

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ  
УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

**ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

**для студентів спеціальності**

**„Автоматизоване управління технологічними процесами”**

*Рекомендовано Вченою радою інженерно-хімічного факультету*

**Київ  
НТУУ «КПІ»**

**2012**

Оптимальне керування. : Метод. вказівки до виконання. курсових робіт для студентів спеціальності „Автоматизоване управління технологічними процесами” / Уклад.: Л.Р.Ладієва – К. : НТУУ ”КПІ“, 2012. – 58 с.

*Гриф надано Вченою радою ІХФ*

*(Протокол № 2 від 27 лютого 2012 р.)*

Навчальне видання

### ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ

Методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів спеціальності „Автоматизоване управління технологічними процесами”

Укладач: Ладієва Леся Ростиславівна, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний

редактор А.І. Жученко, докт. техн. наук, проф.

Рецензент О.С. Жураковська, к.т.н.,доц..

Авторська редакція

## Зміст

Вступ.....	4
1. Тематика курсового проектування.....	5
2. Завдання.....	6
3. Вихідні дані для курсової роботи.....	8
4. Оформлення курсової роботи.....	8
5. Зміст пояснювальної записки курсової роботи.....	9
6. Характеристика технологічного процесу як об'єкта керування.....	10
7. Математичне моделювання об'єкта керування.....	12
8. Розробка алгоритмів оптимального керування.....	13
Список рекомендованої літератури.....	15
Додаток А.....	17
Додаток Б.....	18
Додаток В.....	21

## Вступ

Метою виконання курсової роботи є формування навичок використання методів оптимізації при проектуванні систем, плануванні і аналізі функціонування існуючих систем, керуванні динамічними системами.

Студенти повинні вміти досліджувати і проектувати оптимальні системи керування технологічними процесами, а саме:

- вибирати прийнятний рівень моделювання, побудувати цільову функцію і модель у цілому, вибрати стратегію пошуку оптимального рішення
- вирішувати задачі динамічної оптимізації при наявності обмежень у формі рівностей і нерівностей
- вирішувати задачі динамічної оптимізації для конкретного технологічного процесу, а саме для лінійних і нелінійних об'єктів, для узагальненого і квадратичного критерію якості.

## 1. Тематика курсового проектування

Тематика курсового проектування пов'язана зі спрямованістю курсу "Математичні методи оптимізації». Це, у першу чергу, оптимізація технологічних процесів хіміко-технологічних, нафтохімічних, целюлозно-паперових, біохімічних і інших близьких по організації й оформленню виробництв.

Курсова робота по оптимізації являє собою розробку системи оптимального керування технологічного процесу, вузла установки. Основними результатами курсової роботи є розроблення і дослідження моделі і оптимальної системи керування (алгоритм керування) технологічного вузла, а також його функціональна схема автоматизації.

Прикладами тем курсових робіт по оптимізації можуть бути:

1. Оптимальне керування процесу синтезу аміаку.
2. Оптимальне керування одержання хлорметану.
3. Оптимальне керування сушки-грануляції у виробництві амофосу.
4. Оптимальне керування процесів у багатокорпусній випарній установці біохімічного виробництва.
5. Оптимальне керування тепловим режимом черв'ячної машини.
6. Оптимальне керування процесу ферментації у виробництві кормових дріжджів.
7. Оптимальне керування процесу одержання технічного вуглецю з важких нафтопродуктів.
8. Оптимальне керування процесу сушіння молока в сушарках киплячого шару.
9. Оптимальне керування лінії гальванічного цинкування.
10. Оптимальне керування процесу варіння целюлози.
11. Оптимальне керування технологічних процесів розмільно-підготовчого відділення целюлозно-паперового виробництва.
12. Оптимальне керування процесу одержання моторних масел.
13. Оптимальне керування технологічних процесів в апарату безперервної

полімеризації капролактаму.

14. Оптимальне керування процесу мерсеризації целюлози у виробництві віскози.

## 2. Завдання

Перша частина:

- Для вибраного технологічного процесу сформулювати задачі оптимального керування. Обґрунтувати вибір критерію оптимальності.
- Вибрати прийнятний рівень моделювання і розробити математичну модель процесу.
- Вивести необхідні умови оптимальності, використовуючи варіаційний метод. Порівняти отриманий результат з спряженими рівняннями і умовами трансверсальності з використанням принципу максимуму.
- Розглянути оптимальне керування у замкненій системі. Синтезувати оптимальний лінійний регулятор. Розглянути можливість введення інтегральної складової в закон керування. Записати і розв'язати диференціальні нелінійні рівняння Рікатті. Для розв'язку алгебраїчних рівнянь Рікатті застосувати градієнтні методи нелінійного програмування. Привести динаміку коефіцієнтів підсилення регулятора і графіки поведінки системи.
- Побудувати оптимальну систему керування. Шляхом вибору матриць  $Q$ ,  $R$ ,  $S$ , і рішення вихідної системи, в оберненому часі спряженому системи знайти оптимальне програмне керування і оптимальності траєкторії вектора стану.
- Для об'єктів з розподіленими параметрами застосувати метод функції штрафів при градієнтному пошуку оптимуму у функціональному просторі для обчислення керування і траєкторії переводу. Записати: чисельний алгоритм рішення.
- Дати оцінку оптимальним траєкторіям отриманим у результаті пошуків.

Друга частина:

- Визначити лінію переключення для керування за мінімальним часом при обмеженні на керування, яке приведе систему у початок координат. Записати оптимальний закон керування.
- Застосувати метод функції штрафів при градієнтному пошуку оптимуму у функціональному просторі для обчислення керування і траєкторії переводу. Записати чисельний алгоритм рішення.
- Перевірити керованість системи.

Вихідними даними для курсової роботи є відомості й матеріали, одержувані на виробничій практиці. Тому завдання на курсову роботу видається студентам перед виробничою практикою або на початку її проходження. Це індивідуальне завдання студента й записується він у щоденнику проходження практики. При цьому вказується тема (у вигляді індивідуального завдання студента), а також основні вихідні матеріали для виконання курсової роботи у вигляді декомпозиції індивідуального завдання.

Студенти на виробничій практиці зобов'язані вичертити технологічну схему вузла або установки, основного технологічного апарата або машини, функціональну схему автоматизації по темі індивідуального завдання. Крім цього, вони повинні вивчити фізико-хімічні основи й технологію цього вузла або установки, виконати статичні розрахунки (матеріальний і тепловий або енергетичний баланс), зібрати матеріал по технічному оснащенню системи автоматизації (типи приладів, їхня вартість). Вивчити контрольовані й регульовані технологічні параметри, а також даного й аналогічних або близьких до пристрої виробництв, наявну літературу за технологією й автоматизації відповідного виробництва. Зібрати або, якщо можливо, експериментально одержати дані по динаміці технологічних процесів і апаратури автоматизації. Ці матеріали служать вихідними даними для курсової роботи.

Остаточне завдання на курсову роботу видається керівником роботи після подання студентом матеріалів виробничої практики на кафедру, на початку періоду курсової роботи. Завдання на курсову роботу видається на спеціальному бланку (див. додаток). Оформлення бланка завдання показано в додатку.

#### **4. Оформлення курсовий роботи**

Курсова робота складається з пояснювальної записки й графічної частини. Пояснювальна записка звичайно має обсяг 30-40 сторінок машинописного тексту й містить: введення ; характеристику технологічного процесу як об'єкта керування; аналіз стану оптимального керування технологічного процесу; постановку завдання оптимізації; математичне моделювання об'єкта керування;



розробку автоматичної системи регулювання технологічного процесу; розробку системи оптимального керування технологічного процесу; висновки; список літератури й додатка.

Графічна частина курсової роботи містить 2 аркуші формату А1: креслення технологічного апарата; функціональної схеми автоматизації; статичні й динамічні характеристики об'єкта й системи керування, оптимальні траєкторії переводу системи, графіки оптимального керування зі зворотнім зв'язком і оптимального програмного керування.

Записка оформляється у відповідності зі нормативним стандартом Київського політехнічного інституту.

Текст і малюнки виконуються на формах установленим ЕСКД. Титульний аркуш оформляється відповідно до стандарту. Приклад титульного аркуша пояснювальної записки наведений у додатку.

Для розрахунків і опису фізико-хімічних процесів обов'язкове використання одиниць у системі СИ.

## **5. Зміст пояснювальної записки курсової роботи**

### **Вступ**

У вступі викладаються питання актуальності тематики курсової роботи, місце й значення розглянутого технологічного вузла в його виробництві, що включає, мета й завдання виконуваної роботи.

Актуальність тематики визначається значенням для народного господарства оптимального керування технологічного процесу або виробництва, соціальним або економічним ефектом розробки, впливом виконуваної роботи на технічний прогрес.

Розглянутий у курсовій роботі технологічний процес або вузол входить до складу виробництва або заводу. У вступі визначити місце й значення для виробництва розглянутого технологічного процесу, його вплив на ефективність виробництва.

Мета й завдання курсової роботи висвітлюються з позицій розроблювальної системи автоматизації, її соціальної спрямованості (охорона навколишнього середовища, вивільнення людей зі шкідливих умов і т.д.), енергозбереження, впливу на технічний прогрес в області автоматизованого виробництва.

## **6. Характеристика технологічного процесу як об'єкта керування**

При розгляді характеристики автоматизованого технологічного процесу варто приділити увагу наступним питанням:

- Фізико-хімічним основам технологічного процесу;
- Технології процесу, поєднав її з технологією виробництва;
- Опису основного устаткування;
- Аналізу контрольованих і регульованих технологічних параметрів.

Загальний обсяг розгляду не повинен перевищувати 10 сторінок.

### **Аналіз стану автоматизації технологічного процесу**

Цей аналіз виконується на підставі матеріалів виробничої практики студентів і літературних даних. Метою аналізу є оцінка рівня автоматизації подібних автоматизованому виробництву, а також використання розроблених і апробованих систем автоматизації, керування, регулювання або їхніх елементів у даному проекті. Виконувані розробки, як правило, будуються на підставі існуючих аналогічних розробок, що добре показали себе на практиці. Природно, при цьому вносяться корективи, що виправляють наявні недоліки або враховують розходження технології й апаратурного оформлення. На підставі досягнутого для даних виробництв рівня автоматизації ставиться основне завдання автоматизації.

Для виконання аналізу можна використати системи автоматизації не тільки виробництв, аналогічних автоматизованому, але й близьких за технологією й організацією. Варто звернути увагу на матеріали, опубліковані в монографіях, статтях, авторських посвідченнях і патентах.

Аналіз виконується з урахуванням застосування розроблених систем

регулювання, керування й оптимізації в даній роботі. Матеріали, що втримуються в авторських посвідченнях і патентах; рекомендується використати лише в тих випадках, коли в реальних розробках доцільне придбання ліцензії або виплата авторської премії. Потрібно прагнути до патентної чистоти пропонованої розробки.

Крім того, варто звернути увагу на можливість поліпшення розробки, авторські права на яку закріплені авторськими посвідченнями або патентами. Якщо пропонуване вдосконалення істотно поліпшує розробку й експериментальне дослідження пропонованого вдосконалення покаже його ефективність, варто оформити заявку на пропонований винахід.

### **Постановка завдання автоматизації**

На підставі виконаного аналізу фізико-хімічних основ і технології, а також стану оптимізації виробництва необхідно поставити основне завдання оптимального керування. Воно повинне бути коротким й містити пропонований рівень оптимізації і її спрямованість.

Основне завдання оптимізації в реальній роботі узгоджується із замовником і результати даної роботи рівняються з поставленим основним завданням. Варто мати на увазі, що при захисті роботи, у тому числі й даній курсовій, виробляється оцінка якості рішення поставленого основного завдання. Прикладом постановки основного завдання може бути: розробити систему оптимального керування процесів сушки-грануляції аммофоса з використанням ЕОМ і оптимальним керуванням основного процесу.

Після постановки основного завдання роблять її декомпозицію, тобто розбивають на ряд частинних завдань, що забезпечують рішення основної.

Прикладом декомпозиції поставленої вище завдання оптимізації можуть бути:

- Розробка статичної й динамічної моделі процесу сушки-гранулювання аммофоса.
- Виконати синтез і аналіз автоматичних систем регулювання процесів підтримки температури в барабанній сушарці й топленні.

- Розробити алгоритми оптимального керування процесом сушіння аммофоса.
- Виконати дослідження АСР температури й алгоритму оптимального керування шляхом імітаційного моделювання на ЕОМ.
- Розробити функціональну схему системи автоматизації процесу сушіння.

## **7. Математичне моделювання об'єкта керування**

Синтез і аналіз АСР або алгоритмів керування розробляється методами математичного моделювання на підставі яких побудована теорія оптимального керування.

Синтез АСР алгоритму оптимального керування має на меті визначення закону регулювання моделі деякого коригувального пристрою або цільової функції при оптимальному керуванні. При цьому необхідно мати модель об'єкта керування, а також моделі датчиків, перетворювачів, виконавчих механізмів, регулювальних органів, ліній зв'язку . Найбільш складним і трудомістким є одержання моделі об'єкта керування.

Моделювання об'єкта керування може розроблятися аналітичним і експериментальним методами. Нерідко для об'єктів, що змінюють свої властивості згодом, використовуються адаптивні моделі, побудовані на базі параметричних і структурної поточних ідентифікацій.

У даній курсовій роботі математична модель об'єкта керування розробляється аналітичним методом . Методика аналітичного моделювання об'єкта керування викладена в [2-5].

Отриману математичну модель потрібно досліджувати, тобто побудувати статичні (для статичної моделі) і динамічні (для динамічної моделі) характеристики.

Із цією метою виконується розробка програми дослідження на ЕОМ.

## 8. Розробка алгоритмів оптимального керування

Розробку алгоритмів оптимального керування можна робити декількома шляхами.

Основними методами розробки оптимальної системи керування є:

- завдання декількох варіантів оптимальної системи керування із наступним аналізом і відбором найкращого варіанта;
- синтез закону керування на підставі обраного критерію.

У даній роботі рекомендується перший шлях, тобто вибір кращого варіанта серед заданих.

Із цією метою на підставі літературних даних, матеріалів виробничої практики або логічних міркувань розробляється завдання декількох варіантів системи керування. Моделі цих варіантів програмується на ЕОМ і виробляється їхнє дослідження. При цьому для кожної системи керування розробляється оптимізація настроювань регуляторів і забезпечується якість регулювання при оптимальних настроюваннях регуляторів. Для оптимізації настроювань регуляторів варто використати один з методів нелінійного програмування, наприклад симплексний метод [6]. Для виконання відбору кращого варіанта системи керування необхідно сформулювати критерій оцінки якості системи керування. Якщо не є яких-небудь вказівок по якості системи керування, вибирають інтегральний критерій якості.

При розробці алгоритму оптимального керування формулюються й досліджуються критерії керування (оптимізації). За обраним критерієм керування (оптимізації) складається формалізований алгоритм керування (оптимізації) на підставі математичних моделей елементів САУ у вигляді систем рівнянь.

По даній системі рівнянь розробляється методика їхнього рішення й складається блок-схема алгоритму оптимального керування відповідно до [7-9]. По даним блок-схеми алгоритму керування складається програма для машини-носія. Дослідження алгоритму керування на ЕОМ може вироблятися в діалоговому режимі й у режимі пакетної обробки. При пакетній обробці всі

методи дослідження заздалегідь заставляються в програму ЕОМ при діалоговому - оператор може задавати методику дослідження після виконання попередніх дій. У даній роботі рекомендується діалоговий режим дослідження.

Система автоматизації технологічного процесу. Система автоматизації містить у собі керування, регулювання й контроль технологічних процесів і параметрів. Основним технічним документом, що відбиває систему автоматизації технологічного процесу, є його функціональна схема автоматизації. На ній зображується технологічна схема процесу або виробництва із вказівкою в прийнятих позначеннях (див. додаток) систем контролю, регулювання й керуванням також на яких технологічних лініях і апаратах установлюються датчики й регулювальні органи. Крім цього, за функціональною схемою автоматизації можна визначити рівень автоматизації, розташування вторинних вимірювальних приладів і регуляторів. Вона забезпечує взаємозв'язок технології й автоматизації виробничого процесу й служить підставою для розробки робочої документації по системі автоматизації, а також замовленої специфікації.

У пояснювальній записці курсової роботи дається опис функціональної схеми автоматизації, представленої графічно на одному з аркушів роботи. Опис виробляється із прив'язкою до графічної схеми. Для прив'язки опису й специфікації на функціональній схемі зазначені позиції вимірювальних і регулюючих приладів. При описі систем контролю, регулювання й керування вказується призначення системи, її функції й приладове оснащення з позначенням позицій і номера аркуша, а також місця розташування вторинних вимірювальних приладів, регуляторів, мікропроцесорів і ЕОМ. При цьому пояснюється доцільність такого розташування. Розташовують зазначені технічні засоби автоматизації за місцем перебування датчиків або регулювальних органів, на місцевих щитах і в операторському або диспетчерському пунктах залежно від призначення й використання.

## Список літератури.

1. Сейдж Э.П., Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами. –М.: Радио и связь, 1982.–392 с.
2. Брайсон А., Хо Ю-ши. Прикладная теория оптимального управления.–М.: Мир, 1972.–544 с.
3. Papageorgiou M. Optimierung : statische, dynamische, stochastische Verfahren fur die Anwendung.–Munhen, Wien: Oldenbourg, 1991.–587 с.
4. Абдулаев Н.Д., Петров Ю.П. Теория и методы проектирования оптимальных регуляторов.– Л.: Энергоатомиздат, 1985.–240 с.
5. Александров Е.Е. и др. Оптимизация многоканальных систем управления.– Х.: Основа, 1996.–288 с.
6. Ладієва Л.Р. Оптимальне керування системами.: Навчальний посібник. – К.: НМЦ ВО, 2000 – 187с.
7. Остапенко Ю.О., Ладиева Л.Р. Оптимизация технологических процес сов. Алгоритмы и программы (учебное пособие) - Киев: УМК ВО, 1988. - 191с.
8. Кубрак А.И., Остапенко Ю.А., Ладиева Л.Р. Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по курсу «Оптимизация технологических процессов». Киев: КПИ, 1987. – 56с.
9. Кубрак А.И., Остапенко Ю.А., Ладиева Л.Р. Методические указания к практической работе по курсу «Оптимизация технологических процессов». – Киев: КПИ, 1988. – 55с.
10. Жученко А.І., Ладієва Л.Р., Методичні вказівки до практичних занять з розділу „Методи нелінійного програмування в задачах умовної оптимізації” з дисципліни „Оптимізація технологічних процесів”. – К.: КПІ, 1991. – 80с.
11. Жученко А.И., Ладиева Л.Р. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Оптимизация технологических процессов». – К.: КПИ, 1989. – 68с.
12. Остапенко Ю.О., Ладієва Л.Р., Жученко А.І. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу „Оптимізація технологічних процесів” – Київ.: КПІ, 1992. – 108с.

13. Ладієва ЛР. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу  
„Моделювання і оптимізація систем керування”. – Київ: КПІ, 1996. – 34с.
14. Рей У. Методы управления технологическими процессами. – М.: Мир, 1983. –  
368 с.



*Національний технічний університет України “КПІ ”*

*Кафедра автоматизації хімічних виробництв*

# КУРСОВА РОБОТА

з курсу: Математичні методи оптимізації

*Керівник Ладієва Л.Р.*

*студент(ка) 5 курсу*

*Допущено до захисту*

*групи \_\_\_\_\_*

*“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2012 р.*

*залікова книжка*

*Захищено з оцінкою*

*№ ЛА\_\_\_\_\_*

2012

\_\_\_\_\_  
*Виконав: \_\_\_\_\_*

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Кафедра автоматизації хімічного виробництва

Кафедра \_\_\_\_\_ Автоматизації хімічних виробництв \_\_\_\_\_

Дисципліна Математичні методи оптимізації

Спеціальність Автоматизоване управління технологічними процесами

Курс \_\_\_\_\_ Група ЛА- Семестр 9

## ЗАВДАННЯ

на курсовий проект (роботу) студента

### 1. Тема роботи

\_\_\_\_\_

2. Строк здачі студентом закінченого проекту (роботи) грудень 2012 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Опис технологічного процесу; технологічна схема процесу; параметри технологічного процесу.

4. Зміст курсової роботи (перелік питань, що належать розробити) \_\_\_\_\_

1. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ

3. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1. Обґрунтування вибору критерію оптимальності

3.2. Вивести необхідні умови оптимальності

3.3. Для об'єктів з зосередженими параметрами розрахувати оптимальне програмне керування шляхом вибору матриць  $Q, R, S$ , розв'язку системи в прямому часі, спряженої системи в зворотному часі. Знайти оптимальне програмне керування і оптимальну траєкторію вектора стану

3.4. Розглянути оптимальне керування зі зворотнім зв'язком. Синтезувати оптимальний лінійний регулятор. Записати рівняння Ріккати, привести динаміку коефіцієнтів підсилення регулятора і графіки поведінки системи

3.5 Для об'єктів з розподіленими параметрами розглянути метод функції штрафів при градієнтному методі пошуку для обчислення оптимального програмного керування і траєкторії переводу

**5. Перелік графічного матеріалу(з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Функціональна схема автоматизації (ФСА) технологічного процесу.**

**6. Дата видачі завдання «\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_2012 р.**

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів атестаційної проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
	Розрахунок математичної моделі статички	01.10.2012	
	Розрахунок математичної моделі динаміки	16.10.2012	
	Розробка функціональної схеми	26.11.2012	
	Вибір критерію оптимальності, формалізації	26.11.2012	
	Розробка алгоритмів оптимального	26.11.2012	
	Розробка програмної реалізації	16.11.2012	

Студент \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012р.

**Національний технічний університет України**

«Київський політехнічний інститут»

Кафедра Автоматизації хімічних виробництв

Дисципліна Математичні методи оптимізації

Спеціальність Автоматизоване управління технологічними процесами

Курс V Група ЛА- Семестр 9

**ЗАВДАННЯ на курсову роботу студента**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. *Тема проекту:* Оптимізація процесу біохімічного синтезу білків в апараті з об'ємом  $V=600 \text{ м}^3$

2. *Термін здачі студентом закінченого проекту:* 29.12.2012 р.

3. *Вихідні дані до проекту:*

Повний об'єм апарата  $V = 600 \text{ м}^3$ , робочий об'єм  $V_p = 200 \text{ м}^3$ , температура в апараті  $t = 30^\circ \text{ C}$ , витрата субстрату  $F_c = 50 \text{ м}^3/\text{год}$ , витрата води на розбавлення  $F_p = 35 \text{ м}^3/\text{год}$ , витрата аміачної води  $F_a = 0,1 \text{ м}^3/\text{год}$ , витрата розчину солей живлення  $F_{сжс} = 0,8 \text{ м}^3/\text{год}$ , витрата повітря  $P_n = 10000 \text{ м}^3/\text{год}$ , концентрація РВ в субстраті на вході  $C_{рв} = 1,6\%$ , концентрація біомаси  $X_{ас} = 8 \text{ кг/ м}^3$ , вихід біомаси з РВ  $Y = 48\%$ , поверхня теплообміну  $M = 200 \text{ м}^2$ , висота апарату  $H = 8,0 \text{ м}$ , питоме тепловиділення  $A = 12000 \text{ Дж/кг}$ .

4. *Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):*

Опис технологічної схеми „дані технологічного регламенту; апарат, як об'єкт керування; математична модель процесу; обґрунтування вибору та розрахунок контуру регулювання (вибір типу регулятора, параметрів його настройки, а.-ф. характеристика системи регулювання, моделювання перехідного процесу при вибраних параметрах збурення чи завдання); розробка системи автоматизації (обґрунтування та опис системи, функційної схема автоматизації, вибір технічних засобів системи). Постановка задачі динамічної оптимізації. Вибір критеріїв оптимальності. Формалізація задач оптимального керування. Необхідні умови оптимальності. Оптимальне програмне керування. Алгоритм. Розрахунок оптимального керування. Оптимальне керування з зворотнім зв'язком.

5. *Перелік графічного матеріалу (з іншим зазначенням обов'язкових креслень):*

Графіки перехідних процесів, АФХ розімкненої системи, функціональна схема автоматизації, креслення апарату.

6. *Дата видачі завдання 02.10.2012 р.*

<b>№ п/п</b>	<b>Назва етапів курсового проекту (роботи)</b>	<b>Строк виконання етапів проектування</b>	<b>Примітка</b>
1	Автоматизація дріжджеростильного апарату. Аналіз апарату як об'єкта автоматизації. Розробка математичної моделі статичної та динамічної ТОК для основних визначальних параметрів. Таблиця параметрів основного технологічного режиму	15.10.2012	
2	Розрахунок коефіцієнтів математичної моделі і побудова перехідних та імпульсних характеристик ТОК по каналах керування та збурення	28.10.2012	
3	Розробка схеми автоматизації технологічного процесу	13.11.2012	
4	Розробка алгоритмів оптимального програмного керування і оптимального керування з зворотнім зв'язком	15.11.2012	
5	Програмна реалізація алгоритмів оптимального керування	10.12.2012	

Студент \_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_

(прізвище, імя, по батькові)

## Зміст

1. Теоретичні відомості.....	1
1.1 Вплив температури середовища.....	1
1.2 Таблиця параметрів основного технологічного режиму.....	4
1.3 Аналіз апарату як об'єкту автоматизації.....	5
2. Розробка математичної моделі статички та динаміки ТОК для основних визначальних параметрів.....	6
3. Розробка оптимальної системи керування.....	7
3.1 Обґрунтування вибору критерію оптимальності.....	7
3.2 Виведення необхідних умов оптимальності з використанням принципу максимуму.....	7
3.3 Розгляд оптимального керування зі зворотним зв'язком. Синтез оптимального лінійного регулятора. Рівняння Рікатті. Динаміка коефіцієнта підсилення регулятора і графіки поведінки системи.....	11
3.4 Побудова оптимального програмного керування шляхом вибору матриць $S$ , $Q$ , $R$ , розв'язку системи в прямому часі, спряженої системи в зворотньому часі. Знаходження оптимального керування і оптимальної траєкторії вектора стану.....	15
4. Розробка функціональної схеми автоматизації.....	22
5. Специфікація технічних засобів автоматизації.....	78
6. Список використаної літератури.....	23



## **1. Теоретичні відомості**

### **ДРІДЖЕРОСТИЛЬНИЙ АПАРАТ**

#### **З АЕРОЛІФТНОЮ СИСТЕМОЮ ПОВІТРОРОЗПОДШЕННЯ.**

Використання напору повітря, що надходить в апарат, для створення в них циркуляційних потоків дріжджової суспензії забезпечує усереднення всіх показників (РВ, температури, рН, концентрації дріжджів та ін.), що є одним з важливих достоїнств даної конструкції. В апаратах з аероліфтною системою відсутні механічні засоби для перемішування суспензії та піногасіння, що різко зменшує експлуатаційні витрати на процес вирощування дріжджів і підвищує надійність роботи апарата. Гасіння піни здійснюється за рахунок стовпа емульсії, що підтримується в апараті, тобто завдяки самогасінню без будь-яких хімічних і механічних засобів. Тепло, що утвориться при вирощуванні дріжджів, відводиться через відкритий верх апарата пароповітряною сумішшю, а також при охолодженні через внутрішній циркуляційний стакан і при охолодженні його зовнішньої стінки водою.

### **ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ СЕРЕДОВИЩА**

Вирощування кормових дріжджів звичайно проводять при температурі 32 - 40°C. Кожному мікроорганізму властива певна оптимальна температура. Розходження в температурному режимі вирощування залежить не тільки від культури дріжджів, але й ступеня її адаптації до більш високих і низьких температурних умов. Температура нижче 32°C сповільнює процес обміну речовин, знижує активну життєдіяльність дріжджової клітки. З підвищенням температури збільшується швидкість синтезу, але це відбувається до певних меж, тому що поряд з підвищенням швидкості процесів синтезу збільшуються процеси, розпаду.

Встановлено, що найбільша активність дихання в більшості досліджуваних дріжджів спостерігається при температурі 38 - 40°C. При температурі середовища вище 40°C активність поглинання кисню різко падає, знижується вихід біомаси, а вміст білка в дріжджах зменшується з 48 - 49 до 36 - 37%. Практично, якщо допускають умови технології, процес вирощування дріжджів необхідно вести на верхній межі температур, тому що в цьому випадку для охолодження можна застосовувати воду з підвищеною температурою.

При вирощуванні кормових дріжджів відбувається значне виділення тепла (10,5\*10' до 14,7\*10' Дж/кг сухої маси дріжджів). Це тепло підвищує температуру середовища, тому її необхідно понизити, тобто систематично охолоджувати рідину дріжджеростильного апарата. Для цього в апаратах встановлюють спеціальні охолоджуючі поверхні.

Чим більше продуктивність дріжджеростильного апарата, тим більші виділяється тепла, тому щоб уникнути підвищення температури середовища в апараті необхідні заходи для його відводу.

Розведення сусла холодною водою також використовується як засіб охолодження середовища в апараті. Особливий ефект охолодження досягається при використанні ґрунтової води, звичайна температура якої навіть у літню пору не перевищує 12 - 15°C. Процес вирощування дріжджів зазвичай ведеться при температурі 36-38°C. Залежно від пори року міняється й температура подаваного в апарат сусла. Так, у зимовий час апарати, що перебувають поза цехом, не доводиться проохолоджувати. Більше того, температуру сусла, що подається в апарат, доводиться підтримувати в межах 38-42°C, тобто вищі температури середовища в апараті. Все тепло, що виділяється при вирощуванні частково відводиться повітрям, що пропускають через апарат, а в основному внаслідок зовнішнього охолодження стінок холодним повітрям. В апаратах малої місткості таке охолодження здійснюється більш інтенсивно, і в цьому випадку щоб уникнути переохолодження середовища доводиться давати деяку кількість пари в трубу, що підводить повітря в апарат від турбоповітродувки, або в

зимовий час, подавати теплу воду в систему, за допомогою якої в літню пору відводиться тепло, що виділяється при вирощуванні дріжджів.

В літній час сусло перед подачею в дріжджеростильний апарат потрібно прохолоджувати до 25 - 26°C. Змішуючись із середовищем в апараті, сусло приймає частину тепла, а інше тепло шляхом охолодження зовнішньої поверхні апарата водою й пропуску води через дифузор повинно бути відведене в повітря. Практично охолодження в міру відводу тепла необхідно проводити спочатку зрошенням зовнішніх стінок апарата, а потім включати охолодження через дифузор, тому що часто на підприємствах звичайна вода, що йде на охолодження містить різні механічні домішки. Забруднення механічними домішками нерозбірної й недоступної для очищення змієвикою порожнини дифузора допускати не можна. Спостереження за ступенем нагрівання води, ще прохолоджує зовнішню поверхню апарата, показують, що вода за час стікання по бічній поверхні зверху до низу встигає нагрітися на 3 - 5°C. Коливання залежать від зовнішніх атмосферних умов.

Зі збільшенням місткості, а також продуктивності одного дріжджеростильного апарата відібрати тепло, що виділяється дуже важко. Конструктивно неможливо розмістити всередині апарата необхідну поверхню охолодження. У зв'язку з цим в окремих випадках рідину прохолоджують в спеціальних виносних теплообмінниках. У цьому випадку потрібна додаткові витрати електроенергії на циркуляцію суспензії через теплообмінник.

Для максимальної економії свіжої води на виробництво дріжджів при оборотному водопостачанні доступ холодної води для охолодження апаратів обмежується. Тому останнім часом назріла необхідність спорудження на заводах холодильних машин, що прохолоджують воду для системи охолодження дріжджеростильних апаратів.

### **Таблиця параметрів основного технологічного режиму**

№ п/п	Назва параметру	Позначення	Одиниці вимірювання	ЧИСЛОВІ значення
1	Повний об'єм	$V$	$\text{м}^3$	600
2	Робочий об'єм	$V_p$	$\text{м}^3$	200
3	Температура в апараті	$\theta$	$^{\circ}\text{C}$	37
4	Витрата субстрату	$F_c$	$\text{м}^3/\text{с}$	0,014
5	Витрата води на розбавлення	$F_p$	$\text{м}^3/\text{с}$	0,0097
6	Витрата аміачної води	$F_a$	$\text{м}^3/\text{с}$	0,00003
7	Витрата солей живлення	$F_{сж}$	$\text{м}^3/\text{с}$	0,0002
8	Витрата повітря	$F_n$	$\text{м}^3/\text{с}$	2,77
9	Концентрація РВ на вході	$C_{pв0} (S_0)$	%	1,6
10	Концентрація РВ в культуральній рідині	$C_{pв1} (S_1)$	%	0,15
11	Концентрація біомаси абс. сухої	$X_{ac}$	г/л	8
12	Вихід біомаси з РВ	$Y$	%	48
13	Поверхня теплообміну	%	М	200
14	Висота апарату	$H$	М	8,0
15	Питоме тепловиділення	$A$	Дж/кг	12000

### Аналіз апарату як об'єкта автоматизації

В даній роботі об'єктом дослідження є біохімічний реактор. При вирощуванні мікроорганізмів в реакторі відбувається велике виділення теплоти, що підвищує температуру середовища, що в свою чергу негативно впливає на вирощувану культуру. Будь-яке відхилення температури від зазначеної призводить до зменшення продуктивності реактора і погіршення якості вихідного продукту.

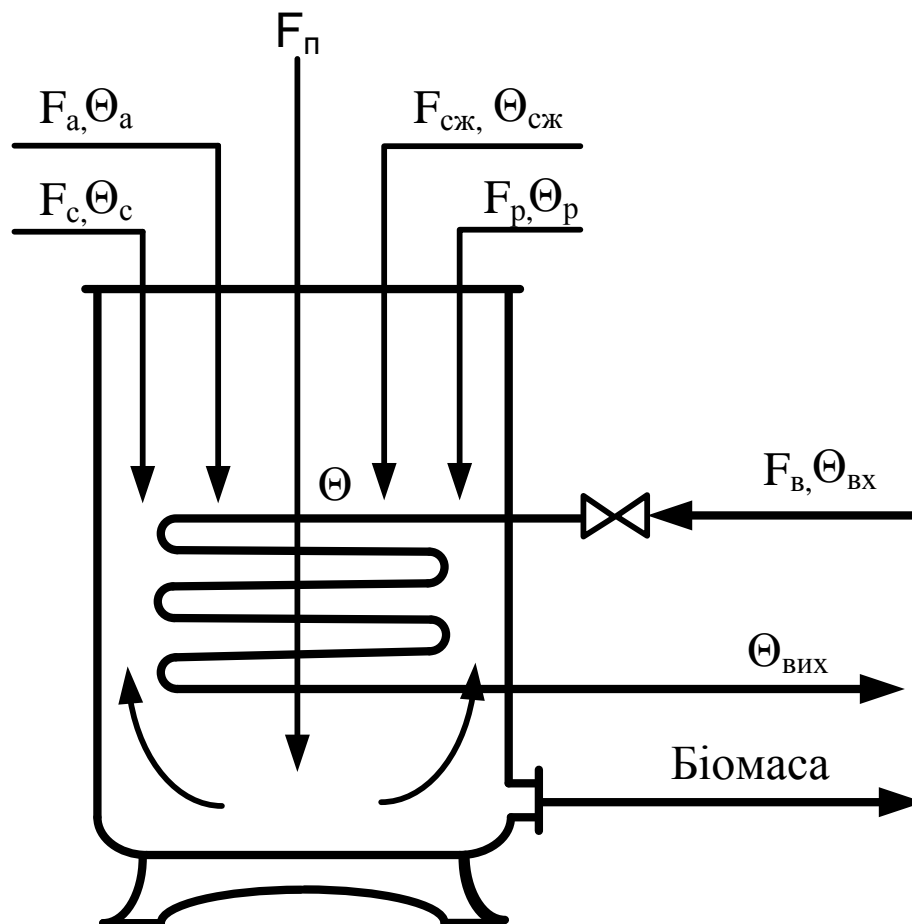


Рис. І. Структурна схема

Вхідними параметрами є:

- витрата субстрату;
- витрата води для розбавлення;
- витрата аміачної води для регулювання рН;
- витрата розчину солей живлення;

- витрата повітря для перемішування і підтримки аеробного процесу.

Основним вихідним параметром об'єкта є температура середовища росту біомаси. Підвищена точність підтримки температури середовища необхідна, тому що температура сильно впливає на біохімічні процеси життєдіяльності мікроорганізмів. Будь-який з вхідних параметрів може розглядатись, як збурення або як керуючий вплив.

В даній роботі регулювання температурою середовища, здійснюватимемо зміною витрати води у внутрішній дифузор. В якості збурення розглядатимемо витрату сусли.

## 2. Розробка математичної моделі статички та динаміки ТОК для основних визначальних параметрів

Для моделювання процесу приймемо наступні припущення:

- ТОК є об'єктом з зосередженими ними параметрами

Запишемо рівняння динаміки:

$$\begin{aligned} F_c C_c \Theta_c + F_p C_p \Theta_p + F_a C_a \Theta_a + F_{сж} C_{сж} \Theta_{сж} + F_{нов} C_{нов} \Theta_{нов} \\ - (F_c + F_p + F_a + F_{сж}) C_{кр} \Theta - F_{води} C_{води} (\Theta_{вих} - \Theta_{вх}) + Q_{вид} = \\ = V_p C \frac{\partial \Theta}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Приймемо деякі спрощення - оскільки всі речовини, що надходять в реактор є водними розчинами, то приймаємо теплоємність кожного з компонентів рівну теплоємності води; оскільки всі розчини до надходження в реактор змішуються, то відповідно мають і однакову температуру.

Отже з усіма припущеннями та спрощеннями маємо три диференціальні рівняння.

Приведемо до канонічної форми:

$$\begin{aligned}
1) \quad & F_{нов} C_{нов} \Theta_{нов} - F_{нов} C_{нов} \Theta - F_{води} C_{води} (\Theta_{вих} - \Theta_{вх}) + \\
& + qX_{ac} (F_c + F_p + F_a + F_{сж}) = V_p C \frac{\partial \Theta}{\partial t} \\
2) \quad & V_p \frac{\partial X_{ac}}{\partial t} = V_p \mu X_{ac} - F X_{ac} \\
3) \quad & V_p \frac{\partial X_{ac}}{\partial t} = F S \frac{\partial t}{Y} - F S - V \mu S \frac{\partial t}{Y}
\end{aligned} \tag{2.2}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \Theta}{\partial t} &= \frac{F_{нов} C_{нов} \Theta}{V_p C} - \frac{F_{води} C_{води} (\Theta_{вих} - \Theta_{вх})}{V_p C} + \frac{qX_{ac} (F_c + F_p + F_a + F_{сж})}{V_p C} \\
\frac{\partial X_{ac}}{\partial t} &= \frac{\mu_{max} S}{K_s} X_{ac} - D X_{ac} \\
\frac{\partial S}{\partial t} &= D S - \frac{\mu_{max} S}{K_s} \cdot \frac{X_{ac}}{Y}
\end{aligned} \tag{2.3}$$

### 3. Розробка оптимальної системи керування.

#### 3.1. Обґрунтування вибору критерію оптимальності

Обираємо квадратичний інтегральний критерій якості для контуру регулювання (рис.3.1). Оскільки нам потрібно підтримувати температуру в біохімічному реакторі на рівні заданої, то мінімізуємо різницю температур при обмеженні витрати води:

$$I = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} \left[ q_{11} (\Theta - \Theta_{зд})^2 + r F_{води}^2 \right] dt \rightarrow \min \tag{3.1}$$



Рис.3.1 Структурна схема контуру регулювання

### 3.2. Виведення необхідних умов оптимальності з використанням принципу максимуму.

Запишемо гамільтоніан, який матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 H = & \frac{1}{2} q_{11} \Theta^2 - q_{11} \Theta_{\text{зад}} \Theta + \frac{1}{2} \Theta_{\text{зад}}^2 + \frac{1}{2} r F_{\text{води}}^2 + \\
 & + \lambda_1 \left( \frac{F_{\text{нов}} C_{\text{нов}} \Theta}{V_p C} - \frac{F_{\text{води}} C_{\text{води}} (\Theta_{\text{вих}} - \Theta_{\text{вх}})}{V_p C} + \frac{q X_{ac} (F_c + F_p + F_a + F_{cж})}{V_p C} \right) + \\
 & + \lambda_2 \left( \frac{\mu_{\text{max}} S}{K_s} X_{ac} - D X_{ac} \right) + \lambda_3 \left( D S - \frac{\mu_{\text{max}} S}{K_s} \cdot \frac{X_{ac}}{Y} \right)
 \end{aligned}$$

Запишемо умови оптимальності:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \lambda_1}{\partial t} &= -q_{11} (\Theta - \Theta_{\text{зад}}) + \lambda_1 \frac{F_{\text{нов}} C_{\text{нов}}}{V_p C} \\
 \frac{\partial \lambda_2}{\partial t} &= \lambda_1 \frac{q (F_c + F_p + F_a + F_{cж})}{V_p C} + \lambda_2 \left( \frac{\mu_{\text{вих}} S}{K_s} - D \right) - \lambda_3 \left( \frac{\mu_{\text{max}} S}{K_s} \cdot \frac{1}{Y} \right) \\
 \frac{\partial \lambda_3}{\partial t} &= \lambda_2 \frac{\mu_{\text{max}}}{K_s} X_{ac} + \lambda_3 \left( D - \frac{\mu_{\text{max}}}{K_s} \cdot \frac{X_{ac}}{Y} \right)
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

$$\lambda_3(t_f) = 0 \quad \lambda_2(t_f) = 0 \quad \lambda_1(t_f) = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial F_{\text{води}}} = r F_{\text{води}} - \lambda_1 \frac{C_{\text{води}} (\Theta_{\text{вих}} - \Theta_{\text{вх}})}{V_p C}$$



$$F_{води\ v} = \frac{\lambda_{1v} C_{води} (\Theta_{вих} - \Theta_{вх})}{rV_p C}$$

Запишемо рівняння в дискретній формі

$$\frac{\Theta_{v+1} - \Theta_v}{\tau} = \frac{F_{нов} C_{нов}}{V_p C} \Theta_v - \frac{F_{води} C_{води} (\Theta_{вих} - \Theta_{вх})}{V_p C} + \frac{q(F_c + F_p + F_e + F_{сж})}{V_p C} X_{ocv}$$

$$\Theta_{v+1} = \Theta_v + \tau \cdot \left[ \frac{F_{нов} C_{нов}}{V_p C} \Theta_v - \frac{F_{води} C_{води} (\Theta_{вих} - \Theta_{вх})}{V_p C} + \frac{q(F_c + F_p + F_e + F_{сж})}{V_p C} X_{ocv} \right]$$

$$\frac{X_{oc_{v+1}} - X_{oc_v}}{\tau} = \frac{\mu_{max} S}{K_s} X_{oc_v} - DX_{oc_v}$$

$$X_{oc_{v+1}} = X_{oc_v} + \tau \cdot \left[ \frac{\mu_{max} S}{K_s} X_{oc_v} - DX_{oc_v} \right]$$

$$\frac{S_{v+1} - S_v}{\tau} = DS_v - \frac{\mu_{max}}{K_s} S_v \cdot \frac{1}{Y} X_{oc_v}$$

$$S_{v+1} = S_v + \tau \cdot \left[ DS_v - \frac{\mu_{max}}{K_s} S_v \cdot \frac{1}{Y} X_{oc_v} \right]$$

Представимо  $\lambda$  в дискретній формі

$$\frac{\lambda_{1v} - \lambda_{1_{v-1}}}{\tau} = -q_{11} (\Theta_v - \Theta_{3d}) + \lambda_{1v} \frac{F_{нов} C_{нов}}{V_p C}$$

$$\lambda_{1_{v-1}} = \lambda_{1v} - \tau \cdot \left[ -q_{11} (\Theta_v - \Theta_{3d}) + \lambda_{1v} \frac{F_{нов} C_{нов}}{V_p C} \right]$$

$$\frac{\lambda_{2v} - \lambda_{2_{v-1}}}{\tau} = \lambda_{1v} \frac{q(F_c + F_p + F_e + F_{сж})}{V_p C} + \lambda_{2v} \left( \frac{\mu_{max} S}{K_s} - D \right) - \lambda_{3v} \left( \frac{\mu_{max} S}{K_s} \cdot \frac{1}{Y} \right)$$

$$\lambda_{2_{v-1}} = \lambda_{2v} - \tau \cdot \left[ \lambda_{1v} \frac{q(F_c + F_p + F_e + F_{сж})}{V_p C} + \lambda_{2v} \left( \frac{\mu_{max} S}{K_s} - D \right) - \lambda_{3v} \left( \frac{\mu_{max} S}{K_s} \cdot \frac{1}{Y} \right) \right]$$

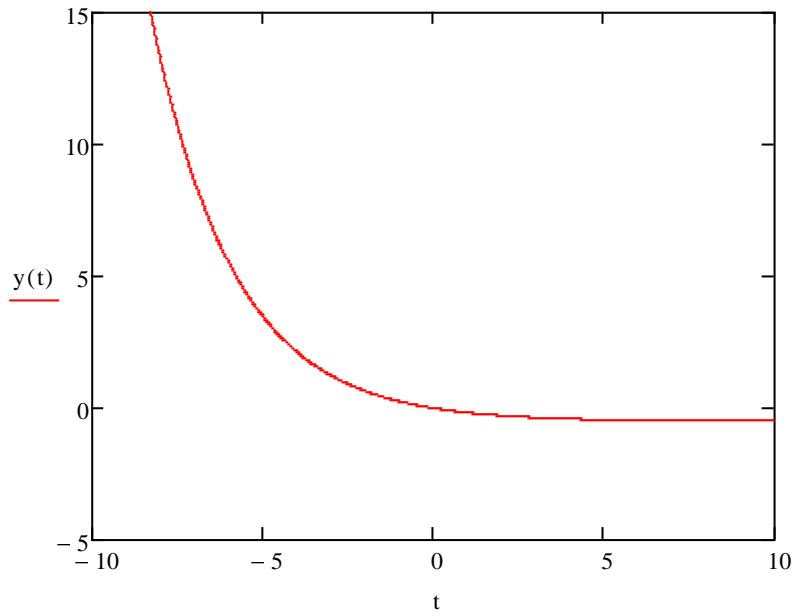
$$\frac{\lambda_{3v} - \lambda_{3_{v-1}}}{\tau} = \lambda_{2v} \left( \frac{\mu_{max} S}{K_s} X_{oc} \right) + \lambda_{3v} \left( D - \frac{\mu_{max} S}{K_s} \cdot \frac{X_{oc}}{Y} \right)$$

$$\lambda_{3_{v-1}} = \lambda_{3v} - \tau \cdot \left[ \lambda_{2v} \left( \frac{\mu_{max} S}{K_s} X_{oc} \right) + \lambda_{3v} \left( D - \frac{\mu_{max} S}{K_s} \cdot \frac{X_{oc}}{Y} \right) \right]$$

$$F_{\text{modu}} = \text{const}$$

$$W_0(s) := \frac{-0.181}{2.417 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s}$$

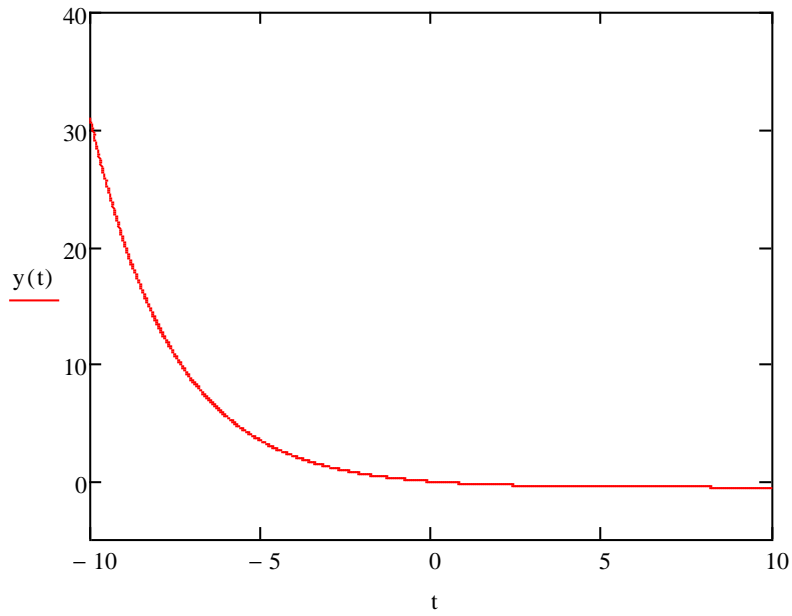
$$y(t) := W_0(s) \Big|_{\text{float, 3}}^{\text{invlaplace, s}} \rightarrow 0.181 \cdot \exp(-0.414 \cdot t) - 0.181$$



$$F_{\text{modu}} = \text{const}$$

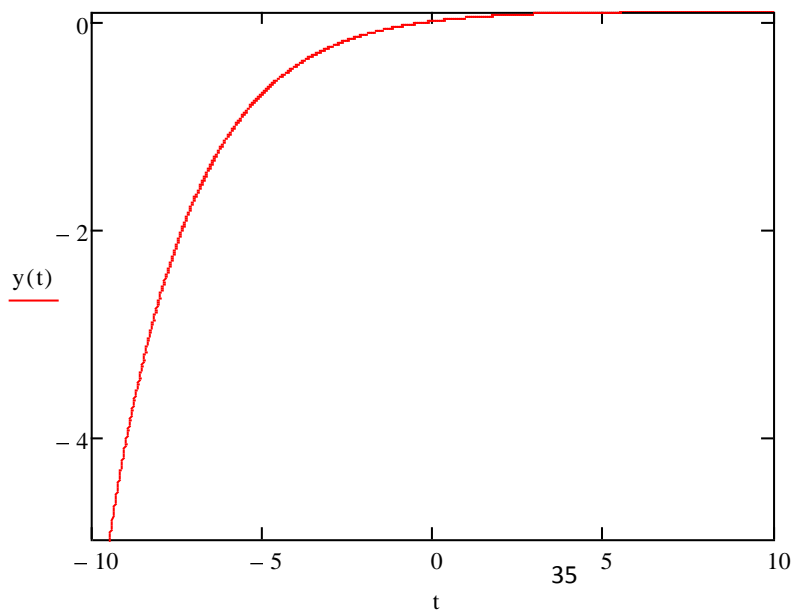
$$W_0(s) := \frac{-0.181}{2.417 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s}$$

$$y(t) := W_0(s) \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow 0.181 \cdot \exp(-0.414 \cdot t) - 0.181$$



$$W_0(s) := \frac{-0.181}{2.417 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s}$$

$$y(t) := W_0(s) \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow 0.181 \cdot \exp(-0.414 \cdot t) - 0.181$$



### 3.3. Розгляд оптимального керування зі зворотнім зв'язком.

Синтезування оптимального лінійного регулятора. Рівняння Ріккати.  
Динаміка коефіцієнта підсилення регулятора і графіки поведінки системи.

Оптимальний лінійний регулятор з інтегральною складовою

$$U(t) = -R^{-1}B^T \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{41}(t) & P_{42}(t) & P_{43}(t) & P_{44}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ t \\ \int x_1 dt \\ 0 \\ t \\ \int x_2 dt \\ 0 \end{bmatrix}$$

Об'єкт оптимального керування описується дифференціальним рівнянням:

$$T_2 \cdot Y'' + T_1 Y' + Y = K_{об} \cdot U$$

або в просторі станів:

$$X(k+1) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -T_1 \\ T_2 & T_2 \end{pmatrix} X(k) + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ K_{об} \end{pmatrix} U$$

$$Y(k) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix}$$

$$T_1 := 1 \quad T_2 := 0.3333 \quad K_{об} := 0.6666 \quad R := 1$$

$$A_{0,0} := 0 \quad A_{0,1} := 1 \quad A_{1,0} := \frac{-T}{T_2} \quad A_{1,1} := \frac{-T}{T_2} \quad B := \begin{pmatrix} 0 \\ K_{об} \\ T_2 \end{pmatrix} TAU := 0.01 \quad Q := \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A := \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -3 & -3 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \end{pmatrix} \quad X_0 := \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad tf := 10 \quad X_{zad} := \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.4 \end{pmatrix} \quad U_{zad} := 0.2 \quad S := \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$U = U(A, B, R, S, Q, tf, TAU, X0, X_{zad}, U_{zad})$$

$$\begin{array}{l}
 X1_{zad} \leftarrow X_{zad0} \\
 X2_{zad} \leftarrow X_{zad1} \\
 t \leftarrow \frac{tf}{TAU} \\
 P_t \leftarrow \begin{pmatrix} S_{0,0} & S_{0,1} & 0 & 0 \\ S_{1,0} & S_{1,1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 Q1 \leftarrow \begin{pmatrix} Q_{0,0} & Q_{0,1} & 0 & 0 \\ Q_{1,0} & Q_{1,1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 A1 \leftarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & A_{0,0} & A_{0,1} \\ 0 & 0 & A_{1,0} & A_{1,1} \end{pmatrix} \\
 U = B1 \leftarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ B_0 \\ B_1 \end{pmatrix} \\
 \text{for } _V \in t..1 \\
 P_{V-1} \leftarrow P_V - TAU \cdot \begin{bmatrix} P_V \cdot A1 - A1^T \cdot P_V + P_V \cdot B1 \cdot R^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 & B_0 & B_1 \end{pmatrix} \cdot P_V - Q1 \end{bmatrix} \\
 X1_0 \leftarrow X0_0 \\
 X2_0 \leftarrow X0_1 \\
 \text{for } _V \in 0..t \\
 U_V \leftarrow \frac{-\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}}{R} \cdot \left[ \begin{array}{l} \begin{pmatrix} P_V \cdot \beta_{2.2} \cdot \begin{pmatrix} X1_V - X1_{zad} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} P_V \cdot \beta_{3.3} \cdot \begin{pmatrix} X2_V - X2_{zad} \end{pmatrix} \end{array} \right] \\ + TAU \cdot \sum_{z=0}^V \begin{pmatrix} P_Z \cdot \beta_{3.0} \cdot \begin{pmatrix} X1_Z - X1_{zad} \end{pmatrix} + TAU \cdot \sum_{z=0}^V \begin{pmatrix} P_Z \cdot \beta_{3.1} \cdot \begin{pmatrix} X2_Z - X2_{zad} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{array} \right] + \\
 + U_{zad} \\
 X1_{V+1} \leftarrow \begin{pmatrix} A_{0,0} \cdot \begin{pmatrix} X1_V - X1_{zad} \end{pmatrix} + A_{0,1} \cdot \begin{pmatrix} X2_V - X2_{zad} \end{pmatrix} + B_0 \cdot \begin{pmatrix} U_V - U_{zad} \end{pmatrix} \end{pmatrix} TAU + X1_V \\
 X2_{V+1} \leftarrow \begin{pmatrix} A_{1,0} \cdot \begin{pmatrix} X1_V - X1_{zad} \end{pmatrix} + A_{1,1} \cdot \begin{pmatrix} X2_V - X2_{zad} \end{pmatrix} + B_1 \cdot \begin{pmatrix} U_V - U_{zad} \end{pmatrix} \end{pmatrix} TAU + X2_V \\
 \text{return} \begin{pmatrix} P \\ X1 \\ X2 \\ U \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$REZ = U(A, B, R, S, Q, tf, TAU, X0, Xzad, Uzad)$$

$$P = REZ_0$$

$$X1 = REZ_1$$

$$X2 = REZ_2$$

$$U = REZ_3$$

$$tk = \frac{tf}{TAU}$$

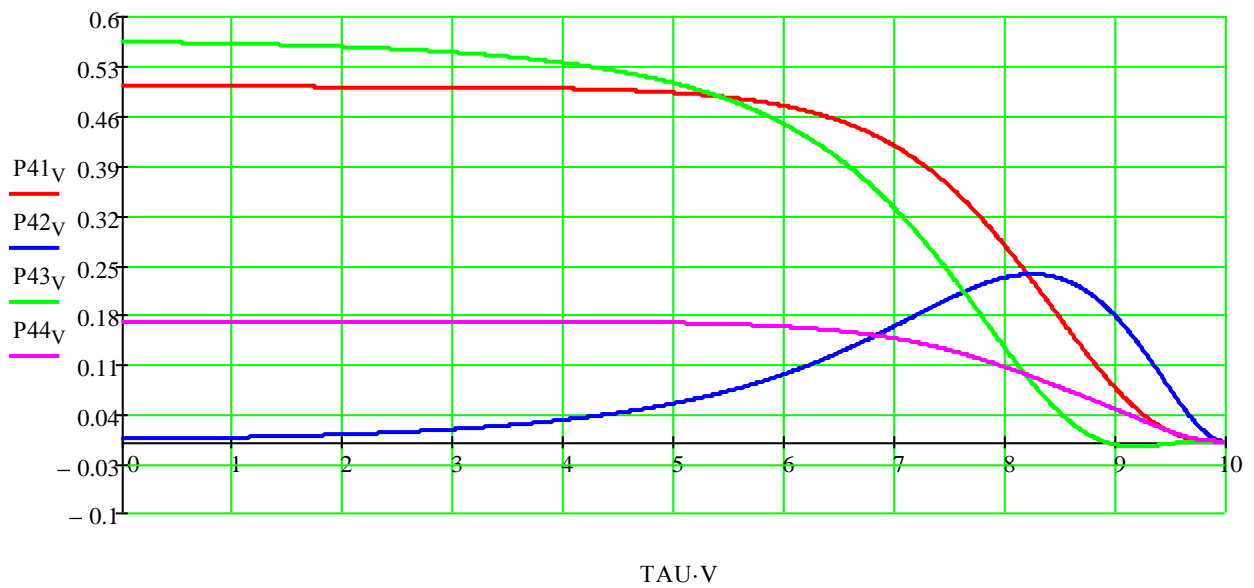
$$V = 0.tk$$

$$P41_V = P_V \{3,0\}$$

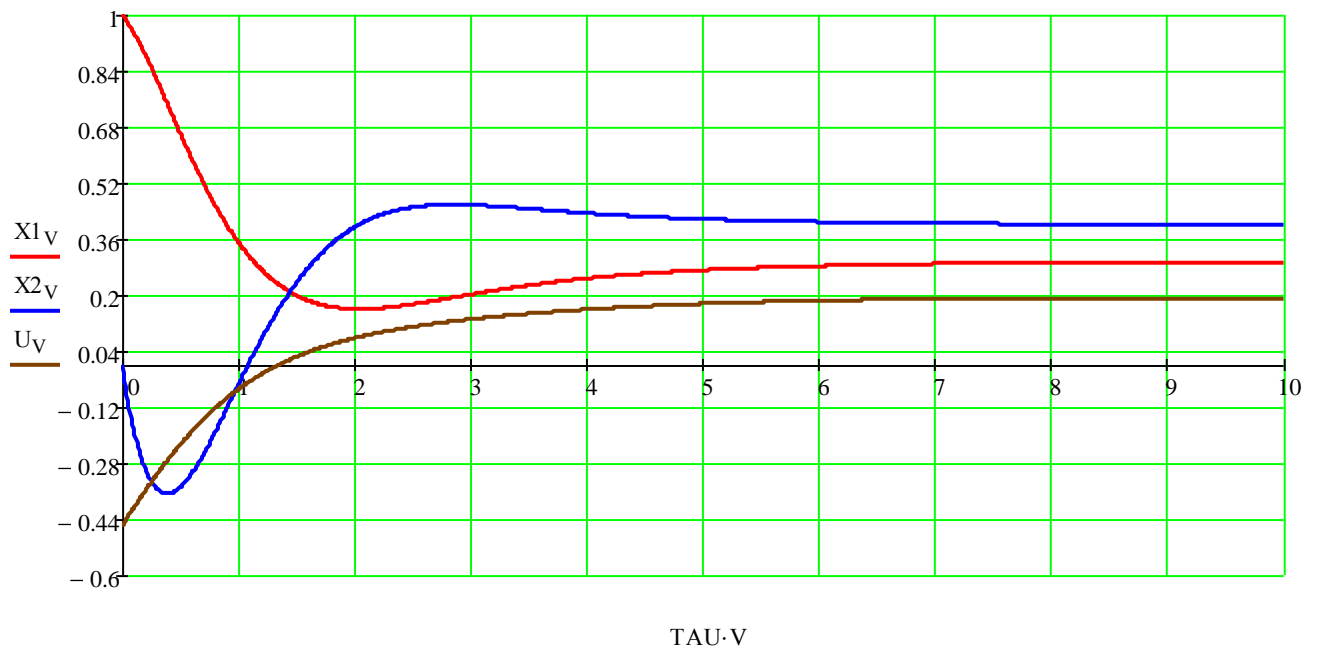
$$P42_V = P_V \{3,1\}$$

$$P43_V = P_V \{3,2\}$$

$$P44_V = P_V \{3,3\}$$



Графіки зміни коефіцієнтів Ріккати



Графіки поведінки змінних стану та вектор керування

### 3.4 Побудова оптимального програмного керування шляхом вибору матриць $S, Q, R$ , розв'язку системи в прямому часі, спряженої системи в зворотному часі.

**Знаходження оптимального керування і оптимальної траєкторії вектора стану.**

Алгоритм розв'язку оптимального програмного керування:

1. При постійному векторі керування  $U_0$ , розрахувати в прямому часі математичну модель процесу.
2. В зворотному часі розв'язати отриману спряжену систему.
3. Знаходимо вектор оптимального керування  $U$ .
4. Повертаємося до пункту 1. з вектором оптимального керування  $U$ .

Параметри системи:

$$A := \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -7 & -3 \end{pmatrix} - \text{матриця стану}$$

$$B := \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \end{pmatrix} - \text{матриця керування}$$

Крок розрахунку -  $TAU:=0.01$

Час спостереження -  $tf:=10$

Вектор крування (вхідний сигнал) -  $U0:=1$

Параметри перетворення -  $Q:=\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Коефіцієнт підсилення  $R:=5$

$X_{tf} := \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \end{pmatrix}$      $S := \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$      $X0 := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$      $X_{zad} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

```
X1_0 ← X0_0
X2_0 ← X0_0
t ← tf / TAU
Lam1_t ← -1 · [ 0,0 · [ tf_0 ] + S_0,1 · [ tf_1 ] ]
Lam2_t ← -1 · [ 1,0 · [ tf_0 ] + S_1,1 · [ tf_1 ] ]
for v ∈ 0..t-1
  X1_{v+1} ← [ 0,0 · X1_v + A_1,0 · X2_v + B_0 · U0 ] · TAU + X1_v
  X2_{v+1} ← [ 1,0 · X1_v + A_1,1 · X2_v + B_1 · U0 ] · TAU + X2_v
  for v ∈ t..1
    Lam1_{v-1} ← [ 0,0 · Lam1_v + A_1,0 · Lam2_v + Q_0,0 · X1_v + Q_0,1 · X2_v ] · TAU + Lam1_v
    Lam2_{v-1} ← [ 0,1 · Lam1_v + A_1,1 · Lam2_v + Q_1,0 · X1_v + Q_1,1 · X2_v ] · TAU + Lam2_v
U =
  for v ∈ 0..t
    U_v ← -R^{-1} · [ B_0 · Lam1_v + B_1 · Lam2_v ]
  X11_0 ← X0_0
  X22_0 ← X0_0
  for v ∈ 0..t-1
    X11_{v+1} ← [ 0,0 · X11_v + A_1,0 · X22_v + B_0 · U0 ] · TAU + X11_v
    X22_{v+1} ← [ 1,0 · X11_v + A_1,1 · X22_v + B_1 · U0 ] · TAU + X22_v
  return ( X1
           X2
           Lam1
           Lam2
           X11
           X22
           U )
```



$$U = U(A, B, R, Q, U_0, tf, TAU, S, X_{tf}, X_0, X_{zad})$$

$$Re z = U(A, B, R, Q, U_0, tf, TAU, S, X_{tf}, X_0, X_{zad})$$

$$X1 = REZ_0$$

$$X2 = REZ_1$$

$$Lam1 = REZ_2$$

$$Lam2 = REZ_3$$

$$X11 = REZ_4$$

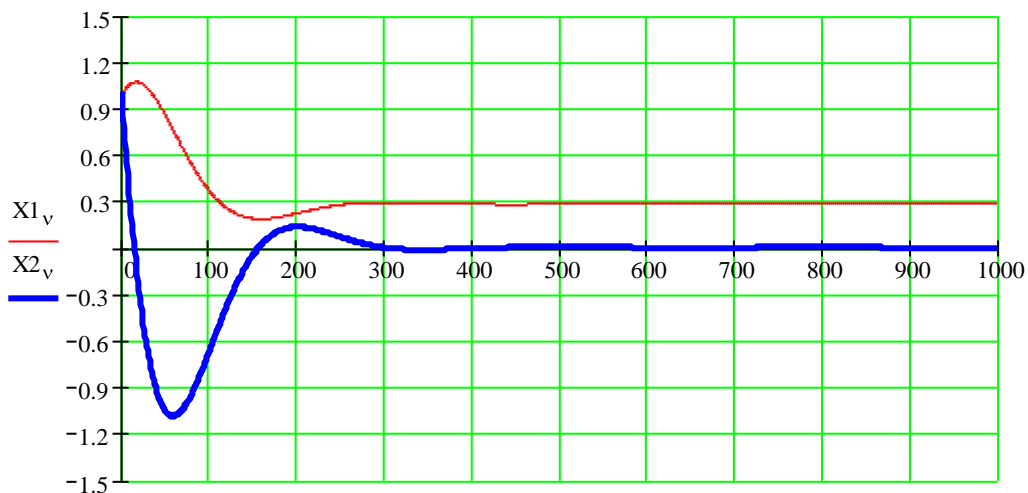
$$X22 = REZ_5$$

$$U = REZ_6$$

$$I = (X_{tf_0}) \cdot S_{0,0} + (X_{tf_1}) \cdot S_{1,1} + TAU \cdot \sum [ (X_{11_i}) \cdot Q_{0,0} + (X_{22_i}) \cdot Q_{1,1} + R (U_i) ]$$

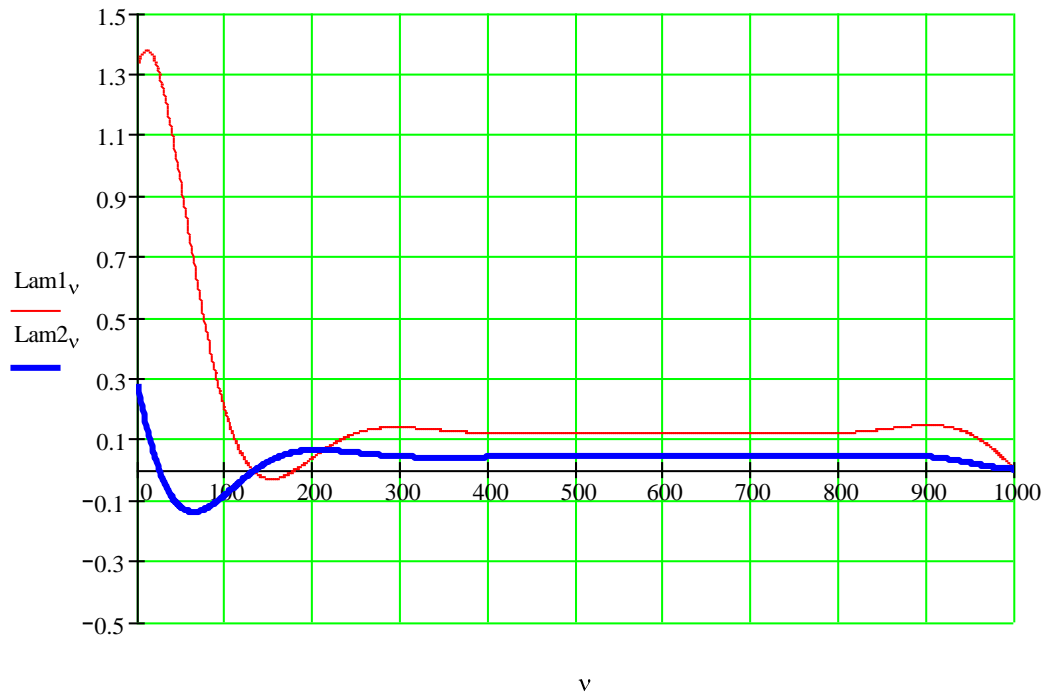
$$I = 1.923$$

$$v = 0.. \frac{tf}{TAU}$$



v

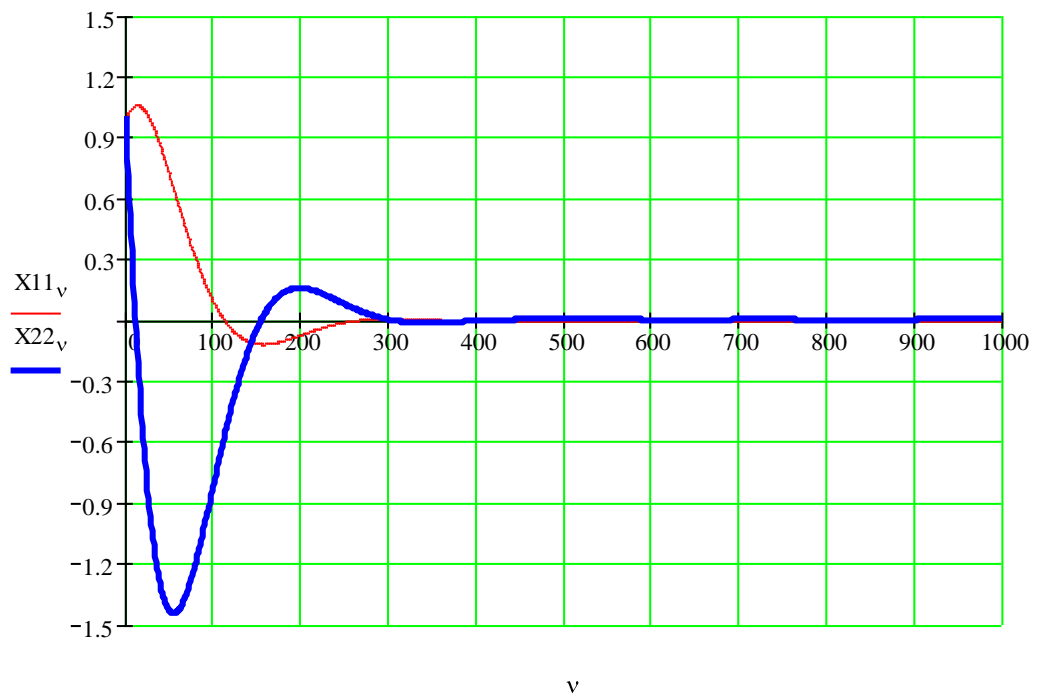
Математична модель процесу розрахована в прямому часі при постійному векторі керування.



Розв'язок спряженої системи в зворотному часі.



Розрахований вектор оптимального керування.



Математична модель процесу розрахована в прямому часі при оптимальному керуванні.

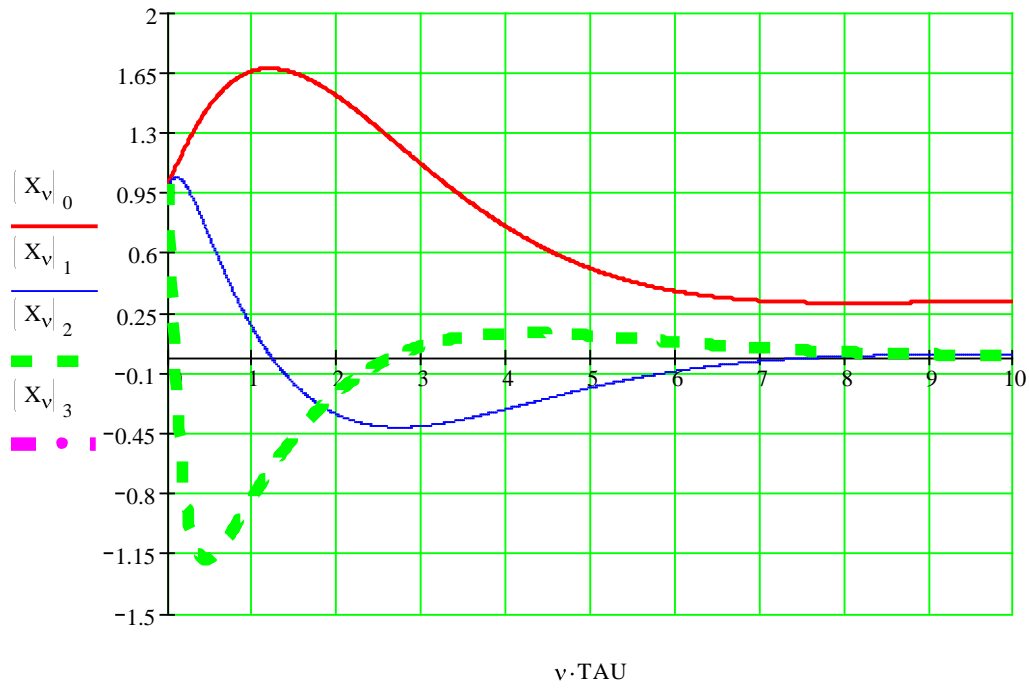
Для системи третього порядку реалізація алгоритму оптимального програмного керування

$$A := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -3 & -7 & -7 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad Q := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad S := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad X_{tf} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad X_0 := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

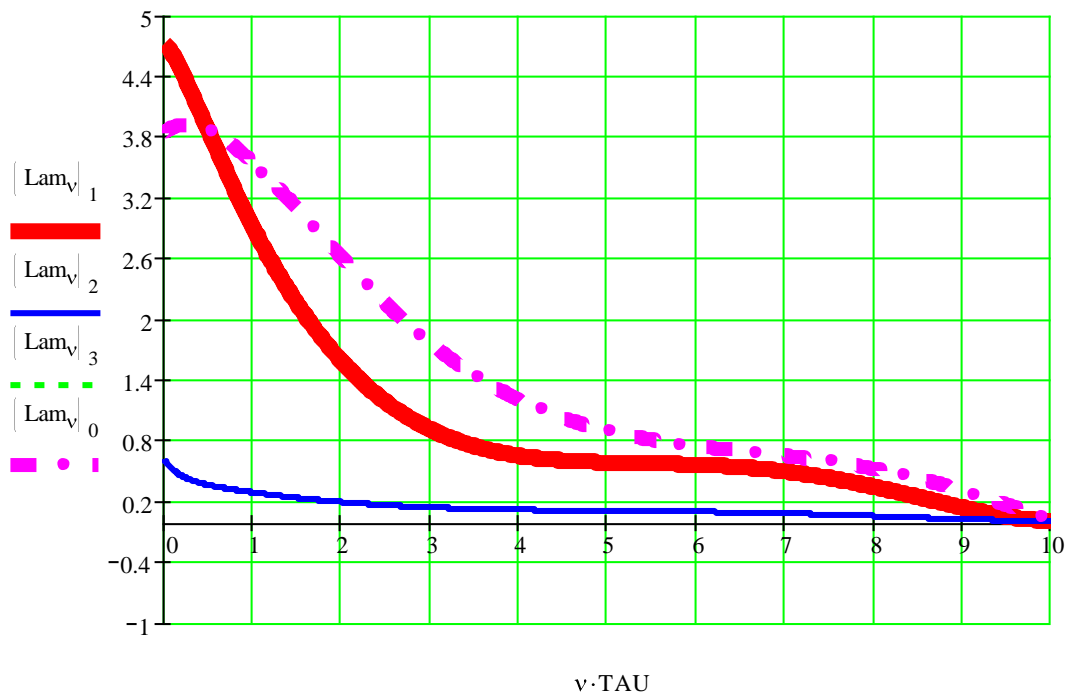
$$N(A, B, R, Q, U_0, tf, TAU, S, X_{tf}, X_0) := \left| \begin{array}{l} X_0 \leftarrow X_0 \\ t \leftarrow \frac{tf}{TAU} \\ Lam_t \leftarrow -1 \cdot (S \cdot X_{tf}) \\ \text{for } v \in 0..t-1 \\ \quad X_{v+1} \leftarrow (A \cdot X_v + B \cdot U_0) \cdot TAU + X_v \\ \text{for } v \in t..1 \\ \quad Lam_{v-1} \leftarrow (A^T \cdot Lam_v + Q \cdot X_v) \cdot TAU + Lam_v \\ \text{for } v \in 0..t \\ \quad U_v \leftarrow -R^{-1} \cdot (B^T \cdot Lam_v) \\ Xn_0 \leftarrow X_0 \\ \text{for } v \in 0..t-1 \\ \quad Xn_{v+1} \leftarrow (A \cdot Xn_v + B \cdot U_v) \cdot TAU + Xn_v \\ \text{return } \begin{pmatrix} X \\ Lam \\ U \\ Xn \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

$Rez := N(A, B, R, Q, U_0, tf, TAU, S, X_{tf}, X_0)$

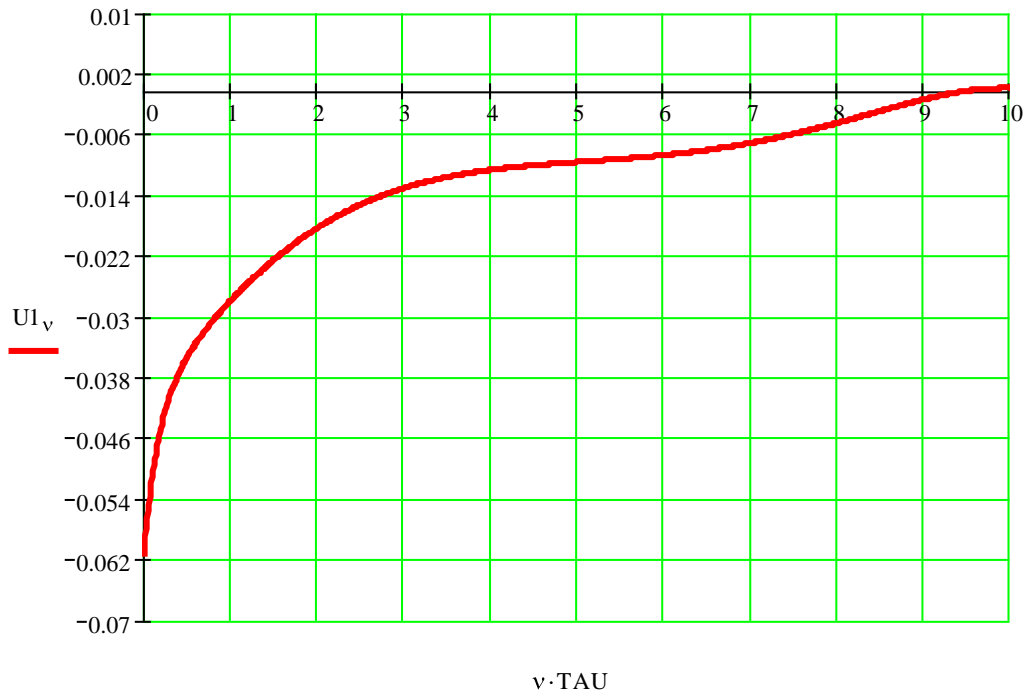
$X := Rez_0 \quad Lam := Rez_1 \quad U := Rez_2 \quad Xn := Rez_3$



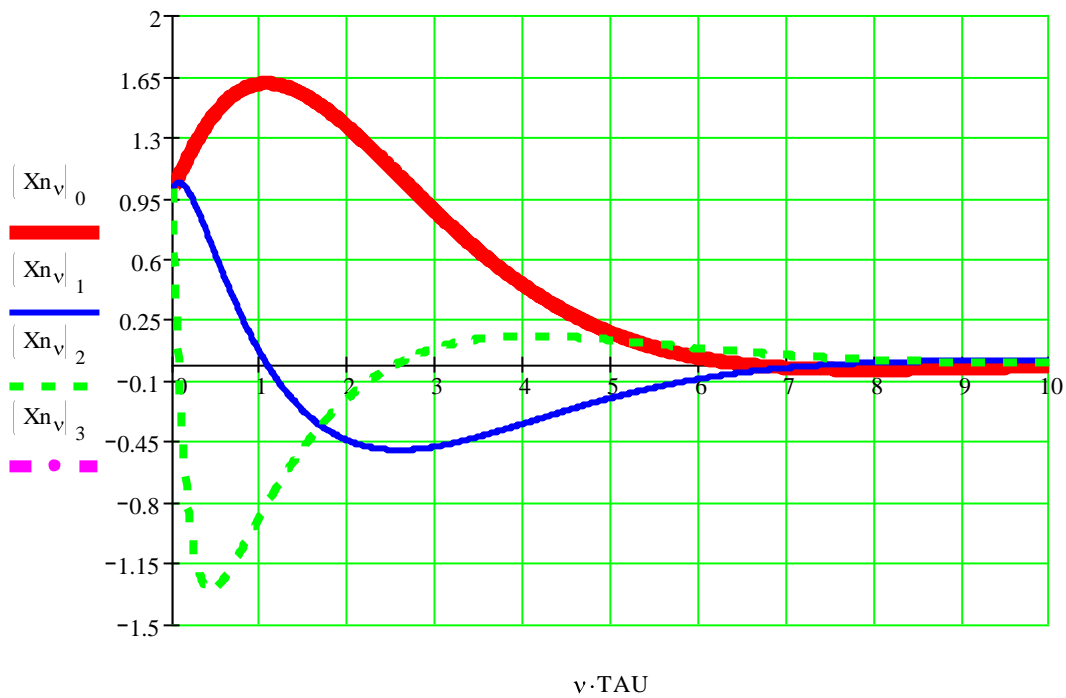
Математична модель процесу розрахована в прямому часі при постійному векторі керування.



Розв'язок спряженої системи в зворотньому часі.



Розрахований вектор оптимального керування.



Матиматична модель процесу розрахована в прямому часі при оптимальному векторі керування.

## Розробка функціональної схеми

Функціональна схема автоматизації дріжджеростильного апарата включає в себе контури витрати, рівня, концентрації та температури.

*Витрата* речовини в технологічному потоці контролюється та регулюється контурами витрати:

- Перший контур знаходиться на позиції 1 до його складу входять 1-1 - звужувальний пристрій (діафрагма камерна ДК 1,6-150);  
1-2 - пневматичний передавальний перетворювач перепаду тиску ІЗДД11; Такий контур зустрічається в даній схемі на позиціях 2,3,4,5.

*Рівень* речовини в апараті регулюється контуром регулювання рівня :

- Перший контур знаходиться на позиції 7 до його складу входять 7-1 - первинний вимірювальний перетворювач АП - 3;  
7-2 - проміжний вимірювальний перетворювач ПП - 3;

*Концентрація* речовини контролюється та регулюється контурами контролю та регулювання концентрації:

- Перший контур контролю знаходиться на позиції 6 до його складу входять 6-1 - чутливий елемент рН - метра заглибленого типу;  
6-2 - перетворювач П-201;
- Другий контур регулювання знаходиться на позиції 8 до його складу входять 8-1 - чутливий елемент рН - метра заглибленого типу;  
8-2 - перетворювач високоомний рН - метра;
- Третій контур регулювання знаходиться на позиції 10 до його складу входять 10-1- первинний перетворювач ГТМК;  
10-2- проміжний перетворювач ГТМК;
- Четвертий контур регулювання знаходиться на позиції 11 до його складу входять

11-1- датчик концентратоміра КК - 8; 11-2-вимірювальний блок концентратоміра КК - 8;

*Температура* в апараті регулюється наступним контуром :

- Перший контур регулювання знаходиться на позиції 9 до його складу' входять

9-1 - термоелектричний перетворювач ТХАУ-055;

9-2 - нормувальний перетворювач Ш - 79;

В якості регульованих клапанів на позиціях 2-3, 4-3, 5-3, 6-3, 7-2, 9-2, 9-3, 11-3- використаний регульований клапан клітковий, фланцевий, уніфікований.



## Список рекомендованої літератури

1. Борисов Г.С. и др. под ред. Ю.И.Дытнерского. Основные процессы и аппараты химической технологии, 1991.
2. Автоматическое управление в химической промышленности (Под ред. Е.Г. Дудникова). - М.: Химия, 1987. - 368 С.
3. Цирлин А.М. Оптимальное управление технологическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1986 – 400с.
4. Сухарев А.Г. Курс методов оптимизации // Тимохов А.В., Фёдоров В.В. – М.: Наука, 1986 – 328с.
5. Ладієва Л.Р. Оптимальне керування системами.: Навчальний посібник. – К.: НМЦ ВО, 2000 – 187с.
6. Остапенко Ю.О. Оптимизация технологических процессов// Ладиева Л.Р.// Алгоритмы и программы (учебное пособие) - Киев: УМК ВО, 1988. - 191с.
7. Кубрак А.И. Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по курсу «Оптимизация технологических процессов»// Остапенко Ю.А., Ладиева Л.Р. - Киев: КПИ, 1987. – 56с.
8. Кубрак А.И. Методические указания к практической работе по курсу «Оптимизация технологических процессов»// Остапенко Ю.А., Ладиева Л.Р. – Киев: КПИ, 1988. – 55с.
9. Жученко А.І. Методичні вказівки до практичних занять з розділу „Методи нелінійного програмування в задачах умовної оптимізації” з дисципліни „Оптимізація технологічних процесів”// Ладієва Л.Р – К.: КПІ, 1991. – 80с.
10. Жученко А.И. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Оптимизация технологических процессов»// Ладієва Л.Р. – К.: КПИ, 1989. – 68с.
11. Остапенко Ю.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу „Оптимізація технологічних процесів”//., Ладієва Л.Р., Жученко А.І. – Київ.: КПІ, 1992. – 108с.

12. Ладієва Л.Р. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу „Моделювання і оптимізація систем керування”. – Київ: КПІ, 1996. – 34с.

Специфікація на прилади і засоби автоматизації

Позиція	Назва та технічна характеристика	Тип, марка, позначення документа опиту вального листа	Код устаткування виробу матеріалу	Завод виробник	Одиниці вимрювання	Кількість	Маса, кг	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-1 2-1 3-1 4-1 5-1	Вимірювання витрати Середовище: газосировинна суміш. Діафрагма камерна Допустимий тиск $P_u=1,6$ МПа Внутрішній діаметр трубопроводу 50 - 520 мм Виготовлена зі сталі 20 Сталь марш 12X18Н10Т	ДК1,6-150-1 9ДГСТ14321-73	9ДГСТ14321-73	ВАТ"Промприлад"	Компл	5	62	
1-2 2-2 3-2 4-2 5-2	Пневматичний передавальний перетворювач перепаду тиску. Значення максимального перепаду тиску 16 кПа. Клас точності(0,6;1) Чутливий елемент мембрана. Виготовлений зі сталі 36НХТ10 Габаритні розміри 140x100x197	13ДД11		"Львівприлад"	Шт	5	6,5	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7-1	Вимірювання рівня Первинний вимірювальний перетворювач АП-3 акустичного рівнеміра рівнеміра ЕХО -3 Сталь	АП-3		"Старорусс-прибор" -	Шт	1		
7-2	Проміжний вимірювальний перетворювач	ПП-3			Шт	1		
6-1	Вимірювання концентрації Чутливий елемент рН - метра магістрального виконання	ДМ-5М		Гомельський завод вимірювальних приладів	Шт	1		
6-2	Перетворювач	П-201		Гомельський завод вимірювальних приладів	Шт	1		
8-1	Чутливий елемент рН - метра заглибленого типу	ДПг-4м – 5		Гомельський завод вимірювальних приладів	Шт	1		
8-2	Перетворювач високоомний рН – метра	П-201		Гомельський завод вимірювальних приладів	Шт	1		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10-1	Первинний перетворювач ГТМК	ПП-16		АТ "Хімавтоматика" м. Северодонецьк	Шт	1		
10-2	Проміжний перетворювач ГТМК	ПРП-18		АТ "Хімавтоматика" м. Северодонецьк	Шт	1		
11-1	Датчик концентрометра КК-8			АТ "Хімавтоматика" м. Северодонецьк	Шт	1		
11-2	Вимірювальний блок концентрометра КК-8			АТ "Хімавтоматика" м. Северодонецьк	Шт	1		
9-1	Вимірювання температури Термоелектричний перетворювач. Область засто- сування газоподібні та рідкі хімічно не агресивні середовища. Межі вимірювання 0...600 С. Сталь 08Х201114С2.	ТХАУ-055		Луцький приладобудівний завод	Шт	1		

9-2	Нормувальний перетворювач							
2-3	Уніфікований сигнал постійного							
4-3	струму 0...5 мА чи напруги 0...10							
6-3	В. Регульований клапан							
7-2	клітковий, фланцевий, уніфіко -	Ш-79 РК 201-100		"Мікроприлад" м.				
9-3	ваний			Івано - Франківськ				
9-2				Луцький	Шт	17		
11-3				приладобудівний				
5-3				завод				