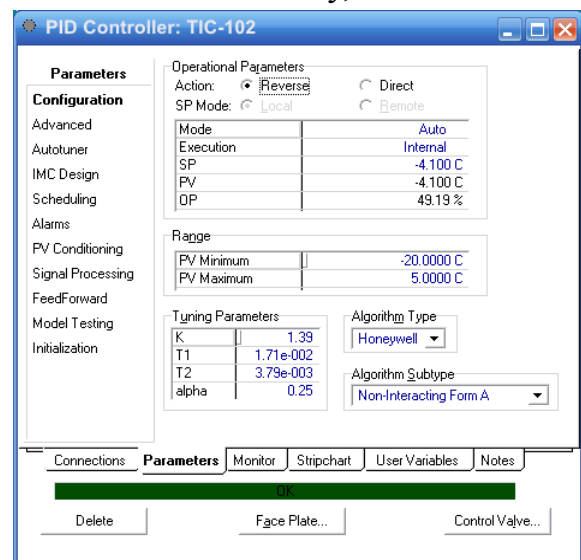
1 Зробіть копію останнього збереженого проекту у файл з ім'ям lab5 і відкрийте його.

83. Переконайтесь, що усі регулятори працюють у ручному режимі і значення керованих змінних регуляторів не змінюються. Установіть тип дії регуляторів TIC-102 і FIC-100 – “Reverse”.

84. Перейдіть у властивості регулятора TIC-102 (рис. 27) і переведіть його в автоматичний режим. Перейдіть в меню “Autotuner”, оберіть ПІД-регулятор і натисніть кнопку "Start Autotuner". Після отримання налаштувань прийміть їх за допомогою кнопки "Accept". Змініть завдання на використане в технологічному розрахунку – $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ й переконайтесь у тому, що регулятор якісно стабілізує температуру на заданому значенні. У випадку, якщо метод не дав якісних перехідних процесів, можна використати налаштування

$K = 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\%$, $T_1 = 0,2\text{ хв}$.

85. Переведіть регулятор TIC-102 у ручний режим. Аналогічно до п.3. проведіть автоналаштування регулятора FIC-100. Змініть завдання на отримане в технологічному розрахунку й переконайтесь у тому, що регулятор якісно стабілізує витрату в



ректифікаційну колону на Рисунок 27 – Приклад налаштування регулятора TIC-102 заданому значенні. У випадку,

якщо метод не дав якісних перехідних процесів, можливо використати налаштування $K = 0,1\text{ кг/год}/\%$, $T_1 = 0,02\text{ хв}$.

86. Включіть в автоматичному режимі паралельно регулятори TIC-102 і FIC-100 й дочекайтеся установлення перехідних процесів. Переконайтесь, що система залишається стійкою на тривалому проміжку часу.

Зафіксуйте робочі значення керованих змінних (PV) регуляторів, що працюють зараз у ручному режимі (тобто всіх, крім TIC-102 і FIC-100).

87. Додайте вікна з графіками перехідних процесів регуляторів. Відкрийте властивості регулятора FIC-100. Перейдіть у вкладку “StripChart” (графіки), в переліку “Variable Set” (перелік змінних) оберіть “SP, PV, OP only” (тільки SP, PV, OP) і натисніть на кнопку “Create Stripchart” (створити графік). Після цього з’явиться вікно з іменем “FIC-100-DL1”, що призначено для зображення графіків перехідних процесів. Змініть розмір вікна до бажаного і натисніть по ньому правою кнопкою миші, у спливаючому меню оберіть “Graph Control” (налаштування графіка). Для того, щоб убрати чорний фон у вкладці “General” зніміть прапорець “Visible” (зображується) з фонового (Background) кольору. У вкладці “Axes” (осі) можливо вказати діапазон відображення керованої змінної вказуючи мінімальне (Low Range Value) і максимальне (High Range Value) її значення. У вкладці “Time Axes” (часові осі) позначте прапорець “Customize Time Interval” (налаштувати часовий інтервал) і вкажіть значення текстового поля “Time Interval” у 300..600 хв. Для того, щоб збільшити розмір шрифту у графіках перейти в пункт меню “Tools → Preferences”. Оберіть вкладку “Resources” і пункт меню “Fonts”. В списку оберіть пункт “Graph Axis Labels” і натисніть кнопку “Select Custom Fonts”. Оберіть шрифт 14 розміру і натисніть кнопку “OK”. Повторіть вибір шрифту для пункту “Graph Stripchart”. Теж саме повторіть для регулятора TIC-102.

88. Зафіксуйте графіки перехідних процесів при зміні завдання кожного регулятора на значення в діапазоні $\pm 5..10\%$ від номінального значення. Після зміни завдання обов’язково повертайте його на попереднє значення. Приклад графіків, що мають бути отримані, при зміні завдання одного з регуляторів, показані на рис. 28.

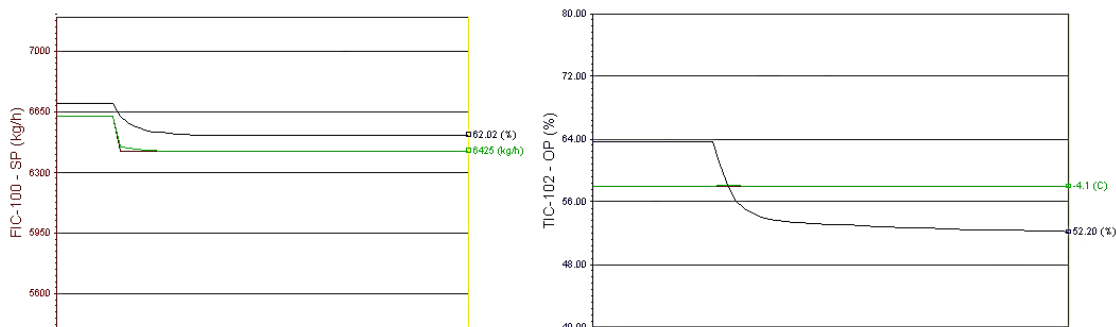


Рисунок 28 – Приклад графіків при зміні завдання регулятора FIC-100

89. Збережіть розроблений проект (з’єднання клавіш клавіатури Ctrl+S) з іменем lab5.

5 Зміст протоколу

Протокол лабораторної роботи оформлюється на аркушах паперу формату A4 і повинен містити назву лабораторної роботи та її мету, відповіді на

контрольні питання, отримані налаштування регуляторів FIC-100 і TIC-102, графіки перехідних процесів при зміні завдання регуляторів FIC-100 і TIC-102 в діапазоні $\pm 5..10\%$ від номінального значення.

Лабораторна робота № 6

Отримання експериментальних статичних характеристик технологічного агрегату

Мета роботи: навчитися розробляти програмне забезпечення інформаційних систем для експериментального дослідження статистики ректифікаційної колони з використанням розробленої моделі у САПР ТП.

1 Теоретичні посилання

В операційній системі Microsoft Windows для забезпечення взаємодії між програмними продуктами використовується технологія COM (Common Object Model, Загальна Об'єктна Модель).

Технологія COM побудована на базі специфікації, яка вказує яким чином створювати динамічні взаємозамінні компоненти, а також яким чином має проводитись взаємодія між компонентами та клієнтами. Компоненти COM складаються з виконавчого коду, який розповсюджується в вигляді динамічних бібліотек у форматі DLL або EXE-файлів ОС Windows. Використовуючи спеціальні правила ідентифікації компонентів клієнтські програми можуть легко знаходити необхідні компоненти.

Об'єкти ActiveX базуються на технології COM, яка встановлює загальну парадигму взаємодії програмних компонентів, забезпечує стандартну інфраструктуру, яка дозволяє об'єктам розділяти дані та функції між процесами. Керуючі елементи ActiveX – це об'єкти, які базуються на цій технології.

Об'єкти ActiveX надають контейнеру можливість доступу до даних через властивості (properties), методи (methods) і події (events) у відповідності з сучасною об'єктно-орієнтованою парадигмою програмування.

Одним із важливих розширень технології ActiveX є ActiveX Automation, яка дозволяє програмно керувати об'єктами з інших програм. При програмному керуванні з використанням ActiveX Automation при використанні об'єктно-орієнтовної мови необхідно:

- 1 Ініціалізувати бібліотеку ActiveX необхідної програми, що підтримує технологію ActiveX Automation.

90. Створити змінну, яка є посиланням на об'єкт бібліотеки ActiveX.

91. Для доступу до об'єктів програми, якою необхідно керувати, слід використовувати створену змінну і працювати з нею як зі звичайним об'єктом в ООП парадигмі.

92. Після закінчення роботи для звільнення ресурсів необхідно обнулити змінну.

Розглянемо приклад керування редактором електронних таблиць Excel за допомогою Matlab-скрипта з використанням технології ActiveX Automation.

Для того щоб створювати змінну-посилання необхідно використати функцію `actxserver`. Як аргумент функція приймає унікальний ідентифікатор програми, а повертає посилання на ActiveX-об'єкт. Для керування програмою Excel програмний виклик функції виглядає наступним чином:

```
exl = actxserver('excel.application');
```

Active-X об'єкт `exl` має декілька інтерфейсів, зокрема для завантаження файла у форматі Excel необхідно використовувати інтерфейс `Workbooks`:

```
exlWkbk = exl.Workbooks;  
exlFile = exlWkbk.Open(['path/to/file.xls']);
```

Розробимо невеликий програмний код для виділення всіх даних таблиці “Sheet1” з першого елемента стовпця A до останнього елемента стовпця G:

```
exlSheet1 = exlFile.Sheets.Item('Sheet1');  
robj = exlSheet1.Columns.End(4); %Пошук кінця колонки  
numrows = robj.row; %Визначення номера рядка  
dat_range = ['A1:G' num2str(numrows)]; %Виділення діапазону  
rngObj=exlSheet1.Range(dat_range); %Отримання виділених елементів  
exlData = rngObj.Value;
```

ActiveX об'єкт САПР ТП також являє собою інтерфейс до електронної таблиці. Для того, щоб зовнішнім програмам можливо було змінювати чи отримувати певні параметри елементів САПР ТП у реальному часі їх необхідно зв'язати з певною клітинкою електронної таблиці (Spreadsheet).

Для спрощення взаємодії з САПР ТП для Matlab була розроблена програмна бібліотека зв'язку [<http://www.pvv.org/~olafb/>], склад якої показано в табл. 5. Для спрощення виводу поточних значень змінних у командному вікні Matlab бажано використовувати програму `dispstat` [<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/44673-overwritable-message-outputs-to-commandline-window>], що дозволяє виводити текст поверх вже виведеного.

Таблиця 5 – Скрипти бібліотеки зв'язку

Ім'я скрипта	Функціональне призначення
hyconnect	Підключитись до середовища моделювання
hyspread	Приєднатись до електронної таблиці
hycell	Приєднатись до елемента електронної таблиці
hyvalue	Отримати значення елемента електронної таблиці
hyunits	Повертає використані в електронній таблиці од. вим.
hyset	Змінює значення елемента електронної таблиці
hyintegtoggle	Включає/вимикає інтегратор у режимі динаміки
hyisintegrating	Повертає стан інтегратора у режимі динаміки
hyintegtime	Отримує поточний час інтегратора у секундах

Розглянемо простий приклад застосування бібліотеки:

```
sapr = hyconnect;%приєднатись до САПР ТП
```

```

hyhold(sapr);%призупинити розрахунок в статиці
spread = hyspread(sapr, 'Таблиця 1');%підключитись до таблиці
% Підключитись до клітинок 'A1', 'A2', 'A3' таблиці 'Таблиця 1'
cells = hycell(spread, {'A1', 'A2', 'A3'});
hyvalue(cells)%отримати значення клітинок (вектор 1x3)
hyset(cells{1}, 0.1);%Встановити значення 0.1 у клітинку A1
hystart(sapr);%запустити розрахунок в статиці
%перевірити, чи розраховуються параметри на даний час (0 чи 1)
hyissolving(sapr)
hyvalue(cells)%отримати нові значення клітинок
hyunits(celler) %отримати одиниці вимірювання (вектор 1x3)
release(sapr);%розірвати підключення до САПР ТП

```

Таким чином, наведений механізм можливо використовувати для широкого класу задач: оптимізації розрахунку, дослідження залежностей змінних у статиці і динаміці, розробки та дослідження систем автоматичного керування, розробки автоматизованих робочих місць й комп'ютерних тренажерів тощо.

Дослідження статичних залежностей ректифікаційної колони у САПР ТП будемо проводити в режимі моделювання динаміки, оскільки в режимі статики при зміні вхідних параметрів САПР ТП автоматично вирішує оптимізаційну задачу (з метою досягнення заданого флегмового числа, концентрацій тощо) й установлює нові параметри потоків і обладнання. Дослідження в режимі динаміки з іншого боку складніше, оскільки треба очікувати певний час на установлення технологічного процесу в новому режимі.

Загальний механізм дослідження статичних залежностей із застосуванням Matlab і САПР ТП наступний:

- 1 У САПР ТП створюється електронна таблиця з основними параметрами потоків, тарілок РК і регуляторів.

93. Розробляється програмне забезпечення в пакеті Matlab, яке в циклі змінює значення клітинок електронної таблиці САПР ТП, що зв'язані з значеннями керуючих впливів трьох регуляторів (які працюють в ручному режимі). Значення керуючого впливу кожного регулятора, що досліджується, послідовно змінюються в діапазоні 40..60% з кроком 1%. Під час такої зміни керуючі впливи інших досліджуваних регуляторів мають бути установлені на значення 50%.

94. Після зміни керуючого впливу в програмі за таймером відстежується динаміка зміни значень керованих змінних регуляторів. Якщо вони майже не змінюються за певний період, то процес вважається установленим.

95. Після установлення процесу запитуються всі значення електронної таблиці і записуються у спеціальні масиви, асоційовані з поточним номером регулятора і значенням керуючого впливу.

96. Після закінчення виконання циклів за збереженими масивами будуються графіки. На їх основі можливо проаналізувати наявність та характер залежностей. Результати аналізу можуть бути використані для розв'язання задач оптимізації технологічного режиму і вибору каналів системи автоматичного керування.

2 Контрольні питання

- 1 Для чого застосовують об'єкти ActiveX?
 97. Для чого призначена технологія ActiveX Automation?
 98. Яким чином можливо застосувати ActiveX Automation в Matlab?
 99. Дайте перелік функцій бібліотеки зв'язку із САПР ТП та приклади їх застосування?
 100. Яким чином можливо проводити дослідження статичних залежностей із застосуванням Matlab і САПР ТП?

1. Домашнє завдання

1. Підготуйте протокол згідно з п. 5.
2. Ознайомтесь з програмним кодом файлів `init_sapr`, `getSpreadVar`, `setSpreadVar`, `waitforstab`, `setmanu2nom`, `turnsaproff`, `turnsapr`, `inityarr`, `initsteadyarr`, `savesteadyarr`, `showcury`, `countdiff`, `remove_dubl` й `plot_steady`, що надано у додатку Б. Докладно опишіть алгоритм роботи кожного з них.

4 Завдання на дослідження

- 1 Зробіть копію останнього збереженого проекту у файл `lab6` і відкрийте його.
 101. Забезпечте доступ до значущих змінних технологічного процесу можливо за допомогою механізму електронних таблиць (Spreadsheet) САПР ТП. Для того, що додати електронну таблицю треба обрати пункт меню "Flowsheet" – "Add operation" (Додати операцію на схему). Далі, у діалоговому вікні, що відкрилося, слід обрати пункт "Logicals" (логічні) зі списку "Categories" (категорії), а потім у списку доступних операцій по категорії ("Available Unit Operations") вибрати електронну таблицю ("Spreadsheet").
 102. У властивостях електронної таблиці (панель "Spreadsheet Parameters") слід ввести кількість рядків ("Number of Rows") – 17, а кількість стовпців ("Number of Columns") – 11, одиниці виміру ("Units Sets") – "euroSI", ім'я - DYNSPREAD. Потім слід перейти до вкладки "SpreadSheet" і заповнити таблицю за наступною схемою:
 - Рядки 1-7 описують наступні об'єкти: 1 – T-100/Reflux; 2 – T-100/To Condenser; 3 – T-100/Boilup; 4 – T-100/To Reboiler; 5 – Ovhd; 6 – Btm; 7 – TowerFeed.
 - Стовпці з А до К з 1 по 7 рядок відповідають наступним властивостям вказаних вище об'єктів: А – Vapour Fraction; В – Temperature; С – Mass Flow; D – Pressure; Master Comp mole Frac (Е – Nitrogen; F – CO₂; G – Methane; H – Ethane; I – Propane; J – i-Butane; K – n-Butane).
 - Стовпці з А до J рядків 8 і 9 відповідають температурам (Stage Temperature) і тискам (Stage Pressure) на тарілках РК (T100/Main).
 - Клітинка A10 відповідає властивості Liquid Percent Level; B10 – Vessel Presure об'єкта T100/Condenser. Клітинка C10 відповідає властивості Liquid Volume Percent, D10 – Vessel Presure об'єкта T100/Reboiler.
 - Рядок 11 зарезервовано.

- Рядок 12 відповідає властивостям регулятора LIC-100: A – Control Mode; B – OP; C – PV; D – SP; E – Gain; F – Integral Time Constant; G – Derivative Time Constant; I – Honeywell Alpha; H – Control Action. Рядок 13 відповідає аналогічно властивостям регулятора TIC-100, 14 – TIC-101, 15 – FIC-100 і 16 – TIC-102.

Таким чином, для побудови експериментальних статичних характеристик по всім основним змінним РК необхідно змінювати значення керуючого впливу кожного з регуляторів у режимі ручного керування і після устанавлення перехідного процесу записувати нові значення змінних.

103. Створіть на диску комп'ютера окремий каталог у файловій системі для програми експериментального дослідження характеристик об'єкта керування. Запустіть Matlab і змініть його робочий каталог на створений.

104. Завантажте в каталог файли бібліотеки зв'язку та скрипт dispstat.

105. Створіть у каталозі файли для Matlab-функцій і скриптів, перелік яких надано в додатку А. Запишіть програмний код файлів init_sapr, getSpreadVar, setSpreadVar, waitforstab, setmanu2nom, turnsaproff, turnsapr, inityyarr, initsteadyarr, savesteadyarr, showcury, countdiff, remove_dubl й plot_steady відповідно до додатку Б.

106. Створіть скрипт init_settings, який буде містити необхідні для експерименту параметри.

107. Спочатку внесіть параметри проведення експерименту

```
%Вводимо порядкові номери регуляторів САПР ТП в електронній
%таблиці, за допомогою яких проводиться дослідження(pv) й
%тих, за допомогою яких стабілізують збурення(dv), а також
%номінальні значення керуючих впливів у ручному режимі
pv_controllers=1:3;dv_controllers=4:5; unom=[50 50 50 50 50];
rev_auto_mode=[0 1 0 0 0]; %тип дії регуляторів в авто режимі
%Вводимо макс. час стабілізації і проведення експерименту
max_wait_stab=300;%с max_exec_times=5000;%с
%Поріг за яким визначається устанавлення перехідних процесів
diff_margin=0.0001;
%Час утримання порога, після якого процес вважається
%встановленим
cfin_max=20;
%діапазон керуючих впливів за яким буде проводитись
%дослідження статичних залежностей
uu_steady_diap=40:60;
```

108. Далі опишіть структури для об'єктів, що описані в п.3.

Приклад опису структури першого матеріального потоку:

```
fluid_params={'VaporFraction','Temperature','MassFlow','Pressu
re','Nitrogen','CO2','Methane','Ethane','Propane','iButane','n
Butane'};
fluid_params_text={'Доля пари','Температура, *C','Витрата
мас., кг/час','Тиск, бар','Нітроген (мол.)','CO2 мол.)','Метан
(мол.)','Етан (мол.)','Пропан мол.)','Ізобутан (мол.)','Н-
бутан (мол.)'};
```

```

cell_reflux=struct; cell_reflux.spread='DYNSPREAD';
cell_reflux.object='Reflux';
cell_reflux.object_text='Флегма';
cell_reflux.params=fluid_params;
cell_reflux.titles=fluid_params_text;
cell_reflux.cells={'A1','B1','C1','D1','E1','F1','G1','H1','I1',
'J1','K1'};

```

Аналогічно опишіть структури, що описують параметри матеріальних потоків, тарілок і допоміжного обладнання РК. Також, необхідно описати структури, які пов'язані з регуляторами. Надамо приклад опису структури керованих змінних регуляторів

```

cell_ctrl_pv=struct; cell_ctrl_pv.spread='DYNSPREAD';
cell_ctrl_pv.object='CTRL_PV';
cell_ctrl_pv.object_text='Змінна регулятора';
cell_ctrl_pv.params={'LIC100_PV','TIC100_PV','TIC101_PV',
'FIC100_PV','FIC102_PV'};
cell_ctrl_pv.titles= {'Рівень в конденсаторі, % (y1)',
'Температура флегми, *C (y2)', 'Температура низу РК, *C (y3)',
'Витрата живлення (f1)', 'Температура живлення (f2)'};
cell_ctrl_pv.cells = {'C12','C13','C14','C15','C16'};

```

Таким чином, треба описати аналогічно структури cell_ctrl_cm, cell_ctrl_op, cell_ctrl_sp, cell_ctrl_kp, cell_ctrl_ti, cell_ctrl_td, cell_ctrl_a, cell_ctrl_ca. Далі створіть масив з переліком ідентифікаторів структур, за якими проводиться дослідження статистики. Усі ідентифікатори записуйте латиницею без пробілів.

```

steady_experiment_cells={'cell_ctrl_pv','cell_ovhd',
'cell_btm', 'cell_tocondenser', 'cell_boilup',
'cell_toreboiler', 'cell_trayt', 'cell_trayp', 'cell_condreb',
'cell_towerfeed'};

```

109. Розробіть скрипт experiment_steady, який буде досліджувати статистику згідно з алгоритмом, що показано на рис. 29.

В результаті виконання скрипта мають бути отримані масиви даних, які можливо вивести на екран як графіки за допомогою скрипта plot_steady, що надано в додатку Б. Приклад одного з отриманих графіків показано на рис. 30. Зверніть увагу, що під час дослідження інтегратор САПР ТП має працювати в реальному часі й працювати з таким прискоренням, щоб ресурси комп'ютера не були повністю зайняті (для більшості комп'ютерів це 20..30 разів). В протилежному випадку процесорного часу на виконання Matlab скрипта може не залишатись, що буде приводити до помилок. Виконання інтегратора в звичайному режимі (не в реальному часі) поглинає всі ресурси, тому взаємодія з САПР ТП сторонніх програм у такому режимі майже неможлива.

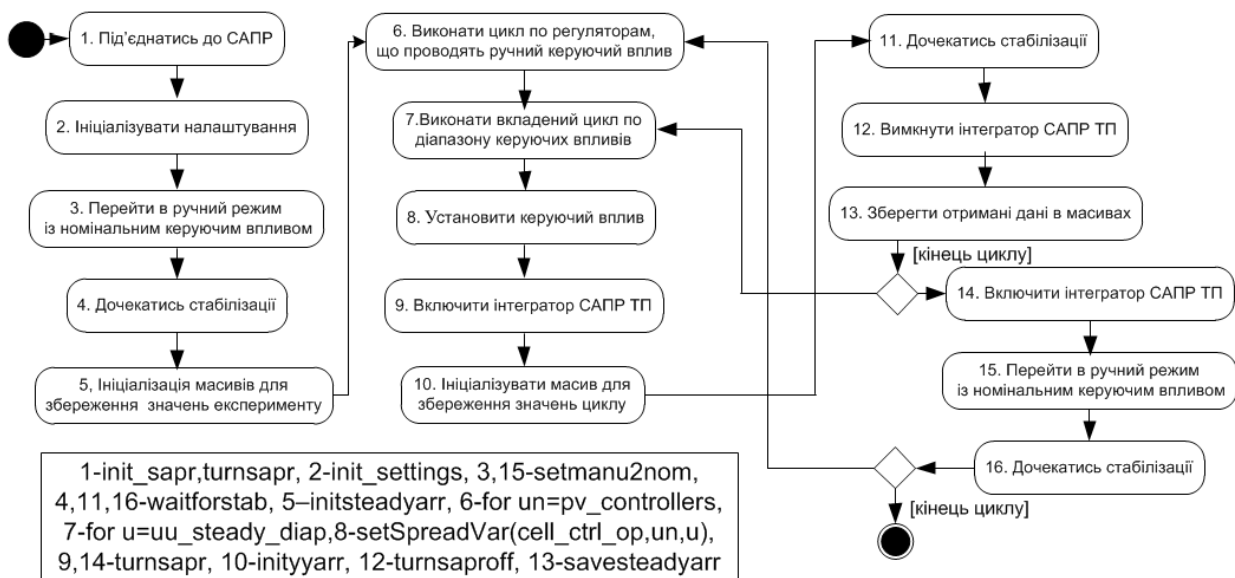


Рисунок 29 – Алгоритм виконання скрипта experiment_steady

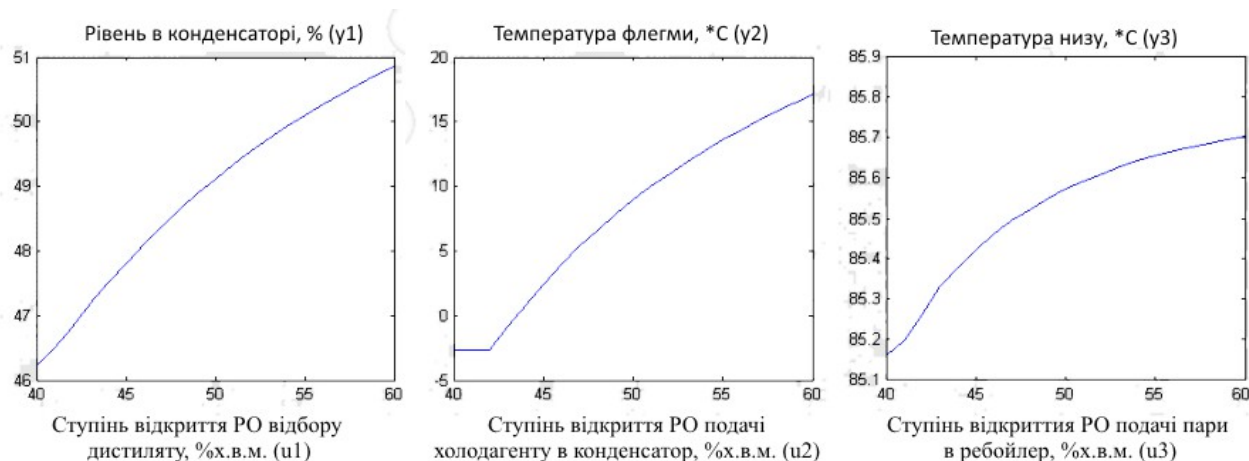


Рисунок 30 – Приклад статичної залежності при зміні керуючого впливу регулятора LIC-100 в ручному режимі в діапазоні від 40 до 60%

110. Проаналізуйте усі отримані графіки та заповніть таблицю з результатами аналізу відповідно до прикладу табл. 6.

Таблиця 6 - Приклад фрагменту таблиці результатів аналізу статичних характеристик

Об'єкт	Параметр	U1, %	U2, %	U3, %
Потік дистилату	Частка пари	МВ	В	МВ
	Температура	Л	МВ	НЛЛ
	Витрата	Л	МВ	НЛЛ
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...

Умовні позначення на табл. 6: В – відсутній зв'язок; МВ – майже відсутній зв'язок; Л – лінійна на всьому діапазоні; МЛ – лінійна в значному діапазоні при відхиленні від номіналу керуючого впливу в додатній і від'ємний

бік; НЛ – нелінійна; НЛЛ – нелінійна, але може бути представлена двома лінійними рівняннями в додатному і від’ємному діапазоні відносно номіналу керуючого впливу.

111. Збережіть отриманні змінні робочого середовища за допомогою команди save <ім’я файла>.

5 Зміст протоколу

Протокол лабораторної роботи оформлюється на аркушах паперу формату А4 і повинен містити назву лабораторної роботи та її мету, відповіді на контрольні питання, власний розроблений програмний код файла experiment_steady, докладний опис алгоритмів роботи кожного із застосованих файлів із додатку Б, копії екрана зі знімками статичних залежностей керуючих впливів і керованих змінних регуляторів LIC-100, TIC-100, TIC-101, таблицю з результатами аналізу статичних залежностей.

Отримання експериментальних динамічних характеристик технологічного агрегату

Мета роботи: навчитися розробляти програмне забезпечення інформаційних систем для експериментального дослідження динаміки ректифікаційної колони із використанням розробленої моделі у САПР ТП.

1 Теоретичні посилання

За отриманими експериментальним шляхом розгінними характеристиками можливо скласти математичний опис об'єкта керування. Для цього необхідно провести процедуру ідентифікації – визначення моделі системи за часовим рядом.

Найбільш доцільно використовувати методи ідентифікації, які максимально точно відтворюють модель. Це можливо у більшості випадків у лінійних системах для об'єктів з самовирівнюванням. Серед значної кількості методів ідентифікації для моделей високого порядку обмежимось тільки методами в просторі станів, оскільки вони найбільш ефективні для швидкої побудови точних моделей високого порядку.

Мінімальна інформація, яка необхідна для ідентифікації лінійної системи у формі простору станів включає точне знання числа станів n , входів і виходів. Оскільки розмірність n найчастіше невідома, ідентифікація перетворюється на ітеративний процес, за якого, задавшись довільним n , ідентифікують систему. Потім отриману систему моделюють, звіряють отриманий процес з вихідним процесом i , якщо результат незадовільний, збільшують n і процедуру повторюють спочатку.

При виборі порядку ідентифікації слід враховувати, наскільки отримана модель адекватна експериментальним кривим розгону. Хоча майже 100% кривих розгону можуть бути адекватно передані моделлю 10 порядку, це дуже ускладнює подальше використання такої моделі. У зв'язку з цим слід вибирати серед адекватних моделей модель найменшого порядку.

Одним із найбільш досконалих методів ідентифікації лінійних систем є метод ідентифікації Симою (метод площин) [4]. Розглянемо алгоритми двох варіантів методу Симою: спрощеного для моделі першого порядку з запізненням і багатовимірною для моделей високого порядку.

Розглянемо алгоритм методу для отримання моделей у вигляді інерційної

$$W(p) = \frac{k_o}{T_o s + 1} e^{-\tau_o s}$$

ланки першого порядку із запізненням виду

на базі заданого

вектора вихідних змінних $\bar{y} = (y_0, y_1, y_2, \dots)$ і вектора одиничних точок $\bar{y} = (y_0, y_1, y_2, \dots)$, що отримано для одиничного збурення:

1. Розраховується коефіцієнт передачі за формулою $k_o = \max(\bar{y}) - y_1$.

2. У випадку, коли $k_0 < 0$, змінюється знак всіх елементів вектору $\bar{y}$.
3. Розрахунок кроку дискретності проводиться за формулою

$$\Delta t = \frac{\max(\bar{t})}{n - 1}$$

де n – кількість точок вектора $\bar{y}$

4. Розрахунок площин проводиться за формулою

$$A_0 = \left(\sum_{i=1}^{n-1} y_n - y_i \right) \times \Delta t, A_1 = \left(\sum_{i=1}^{it_0} y_1 - y_i \right) \times \Delta t, it_0 = \text{fix} \left(\frac{A_0}{|k_0| \Delta t} \right)$$

5. Розрахунок постійної часу і часу запізнення проводиться за формулами

$$T_0 = \frac{\exp(1) \times A_1}{|k_0|}, \tau_0 = \frac{A_0 - \exp(1) \times A_1}{|k_0|}$$

Розглянемо алгоритм методу для моделей високого порядку [4]. Відомо, що моделювання системи в дискретному часі в формі простору станів:

$$x_{i+1} = \bar{A} \times x_i + \bar{B} \times u_i,$$

$$y_i = C \times x_i + D \times u_i, x(0) = x_0, x_i \in \mathbb{R}^n, u_i \in \mathbb{R}^m, y_i \in \mathbb{R}^l$$

може бути використано за рівняннями системи:

$$y_0 = C \times x_0 + D \times u_0, x_1 = \bar{A} \times x_0 + \bar{B} \times u_0,$$

$$y_1 = C \times x_1 + D \times u_1, x_2 = \bar{A} \times x_1 + \bar{B} \times u_1,$$

$$y_2 = C \times x_2 + D \times u_2, x_3 = \bar{A} \times x_2 + \bar{B} \times u_2, \dots$$

Тоді часовий ряд може бути задано векторами $\bar{y} = (y_0, y_1, y_2, \dots)$, $\bar{u} = (u_0, u_1, u_2, \dots)$.

Розглянемо випадок ідентифікації безперервної одновимірної системи $\{A, B, C\}$ з гурвіцевою матрицею A , коли $u(t)$ - одиничний стрибок. Систему будемо визначати у наступній формі:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \dots & -a_{n-1} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} b_0 & b_1 & b_2 & \dots & b_{n-1} \end{pmatrix}.$$

Тоді параметри системи визначаються за співвідношенням:

$$a_0 = \frac{\text{sign}(\alpha_n)}{\alpha_n}; a_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_n}; \dots; a_{n-1} = \frac{\alpha_{n-1}}{\alpha_n}; b_0 = k \frac{\text{sign}(\alpha_n)}{\alpha_n}; b_1 = k \frac{\beta_1}{\alpha_n}; \dots; b_{n-1} = k \frac{\beta_{n-1}}{\alpha_n},$$

$$\text{де } \alpha = V^{-1} \cdot Q, \alpha = (\alpha_1 \dots \alpha_n \beta_1 \dots \beta_{n-1})^T,$$

$$k = y(\infty), \tilde{y} = y / k, \mu_i = \frac{1}{i!} \times \int_0^\infty (1 - \tilde{y}) \times (-t)^i \times dt,$$

$$V = \begin{pmatrix} I & V_1 \\ 0 & V_2 \end{pmatrix}, \quad V_1 = \begin{pmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 \\ -q_1 & \ddots & \ddots & \vdots \\ -q_2 & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & -1 \\ -q_{n-1} & \dots & -q_2 & -q_1 \end{pmatrix}, \quad V_2 = \begin{pmatrix} -q_n & \dots & -q_2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ -q_{2 \cdot n - 2} & \dots & -q_n \end{pmatrix}$$

$$Q = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ \vdots \\ q_{2 \cdot n - 1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ q_1 & 1 & \ddots & & \vdots \\ q_2 & q_1 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ q_{2 \cdot n - 2} & \dots & q_2 & q_1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mu_0 \\ \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_{2 \cdot n - 2} \end{pmatrix}.$$

У випадку, якщо два варіанти методу не працюють (наприклад, перехідний процес нагадує диференційну ланку із невеликою відмінністю початкового і кінцевого значення), то можна використовувати Matlab-функцію `tfest`, яка проводить за заданою кількістю нулів і полюсів бажаної передатної функції ідентифікацію за допомогою методів оптимізації довільної функції. Недоліком оптимізаційного підходу, порівняно з методом Симою, є значно більший час виконання процедури. Також в значній частині випадків за допомогою виконання процедури оптимізації неможливо досягнути відповідності установленого значення моделі установленому значенню експериментальної розгінної характеристики при достатньому для відтворення динаміки порядку математичної моделі.

Приклад розгінних характеристик при збуренні +10% х.в.м. керуючого впливу регулятора ТІС-100 показано на рис. 31. Перша розгінна характеристика досить добре апроксимується методом Симою, друга – тільки методом `tfest`.

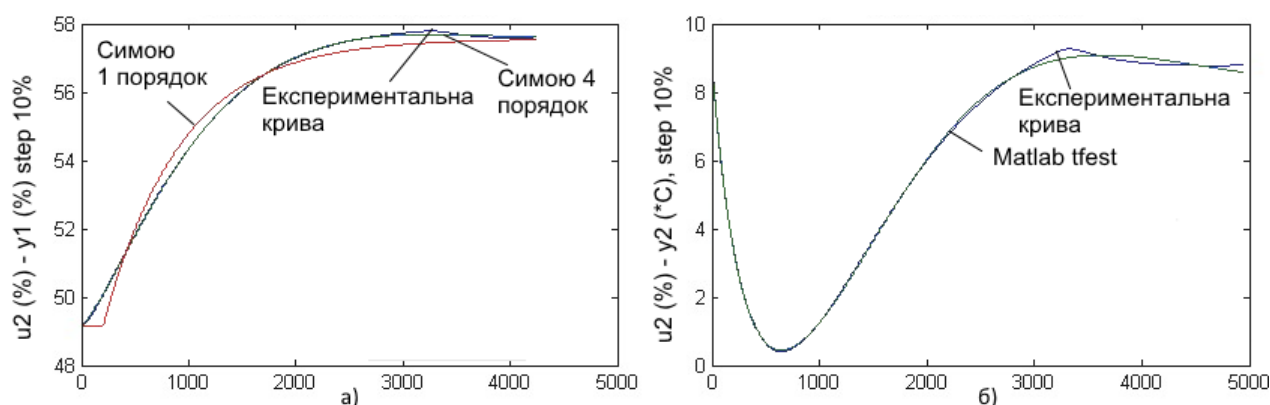


Рисунок 31 – Порівняння експериментальних кривих і кривих розгону, що отримані за моделями каналів:

- а) канал «витрата холодагента в конденсатор – рівень в конденсаторі»
- б) канал «витрата холодагента в конденсатор – температура флегми»

Вихідний код програми ідентифікації одновимірної системи за двома алгоритмами методу Симою надано в додатку В.

2 Контрольні питання

1. Які методи ідентифікації технологічних об'єктів вам відомі?
2. Яким чином обирається оптимальний порядок математичної моделі при ідентифікації?
3. Що таке простір станів? Дайте приклад математичної моделі динаміки в просторі станів.
4. Опишіть алгоритм ідентифікації одновимірної системи у формі простору станів за методом Симою.
5. Які переваги і недоліки використання Matlab-функції tfest?

3 Домашнє завдання

- 1 Підготувати протокол відповідно до вимог п. 5.
- 2 Ознайомитись з вихідним кодом розробленої програми для проведення ідентифікації за допомогою методу Симою, яка надана в додатку В.

2. Порядок виконання роботи

- 1 Відкрийте файл проекту САПР ТП lab6.
- 2 Запустити Matlab і змінити робочий каталог на каталог, в якому була створена програма experiment_steady.

3. Запишіть програмний код файлів experiment_dynamics_approx, plot_dynamics згідно з додатком Б.

4. Розробіть скрипт experiment_dynamics, який буде знімати розгінні характеристики при зміні з 50 до 60% керуючого впливу кожного з досліджуваних регуляторів, а також проводити апроксимацію отриманих кривих розгону моделлю 1 порядку із запізненням й моделлю 4 порядку. Алгоритм роботи скрипта показано на рис. 32.

У результаті виконання скрипта мають бути отримані масиви даних, які можливо вивести на екран як графіки за допомогою скрипта plot_dynamics, що надано в додатку Б. Зверніть увагу, що під час дослідження інтегратор САПР ТП має працювати в реальному часі.

Оскільки, на відміну від статички, в експерименті бажано знімати дані в реальному часі з гарантованим інтервалом, скористаємось таймером, який виконує зчитування керованих змінних кожні 100 мілісекунд. Він ініціалізується наступним чином:

```
tmr = timer('StartDelay',0,  
'TimerFcn','exec_times=exec_times+1;...  
y=getSpreadVar(cell_ctrl_pv,pv_controllers);...  
for j=pv_controllers,...  
eval(sprintf('yy%d=[yy%d y(%d)];',' ',j,j,j));  
end;  
tt=[tt ...  
sapr.ActiveDocument.Solver.Integrator.CurrentTimeValue];',...  
'Period',0.1);  
set(tmr,'ExecutionMode','FixedRate'); start(tmr)
```

Оскільки інтегратор САПР ТП все ж таки не працює повністю в реальному часі, а методи ідентифікації вимагають фіксований крок дискретності, то необхідно провести масштабування (інтерполяцію) отриманих значень точок кожної отриманої розгінної характеристики відносно шкали часу з фіксованим кроком дискретності. Для цього використовується Matlab-функція `interp1`, програмний код для інтерполяції з кроком дискретності 1 с виглядає таким чином:

```
tt1=0:1: tt(end); yy1=interp1(tt, yy1, tt1);
```

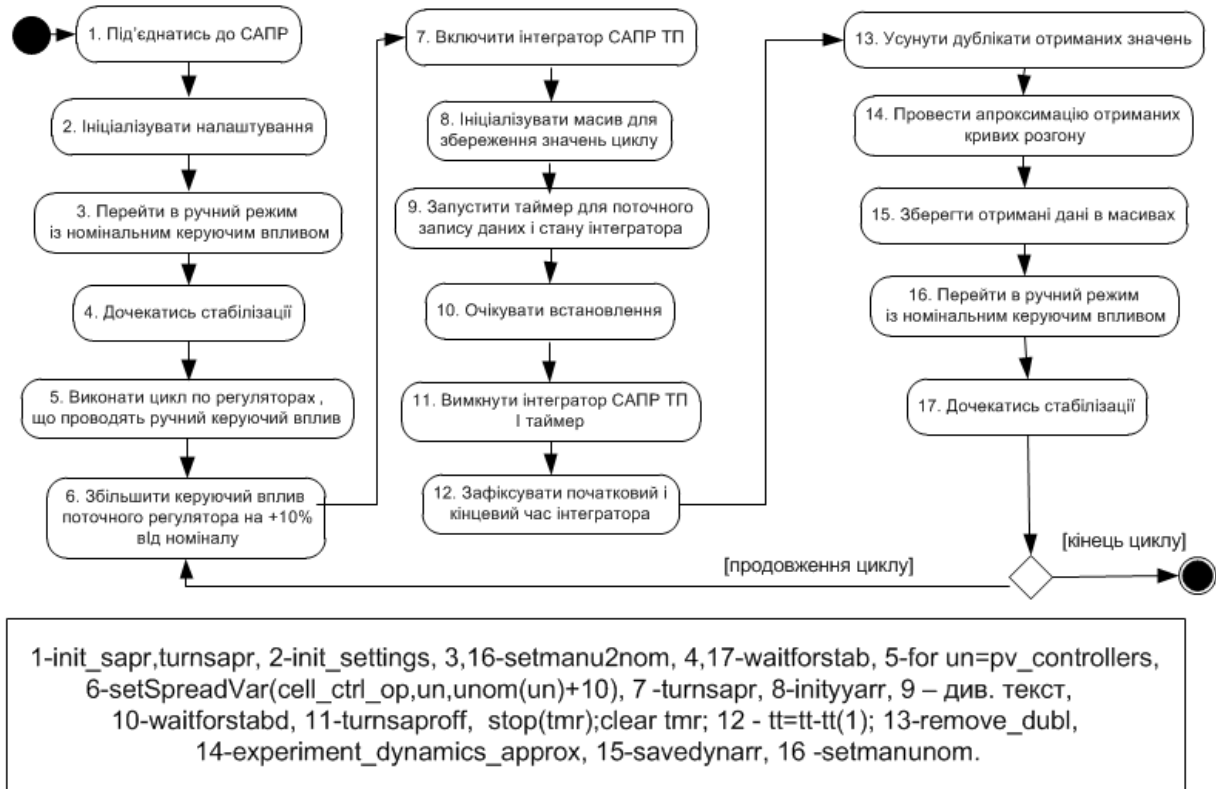


Рисунок 32 – Алгоритм виконання скрипта `experiment_dynamics`

- Проаналізуйте усі отримані графіки та зробіть висновок про адекватність отриманих моделей. Заповніть таблицю з результатами аналізу відповідно до прикладу табл. 7. Передатні функції каналів містяться в масивах `tf1` і `tf4`. Так, із зображених на рис. 33 модель першого порядку із запізненням можливо вважати повністю адекватною для першого каналу, майже неадекватною – для другого, недостатньо адекватною – для третього (оскільки невідповідність початку розгінної характеристики може призводити до значних похибок при моделюванні та синтезі систем регулювання).

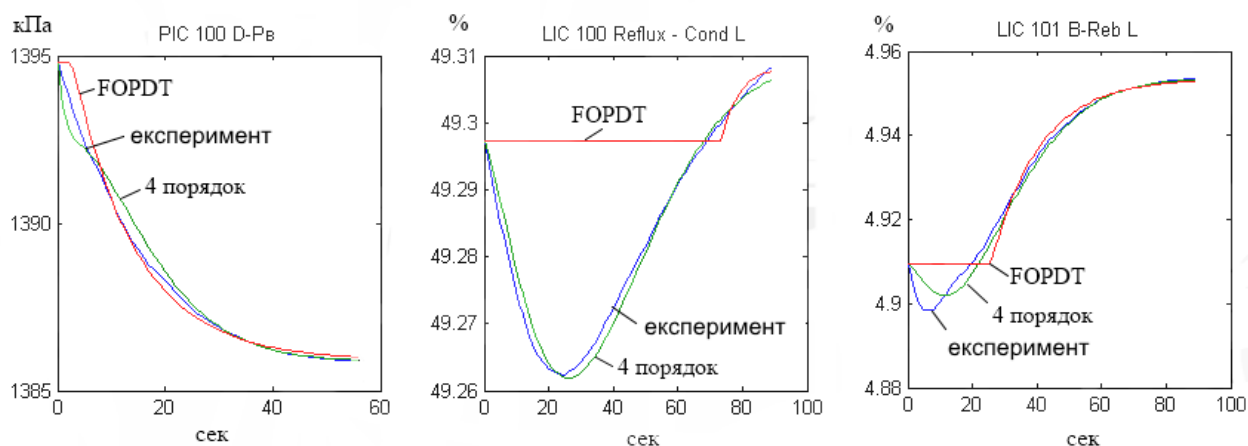


Рисунок 33 – Приклад розгінних характеристик трьох каналів : експериментальні, за моделями 1-го порядку із запізнюванням (FOPDT) і за моделями 4-го порядку, які отримані за допомогою методу Симою

Таблиця 7 – Приклад фрагмента таблиці результатів аналізу адекватності математичних моделей каналів

Канал/ Порядок моделі	Модель каналу
u1-y1 4 порядок (повністю адекватна)	$\frac{(5,317 \times 10^7)s^3 + (1,559 \times 10^5)s^2 + 231,7s + 0,1713}{(2,049 \times 10^{11})s^4 + (9,733 \times 10^8)s^3 + (2,028 \times 10^6)s^2 + 2174s + 1}$
u1-y1 1 порядок із запізненням (повністю адекватна)	$\frac{0,1708}{920,9s + 1}$
...	...

- Збережіть отриманні змінні робочого середовища за допомогою команди `save <ім'я файла>`.

5 Зміст протоколу

Протокол лабораторної роботи оформлюється на аркушах паперу формату А4 і повинен містити назву лабораторної роботи та її мету, відповіді на контрольні питання, порівняльні графіки розгінних характеристик за всіма дослідженими каналами, програмний код і алгоритм роботи скрипта `experiment_dynamics`, таблицю з результатами аналізу адекватності математичних моделей каналів.

Лабораторна робота № 8

Розробка системи автоматичного керування складним технологічним агрегатом з використанням експериментальної математичної моделі динаміки

Мета роботи: навчитися проводити синтез системи автоматичного керування, яка складається з класичних ПІ-регуляторів, використовуючи експериментальні математичні моделі каналів для об'єкта керування зі значною нелінійністю та значним впливом зв'язків між каналами.

1 Теоретичні посилання

Визначимо основні характеристики ректифікаційної колони в технологічному процесі переробки супутнього газу як об'єкта керування:

- неможливість адекватного представлення динаміки всіх каналів простими моделями,
- наявність значних зв'язків між каналами, які не завжди можливо виявити при аналізі статичних характеристик,
- неможливість лінійного представлення статичних характеристик деяких каналів навіть при незначному відхиленні в додатній і від'ємний бік відносно номінального значення керуючого впливу.

Визначимо основні вимоги до системи автоматичного управління РК:

- використовуються типові регулятори ПІД-типу,
- система складається із трьох регуляторів LIC-100, TIC-100, TIC-101,
- передбачена можливість регулювання як за завданням, так і за збуренням,
- стійкість до збурень, в першу чергу при зміні витрати та температури живлення (зміну завдань регуляторів FIC-100 і TIC-102 будемо вважати збуреннями).

Розглянуті вимоги визначені для можливості розширення системи за класичним варіантом – із додаванням на вищий рівень системи супервізорного керування. Такі системи оптимізують робочий режим процесу (завдання локальних регуляторів) для досягнення певної концентрації компонентів продуктових потоків.

Відносно розглянутої ректифікаційної колони ці вимоги можуть бути задоволені при:

- застосуванні ПІ-регуляторів, оскільки відомо що для ректифікаційних колон додавання в закон регулювання Д-складової як правило не покращує якість регулювання, а тільки ускладнює налаштування;
- застосуванні складних комп'ютерних методів налаштування, що забезпечують значний запас стійкості і враховують багатовимірність об'єкта керування.

Можливо перевірити, що в розглянутому випадку інженерні методи синтезу систем на базі регуляторів ПІД-родини не можуть бути застосовані. Також не дасть позитивного результату застосування методу автоналаштування САПР ТП. Застосування багатовимірного регулятора може бути ефективним, але ми обмежимося лише стандартними блоками САПР ТП і будемо перевіряти якість розробленої САК саме на них.

Одним із самих ефективних в даному випадку підходів до синтезу системи керування буде використання методів параметричної оптимізації. Задача оптимізації буде складатися з пошуку таких налаштувань ПІ-регуляторів (в заданих межах), які відповідають довільно обраному критерію, вираженому у функції, значення якої необхідно мінімізувати. Тобто

$$f(Kp_1, Ti_1, Kp_2, Ti_2, Kp_3, Ti_3) \rightarrow \min;$$

$$Kp_1 \in [Kp_{1\min}, Kp_{1\max}], Kp_2 \in [Kp_{2\min}, Kp_{2\max}], Kp_3 \in [Kp_{3\min}, Kp_{3\max}];$$

$$Ti_1 \in [Ti_{1\min}, Ti_{1\max}], Ti_2 \in [Ti_{2\min}, Ti_{2\max}], Ti_3 \in [Ti_{3\min}, Ti_{3\max}].$$

Для синтезу САК методом параметричної оптимізації скористаємось інструментом із графічним інтерфейсом Matlab Control Systems Tuner, що входить до пакета імітаційного моделювання Matlab Simulink. При значній перевазі – відсутності необхідності вирішувати вказану задачу за допомогою розробки доволі складної програми, інструмент має достатній перелік можливостей для розв'язання поставленої задачі. Як критерії оптимізації можливо задавати бажаний вигляд перехідного процесу, прямі й частотні критерії якості. Більш докладна інформація про всі можливості інструмента доступна в документації Matlab.

2 Контрольні питання

1. Які основні характеристики ректифікаційної колони технологічного процесу переробки супутнього газу?
2. В чому перевага регуляторів ПІД-типу? В яких випадках застосування Д-складової доцільно?
3. Дайте перелік основних форм і модифікацій регуляторів ПІД-типу.
4. Які інженерні методи налаштування регуляторів ПІД-типу вам відомі? Чому вони не підходять в розглянутому випадку?
5. Які частотні критерії якості застосовуються для аналізу систем автоматичного керування?

3 Домашнє завдання

Підготувати протокол відповідно до вимог п. 5.

4 Порядок виконання роботи

1. Запустіть Matlab і змініть робочий каталог на каталог, в якому були створені програми `experiment_steady` і `experiment_dynamics`.
2. Завантажте збережені змінні, отримані в результаті виконання експерименту динаміки за допомогою команди `load <ім'я файла>`.
3. Виконайте перетворення матриці передатних функцій 4-го порядку в простір станів в неперервному часі за допомогою команди `tf4ss=ss(tf4)`.
4. Запустіть пакет імітаційного моделювання Simulink і зберіть в ньому схему відповідно до рис. 33. Схема включає три блоки регуляторів типу "PID Controller" ("PI1", "PI2", "PI3"), блок для моделі РК (тип "State-Space", осцилографи для зображення графіків керованих змінних ("scopey1", "scopey2", "scope3") і керуючих впливів ("scopeu1", "scopeu2", "scopeu3"), константи зі

значеннями відхилень: завдань (“z1”, “z2”, “z3”), керуючих впливів регуляторів у ручному режимі (“in1”, “in2”, “in3”), збурень, приведених до входу об’єкта (“f1”, “f2”, “f3”).

5. У властивостях блоків “PI1”, “PI2”, “PI3” у вкладці “Main” задайте тип регулятора (Controller) – “PI”, форма запису (Form) – “Ideal”, K_p (Proportional) – 1, K_i (Integral) – 0,2, у вкладці “PID Advanced” установіть прапорці “Limit output” (Обмежити вихід), Upper Saturation Limit (Верхня межа) – 50, Lower Saturation Limit (Нижча межа) – -50. У властивостях блока “State-Space” введіть: A– tf4ss.a, B- tf4ss.b, C- tf4ss.d, D- tf4ss.d.

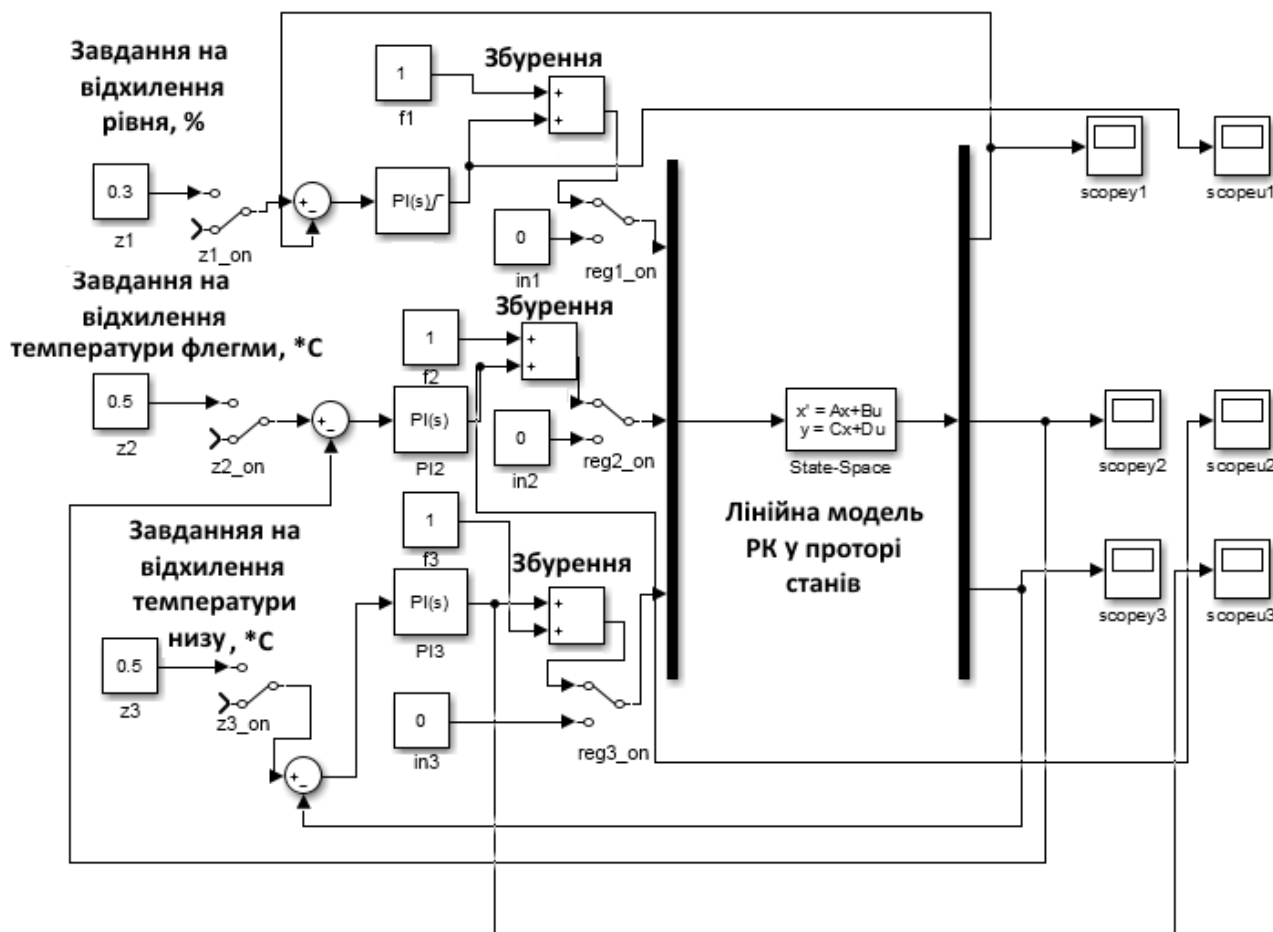


Рисунок 33 – Схема математичної моделі САК в Matlab Simulink

6. Перемкніть ключі “reg1_on”, “reg2_on” і “reg3_on” у стан ручного керування (щоб була подача сигналів від “in1”, “in2”, “in3”). Установіть значення “1” в константу “in1” і перевірте адекватність розгінних характеристик за трьома каналами: «витрата дистилляту–рівень у конденсаторі», «витрата дистилляту–температура флегми», «витрата дистилляту–температура низу». Аналогічно проведіть перевірку адекватності моделі по іншим каналам (тобто в випадках $\{in1=0, in2=1, in3=0\}$ і $\{in1=0, in2=0, in3=1\}$).
7. Якщо модель адекватна, то перемкніть ключі “reg1_on”, “reg2_on” і “reg3_on” у стан автоматичного керування (щоб була подача сигналів від суматорів, що додають збурення до керуючого впливу регуляторів).

8. Викличте інструмент Control Systems Tuner з однойменного пункту меню “Simulink Analysis”→ “Control Design”.
9. У вкладці “Tuning” (Налаштування) натисніть на кнопку “Select Blocks” (обрати блоки). У плаваючому вікні, що з’явиться, натисніть на кнопку “Add Blocks” (Додати блоки). Далі у діалоговому вікні, що з’явиться, позначте прапорці напроти “PI1”, “PI2”, “PI3” і натисніть на кнопку “OK”. Закрийте плаваюче вікно. Позначені блоки будуть додані до списку “Tuned Blocks” (Блоки для налаштування).
10. Перейдіть до властивостей кожного з доданих блоків (подвійним клацанням по його імені у списку) і заповніть його параметри відповідно до рис. 34. Межі другого регулятора мають бути відмінними за знаком, оскільки модель каналу u_2-y_2 має відмінний коефіцієнт передачі (а регулятор ТІС-100 відповідно тип дії – “Direct”).

Рисунок 34 – Параметри оптимізації блоків “PI1”, “PI2”, “PI3”

11. У тій самій вкладці натисніть на кнопку “New goal” (Нова ціль) і оберіть пункт “Rejection of Step Disturbances” (подолання збурень стрибком). Заповніть плаваюче вікно відповідно до рис. 35. Для додавання блоків у кожен список натискайте кнопку “Add” й обирайте відповідні лінії сигналів у моделі Simulink (для входів збурень це лінії від блоків “f1”, “f2”, “f3” до найближчих суматорів, для виходів – лінії з блоку “Demux” до осцилографів “Scorey1”, “Scorey2”, “Scorey3”). Значення максимальної амплітуди та максимального часу устанавлення перехідного процесу, а також коефіцієнта демпфування устанавіть відповідно 1, 1000 і 0,01. Натисніть кнопку “OK”, і вікно закриється.

12. У результаті в основному вікні інструмента мають бути зображені результати оптимізації, аналогічні показаним на рис. 36 (якщо вони не з’являться автоматично, натисніть на кнопку “Tune”). В цьому вікні порівнюються знайдені найкращі (Actual) й найгірші (Worst) перехідні процеси відповідно до критерію оптимізації.

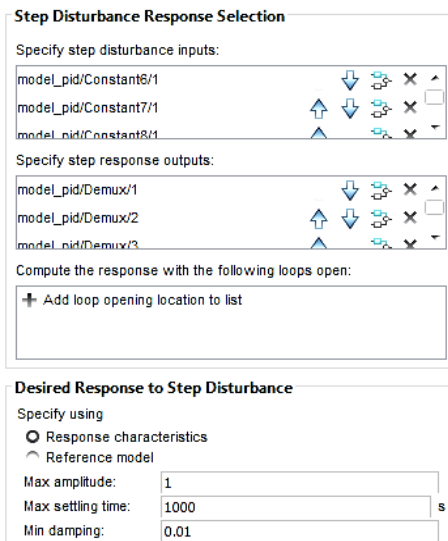


Рисунок 35 – Налаштоване вікно цілі оптимізації

симуляцію моделі САК у Simulink з отриманими параметрами при регулюванні за збуренням (на всі регулятори 1% і для кожного окремо) і за завданням (для всіх одночасно 0,3%, 0,5°C і 0,5°C, а також за кожним окремо). Переконайтесь, що якість перехідних процесів задовільна і максимальні відхилення значень усіх керуючих впливів регуляторів не перевищують 20..30% (бажано 10%).

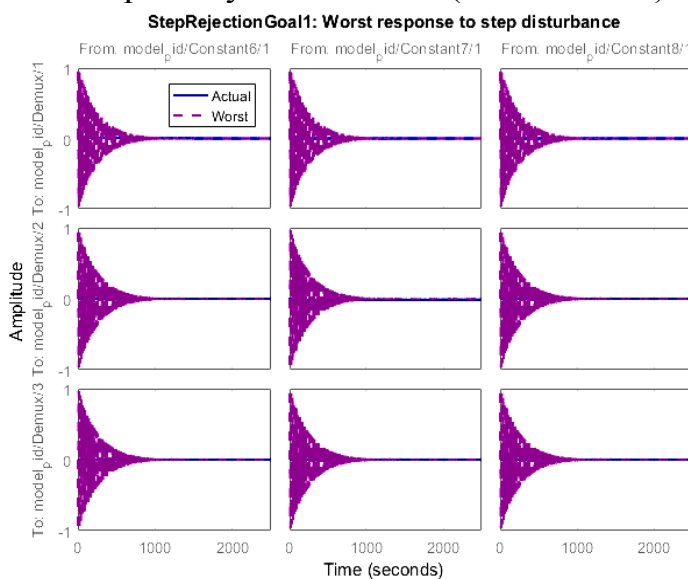


Рисунок 36 – Результати оптимізації

Якщо результати найкращих задовольняють – натисніть на кнопку “Update Blocks” (замінити параметри блоків Simulink моделі на знайдені), яка знаходиться у вкладці “Control system” (CAУ). Якщо ні – перевірте коректність налаштувань, змініть межі параметрів регулятора та коефіцієнт демпфування.

13. Проведіть

Якщо значення занадто високі – поверніться до попереднього пункту і виконайте рекомендації щодо незадовільних результатів. Якщо значення задовільні – зафіксуйте отримані значення регуляторів. Оскільки Matlab і САПР ТП використовують дещо різні форми запису ПІ-регуляторів, необхідно розрахувати час ізодрому ($T_1=1/I$) і перевести його із секунд у хвилини

$$P\left(1 + \frac{I_{\text{сек}}}{s}\right) \rightarrow K\left(1 + \frac{1}{T_{\text{лxb}}s}\right).$$

14. Відкрийте файл проекту САПР ТП lab6 і запустіть інтегратор. Переконайтесь, що регулятори FIC-100 і TIC-102 працюють в автоматичному режимі, а інші – у ручному при керуючому впливі 50%, тип дії регуляторів LIC-100 і TIC-101 – “Reverse”, TIC-100 – “Direct”, тип реалізації алгоритму – “Honeywell”, формула “Non-interacting Form A”. Для зручності нагляду за поведінкою регуляторів додайте таблиці для кожного регулятора на технологічну схему. Це

можливо зробити за допомогою вибору спливаючого меню “Show table” при клацанні правою кнопкою миші на блок регулятора.

15. Установіть параметри регулятора LIC-100 і переведіть його в автоматичний режим. Якщо регулятор є стабільним і підтримує значення керованої змінної – повторіть аналогічну операцію для регуляторів TIC-100 і TIC-101, якщо ні – перевірте уведені параметри регулятора, якість керування вказаного регулятора при симуляції моделі САК в Simulink і коректність моделі, що була записана в матриці tf4.
16. Перевірте якість роботи САК у САПР ТП при збільшенні завдання на витрату в колону на 10% (FIC-100) і при зменшенні температури вхідного продукту з -4,1 до -6 °C (TIC-102). Не забувайте після закінчення експерименту повертати значення завдання на попереднє. Збережіть копії екрана графіків перехідних процесів (Stripchart), що ілюструють якість регулювання. Приклад якісних перехідних процесів при збуренні за витратою на 650 кг/год показано на рис. 37.

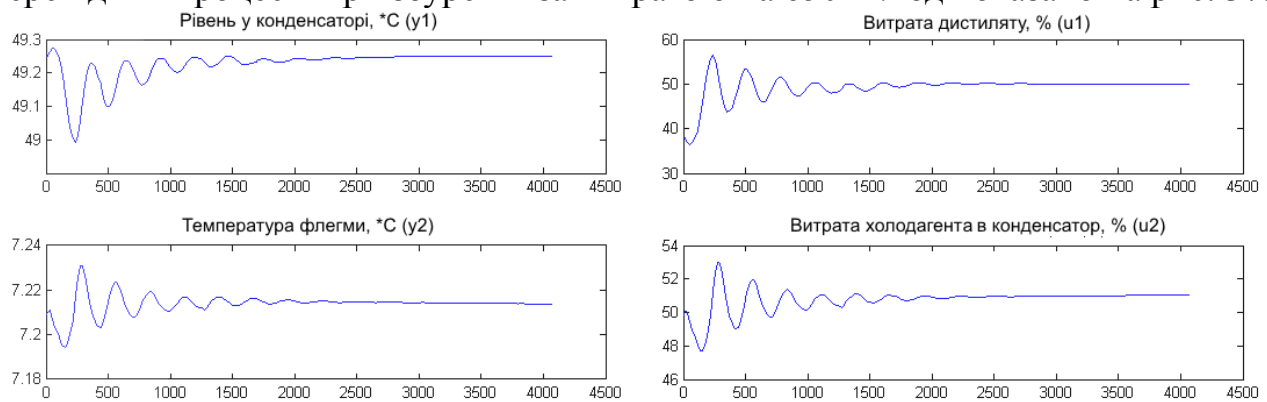


Рисунок 37 – Приклад якісних перехідних процесів у САК РК при збільшенні витрати живлення на 650 кг/год

17. Перевірте якість роботи САК у САПР ТП при збільшенні завдання регулятора LIC-100 на 0,1 і 1%, регуляторів TIC-100 і TIC-101 на 0,1 і 1 °C. Збережіть копії екрана графіків перехідних процесів (Stripchart), що ілюструють якість регулювання. Порівняйте отримані графіки з результатами Simulink моделі. Копії екранів графіків САПР ТП і Simulink при 6 випадках зміни завдання збережіть. Приклад якісних перехідних процесів при збільшенні завдання регулятора LIC-100 показано на рис. 38.

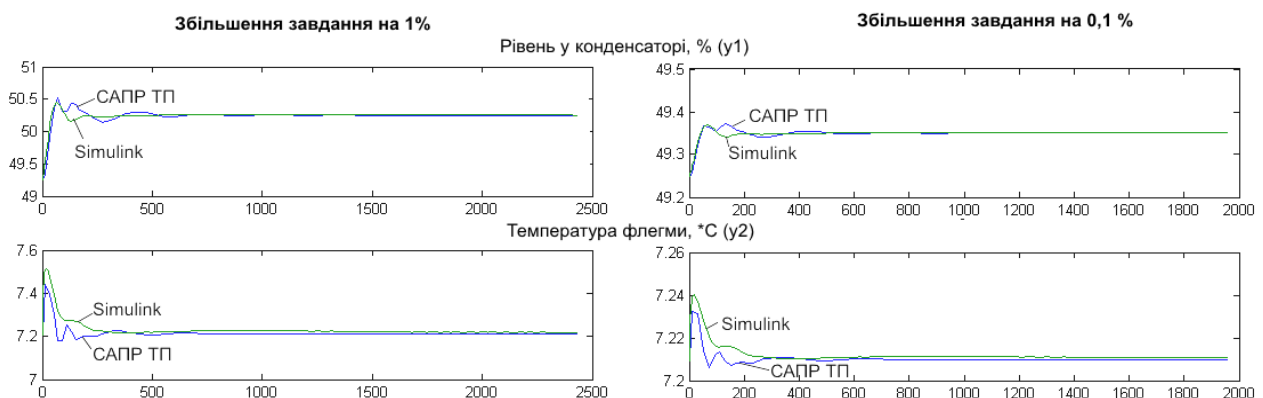


Рисунок 38 – Приклад якісних перехідних процесів у САК РК при збільшенні
завдання регулятора LIC-100

18.Збережіть моделі САПР ТП і Simulink.

5 Зміст протоколу

Протокол лабораторної роботи оформлюється на аркушах паперу формату А4 і повинен містити назву лабораторної роботи та її мету, відповіді на контрольні питання, математичну модель САК у Matlab Simulink, отримані налаштування регуляторів, висновки про відповідність результатів симуляції моделі в Simulink і САПР ТП, перехідні процеси САПР ТП за керованими змінними регуляторів LIC-100, TIS-100, TIS-101 при 1) зміні завдання регулятора FIC-100; 2) зміні завдання регулятора TIS-102; 3) зміні завдання регулятора LIC-100 на 0,1% і 1%; 4) зміні завдання регулятора TIS-100 на 0,1°C і 1°C; 5) зміні завдання регулятора TIS-101 на 0,1°C і 1°C.

Розробка комп'ютерного тренажера оператора технологічного процесу

Мета роботи: навчитися розробляти програмне забезпечення з графічним інтерфейсом у середовищі Matlab для моделювання роботи технологічного процесу з системою автоматичного керування для навчання операторів-технологів.

1 Теоретичні посилання

Більшість сучасних відповідальних технологічних процесів використовують коштовне і складне обладнання, яке вимагає кваліфікованого обслуговування. Найбільш ефективним методом підготовки кваліфікованих кадрів є використання комп'ютерних тренажерів, що в більшості країн світу для небезпечних виробництв на даний час є обов'язковим. Комп'ютерні симулятори мають використовувати максимально наближені до реальних динамічні моделі процесів і мати ідентичний інтерфейс оператора.

Для ілюстрації можливостей Matlab опишемо процес розробки простого графічного комп'ютерного тренажера оператора теплообмінника, математична модель якого описується наступним рівнянням

$$A = 10^2 \times \begin{pmatrix} -0,0044 & -0,1445 & -2,2706 \\ 0,0001 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0001 & 0 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad C = 10^3 \times (-0,0011 \quad -0,047 \quad -1,1375).$$

Використаємо пакет візуального проектування графічного інтерфейсу GUIDE для середовища Matlab. За допомогою нього розробимо простий інтерфейс, що дозволяє переглянути графіки перехідних процесів по керуючому впливу (витрата холодоагента) і керованій змінній (температура рідини на виході).

Для цього викликаємо скрипт `guide` з аргументом імені скрипта майбутнього тренажера, наприклад

```
guide(gui)
```

У діалоговому вікні “GUIDE Quick Start”, що з'явиться, оберіть пункт “Blank GUI” і натисніть кнопку “OK”. Після цього на екрані з'явиться вікно редактора GUIDE, що містить заготовлю вікна програми (на ній нанесена сітка).

На панелі компонентів, що розміщена зліва по вертикалі у вікні редактора GUIDE, обирається потрібний елемент інтерфейсу, далі він рисується за допомогою миші на заготівлі вікна програми й робиться подвійне клацання по намальованому елементу інтерфейсу для зміни його властивостей. В результаті подвійного клацання відкривається вікно редактора властивостей, в першому стовпці якого надані назви властивостей, а в другому – їхні значення. Етапи створення елементів інтерфейсу в редакторі GUIDE і завдання їх властивостей в інспекторі властивостей показані на рис. 39.

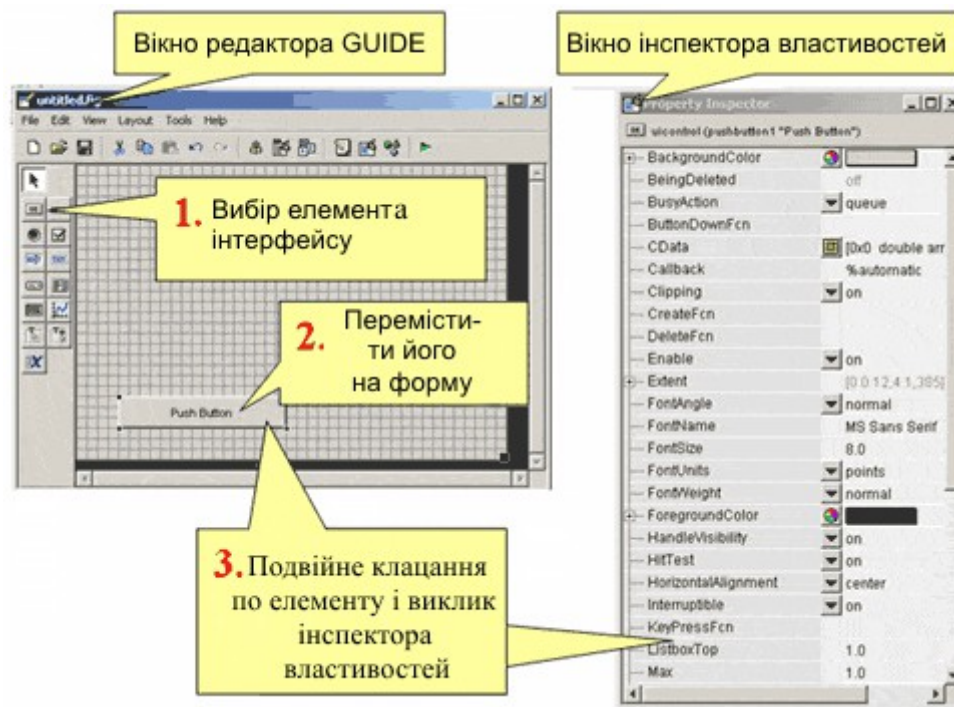


Рисунок 39 – Процес створення елементів інтерфейсу в GUIDE

На головному вікні програми розмістимо:

- три текстових об'єкти (за допомогою кнопки Static Text);
- одне поле вводу (за допомогою кнопки Edit Text);
- чотири кнопки (за допомогою кнопки Push Button);
- три панелі (за допомогою кнопки Panel);
- два графіки (за допомогою кнопки Axes).

Приклад розміщення показано на рис. 40.

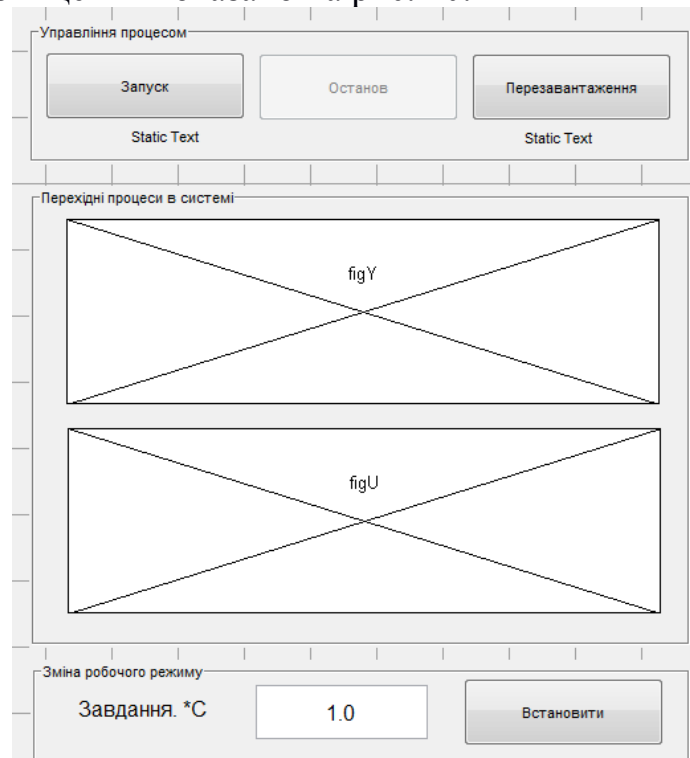


Рисунок 40 – Заготівля вікна в редакторі GUIDE

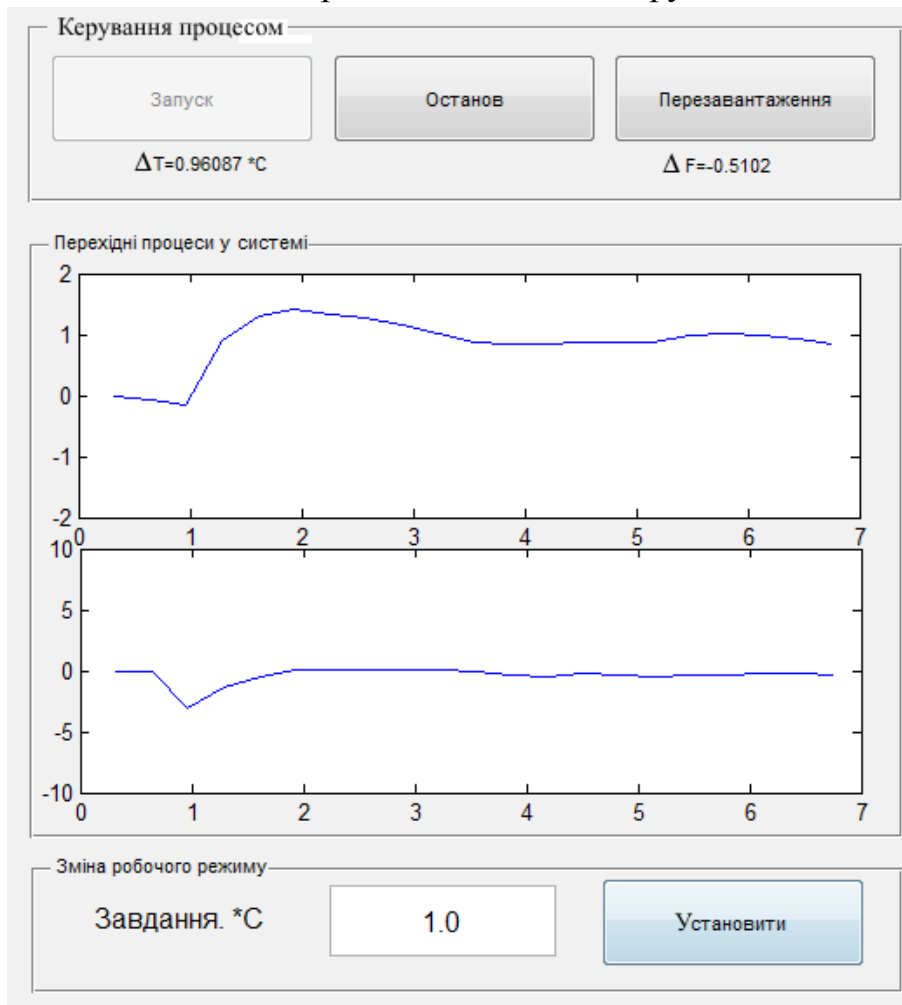
Після розміщення елементів установимо їх наступні властивості:

- кнопка запуску: tag – “cmdStart”, String – «Запуск»;
- кнопка зупинки: tag – “cmdStop”, String – «Зупинка»;
- кнопка перезавантаження: tag – “cmdRestart”, String – «Перезавантаження»;
- панелі з Title «Керування процесом», «Перехідні процеси у системі» і «Зміна робочого режиму»;
- текстові поля з tag “txtY” і “txtU” і текстове поле з Title «Завдання, *С»;
- текстове поле вводу завдання tag – “txtZ”, String – “1.0”,
- кнопка установлення завдання: tag – “cmdSetZ”, String – «Установити».

Тепер збережемо розроблену заготовку за допомогою кнопки “Save” (Ctrl+S). Після цього в редакторі буде відкрито файл з програмним кодом скрипту gui.m.

Таким чином, тренажер буде виконувати наступні функції:

- при натисненні кнопки «Запуск» запускаються два таймери, що моделюють перехідні процеси у системі (в прискореному режимі) з лінійно-квадратичним ПІ-регулятором і зображують графіки в реальному часі;
- при натисненні кнопки «Зупинка» таймери вимкнуться;
- при натисненні кнопки «Перезавантаження» вектори стану регулятора і об’єкта, а також значення керованих змінних і керуючих впливів обнуляються;



- при натисненні кнопки «Встановити» завдання регулятора змінюється на уведене в текстовому полі.

Приклад програмного коду реалізації вказаних функцій надано в додатку Г. Програма в запущеному режимі показана на рис. 41.

Рисунок 41 – Запущений комп’ютерний тренажер

2 Контрольні питання

1. Накресліть ієрархічну структуру графічних об'єктів Matlab.
2. Для чого необхідні числові ідентифікатори (handle) створених об'єктів? Які функції пропонує Matlab для отримання ідентифікатора?
3. Для чого використовується функція guidata?
4. Які типи callback-процедур присутні у графічних компонентів Matlab GUIDE?
5. Яким чином можливо розробляти графічні програми в Matlab без GUIDE?

3 Домашнє завдання

1. Підготувати протокол відповідно до вимог п. 5.
2. Ознайомитись з похідним кодом розробленої програми, яка надана в додатку Г.
3. Розробити мнемосхему ректифікаційної колони, для якої була отримана математична модель, у вигляді графічного файла відповідно до стандарту ISA 101.

4 Порядок виконання роботи

1. Проведіть синтез лінійно-квадратичного ПП-регулятора для моделі, яка отримана в лаб.роб. № 7.
2. Створіть новий скрипт тренажера за допомогою функції guide.
3. Додайте в заготовку вікна мнемосхему та необхідні елементи, що дозволяють маніпулювати керованими змінними, за якими побудована експериментальна математична модель РК.
4. Переробіть програмний код, що наведено в додатку Г, для розглянутого об'єкту управління.
5. Виконайте запуск та переконайтесь у коректності роботи всіх функцій.

5 Зміст протоколу

Протокол лабораторної роботи оформлюється на аркушах паперу формату А4 і повинен містити назву лабораторної роботи та її мету, відповіді на контрольні питання, копію екрана на якій зображена робота розробленої програми і її програмний код.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков; ред. чл.-корр. АН СССР П. Г. Романков.– Л.: Химия, 1987. – 576 с.
2. Чермак И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии / И. Чермак, В. Петерка, И. Заборка. – М: Мир, 1972. – 624 с.
3. Кафаров В.В. Разделение многокомпонентных систем в химической технологии. Методы расчета / В.В. Кафаров.– М.: Московский химико–технологический институт, 1987. – 84 с.
4. Стопакевич А.А. Системный анализ и теория сложных систем управления / А. А. Стопакевич.– Одесса : Астропринт, 2013. – 350 с.
5. Гартман Т.Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов/ Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин.– М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 416 с.
6. Абдикеев Н.М. Корпоративные информационные системы управления / Н.М. Абдикеев.– М.: Инфра-М, 2011. – 464 с.
7. Васильев А.А. Информационные системы / А.А. Васильев, Ю.С. Избачков, И.С. Телина.– СПб.: Питер, 2011. – 544 с.
8. Киселев А.Г. Корпоративная и комплексная система управления промышленного предприятия (КИС) / А.Г. Киселев.– Новосибирск, 2010. – 408 с.
9. Клейменов С.А. Администрирование в информационных системах: учебное пособие для вузов / С.А. Клейменов.– М.: Академия, 2008. – 272 с.
10. Землянский А.А. Информационные технологии в экономике / А.А. Землянский.– М.: Издательство МСХА, 2004. – 336 с.
11. Кузнецов С.Д. Базы данных: языки и модели / С.Д. Кузнецов.– М.: Бином, 2008. – 484 с.
12. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко.– М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.
13. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров.– М.: Химия, 1988. – 489 с.
14. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В.В. Кафаров, М.В. Глебов. – М.: Высш. шк., 1991.– 400 с.

Додаток А.

Призначення програмних функцій і скриптів програми дослідження технологічного агрегату

Ім'я файла	Призначення і функціональність
init_sapr (скрипт)	Установлює з'єднання з САПР ТП і для взаємодії з її електронними таблицями, ініціалізує глобальні змінні
init_settings (скрипт)	Ініціалізує структури, кожна з яких описує певний об'єкт технологічної схеми САПР' і містить заданий перелік параметрів, що співвідноситься з певними клітинками певної електронної таблиці. Також містить деякі інші параметри для налаштування.
getSpreadVar (функція)	Повертає перелік значень, що отримуються з електронної таблиці САПР ТП. В якості аргументу вказуються ім'я структури та індекси необхідних параметрів.
setSpreadVar (функція)	Змінює значення електронної таблиці САПР ТП. В якості аргументу вказуються ім'я структури, індекси необхідних параметрів та їх нові значення.
waitforstab (скрипт)	Очікує стабілізацію змінних після зміни параметрів процесу
waitforstab (скрипт)	Очікує стабілізацію змінних після зміни керуючого впливу в експерименті дослідження динаміки
dispstat (функція)	Функція для зображення поточних значень у командному вікні. Необхідно завантажити за адресою https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/44673-overwritable-message-outputs-to-commandline-window/content/dispstat.m
showcurry (скрипт)	Зображує поточні значення керованих змінних
inityyarr (скрипт)	Ініціалізує масиви для накопичення значень змінних поточного експерименту
initsteadyarr	Ініціалізує масиви для накопичення значень всього експерименту дослідження статички
savesteadyarr	Зберігає дані поточного експерименту в загальний масив всього дослідження статички
savedynyarr	Зберігає дані поточного експерименту в загальний масив всього дослідження динаміки
countdiif (скрипт)	Розраховує модуль середнього значення 10 прирощень кожної з керованих змінних
turnsapr (скрипт)	Вмикає інтегратор САПР ТП (якщо він зупинений)
turnsaproff (скрипт)	Зупиняє інтегратор САПР ТП (якщо він працює)
setmanu2num (скрипт)	Переводить регулятори в ручний режим з номінальним керуючим впливом
experiment_steady (скрипт)	Виконує дослідження статички технологічного агрегату
plot_steady (скрипт)	Будує графіки отриманих статичних характеристик
experiment_dynamics (скрипт)	Виконує дослідження динаміки технологічного агрегату
remove_dubl (скрипт)	Усуває дублікати зі значень масивів для накопичення значень змінних
simou (функція)	Проводить ідентифікацію моделлю заданого порядку
plot_dynamics (скрипт)	Будує графіки отриманих динамічних характеристик
experiment_pid (скрипт)	Виконує дослідження якості налаштування регуляторів
plot_pid	Будує графіки отриманих перехідних процесів

Додаток Б.

Вихідний код деяких програмних функцій і скриптів

Скрипт *init_sapr.m*

```
clear sapr sprds; global sapr sprds; sapr=hyconnect;  
dispstat('','init')
```

Функція *getSpreadVar.m*

```
function ret=getSpreadVar(cell_struct, nums)  
    global sapr; clear sprd  
    if nargin==0, error('no arg'); end  
    if nargin==1, nums=1:length(cell_struct.cells); end  
    sprd=hyspread(sapr, cell_struct.spread);  
    sapr_values = hycell(sprd, cell_struct.cells); ret=[];  
    for i=1:length(nums), t=sapr_values{nums(i)};  
        ret=[ret hyvalue(t)];  
    end;  
end
```

Функція *setSpreadVar.m*

```
function ret=setSpreadVar(cell_struct, nums, vals)  
    global sapr;  
    if nargin<3, error('no arg'); end  
    sprd=hyspread(sapr, cell_struct.spread);  
    sapr_values = hycell(sprd, cell_struct.cells);  
    for i=1:length(nums),  
        t=sapr_values{nums(i)};  
        hyset(t, vals(i));  
    end;  
    ret=1;  
end
```

Скрипт *showcury.m*

```
str='dispstat(sprintf ('step=%d\n';  
for j=pv_controllers, str=[str, '\t%.6f(d=%.6f)\n']; end;  
str=[str, 'cf=%d', exec_times, '];  
for j=pv_controllers,  
    str=[str, sprintf('y(%d), diffc(%d), ', j, j)];  
end;  
str=[str, 'cfin));']; eval(str);
```

Скрипт *inityarr.m*

```
for j=pv_controllers, eval(sprintf('yy%d=[];', j, j)); end;  
for j=pv_controllers, eval(sprintf('opp%d=[];', j, j)); end;  
tt=[]; diffc=zeros(1, length(pv_controllers));  
y=zeros(1, length(pv_controllers));  
op=zeros(1, length(pv_controllers)); cfin=0;
```

Скрипт *countdiff.m*

```
for j=pv_controllers,  
    eval(sprintf('diffc(%d)=abs(mean(diff(yy%d(end-  
10+1:end)))));', j, j));  
end;
```


Ckpunm waitforstab.m

```
inityyarr;cfin=0;
for exec_times = 1:max_wait_stab
    pause(1);
    y=getSpreadVar(cell_ctrl_pv,pv_controllers);
    for j=pv_controllers,
        eval(sprintf('yy%d=[yy%d y(%d)];',j,j,j));
    end;
    showcury
    if exec_times>10,
        countediff, dt=0;for di=diffc, if di<diff_margin, dt=dt+1; end;
    end;
    if dt==length(diffc),
        cfin=cfin+1;
        if cfin > cfin_max, break;end
        else cfin=0; end
    end
end
```

Ckpunm setmanu2nom.m

```
setSpreadVar(cell_ctrl_cm,pv_controllers,...
ones(1,length(pv_controllers)));%man
setSpreadVar(cell_ctrl_ca,pv_controllers,...
ones(1,length(pv_controllers)));%direct
setSpreadVar(cell_ctrl_op,pv_controllers,unom);%op=50
```

Ckpunm turnsapr.m

```
if hyisintegrating(sapr)==0, hyintegtoggle(sapr); end;
```

Ckpunm turnsaproff.m

```
if hyisintegrating(sapr)==1, hyintegtoggle(sapr); end;
```

Ckpunm remove_dubl.m

```
if length(tt)~=length(unique(tt)),
    ttn=tt(1);
    for j=pv_controllers, eval(sprintf('yy%dn=yy%d(1);',j,j));end;
    k=1;
    for i = 2:length(tt),
        if tt(i-1)-tt(i)~=0,
            k=k+1;
            for j=pv_controllers,
                eval(sprintf('yy%dn(k)=yy%d(i);',j,j));
            end;
            ttn(k)=tt(i);
        else
            disp(sprintf('removed duplicate %d',i))
        end;
    end;
    for j=pv_controllers,
        eval(sprintf('yy%d=yy%dn;clear yy%dn;',j,j));
    end;
end;
```

Ckpunm plot_steady.m

```
if exist('show_only_un','var'), un_list=show_only_un;
else un_list=pv_controllers; end
```

```

if exist('show_only_cell','var') cell_list=show_only_cell;
else cell_list=steady_experiment_cells; end
z=0;
for un=un_list,
    figure(un);
    if ~exist('show_only_cell','var')
        eval(sprintf('hfig%d=figure(%d)',un,un));
        eval(sprintf('htabgroup%d=uitabgroup(hfig%d)',un,un));
        set(eval(sprintf('hfig%d',un)),...
            'numbertitle','off','name',sprintf('u%d',un));
    end
    for celln=cell_list,
        if exist('show_only_cell','var'),
            cellname=eval(show_only_cell); cells=getSpreadVar(cellname);
            i=0;
        else
            cellname=eval(celln{1}); cells=getSpreadVar(cellname);
            i=0; z=z+1;
            eval(sprintf('htab%d%d=uitab(htabgroup%d,...
                ''Title'', ''%s'');',un,z,un,cellname.object_text));
            eval(sprintf('hax%d%d=axes(''Parent'',...
                htab%d%d);',un,z,un,z));
        end
        for par=cellname.params,
            i=i+1;
            ax=subplot(2,ceil(length(cells)/2),i);
            eval(sprintf('plot(ax,uu_steady_diap,a%s_%s_u%d);',...
                un,cellname.object,par{1},un))
            title(cellname.titles{i});
        end
    end
end
end

```

Ckpunm initsteadyarr.m

```

for celln=steady_experiment_cells,
    cellname=eval(celln{1});
    for u=pv_controllers,
        for par=cellname.params,
            eval(sprintf('a%s_%s_u%d=[];',cellname.object,par{1},u));
        end
    end
end
end

```

Ckpunm savesteadyarr.m

```

for celln=steady_experiment_cells,
    cellname=eval(celln{1}); cells=getSpreadVar(cellname); i=0;
    for par=cellname.params,
        i=i+1;
        eval(sprintf('a%s_%s_u%d=[a%s_%s_u%d %f];',...
            cellname.object,par{1},un,cellname.object,par{1},...
            un,cells(i)));
    end
end
end

```

Ckpunm savedynarr.m

```

for i=pv_controllers,
    eval(sprintf('yy%d_u%d=yy%d;', i, un, i));
    eval(sprintf('yyi%d_u%d=yy%di;', i, un, i));
end
eval(sprintf('tt_u%d=tt;', un));eval(sprintf('tt1_u%d=tt1;', un));
for i=pv_controllers,
    eval(sprintf('tf4(%d,un)=y%dtf4;tf1(%d,un)=y%dtf1;', i, i, i, i));
end

```

Ckpunm waitforstabd.m

```

cfin=0;
while exec_times<max_exec_times,
    pause(1);if length(yy1)>10, countdiff; end; showcury
    dt=0;for di=diffc, if di<diff_margin, dt=dt+1; end; end;
    if dt==length(diffc),
        cfin=cfin+1;
        if cfin> cfin_max,
            dispstat(sprintf('final: un=%d pv=%s\n',...
                un, num2str(y)), 'keepthis'); break;
        end;
    else
        cfin=0;
    end;
end;

```

Ckpunm experiment_dynamics_approx.m

```

tt1=0:1:ttn(end);
for i=pv_controllers,
    eval(sprintf('yyi=interp1(ttn, yyn%d, tt1);', i));
    try
        ytf1 = simae_ident (tt1', (yyi'-yyi(1))/10, 1, 1);
        if ytf1.num{1}(end)~=0,
            S = stepinfo(ytf1, 'SettlingTimeThreshold', 0.01);
            tm=floor(S.SettlingTime)*1.2;
            if tm>length(yyi), tm=length(yyi); end;
            yyi2=yyi(1:tm);tt2=0:1:(tm)-1;
            ytf4=simae_ident (tt2', (yyi2'-yyi2(1))/10, 4, 1);
        else
            disp('Use matlab method\n'); ytf1=tf(0);
            id_data=iddata((yyi'-yyi(1))/10, 1*ones(length(yyi), 1));
            ytf4 = tf(tfest(id_data, 3, 3));
        end;
    catch ME
        ytf1=tf(0);ytf4=tf(0);
    end;
    eval(sprintf('yy%di=yyi;y%dtf1=ytf1;y%dtf4=ytf4;', i, i, i));
end

```

Ckpunm plot_dynamics.m

```

if exist('show_only_un', 'var'), un_list=show_only_un;
else un_list=pv_controllers; end
for un=un_list,
    figure(un+length(pv_controllers));
    for i=pv_controllers,
        ax=subplot(2, ceil(length(pv_controllers)/2), i);
    end
end

```

```

if tf1(i,un).num{1}(end)~=0,
    S = stepinfo(tf1(i,un),'SettlingTimeThreshold',0.01);
    tm=floor(S.SettlingTime)*1.2;
    eval(sprintf('yyi=yyi%d_u%d;', i,un));
    if tm>length(yyi), tm=length(yyi); end;
    yyi=yyi(1:tm);tt2=0:1:(tm)-1;
    ytf4_a=yyi(1)+10*step(tf4(i,un),tt2);
    ytf1_a=yyi(1)+10*step(tf1(i,un),tt2);
    plot(ax,tt2,yyi,tt2,ytf4_a,tt2,ytf1_a);
    legend('orig','4','1', 'Location', 'Best');
    title([cell_ctrl_op.titles(un),'-','...
    cell_ctrl_pv.titles(i)])
else
    eval(sprintf('yyi=yyi%d_u%d;', i,un));
    if tf4(i,un).num{1}(end)~=0,
        S = stepinfo(tf4(i,un),'SettlingTimeThreshold',0.01);
        tm=floor(S.SettlingTime)*1.2;
        if tm>length(yyi), tm=length(yyi); end;
        yyi=yyi(1:tm);tt2=0:1:(tm)-1;
        ytf4_a=yyi(1)+10*step(tf4(i,un),tt2);
        plot(ax,tt2,yyi,tt2,ytf4_a);
        legend('orig','4','1', 'Location', 'Best');
        title([cell_ctrl_op.titles(un),...
        '-','cell_ctrl_pv.titles(i),'(без моделі 1 порядку)'])
    else
        plot(ax,yyi)
        title([cell_ctrl_op.titles(un),...
        '-','cell_ctrl_pv.titles(i),'(без моделі)'])
    end
end;
end
end
end

```

Додаток В

Вихідний код програми ідентифікації за методом Симою

```
function [rettf, retsys] = simae_ident (t, yy, nn, opt)
if nn<1 || nn>10, error(message('Order (n) must be numeric [1 ..
10]')); end;
for n=nn:-1:1,
    if n<3,
        y=yy;
        [k1,c1]=size(t);
        Ts=max(t)/(k1-1);
        As=1; m = (y(end)-y(1))/As;
        if m<0, y = -y; end;
        y1 = y(1); yN = y(end);
        y(y<y1) = y1; y(y>yN) = y(y>yN) - 2*(y(y>yN)-yN);
        A0 = sum(yN-y)*Ts;
        it0 = fix(A0/abs(m)/Ts);
        if it0>length(y), it0=length(y); end;
        if it0<=length(y),
            A1 = sum(y(1:it0)-y1)*Ts;
            T = exp(1)*A1/abs(m);
            L = max((A0-exp(1)*A1)/abs(m), 0);
            if n==1,
                rettf=tf([m],[T 1],'ioDelay',L);
            else %2
                [np,dp]=pade(L,1);
                rettf=tf([m],[T 1])*tf(np,dp);
            end;
            [np,dp]=pade(L,2);
            rettf1=tf([m],[T 1])*tf(np,dp);
            [num1,den1]=tfdata(rettf1,'v');
            %num1,den1
            [A,B,C,D]=tf2ss(num1,den1);
            retsys=ss(A,B,C,D);
        else
            disp('diff gain?');
            rettf=tf(0);
        end
    end
if (isstable(rettf)==0)
    disp('Incorrect approx');
    rettf=tf(0);
    retsys=ss(rettf);
end;
```

```

        break;
    else
        [k1,c1]=size(t);
        dt=max(t)/(k1-1);
        if c1~=1 || k1 < 10, error(message('Time must be numeric
vector minimum 1x10'))); end;
        [k2,c2]=size(yy);
        if c2~=1 || k2 < 10, error(message('Values must be numeric
vector minimum 1x10'))); end;
        if k1~=k2, error(message('Values and time vector has not
equal size'))); end;
        y=ones(k1,1)-yy*(1/yy(k1));
        s=1:k1;
        m=zeros(2*n-3,1);
        m0=dt*sum(y);
        for i=1:2*n-2,
            m(i)=dt^(i+1)/factorial(i)*s.^i*y;
            if mod(i,2)~=0, m(i)=-m(i); end;
        end;
        mm=[m0;m];
        q = filter(1, [1 -mm'], mm');
        V1=[-eye(n-1);zeros(1,n-1)];
        for i=1:n-1,
            for j=i+1:n,
                V1(j,i)=-q(j-i);
            end;
        end;
        V2=zeros(n-1,n-1);
        for i=1:n-1,
            for j=1:n-1,
                V2(i,j)=-q(n+i-j);
            end;
        end;
        [k11,c11]=size(V1); [k21,c21]=size(V2);
        V=[eye(k11,c11+1) V1; zeros(k21,c11+1) V2];
        Q1=zeros(2*n-1,1);
        for i = 1:2*n-1, Q1(i)=q(i); end;
        al=inv(V)*Q1;
        a0=sign(al(n))/al(n);
        a=zeros(1,n-1);
        for i=1:n-1, a(i)=al(i)/al(n); end;
        kk=yy(k1);
        b0=kk*sign(al(n))/al(n);
        b=zeros(1,n-1);

```

```

    for i=1:n-1, b(i)=kk*al(i+n)/al(n); end;
    AA=zeros(n,n);
    AA(n,1)=-a0;
    for i=2:n, AA(n,i)=-a(i-1); end;
    for i=2:n-1, AA(i-1,i)=1;end;
    AA(n-1,n)=1;
    BB=[zeros(n-1,1);1];
    CC=zeros(1,n);
    CC(1)=b0;
    for i=2:n, CC(i)=b(i-1); end;
    retsys=ss(AA,BB,CC,0);
    [num,den]=ss2tf(AA,BB,CC,0);
    if(opt==1)
        d=den(end); rettf=tf(num/d,den/d);
    else
        rettf=tf(retsys);
    end
    if (isstable(rettf)==0)
        disp('Order decreased');
    else
        break;
    end;
end
end
end

```


Додаток Г.

Вихідний код основних функцій комп'ютерного тренажера оператора технологічного процесу

```
function gui_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
    %структура для обміну даними між функціями скрипта
    handles.output = hObject;
    numseconds=10; %кількість сек., що відображаються на графіках
    %номінальне збурення, завдання
    handles.f=0.28;handles.z=1;
    handles.acc=1;
    %модель об'єкта керування в неперервному часі
    A=1e2 * [ -0.0044 -0.1445 -2.2706; 0.0001 0
    0; 0 0.0001 0];B=[1;0;0];handles.C=1e3 * [-0.0011
    -0.0470 -1.1375];handles.D=0;n=3;m=1;
    % синтез цифрового лінійно-квадратичного ПІ-регулятора
    handles.dt=0.1/max(abs(eig(A)));
    [handles.Ad handles.Bd]=c2d(A,B,handles.dt);
    A1=[handles.Ad zeros(n,m);handles.C eye(m)];
    B1=[handles.Bd; zeros(m)];
    C1=[zeros(m,n) eye(m)];
    R=1;Q1=1*handles.C'*eye(m)*handles.C;
    Q=[Q1 zeros(n,m); zeros(m,n) eye(m)];
    R1=eye(m);Q1=eye(m+n);
    K=dlqr(A1,B1,Q,R);
    L=dlqr(A1',C1',Q1,R1)';
    K1=K(:,1:n);K2=K(:,n+1:n+m);
    L1=L(1:n,:);L2=L(n+1:n+m,:);
    handles.Ar=[handles.Ad-handles.Bd*K1 -handles.Bd*K2-L1 L1;
    handles.C eye(m)-L2 L2;
    zeros(m,n) zeros(m) eye(m)];
    handles.Br=[zeros(n,m); zeros(m); eye(m)];
    handles.Cr=[-K zeros(m)];
    handles.x=zeros(n,1);handles.u=zeros(m,1);
    handles.xr=zeros(n+m+m,1);
    %ініціалізуємо накопичування значень керуючих впливів,
    %керованих змінних і часових точок
    handles.yy=[];handles.uu=[];handles.tt=[];
    handles.y=0;handles.u=0;handles.e=0;
    handles.exec=0;
    handles.numpoints=fix(numseconds/handles.dt);
    %ініціалізуємо таймер для моделювання
    handles.guifig = gcf;
    handles.tmr1 = timer('TimerFcn', ...
    {@TmrFcn,handles.guifig},...
    'ExecutionMode','FixedRate', 'Period',
    handles.dt*handles.acc);
    %ініціалізуємо таймер для відображення графіків
    handles.tmr2 = timer('TimerFcn', ...
    {@TmrFcn2,handles.guifig},...
    'ExecutionMode','FixedRate', 'Period', handles.dt);
```

```

guidata(hObject, handles); %оновлюємо структуру для обміну

%таймер для моделювання роботи замкненої системи керування
function TmrFcn(src,event,handles)
    handles = guidata(handles);
    %збільшуємо лічильник виконань
    handles.exec=handles.exec+1;
    handles.y=handles.C*handles.x;
    handles.e=-handles.z+handles.y;
    handles.u=handles.Cr*handles.xr;
    handles.xr=handles.Ar*handles.xr+handles.Br*handles.e;
    handles.y=handles.C*handles.x+handles.D*handles.u;
    handles.x=handles.Ad*handles.x+handles.Bd*(handles.u+handles.f
    *rand(1));
    if handles.exec<=handles.numpoints,
        handles.yy(handles.exec)=handles.y;
    else
        %масив для відображення графіка повинен мати фіксовану
        %кількість %точок.
        %Якщо в масив додається точка, що перевищує задану
        %кількість, то перший його елемент видаляється
        handles.yy=handles.yy(2:handles.numpoints);handles.yy(handles.
        numpoints)=handles.y;
    end;
    if handles.exec<=handles.numpoints,
        handles.uu(handles.exec)=handles.u;
    else

        handles.uu=handles.uu(2:handles.numpoints);handles.uu(handles.
        numpoints)=handles.u;
    end;

    if handles.exec<=handles.numpoints,
        handles.tt(handles.exec)=handles.dt*handles.exec;
    else
        handles.tt=handles.tt(2:handles.numpoints);
        handles.tt(handles.numpoints)=handles.dt*handles.exec;
    end;
    %встановлюємо значення текстових полів
    set(handles.txtY,'String',{'T=',num2str(handles.y),' *C'});
    set(handles.txtU,'String',{'F=',num2str(handles.u),' prc.'});

    guidata(handles.guifig, handles);

%таймер для відображення графіків у реальному часі

function TmrFcn2(src,event,handles)
    handles = guidata(handles);
    ylp=handles.figY;
    plot(ylp,handles.tt(1:length(handles.tt)-
    1),handles.yy(1:length(handles.yy)-1));
    ylim(ylp,[-handles.z*2 handles.z*2]);
    ulp=handles.figU;

```

```

plot(ulp,handles.tt(1:length(handles.tt)-
1),handles.uu(1:length(handles.uu)-1));
ylim(ulp,[-10 10])

%функція виконання запуску
function cmdStart_Callback(hObject, eventdata, handles)
    set(handles.cmdStart,'Enable','off')
    set(handles.cmdStop,'Enable','on')
    set(handles.cmdRestart,'Enable','on')
    start(handles.tmr1);start(handles.tmr2);

%функція виконання остановки
function cmdStop_Callback(hObject, eventdata, handles)
    set(handles.cmdStop,'Enable','off')
    set(handles.cmdStart,'Enable','on')
    set(handles.cmdRestart,'Enable','on')
    stop(handles.tmr1);
    stop(handles.tmr2);

%функція виконання перезавантаження

function cmdRestart_Callback(hObject, eventdata, handles)
    stop(handles.tmr1);
    stop(handles.tmr2);
    handles.x=zeros(3,1);handles.xr=zeros(5,1);
    handles.u=0;handles.y=0;handles.e=0;
    handles.uu=[];handles.yy=[];handles.tt=[];
    handles.exec=0;
    guidata(handles.guifig, handles);
    start(handles.tmr1);
    start(handles.tmr2);

%функція установлення нового завдання
function cmdSetZ_Callback(hObject, eventdata, handles)
    newz=get(handles.txtZ, 'string');
    zn=str2double(newz);
    if zn>=-10 && zn <=10
        zn
        handles.z=zn;
        guidata(handles.guifig, handles);
    end;

```