

література



Навчально-методична

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій

Методичні вказівки
для виконання курсового проєкту з дисципліни
ІДЕНТИФІКАЦІЯ
ТА МОДЕЛЮВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

для здобувачів освітнього рівня
бакалавр за спеціальностями:

151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"
174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка"

Тернопіль – 2025

Левицький В. В. Методичні вказівки для виконання курсового проєкту з дисципліни «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальностей: 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології", 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" / уклад. В. В. Левицький. // ТНТУ. – 2025. – С. 53.

Укладач: к.т.н., Левицький В.В.

Рецензент: к.т.н., доцент Савків В.Б.

Відповідальний за випуск: Левицький В.В.

Методичні вказівки для виконання курсового проєкту з дисципліни «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальностей: 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології", 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" розглянуто і схвалено на засіданні кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій
Протокол № 1 від " 28 " серпня 2025 року.

Методичні вказівки для виконання курсового проєкту з дисципліни «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальностей: 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології", 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" схвалено та рекомендовано до друку науково-методичною комісією факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Протокол № 1 від « 29 » серпня 2025 року

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 МЕТА КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	5
2 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	5
3 ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	7
3.1 Тема курсового проєкту.....	7
3.2 Постановка задачі курсового проєкту.....	7
3.3 Вихідні дані та варіанти завдань для виконання курсового проєкту	9
4 ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ ОСНОВНИХ РОЗРАХУНКІВ ТА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ.....	14
4.1 Дослідження статистичних характеристик об'єкта автоматизації.....	14
4.1.1 Технічне завдання до виконання курсового проєкту.....	14
4.1.2 Провести аналіз статичних характеристик об'єкта за даними пасивного експерименту.	16
4.1.3 Побудова структури моделі за даними пасивного експерименту.....	17
4.1.4 Побудова та дослідження дискретної моделі об'єкта за даними пасивного експерименту	24
4.2 Дослідження динамічних характеристик об'єкта автоматизації.....	30
4.2.1 Технічне завдання 2 до курсового проєкту.....	30
4.2.2 Опис об'єкта автоматизації	30
4.2.3 Розробка функціональної схеми САР.....	31
4.2.4 Моделювання та дослідження об'єкта керування.....	32
4.2.5 Моделювання та дослідження системи автоматичного регулювання.....	39
5. АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ.....	42
6. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48
ДОДАТКИ.....	49

ВСТУП

Нормативна навчальна дисципліна «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів за спеціальностями: 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології", 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка".

Предметом вивчення навчальної дисципліни є ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів для автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Програма навчальної дисципліни складається з таких змістових модулів:

1. Аналіз об'єктів моделювання та ідентифікація їхніх статичних характеристик.

2. Ідентифікація динамічних характеристик об'єктів.

Метою викладання навчальної дисципліни "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" є набуття знань, умінь, навичок, які дозволяють вирішувати такі завдання: організації і проведення експериментальних досліджень та обробки даних для ідентифікації об'єктів та систем керування, побудови математичних моделей статички та динаміки, раціонального вибору методів ідентифікації для розв'язання конкретної задачі керування аналітичними та експериментальними методами.

Основними задачами вивчення дисципліни "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" є:

- вивчення методів ідентифікації та оцінки адекватності отриманих моделей;
- засвоєння методів експериментальних досліджень;
- опанування методиками дослідження математичних моделей.

Метою виконання курсового проєкту з дисципліни "Ідентифікація і моделювання об'єктів автоматизації" є:

- закріплення знань, отриманих на лекційних, практичних та лабораторних заняттях при вивченні студентами цієї та сумісних дисциплін, вміння їх використовувати при вирішенні завдань моделювання об'єктів автоматизації;
- практичне засвоєння методів побудови статичних та динамічних характеристик об'єктів автоматизації, застосування прикладних програм для ідентифікації технологічних об'єктів.

Метою цих методичних вказівок є надання роз'яснень для вирішення поставлених завдань під час дослідження статичних та динамічних характеристик об'єкта автоматизації за даними пасивного експерименту.

1 МЕТА КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

з дисципліни «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів»

Мета: застосування теоретичних знань для дослідження об'єктів автоматизації, а також засвоєння методів побудови статичних та динамічних характеристик об'єктів автоматизації, застосування прикладних програм для ідентифікації технологічних об'єктів.

Кожен студент одержує завдання відповідно до порядкового номера журналу. В окремому випадку тема курсового проєкту може бути змінена за бажанням студента та погодженням з викладачем.

2 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Структурними елементами курсового проєкту є:

1. Титульний лист.
2. Зміст.
3. Вступ.
4. Розділи основної частини.
5. Висновки.
6. Список використаної літератури

Пояснювальна записка курсового проєкту повинна мати такі розділи:

Вступ.

Розділ 1. Дослідження статичних характеристик технологічного процесу.

- 1.1. Технічне завдання до виконання курсового проєкту.
- 1.2. Побудова структури моделі за даними пасивного експерименту.
- 1.3. Побудова та дослідження дискретної моделі об'єкта за даними пасивного експерименту.

Розділ 2. Дослідження динамічних характеристик об'єкта автоматизації.

- 2.1. Технічне завдання.
- 2.2. Опис об'єкту автоматизації.
- 2.3. Розробка функціональної схеми САР.
- 2.4. Моделювання та дослідження об'єкта керування.
- 2.5. Моделювання системи автоматичного регулювання.

Висновки.

Список використаної літератури.

Перша сторінка роботи – титульний лист, на якому є такі відомості: назва навчального закладу, назва дисципліни, тема курсового проєкту, навчальна група, прізвище та ініціали студента, посада і прізвище викладача.

Друга сторінка курсового проєкту – зміст курсового проєкту з номерами сторінок: постановка задачі (загальна та індивідуальні завдання згідно з варіантом), опис об'єкта ідентифікації та дані вимірювань (згідно з варіантом), два розділи завдання (надані в п.3.2), висновки, список використаної літератури.

1. Для кожного розділу потрібно надати:

- а) теоретичні відомості про методи вирішення завдання;
- б) опис функцій Matlab для вирішення завдання розділу;
- в) результати обчислень на комп'ютері (якщо багато значень масиву, то надати по 10 початкових та кінцевих значень);
- г) графіки результатів.

2. У висновках необхідно узагальнити статистичні характеристики об'єкту, навести математичний опис статичної та динамічної моделі, оцінити похибки моделей.

3. Наприкінці роботи потрібно поставити підпис та дату виконання роботи.

Курсовий проєкт складається з описової частини (30-40 сторінок формату А4).

При комп'ютерному наборі використовувати Word (кегель 14, інтервал 1,0). Зміст, вступ, розділи, висновки, список літератури починати з нової сторінки. Сторінки нумерувати, починаючи з титульного аркуша, причому на титульному листі номер сторінки не проставляти. Нумери сторінок проставляти у нижньому правому куті. Формули у тексті розташовувати у вигляді окремих рядків і нумерувати, під формулами надавати перелік позначень з розшифровкою їхнього значення.

Вихідними даними до курсового проєкту є процес виробництва вершкового масла та система автоматичного регулювання температури в теплиці.

3 ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

3.1 Тема курсового проєкту: «Ідентифікація технологічних об'єктів за даними пасивного експерименту»

3.2 Постановка задачі курсового проєкту

Курсовий проєкт передбачає розв'язання задачі ідентифікації технологічних об'єктів в «широкому сенсі» і складається з наступних завдань:

Завдання 1 Дослідження статистичних характеристик об'єкта автоматизації

Необхідно здійснити аналіз статичних характеристик об'єкта автоматизації за даними пасивного експерименту та обрати структуру моделі; визначити параметри статичної моделі об'єкта за обраною структурою; провести аналіз побудованої статичної моделі; побудувати та дослідити дискретну модель об'єкта за даними пасивного експерименту.

Для виконання даного завдання необхідно:

1) Провести аналіз статичних характеристик об'єкта за даними пасивного експерименту:

1.1 Визначити середнє значення, медіану, дисперсію, середньоквадратичне відхилення для всіх вимірювань параметрів на вході та виході.

1.2 Побудувати графіки й гістограми кожного параметра.

1.3 Обчислити матрицю коефіцієнтів кореляції параметрів.

2) Побудувати модель об'єкта (технологічного процесу) за методом Брандона та визначити середню відносну похибку апроксимації.

3) Побудувати дискретну передавальну функцію об'єкта у вигляді

$$W(z) = \frac{B(z)}{F(z)},$$

де $B(z) = b_1 + b_2 z^{-1} + b_3 z^{-2} + \dots$, $F(z) = f_1 + f_2 z^{-1} + f_3 z^{-2} + \dots$, $z^{-1} = e^{-pts}$, ts – час дискретизації.

Індивідуальні варіанти до завдання 1 надано в табл. 1.2.

Завдання 2 Дослідження динамічних характеристик об'єкта автоматизації

Необхідно розробити систему автоматичного регулювання та провести дослідження динамічних характеристик, а саме:

- 1) Описати об'єкт автоматизації.
- 2) Розробити функціональну схему автоматизації.
- 3) Побудувати за диференціальним рівнянням, використовуючи метод пониження порядку похідної, модель об'єкта керування.
- 4) Отримати за диференціальним рівнянням передавальну функцію об'єкта керування.
- 5) Побудувати в Matlab інтерактивну оболонку для надання результатів досліджень об'єкта керування, яка дозволяє: побудувати перехідну та імпульсну характеристики; знаходити матрицю рівнянь простору станів; побудувати карту розміщення нулів і полюсів; побудувати АЧХ та ФЧХ; побудувати АФЧХ (діаграму Найквіста).
- 6) Побудувати за диференціальними рівняннями моделі для кожної із ланок САР.
- 7) Побудувати в Matlab загальну модель та перехідну характеристику САР.

Індивідуальні варіанти до завдання 2 надано в табл. 1.3.

3.3 Вихідні дані та варіанти завдань для виконання курсового проєкту

Завдання 1 Дослідження статистичних характеристик об'єкта автоматизації

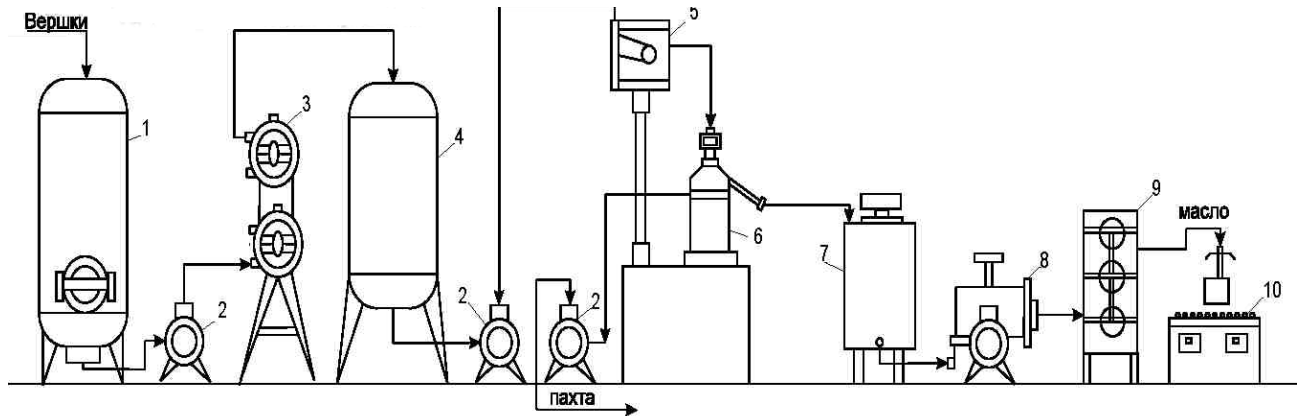


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу виготовлення вершкового масла методом перетворення високожирних вершків: 1 – ємність для вершків; 2 – насос; 3 – пастеризаційна установка; 4 – дезодоратор; 5 – напірний бачок; 6 – сепаратор для високожирних вершків; 7 – ванна для нормалізації; 8 – насос - дозатор; 9 – циліндричний маслоутворювач; 10 – ваги і конвеєр

На рис. 1.1 наданий технологічний процес виготовлення вершкового масла методом перетворення високожирних вершків, який має такі вимірювальні параметри:

Параметри вимірювань на вході:

- x_1 – температура вершків при пастеризації;
- x_2 – температура вершків при сепарації;
- x_3 – температура вершків у ваннах нормалізації;
- x_4 – температура вершків на вході маслоперетворювача;
- x_5 – температура розсолу;
- x_6 – масова частка вологи у вершках;
- x_7 – масова частка СЗМЗ у вершках;
- x_8 – масова частка жиру у вершках;
- x_9 – кислотність вершків.

Параметри вимірювань на виході:

- y_1 – температура масла на виході маслоперетворювача;
- y_2 – кислотність масла;
- y_3 – масова частка жиру в маслі;
- y_4 – масова частка вологи в маслі;
- y_5 – масова частка СЗМЗ у маслі.

Дані вимірів технологічного процесу виготовлення вершкового масла методом перетворення високожирних вершків на маслозаводі надано в табл. 1.1.

Виміри проводилися кожні 20 хвилин.

Таблиця 1.1 – Данні вимірювань технологічного процесу виготовлення вершкового масла (файл *oil.txt*)

№ вимірювань	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
1	85	71	66	56	-1	24,3	2,56	73,14	17	12	22	82,5	15	2,5
2	86	71	67	57	0	24,1	2,4	73,5	19	15	21	82,5	15	2,5
3	88	69	68	56	-1	24	2,48	73,52	18	16	21	83	14	3
4	86	72	70	58	2	23,8	2,64	73,56	19	14	22	82,7	15	2,3
5	85	73	68	59	3	23,5	2,6	73,9	20	13	22	83	13	4
6	87	71	67	60	1	24	2,6	73,4	20	15	21	83,5	14	2,5
7	89	76	68	62	2	24,1	2,82	73,08	18	16	21	83	15	2
8	88	73	69	64	1	24,2	2,85	72,95	19	17	20	83,5	14	2,5
9	86	79	67	64	1	24	2,62	73,38	19	15	21	82,5	14	3,5
10	85	80	67	65	0	23,7	2,4	73,9	19	15	22	82,5	13	4,5
11	85	81	69	65	-1	23,6	2,41	73,99	18	14	21	83	12	5
12	86	83	70	64	-2	23,4	2,42	74,18	17	14	22	83,5	13	3,5
13	87	90	70	62	-2	23,5	2,5	74	17	14	21	84	14	2
14	86	91	70	61	0	23,1	2,56	74,34	18	15	21	83	15	2
15	87	89	69	59	-1	23,2	2,57	74,23	18	16	22	83,5	15	1,5
16	89	85	69	56	1	23,3	2,7	74	19	16	20	83,7	13	3,3
17	90	82	66	55	1	23,6	2,68	73,72	18	17	20	83,4	12	4,6
18	89	70	67	57	2	23,9	2,68	73,42	17	16	21	83	12	5
19	88	68	68	60	3	24	2,57	73,43	17	14	22	82,8	12	5,2
20	88	70	69	61	3	24,1	2,31	73,59	18	15	21	83,2	14	2,8
21	87	75	67	63	1	24,1	2,35	73,55	19	15	22	83	15	2
22	86	78	68	64	2	24,2	2,36	73,44	19	14	22	83,4	12	4,6
23	86	80	70	61	2	24,2	2,36	73,44	20	14	22	83,8	13	3,2
24	87	85	70	60	1	24	2,4	73,6	21	16	21	84	13	3
25	87	87	68	58	2	23,8	2,6	73,6	20	16	21	83,6	13	3,4
26	88	86	67	57	-1	23,8	2,56	73,64	18	15	22	83,9	15	1,1
27	89	84	67	58	-1	23,7	2,58	73,72	18	15	21	83,5	12	4,5
28	87	82	69	58	0	23,5	2,62	73,88	17	15	22	83,1	12	4,9
29	88	81	68	56	0	23,4	2,57	74,03	19	16	21	82,8	14	3,2
30	89	79	68	55	0	23,6	2,62	73,78	19	16	20	82,6	13	4,4
31	87	76	68	57	-1	23,8	2,57	73,63	20	13	19	82,9	14	3,1
32	86	71	69	58	-2	24	2,54	73,46	19	13	21	83	12	5
33	85	68	70	60	-2	24,1	2,56	73,34	17	14	22	83,2	15	1,8
34	85	70	69	57	-2	24,1	2,56	73,34	17	14	21	83,5	15	1,5
35	85	75	69	62	-3	24,1	2,35	73,55	18	14	19	83,4	13	3,6
36	88	76	68	61	0	24,2	2,32	73,68	18	13	19	83,2	13	3,8
37	88	78	67	58	0	24,2	2,56	73,44	17	15	20	83,1	15	1,9
38	87	79	66	56	1	24,2	2,62	73,18	19	16	19	82,9	13	4,1

Закінчення табл. 1.1

39	86	82	68	55	1	24	2,62	73,38	20	14	20	82,7	12	5,3
40	86	83	68	58	2	24	2,7	73,3	19	14	20	82,5	14	3,3
41	85	85	67	59	-2	24,1	2,7	73,2	18	13	20	83	13	4
42	86	82	69	61	-2	24,2	2,75	73,05	17	13	21	82,5	14	3,3
43	87	85	69	61	-1	24,2	2,76	73,04	18	15	19	82,7	13	4,3
44	88	86	67	61	-1	23,9	2,76	73,34	18	15	19	83	13	4
45	89	89	68	63	0	23,8	2,68	73,52	20	13	20	83,1	15	1,9
46	90	90	69	64	0	23,8	2,59	73,61	20	16	22	83,5	15	1,5
47	90	90	69	64	1	24	2,56	73,44	18	17	22	84	14	2
48	89	87	70	63	2	24	2,32	73,68	17	16	21	83	14	3
49	89	88	70	62	-1	24,2	2,32	73,47	18	15	21	82,5	15	2,5
50	88	86	68	60	-1	24,1	2,32	73,58	19	14	20	82,8	13	4,2
51	87	75	67	63	1	24,1	2,35	73,55	19	15	22	83	15	2
52	86	78	68	64	2	24,2	2,36	73,44	19	14	22	83,4	12	4,6
53	87	79	66	56	1	24,2	2,62	73,18	19	16	19	82,9	13	4,1
54	86	82	68	55	1	24	2,62	73,38	20	14	20	82,7	12	5,3
55	86	83	68	58	2	24	2,7	73,3	19	14	20	82,5	14	3,3
56	85	85	67	59	-2	24,1	2,7	73,2	18	13	20	83	13	4
57	87	71	67	60	1	24	2,6	73,4	20	15	21	83,5	14	2,5
58	89	76	68	62	2	24,1	2,82	73,08	18	16	21	83	15	2
59	88	73	69	64	1	24,2	2,85	72,95	19	17	20	83,5	14	2,5
60	86	79	67	64	1	24	2,62	73,38	19	15	21	82,5	14	3,5
61	85	86	69	55	-2	24,1	2,7	73,04	20	14	21	82,7	13	5,3
62	85	89	67	58	-2	24,2	2,7	73,34	19	14	19	82,5	15	3,3
63	86	90	68	59	-1	24,2	2,75	73,52	18	13	19	83	15	4
64	86	90	69	61	-1	23,9	2,76	73,61	17	13	20	82,5	14	3,3
65	87	87	69	61	0	23,8	2,76	73,44	18	15	22	82,7	14	4,3
66	87	88	70	61	0	23,8	2,68	73,68	18	15	22	83	15	4
67	89	86	70	63	1	24	2,59	73,47	20	13	21	83,1	13	1,9
68	88	75	68	64	2	24	2,56	73,58	20	16	21	83,5	15	1,5
69	87	78	67	64	-1	24,2	2,32	73,55	18	17	20	84	12	2
70	90	79	68	63	-1	24,1	2,32	73,44	17	16	22	83	13	3
71	85	82	66	62	1	24,1	2,32	73,18	18	15	22	82,5	12	2,5
72	86	83	68	60	2	24,2	2,35	73,38	19	14	19	82,8	14	4,2
73	85	85	68	63	1	24,2	2,36	73,3	19	15	20	83	13	2
74	86	71	67	64	1	24	2,62	73,2	19	14	20	83,4	14	4,6
75	85	76	67	56	2	24	2,62	73,4	19	16	20	82,9	15	4,1
76	89	73	68	55	-2	24,1	2,7	73,08	20	14	21	82,7	14	5,3
77	90	79	69	58	1	24	2,7	72,95	19	14	21	82,5	14	3,3
78	88	86	67	59	2	24,1	2,6	73,38	20	13	20	83	13	4
79	86	89	69	60	1	24,2	2,82	73,04	19	15	21	83,5	15	2,5
80	87	90	67	55	1	24	2,85	73,34	18	14	19	83	15	2

Таблиця 1.2 – Індивідуальні варіанти завдань

№ варіанта	Варіанти даних на вході моделі (з файла даних)	Керуючий параметр	Варіанти даних на виході моделі (з файла даних)	Вигляд динамічних моделей
1	2	3	4	5
1	x_1, x_2, x_3, x_4	x_1	y_1	ARX, ARMAX
2	x_1, x_2, x_3, x_5	x_2	y_2	ARMAX, OE
3	x_1, x_2, x_3, x_6	x_3	y_3	ARMAX, OE
4	x_1, x_2, x_3, x_7	x_1	y_4	ARX, OE
5	x_1, x_2, x_3, x_8	x_3	y_5	ARX, OE
6	x_1, x_2, x_4, x_6	x_2	y_1	ARMAX, BJ
7	x_1, x_2, x_6, x_7	x_2	y_2	ARMAX, BJ
8	x_2, x_3, x_4, x_5	x_4	y_3	ARX, PEM
9	x_2, x_4, x_6, x_7	x_2	y_4	ARX, PEM
10	x_2, x_3, x_5, x_8	x_5	y_5	BJ, PEM
11	x_1, x_2, x_4, x_6	x_3	y_2	BJ, PEM
12	x_1, x_2, x_3, x_4	x_3	y_5	ARX, BJ
13	x_1, x_2, x_4, x_5	x_2	y_3	ARX, BJ
14	x_1, x_2, x_6, x_8	x_4	y_1	ARMAX, PEM
15	x_2, x_3, x_5, x_7	x_4	y_3	ARX, ARMAX
16	x_2, x_4, x_6, x_7	x_8	y_4	BJ, OE
17	x_2, x_4, x_5, x_8	x_7	y_2	PEM, OE
18	x_1, x_2, x_4, x_7	x_3	y_3	ARMAX, OE
19	x_1, x_2, x_3, x_7	x_3	y_5	ARMAX, BJ
20	x_1, x_2, x_4, x_8	x_2	y_1	ARX, PEM

Завдання 2. Система автоматичного регулювання температури в теплиці складається з наступних ланок:

1) об'єкт керування – теплиця, що описується аперіодичною ланкою другого порядку:

$$T_1 \frac{d^2 \Theta(t)}{dt^2} + T_2 \frac{d \Theta(t)}{dt} + \Theta(t) = k_1 Q(t);$$

2) безінерційний давач:

$$R_{\Theta}(t) = k_2 \Theta(t);$$

3) регулятор - аперіодична ланка першого порядку

$$T_3 \frac{dU}{dt} + U(t) = k_3 R_{\Theta}(t);$$

4) виконуючий елемент - інтегруюча ланка:

$$T_4 \frac{dQ(t)}{dt} = k_4 U(t).$$

Таблиця 1.3 – Індивідуальні варіанти завдань

Варіант №	T_1	T_2	T_3	T_4	k_1	k_2	k_3	k_4
1	1500	100	1	1,4	0,8	1,4	0,005	1
2	1400	20	0,9	1,8	0,1	1,5	0,0009	2
3	1300	15	0,8	2	0,2	1,3	0,01	3
4	1200	200	0,7	2,5	0,3	2,2	0,006	2,5
5	1100	90	1,1	1,1	0,4	2,15	0,001	1,5
6	1000	80	1,2	1,3	0,7	2,25	0,002	1,9
7	900	70	1,3	0,9	0,8	2,35	0,003	1,8
8	800	60	0,7	1	0,6	1,45	0,004	1
9	700	50	0,6	0,8	0,5	1,3	0,002	2
10	600	40	0,5	0,7	1	1,4	0,001	3
11	1500	200	1,2	1,7	1,0	1,5	0,005	2
12	800	30	0,6	0,7	0,1	1,35	0,002	2,5
13	900	60	0,7	0,9	0,2	2,25	0,001	1,8
14	700	50	0,8	1,1	0,5	1,35	0,005	1,5
15	900	60	1,4	0,8	0,7	1,30	0,004	1,6
16	1100	50	1,1	1,1	0,4	2	0,003	1,7
17	1200	50	1,2	1,5	0,3	1,6	0,003	2,5
18	1100	80	0,5	2,0	0,2	1,8	0,005	2
19	1400	200	0,7	2,1	0,3	1,5	0,001	2,5
20	1100	300	0,8	1,7	0,2	1,8	0,009	1,5

4 ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ ОСНОВНИХ РОЗРАХУНКІВ ТА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

У цьому розділі методичних вказівок розглянуто виконання усіх розділів курсового проєкту, крім вступу та висновку, які студент має розробити самостійно.

4.1 Дослідження статистичних характеристик об'єкта автоматизації

4.1.1 Технічне завдання до виконання курсового проєкту 1

У даному завданні необхідно провести аналіз статичних характеристик об'єкта автоматизації за даними пасивного експеримента та обрати структуру моделі; визначити параметри статичної моделі об'єкта за обраною структурою; провести аналіз побудованої статичної моделі; побудувати та дослідити дискретну модель об'єкта за даними пасивного експеримента.

На рис. 4.1 надано технологічний процес виробництва вершкового масла методом перетворення високожирних вершків, який включає наступні стадії: 1) приймання і зберігання молока; 2) підігрівання і сепарування; 3) теплову обробку вершків; 4) сепарування вершків (одержання високожирних вершків); 5) нормалізацію і термомеханічну обробку високожирних вершків; 6) фасування і зберігання масла.

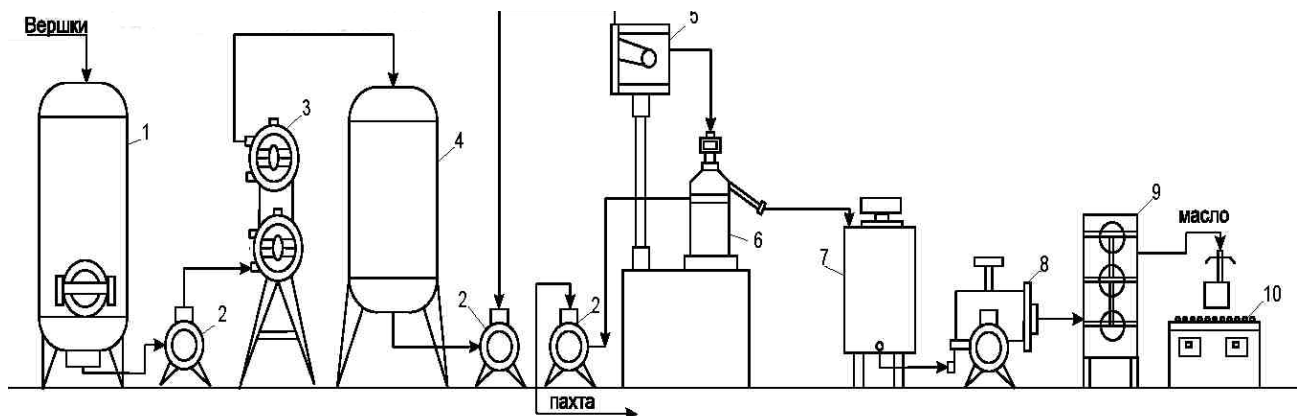


Рисунок 4.1 – Схема технологічного процесу виготовлення вершкового масла методом перетворення високожирних вершків: 1 – ємність для вершків; 2 – насос; 3 – пастеризаційна установка; 4 – дезодоратор; 5 – напірний бачок; 6 – сепаратор для високожирних вершків; 7 – ванна для нормалізації; 8 – насос – дозатор; 9 – циліндричний маслоутворювач; 10 – ваги і конвеєр

Вершки середньої жирності (32–36 %), що отримані звичайним способом, пастеризують у трубчатому пастеризаторі 3 і подають на сепаратор для висо-

кожирних вершків 6, де їх жирність доводять до жирності масла. Високожирні вершки з сепараторів надходять до ванни з мішалкою 7, де їх нормалізують до стандартної жирності. Нормалізовані вершки насосом-дозатором 8 подають у циліндричний масловиготовлювач 9, де вони у тонкому пласті охолоджуються, перемішуються і поступово перетворюються в масло, яке витікає безперервно до ящика і швидко ущільнюється. Готовий продукт пакують і відправляють до маслосховища.

Дані вимірювань чотирьох вхідних та одного вихідного параметрів технологічного процесу виготовлення вершкового масла методом перетворення високожирних вершків надано в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

№ вимірювань	x_1	x_2	x_3	x_5	y_5
1	85	71	66	-1	2,5
2	86	71	67	0	2,5
3	88	69	68	-1	3
4	86	72	70	2	2,3
5	85	73	68	3	4
6	87	71	67	1	2,5
7	89	76	68	2	2
8	88	73	69	1	2,5
9	86	79	67	1	3,5
10	85	80	67	0	4,5

Вимірювання параметрів x_1 , x_2 , x_3 , x_5 , y_5 проводились кожні 20 хвилин, де

x_1 – температура вершків при пастеризації;

x_2 – температура вершків при сепарації;

x_3 – температура вершків у ваннах нормалізації;

x_5 – температура розсолу;

y_5 – масова частка СЗМЗ у маслі.

У табл. 4.2 надано індивідуальний варіант до виконання завдання 1.

Таблиця 4.2

Варіант завдання	Вхідні параметри	Керуючий пара- метр	Вихідні па- раметри	Вигляд дина- мічних моде- лей
21	x_1 , x_2 , x_3 , x_5	x_2	y_5	ОЕ

4.1.2 Провести аналіз статичних характеристик об'єкта за даними пассивного експерименту:

1.1 Визначити середнє значення, медіану, дисперсію, середньоквадратичне відхилення для всіх вимірювань параметрів на вході та виході.

1.2 Побудувати графіки й гістограми кожного параметра.

1.3 Обчислити матрицю коефіцієнтів кореляції параметрів.

Статистичні функції в Matlab

mean(x) – обчислює середні значення елементів стовпців, якщо x – вектор з n елементів, то обчислюється $m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.

Функція **median(x)** – визначає серединні значення (медіани) елементів масиву. У разі одновимірного масиву повертає значення серединного елемента; в разі двовимірного масиву – це вектор-рядок, що містить значення серединних елементів кожного стовпчика. Таким чином, **median(median(x))** – це серединний елемент (медіана) масиву, що збігається зі значенням **median(x(:))**.

std(x) – стандартне (середньоквадратичне) відхилення значень елементів стовпців, якщо x – вектор з n елементів, то обчислюється

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}.$$

Команда **plot** служить для побудови графіків функцій у декартовій системі координат.

plot(x, y) – будує графік функції $y(x)$, координати точок (x, y) якої беруться з векторів однакового розміру y і x . Якщо **X** або **Y** – матриця, то будується сімейство графіків за даними, що містяться в колонках матриці.

Класична гістограма характеризує числа влучень значень елементів вектора y в m інтервалів з поданням цих чисел у вигляді стовпцевої діаграми. Для отримання даних для гістограми служить функція **hist**, що записується в наступному вигляді:

N = hist(y) — повертає вектор чисел влучень для 10 інтервалів, які обирають автоматично. Якщо y – матриця, то видається масив даних про кількості влучень для кожного з її стовпців.

R = corrcoef(X) функція призначена для розрахунку матриці парних коефіцієнтів кореляції **R** вибірок показаних у вигляді матриці **X**. Спостереження розташовуються через підрядник у матриці **X**, вибірки – за стовпцями.

4.1.3 Побудова структури моделі за даними пасивного експерименту

У даному пункті необхідно побудувати модель об'єкта (технологічного процесу) за методом Брандона.

Пошук емпіричної формули, яка пов'язує величину y з факторами, що впливають на $x_1, x_2, \dots, x_n$, являє собою досить складну задачу. Розроблено кілька методів її вирішення і серед них можна назвати метод Брандона. Сутність цього методу полягає в тому, що нелінійну функцію пропонується шукати у вигляді добутку

$$y = \alpha \cdot f(x_1) \cdot f(x_2) \dots \cdot f(x_n).$$

Кожна з функцій $f(x_i)$ вважається функцією тільки одного аргументу з номером i . Конкретний вид функції $f(x_i)$ підбирається в залежності від впливу x_i на y_i . Вона, наприклад, може бути зростаючою чи спадаючою, лінійною або нелінійною (степеневі, показникові, експоненційні тощо). Порядок розташування факторів $x_1, x_2, \dots, x_n$ має значення для точності обробки результатів: чим більше вплив на y надає параметр x , тим менше повинен бути порядковий номер його індексу i .

Спочатку за точками вибірки x_i, y_i будуються поля кореляції і лінія регресії $y_i - x_1$. Таким чином визначається вид залежності $\hat{y}_{x_1} = f_1(x_1)$ і методом найменших квадратів розраховуються коефіцієнти цього рівняння регресії. Потім складається вибірка нової величини:

$$y_1 = \frac{y}{f(x_1)}.$$

Ця величина вже не залежить від x_1 , а визначається параметрами $x_2, x_3, \dots, x_n$. Тому можна записати:

$$y_1 = \alpha \cdot f_2(x_2) \cdot f_3(x_3) \dots \cdot f_n(x_n).$$

За точками нової вибірки величин y_1 і x_2 знову будуються кореляційне поле і емпірична лінія регресії, що характеризує залежність y_1 від x_2 :

$$\hat{y}_{x_2} = f_2(x_2).$$

Розраховуються її коефіцієнти і знову складається вибірка нової величини

$$y_2 = \frac{y_1}{f_2(x_2)} = \frac{y}{f_1(x_1) \cdot f_2(x_2)}.$$

Ця величина вже не залежить від двох чинників x_1 і x_2 та може бути визначена з наступного рівняння регресії:

$$y_2 = \alpha \cdot f_3(x_3) \cdot f_4(x_4) \dots f_n(x_n).$$

Така процедура визначення функцій $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)$ продовжується до отримання вибірки величини

$$y_n = \frac{y_{n-1}}{f_n(x_n)} = \frac{y}{f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \cdot \dots \cdot f_n(x_n)}.$$

Ця величина вже не залежить від чинників $x_2, x_3, \dots, x_n$ і визначається коефіцієнтом вихідного рівняння

$$\hat{y}_k = \alpha = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{k_i},$$

де N – об'єм вибірки.

Метод Брандона корисно застосовувати в тих випадках, коли потрібно швидко і досить точно описати процес на підставі експериментальних даних.

Метод Брандона призначений для отримання моделей виду

$$\tilde{y}(x_1, \dots, x_k) = b_0 \prod_{j=1}^k f_j(x_j), \quad (4.1)$$

де $f_j(x_j)$ – довільна одновимірна функція; k – кількість вхідних параметрів x .

У даному випадку модель матиме вигляд:

$$\tilde{y}(x_1, x_2, x_3, x_4) = b_0 \prod_{j=1}^4 f_j(x_j), \quad (4.2)$$

де $b_0 = \bar{y}$ – середнє значення y_5 ;

$$\bar{y} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} y_{5i} = 2,93.$$

Далі для побудови моделі згідно з методом Брандона вводимо нову фіктивну змінну y_0 , а саме виконуємо перетворення

$$y_{0i} = \frac{y_{5i}}{\bar{y}}, \quad i = \overline{1,10}$$

і доповнюємо вихідну табл. 4.3, а саме

Таблиця 4.3

№ з/П	y_5	y_0	$\tilde{y}_0$	y_1	$\tilde{y}_1$	y_2	$\tilde{y}_2$	y_3	$\tilde{y}_3$	$\tilde{y}$
1	85	0,8532	1,1702	0,7292	0,9331	0,7814	0,7304	1,0698	1,1546	2,6982
2	86	0,8532	1,0567	0,8074	0,9331	0,8653	1,0177	0,8502	1,0034	2,9505
3	88	1,0239	0,8298	1,2339	0,879	1,4038	1,1232	1,2498	1,1546	2,7716
4	86	0,785	1,0567	0,7428	0,9602	0,7736	0,7888	0,9808	0,9372	2,1979
5	85	1,3652	1,1702	1,1666	0,9873	1,1816	1,1232	1,052	1,0222	3,8867
6	87	0,8535	0,9433	0,9046	0,9331	0,9694	1,0177	0,9525	0,931	2,4435
7	89	0,6826	0,7164	0,9529	1,0686	0,8917	1,1232	0,7939	0,9372	2,361
8	88	0,8532	0,8298	1,0282	0,9873	1,0415	1,0469	0,9948	0,931	2,3396
9	86	1,1945	1,0567	1,1304	1,1498	0,9831	1,0177	0,966	0,931	3,3729
10	85	1,5358	1,1702	1,3125	1,1769	1,1152	1,0177	1,0958	1,0034	4,1207

Відповідно до розподілу точок (x_{1i}, y_{0i}) , $i = \overline{1,10}$ з використанням команди polytool беремо наступну структуру лінії регресії $f_1(x_1): \tilde{y}_0 = b_{01} + b_{11}x_1$ та ідентифікуємо коефіцієнти b_{01}, b_{11} :

>> beta = - 0,1135 10,8141.

Отже, рівняння регресії має вигляд:

$$\tilde{y}_0 = 10,8096 - 0,1135x_1.$$

На рис. 4.2 надана лінія регресії з отриманими коефіцієнтами b_{01}, b_{11} . За отриманим рівнянням регресії для $x_{1i}, i = \overline{1,10}$ знаходимо відповідні значення $\tilde{y}_{0i}$ та доповнюємо табл. 4.3.

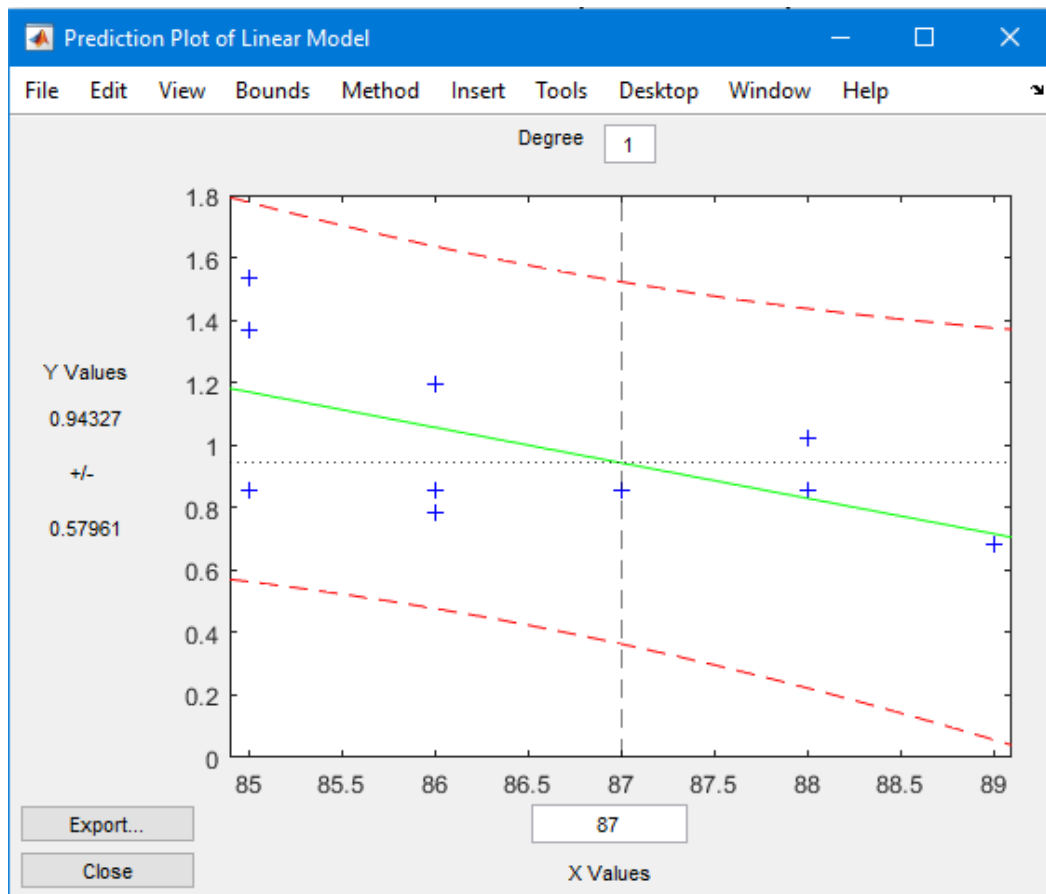


Рисунок 4.2 – Лінія регресії $\tilde{y}_0 = 10,8141 - 0,1135x_1$

Далі виконуємо перетворення:

$$y_{1i} = \frac{y_{0i}}{\tilde{y}_{0i}}, i = \overline{1, n}$$

та доповнюємо табл. 4.3.

Аналогічно до попереднього відповідно до розподілу точок (x_{2i}, y_{1i}) , $i = \overline{1, 10}$ з використанням команди polytool беремо наступну структуру лінії регресії $f_2(x_2): \tilde{y}_1 = b_{02} + b_{12}x_2$ та ідентифікуємо коефіцієнти b_{02}, b_{12} :

>> beta1 = 0,0271 -0,9897.

Отже, рівняння регресії має вигляд:

$$\tilde{y}_1 = -0,9897 + 0,0271x_2.$$

На рис. 4.3 надана лінія регресії з отриманими коефіцієнтами b_{02}, b_{12} . За отриманим рівнянням регресії для $x_{2i}, i = \overline{1, 10}$ знаходимо відповідні значення $\tilde{y}_{1i}$ та доповнюємо табл. 4.3.

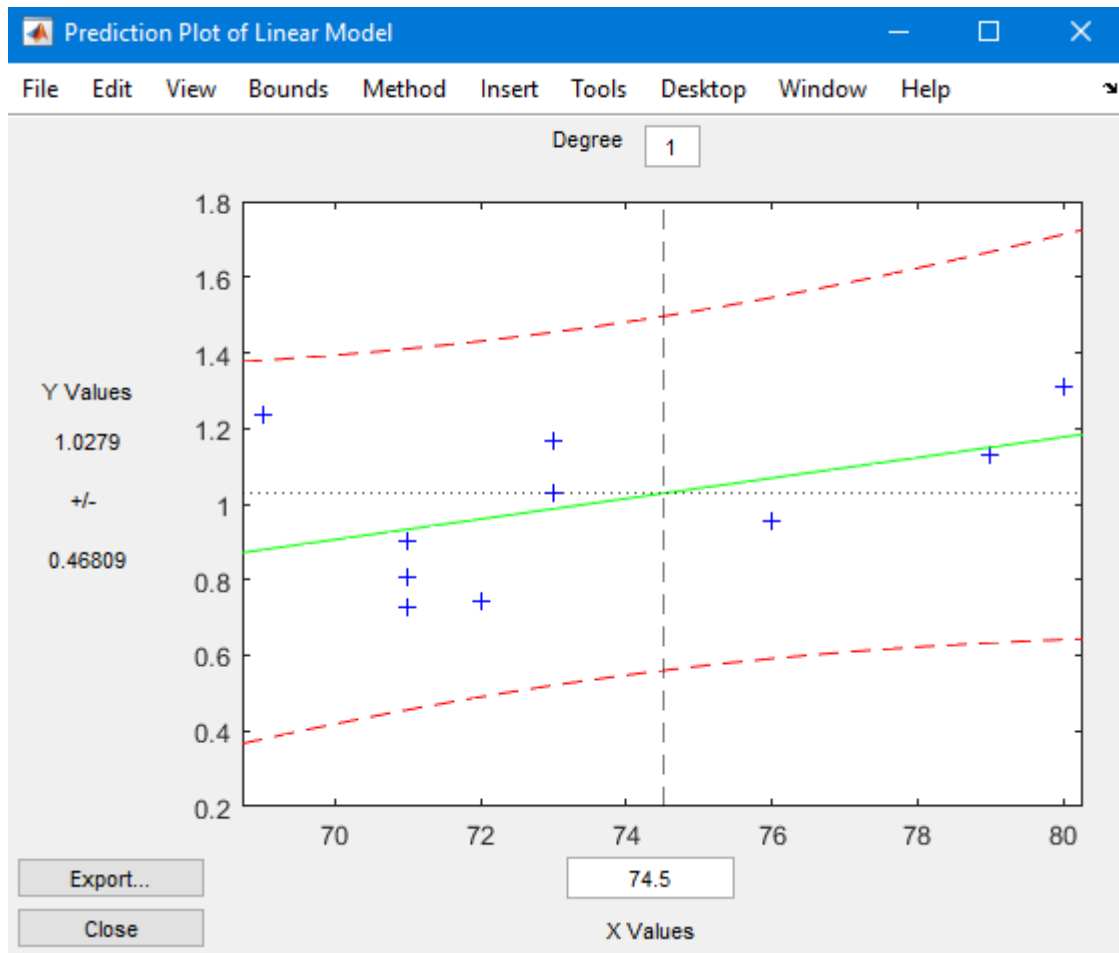


Рисунок 4.3 – Лінія регресії $\tilde{y}_1 = -0,9897 + 0,0271x_2$

Далі виконуємо перетворення:

$$y_{2i} = \frac{y_{1i}}{\tilde{y}_{1i}}, \quad i = \overline{1, n}$$

та доповнюємо табл. 4.3.

Аналогічно до попереднього відповідно до розподілу точок (x_{3i}, y_{2i}) , $i = \overline{1, 10}$ з використанням команди polytool беремо наступну структуру лінії регресії $f_3(x_3): \tilde{y}_2 = b_{03} + b_{13}x_3 + b_{23}x_3^2$ та ідентифікуємо коефіцієнти b_{03}, b_{13}, b_{23} :

>> beta2 = -0,0909 12,3781 -420,2287.

Отже, рівняння регресії має вигляд:

$$\tilde{y}_2 = -420,2287 + 12,3781x_3 - 0,0909x_3^2.$$

На рис. 4.4 надана лінія регресії з отриманими коефіцієнтами b_{03}, b_{13}, b_{23} .

За отриманим рівнянням регресії для $x_{3i}, i = \overline{1, 10}$ знаходимо відповідні значення $\tilde{y}_{2i}$ та доповнюємо табл. 4.3.

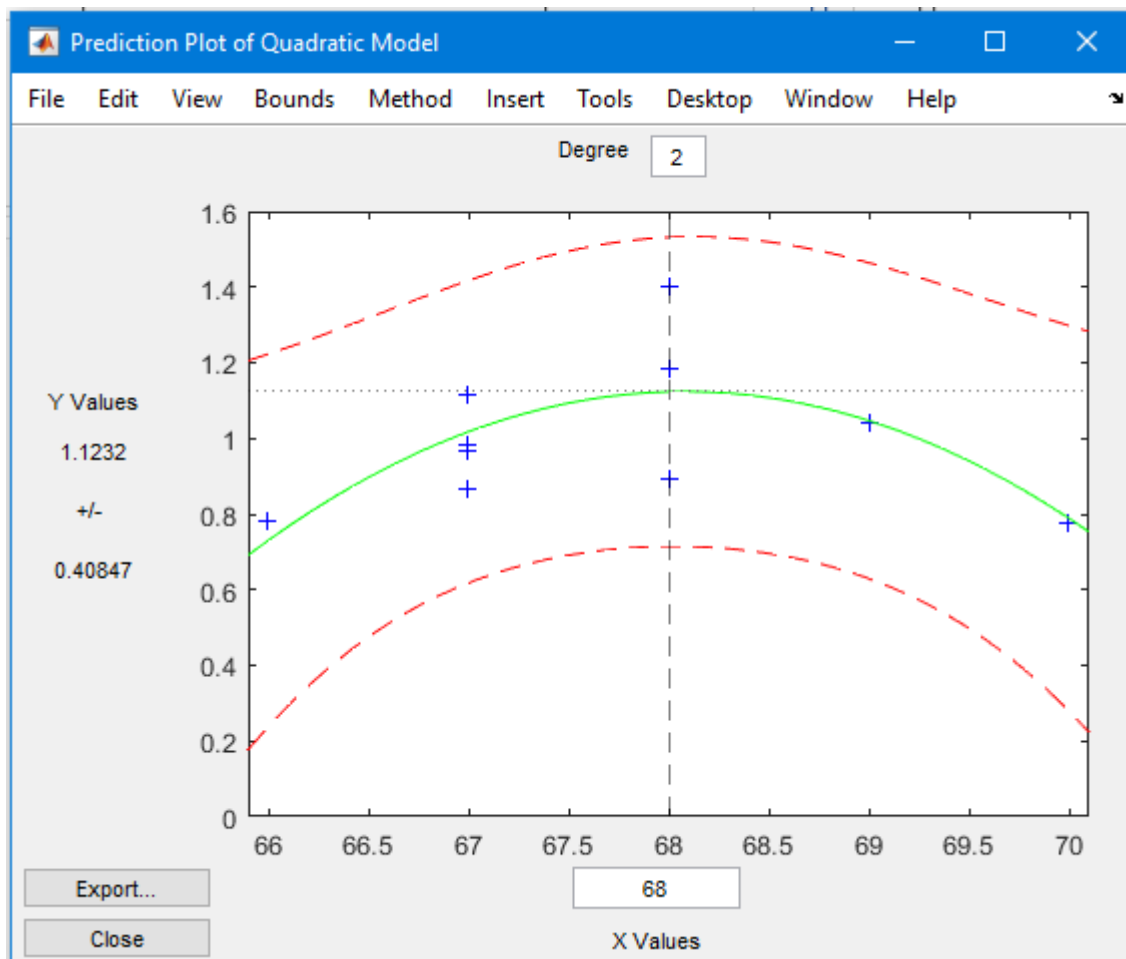


Рисунок 4.4 – Лінія регресії $\tilde{y}_2 = -420,2287 + 12,3781x_3 - 0,0909x_3^2$

Далі виконуємо перетворення:

$$y_{3i} = \frac{y_{2i}}{\tilde{y}_{2i}}, i = \overline{1, n}$$

та доповнюємо табл. 4.3.

Аналогічно до попереднього відповідно до розподілу точок (x_{5i}, y_{3i}) , $i = \overline{1, 10}$ з використанням команди polytool беремо наступну структуру лінії регресії $f_3(x_3): \tilde{y}_3 = b_{05} + b_{15}x_5 + b_{25}x_5^2$ та ідентифікуємо коефіцієнти b_{05}, b_{15}, b_{25} :

>> beta3 = 0,0394 -0,1118 1,0034.

Отже, рівняння регресії має вигляд:

$$\tilde{y}_3 = 1,0034 - 0,1118x_5 + 0,0394x_5^2.$$

На рис. 4.5 надана лінія регресії з отриманими коефіцієнтами b_{05}, b_{15}, b_{25} .

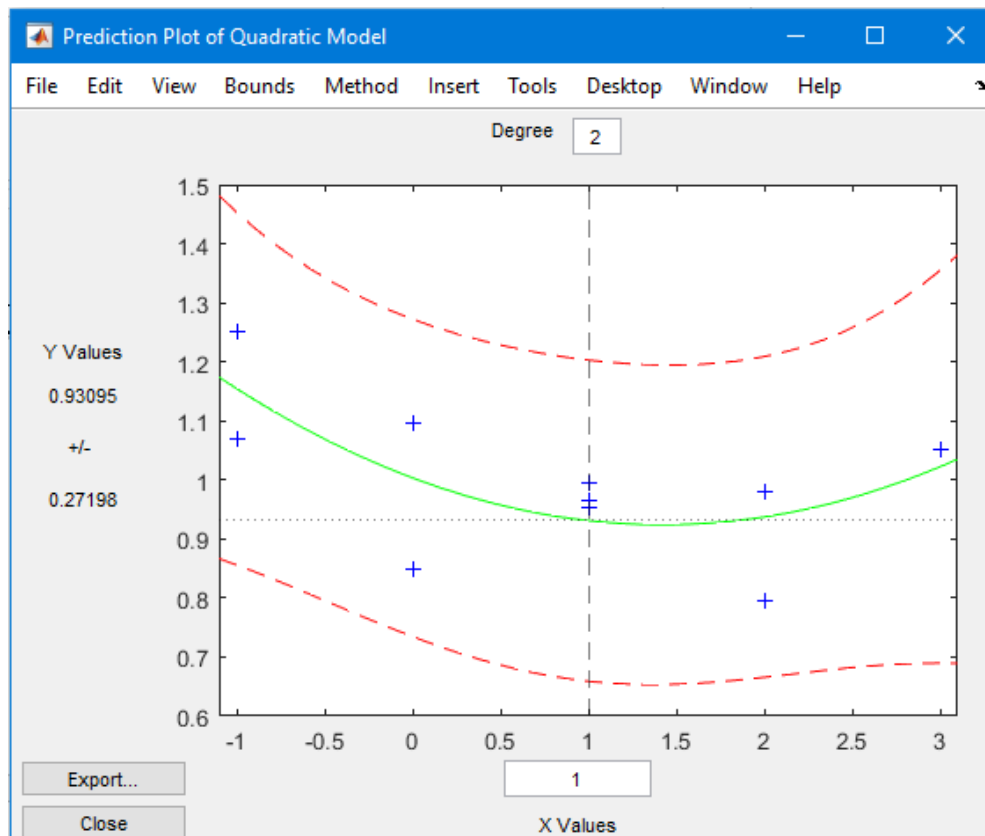


Рисунок 4.5 – Лінія регресії $\tilde{y}_3 = 1,0034 - 0,1118x_5 + 0,0394x_5^2$

Після цього будуюмо загальну модель у вигляді

$$\tilde{y} = \bar{y} \prod_{j=1}^4 f_j(x_j) = \bar{y} \cdot \tilde{y}_0 \cdot \tilde{y}_1 \cdot \tilde{y}_2 \cdot \tilde{y}_3,$$

$$\tilde{y} = 2,93 \cdot (10,8141 - 0,1135x_1) \cdot (-0,9897 + 0,0271x_2) \cdot (-420,2287 + 12,3781x_3 - 0,0909x_3^2) \cdot (1,0034 - 0,1118x_5 + 0,0394x_5^2).$$

Доповнимо табл. 4.3 даними $\tilde{y}_i, i = \overline{1,10}$, що розраховані за моделлю.

За отриманою моделлю розраховуємо середню відносну похибку апроксимації ε при побудові моделі, попередньо отримавши $\tilde{y}_i, i = \overline{1,10}$.

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{10} (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{10} (y_i - \bar{y}_i)^2}} = \sqrt{1 - \frac{0,6369}{5,941}} = 0,9449.$$

де $\varepsilon = (1 - \eta) \cdot 100\% = (1 - 0,9449) \cdot 100\% = 5,512\%$ – середня відносна похибка апроксимації.

4.1.4 Побудова та дослідження дискретної моделі об'єкта за даними пассивного експерименту

Зв'язок між параметрами об'єкта може бути відображений через дискретну передавальну функцію

$$W(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{B(z)}{F(z)},$$

яка визначається на підставі різницевого рівняння після застосування до обох частин цього рівняння Z – перетворення:

$$(1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_{na} z^{-na})Y(z) = (b_1 + b_2 z^{-1} + b_3 z^{-2} + \dots + b_{nb} z^{-nb+1})U(z),$$

де $z^{-1} = e^{-pts}$, ts – час дискретизації.

Надамо кілька поширених моделей дискретних об'єктів, що використовуються в пакеті System Identification Toolbox для тимчасової області, які враховують дію шуму спостереження:

1. Модель авторегресії AR (AutoRegressive) - вважається самим простим описом:

$$A(z)y(t) = e(t),$$

де $A(z) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_{na} z^{-na}$.

2. ARX – модель (Autoregressive with eXternal input) – більш складна модель:

$$A(z)y(t) = B(z)u(t) + e(t),$$

де $B(z) = b_1 + b_2 z^{-1} + b_3 z^{-2} + \dots + b_{nb} z^{-nb+1}$; $e(t)$ – дискретний білий шум.

3. ARMAX-модель (AutoRegressive-Moving Average with eXternal input – модель авторегресії змінного середнього):

$$A(z)y(t) = B(z)u(t - nk) + C(z)e(t),$$

де nk – величина затримки (запізнювання); $C(z) = 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \dots + c_{nc} z^{-nc}$.

4. Модель «вхід-вихід» (в іноземній літературі така модель називається «Output-Error», тобто «вихід-помилка», скорочено OE):

$$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)}u(t - nk) + e(t),$$

де $F(z) = 1 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2} + \dots + f_{nf} z^{-nf}$.

5. Так звана модель Бокса-Дженкінса (BJ):

$$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)}u(t - nk) + \frac{C(z)}{D(z)}e(t),$$

де $D(z) = 1 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2} + \dots + d_{nd} z^{-nd}$.

Дані моделі можна розглядати як окремі випадки узагальненої параметричної лінійної структури:

$$A(z)y(t) = \frac{B(z)}{F(z)}u(t - nk) + \frac{C(z)}{D(z)}e(t)$$

при цьому всі вони допускають розширення для багатовимірних об'єктів (що мають кілька входів і виходів).

У даному пункті необхідно з використанням програми Matlab, взявши згідно з варіантом x_2 за керуючий, побудувати та дослідити дискретну передавальну функцію об'єкта у вигляді

$$W(z) = \frac{B(z)}{F(z)}, \quad (4.3)$$

де $B(z) = b_1 + b_2z^{-1} + b_3z^{-2} + \dots$; $F(z) = f_1 + f_2z^{-1} + f_3z^{-2} + \dots$; $z^{-1} = e^{-pts}$; ts – час дискретизації.

Для вирішення поставленої задачі необхідно використати функцію `Ident` програмного забезпечення Matlab, яке дозволяє будувати дискретні математичні моделі динамічних об'єктів за експериментальними даними вхідного та вихідного параметрів.

Для цього в робочому просторі Matlab створимо файл з назвою `f` із наступних рядків:

`u = [71;71;69;72;73;71;76;73;79;80];` % – експериментальні дані вхідного сигналу x_2 .

`y = [2,5;2,5;3;2,3;4;2,5;2;2,5;3,5;4,5];` % – експериментальні дані вихідного сигналу y_5 .

`t = 0,3;` % – час дискретизації.

`f = iddata(y,u,t);` % – конструювання об'єкта даних.

Після цього завантажуюмо графічний інтерфейс пакета `Ident` програми Matlab з режиму командного рядка

`>> ident`

В результаті з'явиться діалогове вікно `System Identification` (рис. 4.6).

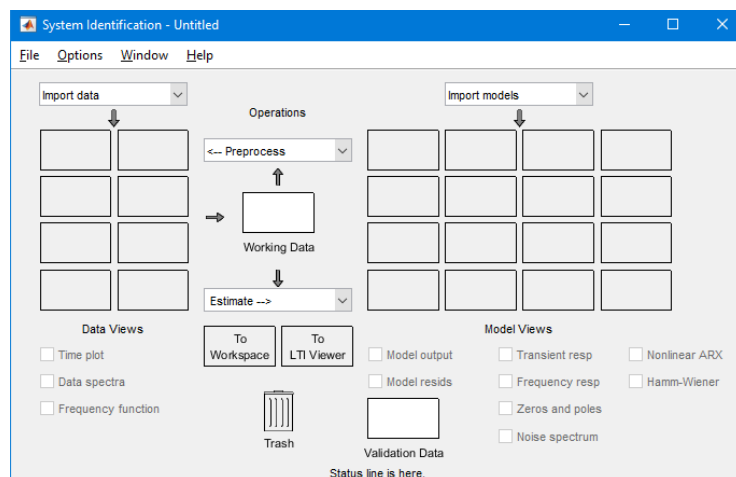


Рисунок 4.6 – Діалогове вікно програми `Ident`

У верхньому лівому кутку вікна у полі Import data вибираємо зі списку – Data object. В результаті відкривається діалогове вікно (рис. 4.7).

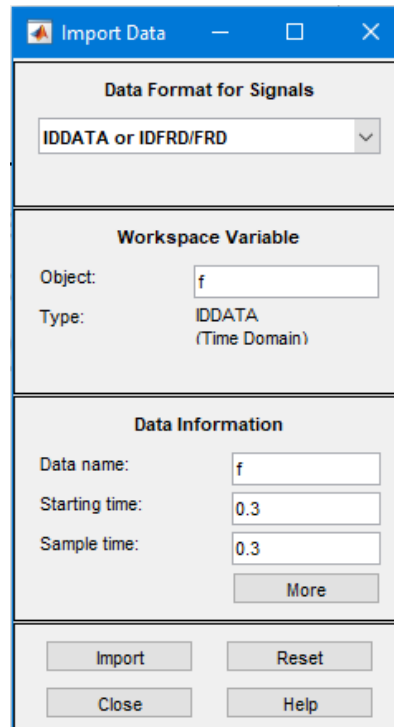


Рисунок 4.7 – Вікно імпорту даних в програму Ident

Після цього натискаємо кнопки Import та Close. В результаті у лівому верхньому куті вікна інтерфейсу Ident та у полях Working Data (Робочі дані) і Validation Data (Дані для перевірки моделі) з'явиться значок у виді лінії з підписом «f» (рис. 4.8). Отже, дані із файла f імпортовані у середовище інтерфейсу.

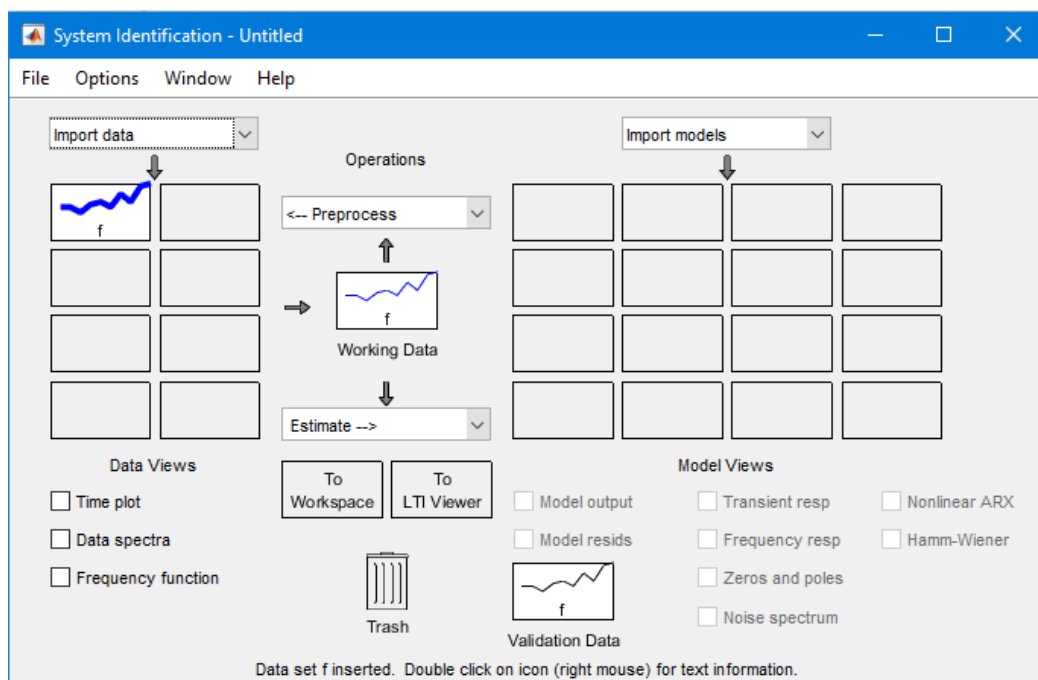


Рисунок 4.8 – Діалогове вікно програми Ident з імпортованими даними

Побудуємо дискретну модель зв'язку між вхідними u та вихідним y сигналу типу «вхід-вихід»

$$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)}u(t) + e(t), \quad (4.4)$$

де $e(t)$ – дискретний білий шум; $B(z) = b_1 + b_2z^{-1} + b_3z^{-2} + \dots$; $F(z) = f_1 + f_2z^{-1} + f_3z^{-2} + \dots$ – функції, що розраховуються в процесі побудови моделі в інтерфейсі `ident`; $z^{-1} = e^{-p\Delta t}$; Δt – час дискретизації, який в даному випадку дорівнює 0,3.

Для цього із списку `Estimate` (Оцінити) вибираємо `Polynomial models` (рис. 4.9). У вікні, що відкрилося, у полі `Structure` вибираємо тип моделі `OE`: `[nb nf nk]`.

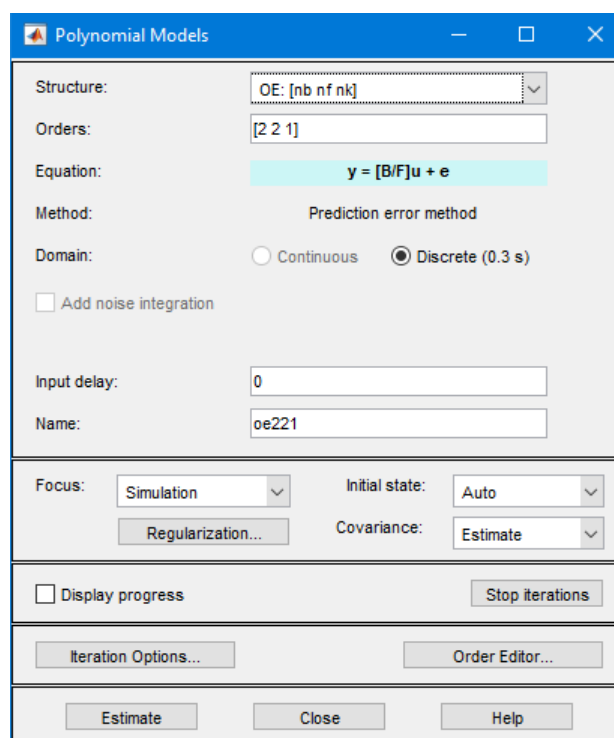


Рисунок 4.9 – Вікно вибору структури моделі

Дана модель зберігається в інтерфейсі `ident` під назвою `oe221` (рис. 4.10).

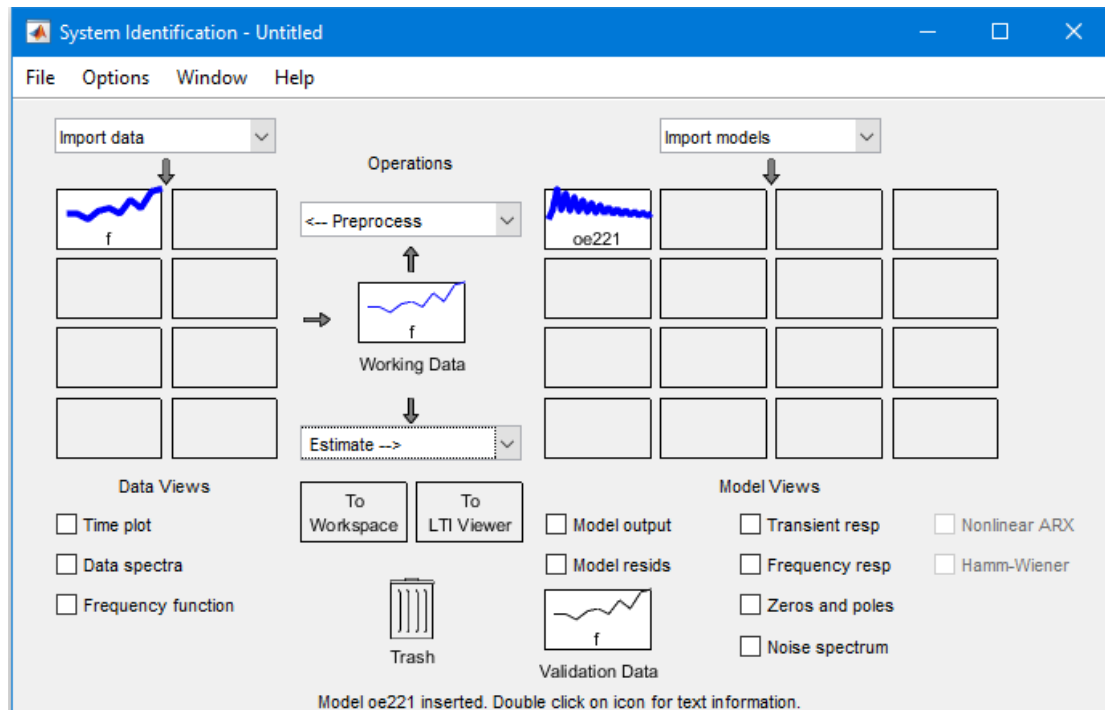


Рисунок 4.10 – Діалогове вікно програми Ident із створеною моделлю

Натиснути двічі графічне зображення oe221, то відкриється вікно (рис. 4.11).

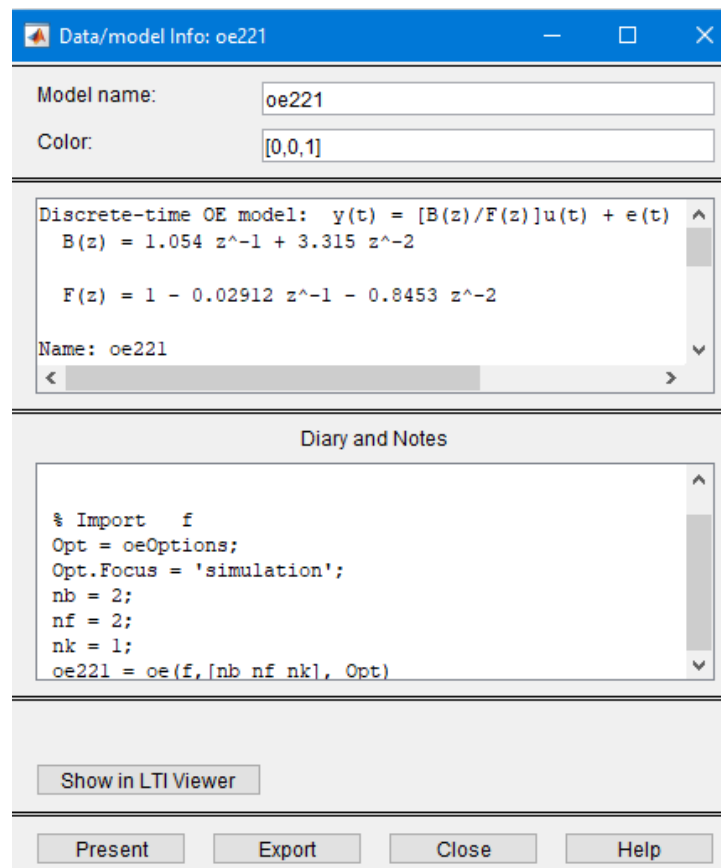


Рисунок 4.11 – Вікно відображення моделі

Отже, як бачимо з рис. 4.11, модель має вигляд

$$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)} u(t) + e(t) = \frac{1,054z^{-1} + 3,315z^{-2}}{1 - 0,02912z^{-1} - 0,8453z^{-2}} u(t) + e(t).$$

Звідки, нехтуючи величиною $e(t)$, отримаємо дискретну передавальну функцію

$$W(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = \frac{1,054z^{-1} + 3,315z^{-2}}{1 - 0,02912z^{-1} - 0,8453z^{-2}}.$$

Використаємо отриману передавальну функцію, проведемо дослідження об'єкта.

Для побудови часових та частотних характеристик об'єкта за побудованою моделлю перетягнемо значок аналізованої моделі oe221 в прямокутник To LTI Viewer. Далі у вікні, що відкрилося вибираємо пункт меню Edit/Plot Configurations. У полі Response Type вибираємо відповідну характеристику моделі: step (перехідна характеристика); impulse (імпульсна характеристика); bode (діаграма Боде – амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики); pole/zero (нули та полюси передатної функції); nyquist (побудова в комплексній площині АФХ об'єкта в полярних координатах). В результаті отримаємо графіки динамічних характеристик технологічного процесу виробництва вершкового масла методом перетворення високожирних вершків за результатами пасивного експерименту (рис. 4.12).

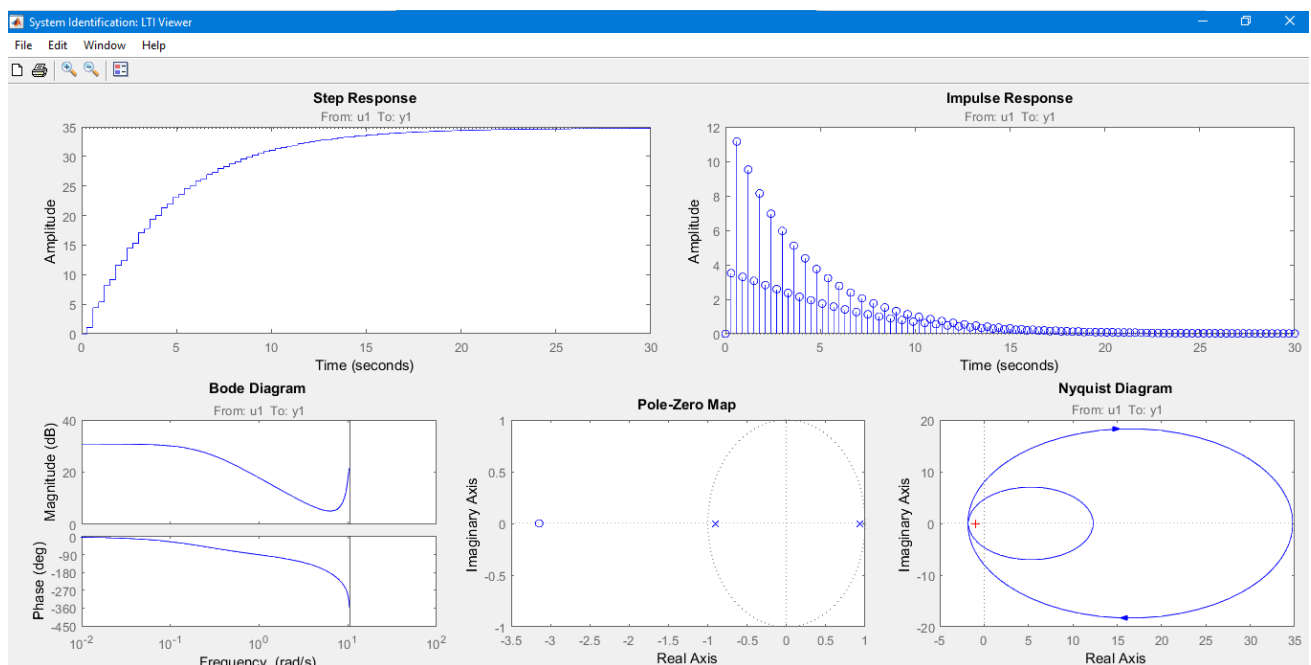


Рисунок 4.12 – Динамічні характеристики технологічного процесу за результатами пасивного експерименту

4.2 Дослідження динамічних характеристик об'єкта автоматизації

4.2.1 Технічне завдання до виконання курсової роботи 2

Розробити та провести дослідження динамічних характеристик системи автоматичного регулювання тиску стиснутого повітря, що складається з наступних ланок:

1) об'єкт керування – резервуар із стислим повітрям та клапаном, що описується аперіодичною ланкою першого порядку:

$$1,5 \frac{dP(t)}{dt} + P(t) = 0,8h(t),$$

2) давач – манометрична пружина, описується коливальною ланкою:

$$0,01 \frac{d^2 L(t)}{dt^2} + 0,005 \frac{dL(t)}{dt} + L(t) = 0,4P(t),$$

3) важільний підсилювач:

$$S(t) = L(t),$$

4) виконавчий елемент - гідравлічний циліндр з підсилювачем типу сопло-заслінка, що описується аперіодичною ланкою першого порядку:

$$1,4 \frac{dh(t)}{dt} + h(t) = 0,1S(t).$$

4.2.2 Опис об'єкта автоматизації

Розглянемо систему автоматичного регулювання тиску стиснутого повітря в резервуарі (рис. 4.13). Регульованою (вихідною) величиною буде тиск стиснутого повітря в резервуарі (ресивері), яке надходить від компресора через регульувальний орган (клапан). Вхідними величинами будуть прохідний переріз або положення штока регульовального органа, а також навантаження об'єкта – кількість працюючих ліній.

У сталому режимі у міждросельному просторі гідравлічного підсилювача типу сопло-заслінка і гідравлічному циліндрі розвивається певний тиск масла, а отже, і зусилля на поршні. Пружина-задавач компенсує це зусилля, і шток клапана нерухомий. При підвищенні тиску в об'єкті вільний кінець манометричної пружини переміщується, тягнучи жорсткий важіль підсилювача і збільшуючи проміжок у гідравлічному підсилювачі. При цьому тиск масла в гідравлічному підсилювачі і циліндрі знижується, під дією пружини-задавача поршень переміщується вниз, прикриваючи клапан. Тиск в об'єкті знижується в результаті зменшення припливу стиснутого повітря.

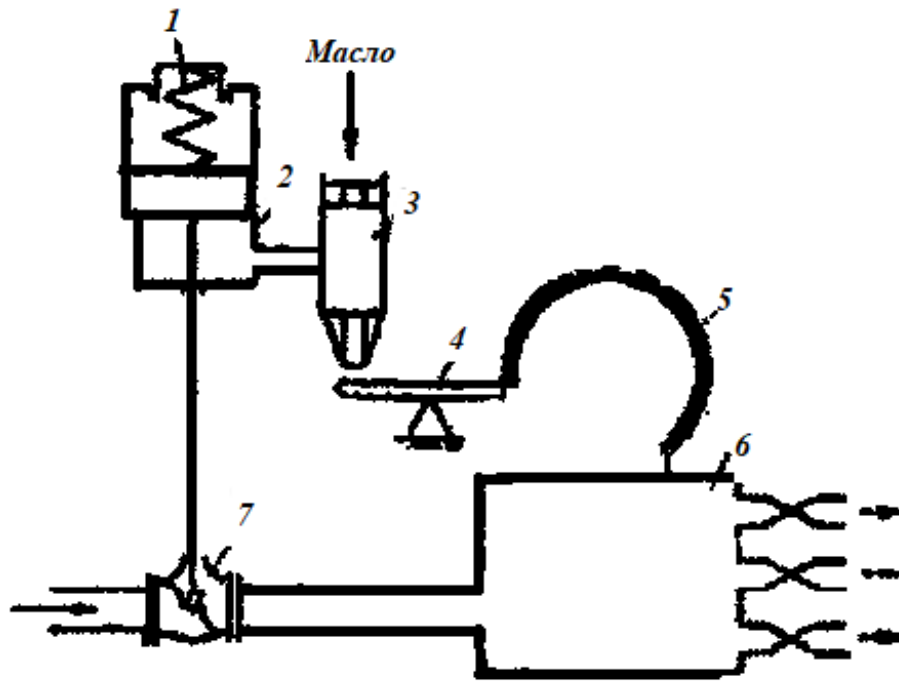


Рисунок 4.13 – Принципова схема системи автоматичного регулюванні тиску стиснутого повітря: 1 – пружина-задавач; 2 – циліндр; 3 – підсилювач; 4 – важіль; 5 – манометрична пружина; 6 – об'єкт; 7 – клапан

Цей регульований об'єкт з клапаном є аперіодичною ланкою. Манометрична пружина описується рівнянням коливальної ланки, важільний підсилювач – підсилювальної, гідравлічний циліндр з пружиною і підсилювачем типу сопло-заслінка – аперіодичної ланки. Замінивши конструктивні елементи переліченими ланками, дістанемо структурну схему системи автоматичного регулювання (рис. 4.14), за якою, використовуючи залежності про передатну функції послідовного з'єднання елементів і при замиканні зворотного зв'язку, можна знайти передатну функцію замкнутої системи автоматичного регулювання.

4.2.3 Розробка функціональної схеми САР

Згідно з технічним завданням, до функціональної схеми САР тиску стиснутого повітря потрібно включити наступні блоки: ЕП – елемент порівняння; Р – регулятор (важільний підсилювач); ВЕ – виконавчий елемент; ОК – об'єкт керування; Д – давач. Функціональна схема системи автоматичного регулювання тиску стиснутого повітря показана на рис. 4.14.

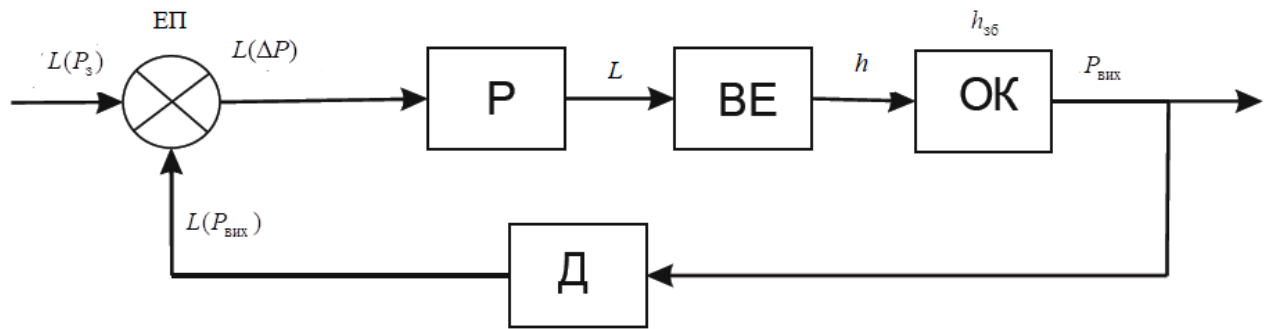


Рисунок 4.14 – Функціональна схема системи регулювання тиску стиснутого повітря

Розглянемо систему автоматичного регулювання тиску стиснутого повітря в резервуарі (рис. 4.14). Регульованою (вихідною) величиною буде тиск стиснутого повітря в резервуарі (ресивері) $P_{\text{вих}}$, яке надходить від компресора через регулювальний орган (клапан). Згідно з завданням об'єкт керування – це резервуар зі стислим повітрям та клапаном. Вхідними величинами будуть прохідний переріз або положення штока регулювального органа L .

Система автоматичного регулювання працює наступним чином: під дією збурюючого впливу h_{36} змінюється значення тиску у резервуарі зі стислим повітрям $P_{\text{вих}}$, що сприймається датчиком, який формує пропорційний вихідний сигнал $L(P_{\text{вих}})$. На виході елемента порівняння (ЕП) формується різниця $L(\Delta P)$ між заданим $L(P_3)$ та реальним значенням тиску, який подається на регулятор. Регулятор своїм вихідним сигналом L змінює режим роботи виконавчого елемента, який збільшує або зменшує проміжок у гідравлічному циліндрі h до об'єкта керування (резервуар зі стислим повітрям).

Оскільки вхідним сигналом до регулятора є різниця ΔP між заданим значенням тиску та реальним тиском у резервуарі, розроблений регулятор працює за принципом відхилення.

4.2.4 Моделювання та дослідження об'єкта керування

Згідно з методом пониження порядку похідної диференціальне рівняння об'єкта

$$1,5 \frac{dP(t)}{dt} + P(t) = 0,8h(t)$$

перетворимо до вигляду

$$\frac{dP(t)}{dt^2} = \frac{1}{1,5}(0,8h(t) - P(t))$$

та побудуємо в середовищі програми Matlab модель (рис. 4.15).

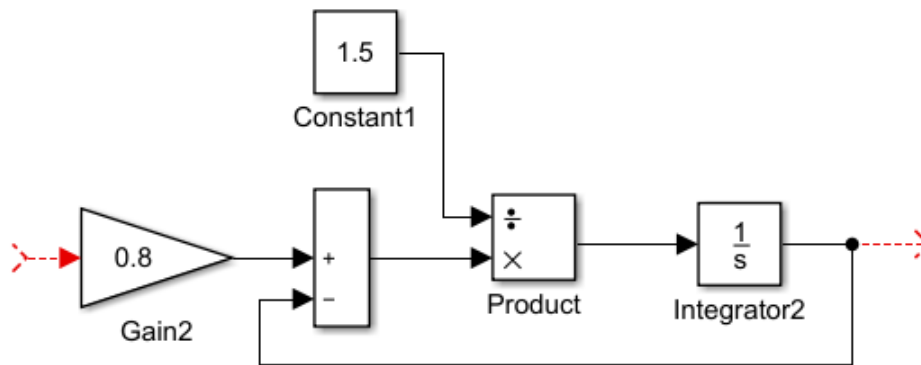


Рисунок 4.15 – Модель об'єкта керування

В операторній формі диференціальне рівняння об'єкта керування має вигляд

$$(1,5s + 1)P(s) = 0,8h(s)$$

де $\Theta(s)$, $Q(s)$ – зображення відповідних величин за Лапласом.

Отриманому рівнянню відповідає передавальна функція об'єкта за каналом регулюючої величини

$$W(s) = \frac{h(s)}{P(s)} = \frac{0,8}{1,5s + 1}.$$

Побудуємо в Matlab інтерактивну оболонку для надання результатів досліджень об'єкта керування. Для цього створимо у середовищі програми Matlab наступний *m*-файл *Sl.m* :

% початкові значення

b=0,8;

a1=1,5;

a2=1;

W=tf(b,[a1,a2]);

k=1;

while k<9

k=menu('Передавальна функція W',...

sprintf('Передавальна функція'),...

sprintf('Побудова матриць стану'),...

```

sprintf('Побудова полюсів, нулів'),...
sprintf('Карта полюсів, нулів'),...
sprintf('Побудова імпульсної характеристики'),...
sprintf('Побудова перехідної характеристики'),...
sprintf('Побудова АЧХ, ФЧХ'),...
sprintf('Побудова карти Нікольса'),...
sprintf('Модель Simulink'),...
'Buxid')
if k==1
    W=tf(b,[a1,a2])
elseif k==2
    WM=ss(W);
    [A,B, C,D]=ssdata(WM)
elseif k==3
    [z,p,k]=zpkdata(W,'v')
elseif k==4
    pzmap(W)
elseif k==5
    impulse(W)
elseif k==6
    step(W)
elseif k==7
    bode(W)
elseif k==8
    nichols(W)
elseif k==9
    model_2
end
end

```

Після запуску файла на виконання отримаємо інтерактивне діалогове меню (рис. 4.16).

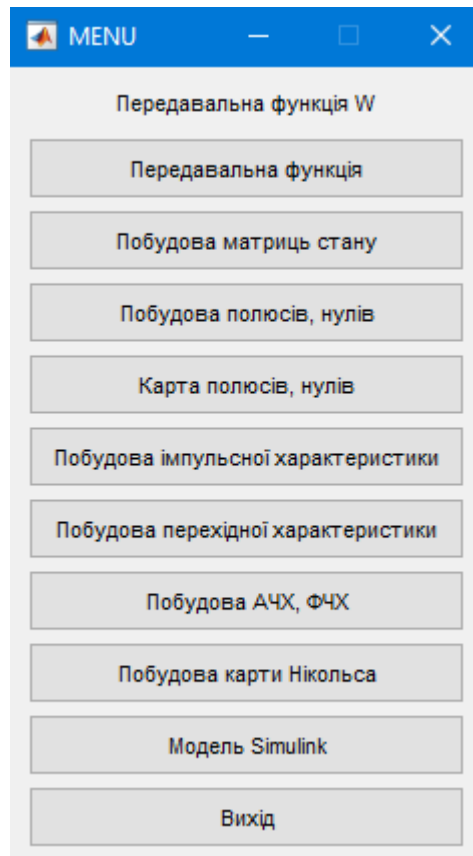


Рисунок 4.16 – Інтерактивна оболонка результатів досліджень об'єкта керування

За допомогою даної інтерактивної оболонки у середовищі Matlab отримаємо:

– *передавальну функцію*

Transfer function:

0.8

1.5 s + 1

– *матриці стану*

A = -0.0667

B = 1

C = 0.5333

D = 0

– *полюси, нулі об'єкта*

z =

0×1 empty double column vector

p =

-0.6667

k =

0.5333

– карту полюсів, нулів об'єкта (рис. 4.17)

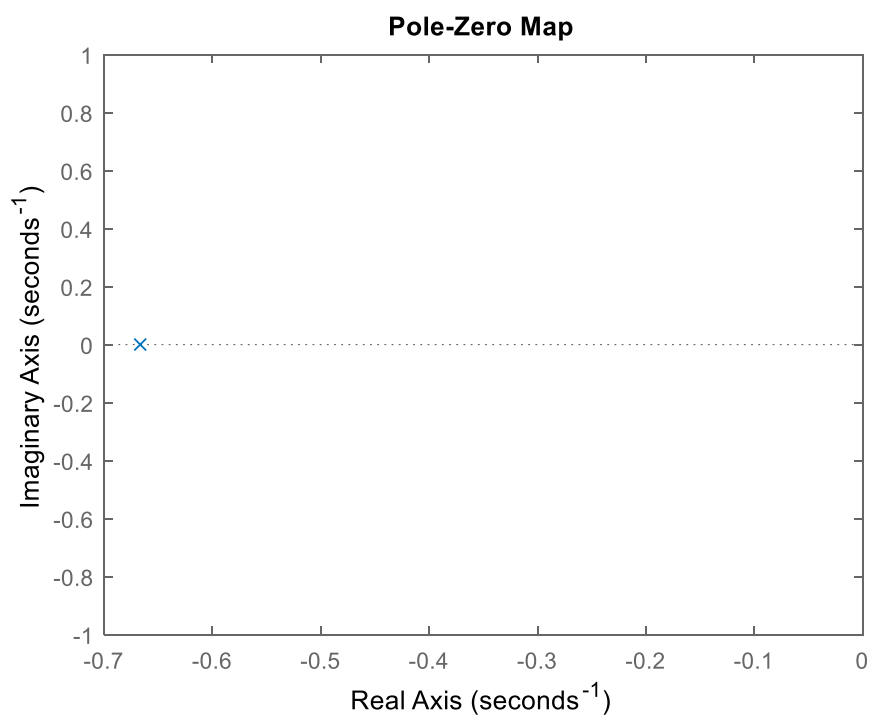


Рисунок 4.17 – Карта полюсів, нулів об'єкта

– імпульсну характеристику об'єкта (рис. 4.18)

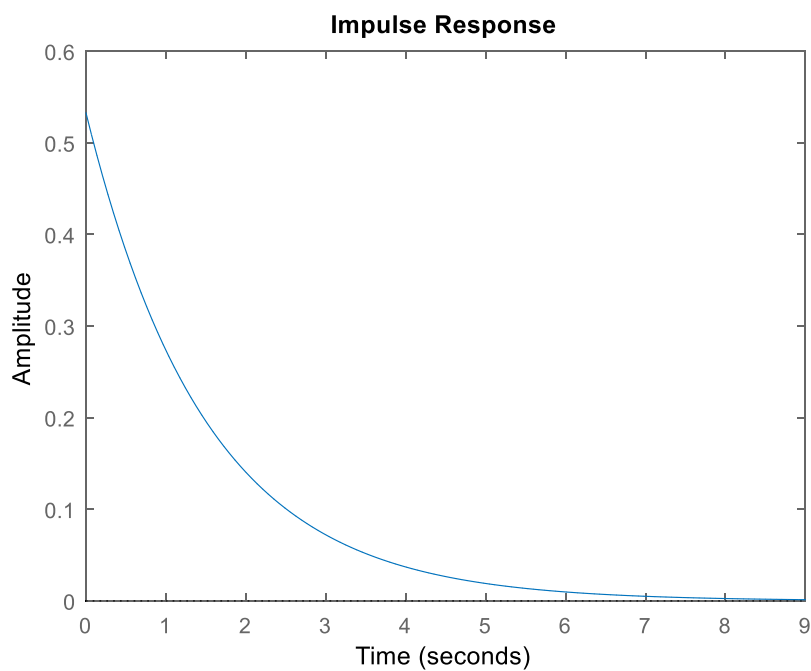


Рисунок 4.18 – Графік імпульсної характеристики об'єкта керування

– перехідну характеристику об'єкта (рис. 4.19)

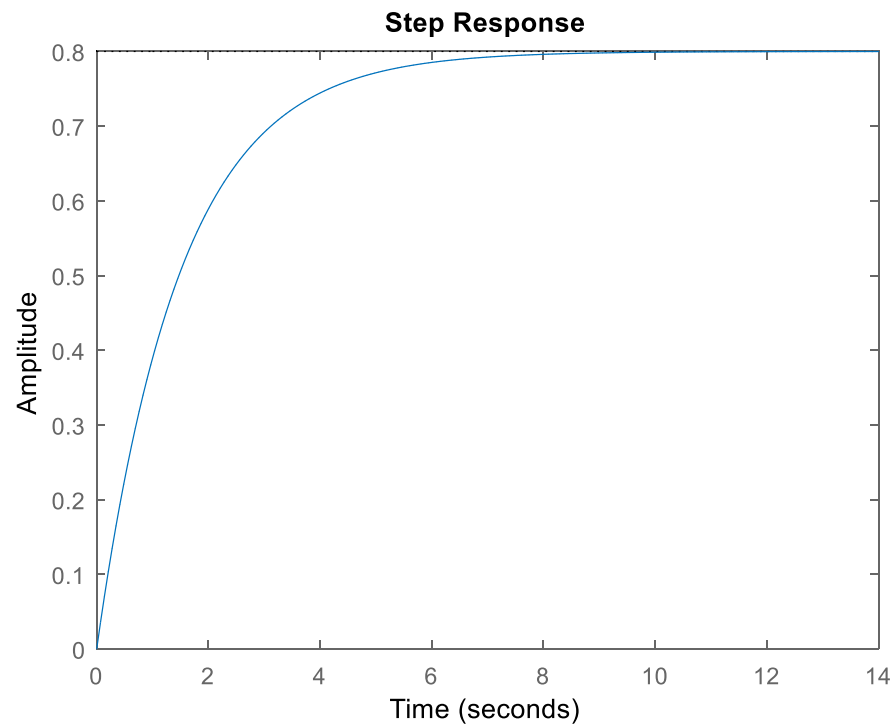


Рисунок 4.19 – Графік перехідної характеристики об'єкта керування

– графіки АЧХ, ФЧХ об'єкта (рис. 4.20)

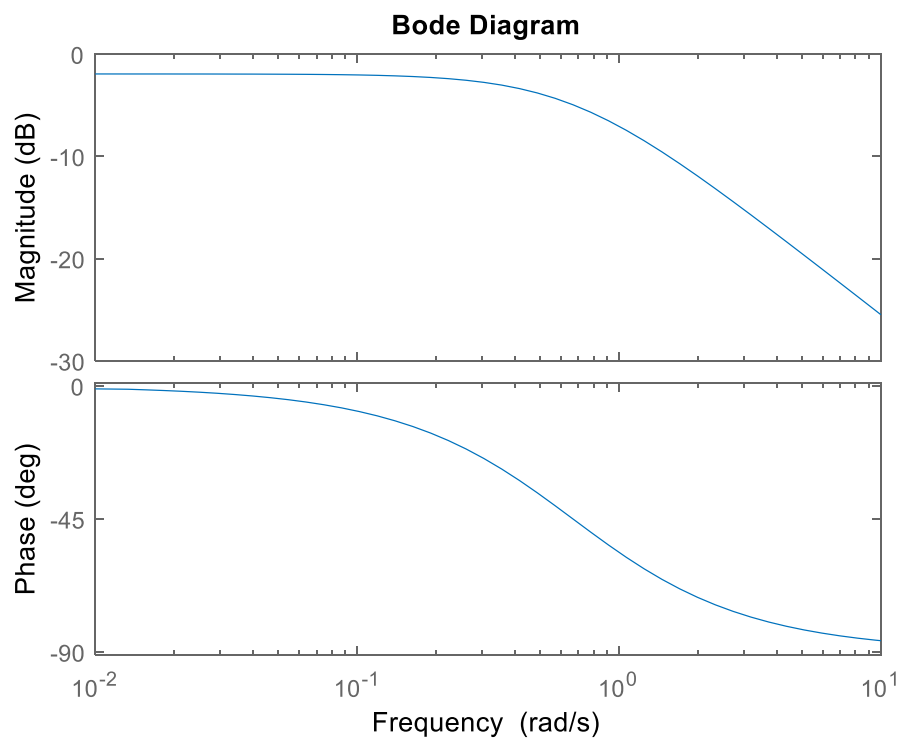


Рисунок 4.20 – Графіки АЧХ, ФЧХ об'єкта керування

– карта Нікольса (рис. 4.21)

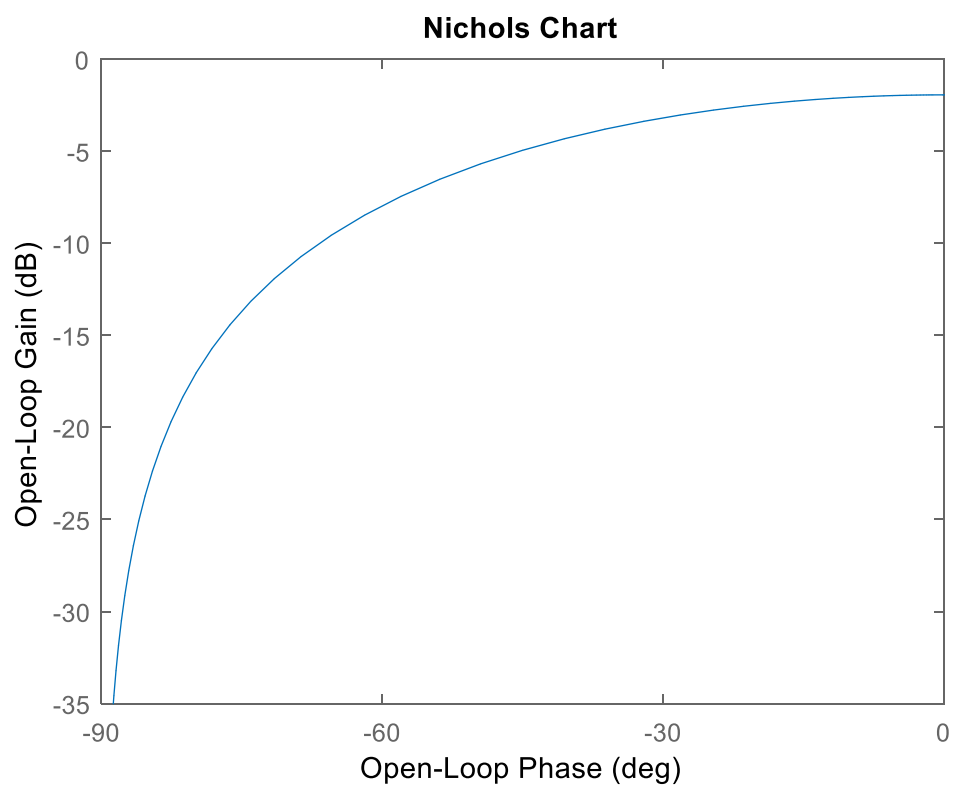


Рисунок 4.21 – Карта Нікольса

– модель об'єкта (файл *model.mdl*)(рис. 4.22)

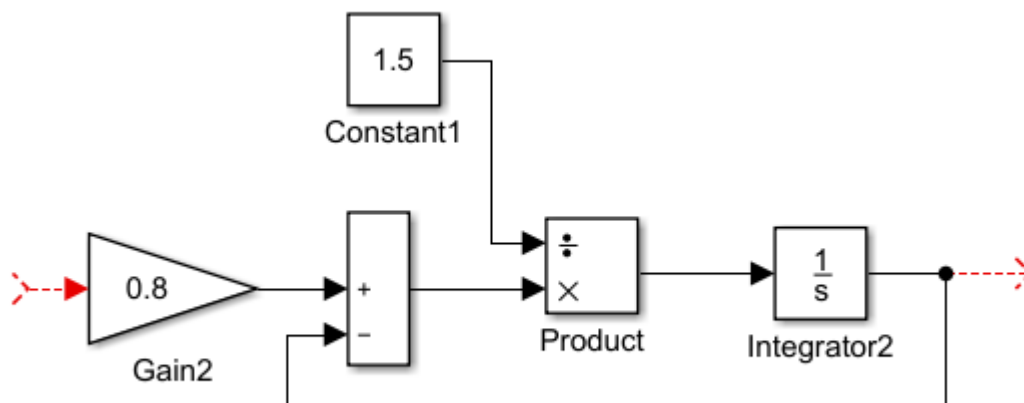


Рисунок 4.22 – Модель об'єкта керування

4.2.5 Моделювання та дослідження системи автоматичного регулювання

За методом пониження порядку похідної здійснимо побудову моделей всіх ланок системи автоматичного регулювання.

Для виконавчого елемента перетворивши рівняння $1,4 \frac{dh(t)}{dt} + h(t) = 0,1S(t)$ до вигляду

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{1,4}(0,1S(t) - h(t)),$$

отримаємо (рис. 4.23):

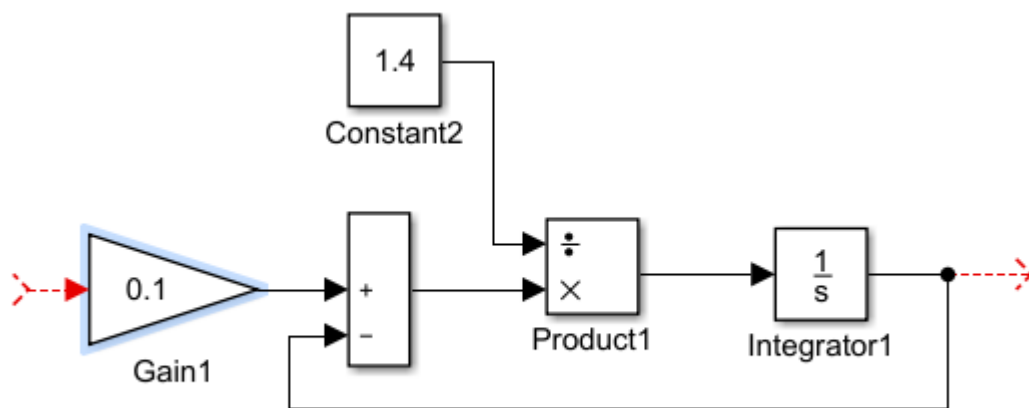


Рисунок 4.23 – Модель виконавчого елемента

Аналогічним чином будуюмо моделі інших елементів системи.

Для регулятора (важільного підсилювача) за рівнянням $S(t) = L(t)$ отримаємо (рис. 4.24):

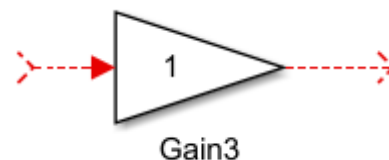


Рисунок 4.24 – Модель важільного підсилювача

Згідно з методом пониження порядку похідної диференціальне рівняння давача

$$0,01 \frac{d^2 L(t)}{dt^2} + 0,005 \frac{dL(t)}{dt} + L(t) = 0,4P(t)$$

перетворимо до вигляду

$$\frac{d^2 L(t)}{dt^2} = \frac{1}{0,01} (0,4P(t) - 0,005 \frac{dL(t)}{dt} - L(t)) = 100(0,4P(t) - 0,005 \frac{dL(t)}{dt} - L(t))$$

та побудуємо в середовищі програми Matlab модель (рис. 4.25)

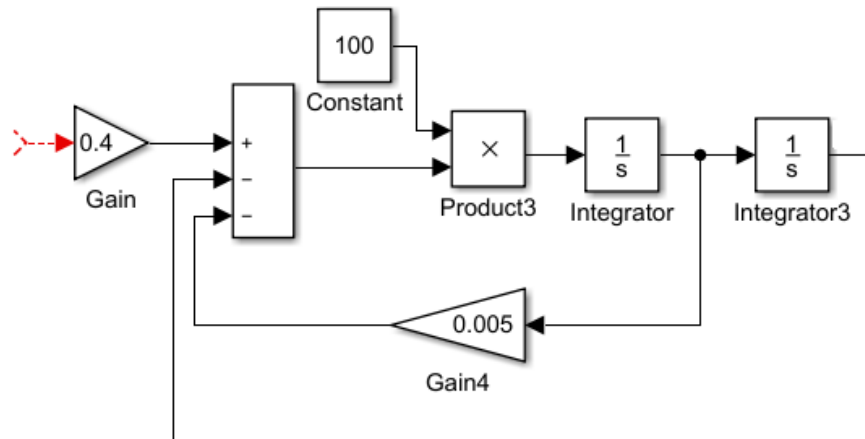


Рисунок 4.25 – Модель давача

Об'єднаємо всі побудовані моделі елементів у загальну модель системи (рис. 4.26):

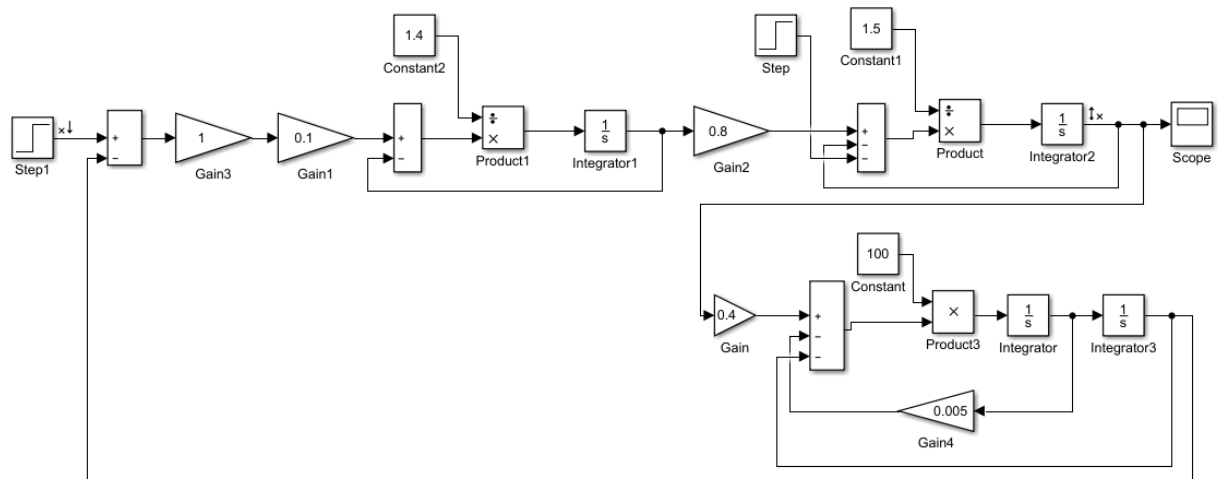


Рисунок 4.26 – Структурна модель САР

З аналізу САР можна встановити, що при підвищенні тиску в об'єкті вільний кінець манометричної пружини переміщується, тягнучи жорсткий важіль підсилювача і збільшуючи проміжок у гідравлічному підсилювачі. При цьому тиск масла в гідравлічному підсилювачі і циліндрі знижується, під дією пружини-задавача поршень переміщується вниз, прикриваючи клапан. Тиск в об'єкті знижується в результаті зменшення припливу стиснутого повітря. Таким чи-

ном, робимо висновок, що для САР необхідно використати негативний зворотний зв'язок. Для цього на структурній схемі у першому блоці Sum другий вхід (вихід з блока Gain2) замінюємо на "-". Блок Step моделює збурення h_{36} , а Step1 – задане значення тиску $L(P_3)$.

За отриманою моделлю побудуємо характеристики САР. Для цього вибираємо із контекстного меню, яке з'явиться при натисканні правою клавішею миші на лінії зв'язку між вхідним блоком Step1 та блоком Sum, пункт Linearization Points\Input Points. Аналогічно між блоком Integrator1 та Scope – Linearization Points\Output Points. В результаті отримаємо позначення на моделі меж дослідження.

Далі вибираємо пункт меню Tools\Control Design\Linear Analysis. В результаті відкриється вікно для дослідження динамічних характеристик побудованої моделі. У даному вікні вибираємо кнопку Linearize Model – відкриється графічне вікно LTI Viewer із побудованою перехідною характеристикою.

Щоб побудувати графіки інших динамічних характеристик об'єкта вибираємо у блоці LTI Viewer пункт меню Edit\Plot Configuration. У вікні, що відкрилося, задаємо динамічні характеристики системи. В результаті отримаємо графіки динамічних характеристик САР (рис. 4.27):

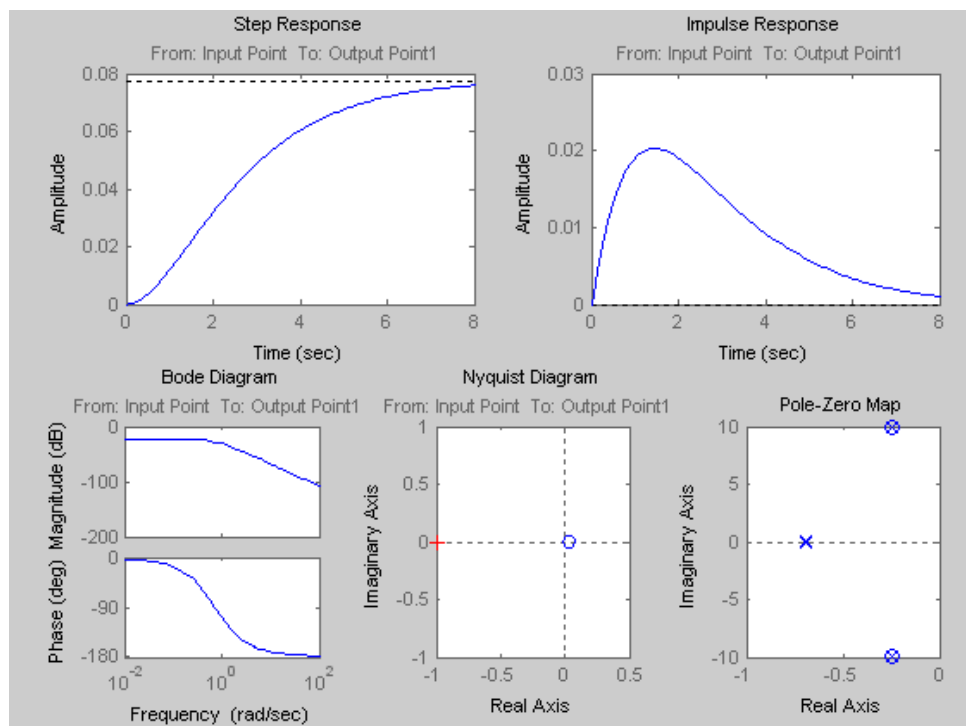


Рисунок 4.27 – Динамічні характеристики САР

5 АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ

Учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової діяльності дотримуються принципів академічної доброчесності і усвідомлюють наслідки порушення цих принципів.

З метою підвищення якості навчання, розвитку навичок коректної роботи із джерелами інформації та формування звички до сумлінного дотримання вимог наукової етики, активізації самостійності та індивідуальності при створенні авторського твору та підвищення відповідальності студентів усіх форм навчання за порушення правил академічної етики діє Положення про недопущення академічного плагіату в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя.

Основні поняття і визначення:

Автор – фізична особа, яка своєю творчою працею створила твір.

Академічна доброчесність – це сукупність етичних принципів та визначених законодавством правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової (творчої) діяльності з метою забезпечення довіри до результатів навчання та/або наукових (творчих) досягнень.

Плагіат – оприлюднення (опублікування), повністю або частково, чужого твору під іменем особи, яка не є автором цього твору.

Плагіат академічний – оприлюднення (частково або повністю) наукових (творчих) результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження (творчості) та/або відтворення опублікованих текстів (оприлюднених творів мистецтва) інших авторів без зазначення авторства.

Оприлюднення твору – здійснена за згодою автора чи іншого суб'єкта авторського права і (або) суміжних прав дія, що вперше робить твір доступним для публіки шляхом опублікування, публічного виконання, публічного показу, публічної демонстрації, публічного сповіщення тощо.

Показник оригінальності твору – кількісний показник, виражений у відсотках, який відображає співвідношення авторського тексту до загального обсягу твору.

Твір – результат наукової чи навчально-методичної діяльності автора (співавторів) поданий в університет на паперових носіях або в електронному вигляді, оприлюднений у мережі Інтернет чи на офіційних web-ресурсах університету у формі монографії, підручника, навчального посібника, статті, тез, препринта, автореферату і рукопису дисертації (дисертаційної роботи), дипломної роботи, курсової роботи чи проєкту, реферату, есе, контрольної роботи, тощо.

Цитата – порівняно короткий уривок з літературного, наукового чи будь-якого іншого опублікованого твору, який використовується, з обов’язковим посиланням на його автора і джерела цитування, іншою особою у своєму творі з метою зробити зрозумілішими свої твердження або для посилання на погляди іншого автора в автентичному формулюванні.

Різновиди академічного плагіату:

- відтворення в тексті роботи – без змін, з незначними змінами, або в перекладі – тексту іншого автора (інших авторів), обсягом від речення і більше, без посилання на автора (авторів) відтвореного тексту;
- відтворення в тексті роботи, повністю або частково, тексту іншого автора (інших авторів) через його перефразування чи довільний переказ без посилання на автора (авторів) відтвореного тексту;
- відтворення в тексті роботи наведених в іншому джерелі цитат з третіх джерел без вказування, за яким саме безпосереднім джерелом наведена цитата;
- відтворення в тексті роботи наведеної в іншому джерелі науково-технічної інформації (крім загальновідомої) без вказування на те, з якого джерела взята ця інформація;
- відтворення в тексті роботи оприлюднених творів мистецтва без зазначення авторства цих творів мистецтва;

- парафраза – переказ своїми словами чужих думок, ідей або тексту.

Сутність парафрази полягає в заміні слів (знаків), фразеологічних оборотів або пропозицій при використанні будь-якої авторської наукової праці (збереженої на електронних або паперових носіях, у тому числі розміщеної в мережі Інтернет).

Неприпустимою є також компіляція – створення значного масиву тексту без поглибленого вивчення проблеми шляхом копіювання тексту із низки джерел, з посиланням на авторів та «маскуванням» шляхом написання перехідних речень між скопійованими частинами тексту.

Перед перевіркою і допуском до захисту курсових проєктів викладач (керівник) попередньо перевіряє оригінальність електронних версій текстових документів (пояснювальних записок) цих робіт зі встановленням частки оригінального тексту з використанням інтегрованого сервісу перевірки вмісту скриньок для завдань файлообмінника системи електронного навчання Atutor (<https://dl.tntu.edu.ua/>) відповідного електронного навчального курсу або один з програмно-технічних засобів, які знаходяться у відкритому доступі у мережі Інтернет та визнані науковою спільнотою.

Рекомендовані показники оригінальності навчальних робіт такі:

- понад 80% - текст вважається оригінальним;
- від 60 до 80% - оригінальність задовільна, слід пересвідчитись у наявності посилань на першоджерела для цитованих фрагментів;
- від 40 до 60% - матеріал приймається, але його слід доопрацювати й перевірити на наявність посилань на першоджерела для цитованих фрагментів;
- менше 40% - матеріал до розгляду не приймається.

Програмно-технічні засоби перевірки на академічний плагіат є допоміжним засобом перевірки робіт на предмет виявлення фактів та обсягу неправомірних запозичень у поданій роботі.

6 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Оцінка за курсовий проєкт складається із суми балів, які виставляються комісією на основі розгляду змісту ПЗ і графічного матеріалу та за підсумком усного захисту перед комісією основних положень, які розглянуті в курсовому проєкті.

Розподіл балів, які отримують студенти за виконання та захист КП

Модуль 1		Модуль 2		Підсумковий контроль	Разом за КП
Виконання розділу 1		Виконання розділу 2		Захист КП	
30		45		25	100
Види робіт	К-ть балів	Види робіт	К-ть балів		
Етап 1.1	8	Етап 2.1	7		
Етап 1.2	11	Етап 2.2	8		
Етап 1.3	11	Етап 2.3	10		
		Етап 2.4	10		
		Етап 2.5	10		

Підсумкова оцінка знань, умінь та навичок студента, набутих при проєктуванні КП, встановлюється за 100-бальною шкалою із подальшим переведенням її у наступну шкалу оцінок:

Розподіл оцінок

Сума балів за навчальну діяльність	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90 – 100	A	відмінно
82-89	B	добре
74-81	C	
64-73	D	задовільно
60-63	E	
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Складовою загальної суми балів захисту КП є:

- 1) сума балів за зміст ПЗ КП окремо за кожним структурним розділом;
- 2) бали за графічну частину КП;
- 3) бали безпосередньо за захист КП.

Під час захисту КП комісія уважно розглядає зміст ПЗ та графічної частини, виставляє бали за зміст кожного розділу, після чого задає студентів усні запитання, які дозволяють оцінити розуміння студентом приведених у КП положень. Виставлена загальна сума балів переводиться у традиційну оцінку і заноситься у відповідні документи як підсумкова оцінка з КП.

Критерії оцінки розділів ПЗ КП (за кожний розділ)

I. **Найвища якість** розділу звіту (95-100% від максимальної кількості балів відповідного розділу) повинна відповідати таким вимогам:

- 1) повне та вичерпне викладення матеріалу, яке використовувалося студентом під час опрацювання відповідного розділу;
- 2) повний склад необхідних додатків, які вимагаються відповідним розділом КП (копії документів, аналітичні та статистичні матеріали тощо);
- 3) актуальність і достовірність поданої у звіті інформації;
- 4) дотримання вимог щодо змісту та оформлення структурних частин КП.

II. **Посередня якість** розділу звіту (50-95% від максимальної кількості балів відповідного розділу) визначається у випадку, якщо наявний хоча б один із зазначених нижче пунктів:

- 1) неповне викладення матеріалу або неповна відповідність змісту проєкту вимогам КП (50–75% охоплення зазначених у вимогах до КП);
- 2) неповний склад додатків, які вимагаються відповідним розділом КП (50–75% необхідних додатків);
- 3) неактуальність або застарілість поданої у звіті інформації;
- 4) недотримання вимог щодо змісту та оформлення структурних частин КП.

III. **Незадовільна якість** розділу звіту (0-50% від максимальної кількості балів відповідного розділу) визначається у випадку, якщо наявний хоча б один із зазначених нижче пунктів:

- 1) одночасно присутні два чи більше критеріїв, що відповідають оцінці в 5 балів;
- 2) неповне викладення матеріалу або неповна відповідність змісту проєкту вимогам КП (менше 50% охоплення зазначених у вимогах до КП);
- 3) неповний склад додатків, які вимагаються відповідним розділом КП (менше 50% необхідних додатків);
- 4) недостовірність поданої у ПЗ інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Жученко А.І., Кваско М.З., Кубрак Н.А. Ідентифікація динамічних характеристик. Комп'ютерні методи. К.: ВПОЛ, 2000. 182 с.
2. Кондратець В. О. Теорія і технічні засоби систем: підручник у 2 ч. К.:Вища школа. Автоматика та автоматизація виробництва с.-г. машин: Ч. I, 1993. 319 с.
3. Мисак В.Ф. Методи ідентифікації статичних характеристик об'єктів керування: навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2010. 62 с.
4. Мокін Б.І., Мокін В.Б., Мокін О.Б. Математичні методи ідентифікації електромеханічних процесів: навч. посіб. Вінниця: Універсум, 2005. 300 с.
5. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: підручник. К.: Либідь, 2007. 656 с.
6. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни „Ідентифікація і моделювання об'єктів автоматизації” для студентів денної та заочної форм навчання, які навчаються за напрямом 6.050202 „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”/ Укладач Б.П.Сидорчук. Рівне: НУВГП, 2017. 34 с.

Додаток

Приклади оформлення бібліографічного опису у списку використаних джерел з урахуванням Національного стандарту України ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання»

Характеристика джерела	Приклад оформлення
Книги: Один автор	1. Дичківська О. О. Інноваційний менеджмент: конспект лекцій. Київ: ДІА, 2018. 82 с. 2. Бондаренко В. Г. Історія України. Львів, 2017. 153 с. 3. Лазор О. Я. Державне управління у сфері реалізації екологічної політики в Україні: організаційно-правові засади: монографія. Львів: Ліга-Прес, 2003. 542 с. 4. Ваш О. М. Етика: навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗНУ, 2018. 104с. 5. Гурманова Л. І. Релігієзнавство : навч. посіб. 2-ге вид., переробл. та допов. Київ : ЦУЛ, 2017. 193 с.
Два автори	1. Мартиненко З. Е., Макар І. В. Управління підприємством: теоретико-методичні засади: монографія. Харків: Щедра садиба плюс, 2017. 296 с. 2. Палеха В. І., Карпова П. В. Менеджмент організацій: навч. посіб. Запоріжжя: ЗНУ, 2015. 120 с. 3. Білоус С. І., Корнійчук В. П. Філософія освіти: навч.-метод. посіб. Переяслав-Хмельницький, 2016. 176 с. 4. Мороз І. С., Василенко Н. Ю. Маркетинг : конспект лекцій. Київ : Молодь, 2016. 102 с. 5. Вердіна С. А., Волков А. А. Контролінг: навч. посіб. Запоріжжя: ЗНУ, 2016. 131 с. 6. Вердіна С. А., Волков А. А. Контролінг : навч. посіб. Вид. 3-тє., переробл. та допов. Херсон, 2017. 212 с.
Три автори	1. Тарнавська Г. Я., Марценюк Н. С., Герасимова Т. М. Фінанси : навч. посіб. Львів : Магнолія 2006, 2017. 412 с. 2. Пустовенко В. В., Максименко І. Л., Яким А.С. Безпека життєдіяльності : монографія. Харків : ХНПУ, 2017. 348 с.
Чотири автори	1. Інновації : навч. посіб. / Гуревич Д. Т., Чекан О. С., Грибан О. М., Макарова В. В. Запоріжжя: ЗНУ, 2016. 389 с. 2. Вища математика: конспект лекцій / Ткачук Т.С. та ін. Київ, 2015. 82 с.
П'ять і більше авторів	1. Операційний менеджмент : підручник / С. М. Поплавська та ін. Київ: ЦУЛ, 2011. 267 с. 2. Охорона праці : навч. посіб. / О. І. Подольська та ін. 2-ге вид. Київ : ЦУЛ, 2017. 264 с. 3. Науково-практичний коментар Цивільного кодексу України : станом на 10 жовт. 2017 р. / К. І. Мягченко та ін. ; за заг. ред. І. М. Ливанова. Київ : ЦУЛ, 2017. 428 с.
Автор(и) та редактор(и)/упорядники	1. Веретенко В. В. Міжнародний маркетинг: монографія / за заг. наук. ред. В. М. Марценюка. Київ, 2015. 374 с. 2. Бутенко М. П., Качур В. П., Петренко С. В. Психологія: навч. посіб. / за ред. М. П. Дутко. Київ : ЦУЛ, 2017. 332 с.

Без автора	1. 30 років історичному факультету: історія та сьогодення (1986-2016): ювіл. вип. / під заг. ред. В. В. Черепані. Запоріжжя: ЗНУ, 2016. 340 с. 2. Етнографія : конспект лекцій / за заг. ред. В. І. Гарапка; уклад. А. І. Гарапка. Київ : ЦУЛ, 2018. 320 с. 3. Міжнародні відносини : монографія / за ред. М. А. Березовського. Київ : ЦУЛ, 2016. 162 с. 4. Міжнародні економічні відносини : навч. посіб. / за ред.: П. О. Бедрія, О. О. Петренка. Одеса : ОНУ, 2015. 306 с. 5. Науково-практичний коментар Цивільного кодексу України / за заг. ред. Т. А. Тарнавського. Київ : ЦУЛ, 2016. 186 с. 6. Підготовка фахівців у ВНЗ в умовах реформування вищої освіти : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Мукачєво, 4-5 жовт. 2018 р. Мукачєво: МДУ, 2018. 226 с. 7. Освіта в Україні: виклики модернізації : зб. наук. пр. / редкол.: П. М. Марценюк (відп. ред.) та ін. Київ : Ін-т всесвітньої історії НАН України, 2017. 319 с. 8. Товарознавство / упоряд. В. Олексик. Київ, 2014. 804 с.
Багатотомні видання	1. Енциклопедія рослин / редкол.: І. М. Деркач та ін. Київ: ЦУЛ, 2016. Т.8. 812 с. 2. Безруков В. Д. Поэзия : в 2 т. / ред. изд.: Л. Г. Мороз, А. Г. Мягченко; авт. вступ. ст. А. В. Сипина. Киев ; Мелитополь : НПУ им. М. Драгоманова ; МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2016. Т. 2. 206 с. 3. Новицкий О. М. Сочинения: в 4 т. / ред. изд.: Н. Г. Мозговая, А. Г. Волков; авт. вступ. ст. Н. Г. Мозговая. Киев; Мелитополь: НПУ им. М. Драгоманова; МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2017. Т. 1. 382 с. 4. Бюджетна система України: історія, стан та перспективи : у 3 т. / Акад. прав. наук України. Львів : Право, 2012. Т. 2 : Бюджетний менеджмент / заг. ред. Ю. П. Бубряка. 476 с. 5. Кучеренко Н. П. Казначейська справа : в 6 т. Київ : Право, 2016. Т. 3 : Контроль у системі Державного казначейства. 432 с. 6. Дендрофлора України. В 12 т. Т. 2. Дикорослі та культивовані дерева і куші. Вип. 1. Покритонасінні / Л.І. Перхоменко. Київ : Наукова думка, 2012. 200 с.
Автореферати дисертацій	1. Петров О. Г. Музикотерапія : автореф. дис. ... канд. псих. наук : 12.00.06. Київ, 2009. 40 с.
Дисертації	1. Петрук Л. А. Дослідження статичного деформування складених тіл : дис. ... канд. фіз.-мат. наук : 01.02.04. Львів, 2004. 140 с. 2. Винниченко О. М. Контроль соціально-економічного розвитку промислових підприємств : дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.04. Київ, 2018. 344 с.
Патенти	1. Зернозбиральний комбайн: пат. 25742 Україна: МПК6 C09K11/00, G01T1/28, G21H3/00. № 200701472; заявл. 12.02.07; опубл. 27.08.07, Бюл. № 13. 4 с. 2. Спосіб лікування гіперактивності у дітей: пат. 76509 Україна. №2004042416; заявл. 01.04.2004; опубл. 01.08.2006, Бюл. №8 (кн. 1). 120 с.

Препринти	1. Марченко М. І., Кополович А. Д., Яким Б. М. Про точність визначення радіоактивних відходів гамма-методами. Чорнобиль : Ін-т з проблем безпеки АЕС НАН України, 2006. 7, [1] с. (Препринт. НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС; 06-1). 2. Федорченко Б. А., Смотрич В. Н. Радиационное повреждение материалов нейтронами источника ННЦ ХФТИ / ANL USA с подкритической сборкой, управляемой ускорителем электронов. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2006. 19 с.: ил., табл. (Препринт. НАН Украины, Нац. науч. Центр «Харьк. физ.-техн. ин-т»; ХФТИ2006-4).
Архівні документи	1. Лист Голови Співки «Первоцвіт» Г. Ф. Петренка на ім'я Голови Ради Міністрів УРСР В. А. Поповича щодо реєстрації Статуту Співки та сторінки Статуту. 14 грудня 1989 р. <i>ЦДАГО України</i> (Центр. держ. архів громад. об'єднань України). Ф. 1. Оп. 32. Спр. 2612. Арк. 63, 64 зв., 71.
Законодавчі та нормативні документи	1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2015. 98 с. 2. Конституція України : станом на 1 жовтня 2017 р. / Верховна Рада України. Київ : Право, 2017. 93 с. 3. Про вищу освіту : Закон України від 05.09.2016 р. № 2145-VIII. <i>Голос України</i>. 2016. 27 верес. (№ 178-179). С. 10–22. 4. Податковий кодекс України : Закон України від 19.05.2011 р. № 3393-VI. <i>Відомості Верховної Ради України</i>. 2011. № 48-49. Ст. 536. 5. Про освіту : Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII. Дата оновлення: 28.09.2018. URL:http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1556-18 (дата звернення: 15.11.2018). 6. Питання соціального забезпечення : Постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2017 р. № 1060. <i>Офіційний вісник України</i>. 2018. №5. С. 430–443. 7. Про інформування громадськості з питань євроатлантичної інтеграції України на 2019-2020 роки : Указ Президента України від 21.02.2018 р. № 43/2018. <i>Урядовий кур'єр</i>. 2018. 23 лют. (№ 35). С. 10. 8. Про затвердження Вимог до оформлення кандидатської дисертації : наказ Міністерства освіти і науки від 12.01.2018 р. № 50. <i>Офіційний вісник України</i>. 2018. № 25. С. 139–141. 9. Інструкція щодо порядку оформлення і ведення особових справ отримувачів усіх видів соціальної допомоги : затв. наказом М-ва. праці та соц. політики від 19.09.2006 р. № 156. <i>Баланс-бюджет</i>. 2006. 19 верес. (№ 18). С. 15–16.
Стандарти	1. ДСТУ 7152:2010. Видання. Оформлення публікацій у журналах і збірниках. [Чинний від 2010-02-18]. Вид. офіц. Київ, 2010. 16 с. (Інформація та документація). 2. ДСТУ ISO 6107-1:2004. Якість води. Словник термінів. Частина 1 (ISO 6107-1:1996, IDT). [Чинний від 2005-04-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 181 с. 3. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила (ISO 4:1984, NEQ; ISO 832:1994, NEQ). [На заміну ДСТУ3582-97; чинний від 2013-08-22]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 15 с. (Інформація та документація).

Каталоги	1. Історична спадщина України : кат. вист. / Харків. держ. наук. б-ка ім. В. Г. Короленка; уклад.: Л. І. Петров, О. В. Олійник. Харків, 2000. 64 с. 2. Пам'ятки історії та мистецтва Закарпатської області : кат.-довід. / авт.-упоряд.: М. Петрик та ін.; Упр. культури Закарпат. облдержадмін., Закарпат. іст. музей. Ужгород, 2003. 160 с.
Бібліографічні покажчики	1. Боротьба з злочинністю: нагальна проблема сучасності : бібліогр. покажч. Вип. 3 / уклад.: О. В. Куріпта, відп. за вип. Н. М. Щур; Запорізький національний університет. Запоріжжя, 2017. 60 с. 2. Іван Марченко : біобібліогр. покажч. / уклад. В. Петрик. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2003. 356 с. (Українська біобібліографія ; ч. 9).
Аналітичний бібліографічний запис Складова частина видання (глави, розділу, статті) розділовий знак «дві нахиліні риски» («//») можна замінювати крапкою, а відомості про документ (його назву), виділяти шрифтом (наприклад, <i>курсивом</i>).	
Частина видання: книги	1. Петренко М. А. Международное право и роль Конституционного Суда Украины // Максим Петренко: право як буття вченого: зб. наук. пр. до 60-річчя проф. М. А. Петренко / упоряд. та відп. ред. Ю. О. Волошин. К., 2009. С. 477–493. 2. Якса А. П. Економічна політика держави. <i>Двадцять п'ять років з економічним правом</i> : вибрані праці. Харків, 2017. С. 205–212. 3. Корнійчук Т. О. Методи активізації навчально-пізнавальної діяльності. <i>Педагогіка</i>: навч. посіб. / за заг. ред. Т. О. Корнійчука. Київ, 2017. С. 195–197.
Частина видання матеріалів конференцій (тези доповіді)	1. Лалак Н. В. Шляхи підвищення мотивації молодших школярів до навчання // Анотовані результати науково-дослідної роботи інституту педагогіки за 2011 рік : збірник тез повідомлень. Київ, 2012. С.202–203. 2. Максименко Д. В. Методи оперативної діагностики виробничої діяльності підприємства // Зростання ролі бухгалтерського обліку в сучасній економіці : збірник тез та доповідей І Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 21 лютого 2013 р.) / відпов. за випуск Мельничук Б.В. Київ, 2013. С.331–335. 3. Цехмістров І. І., Перець І.П. Про бюджет. <i>Дослідження проблем в Україні очима молодих вчених</i> : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м.Запоріжжя, 3-4 берез. 2016 р. Запоріжжя, 2016. С. 50–53.
Частина довідкового видання	1. Павлик І. М. Право інтелектуальної власності. <i>Великий енциклопедичний юридичний словник</i> / ред. Ю. С. Шемшученко. Київ, 2007. С. 683. 2. Дичківська І.М. Інноваційні педагогічні технології. <i>Основи педагогіки освіти</i> : словник термінів / за ред.: Т. О. Дмитрука, В. К. Колпакова. Київ, 2014. С. 54–55. 3. Попович Н.І. Початкова освіта // Педагогічна енциклопедія. Київ, 2003. Т. 5. С. 699.
Частина видання: продовжуваного видання	1. Куцінко Т. О. Адміністративне законодавство України: реалії та перспективи формулювання // Вісник Запорізького національного університету. Юридичні науки. Запоріжжя, 2017. № 1. С. 36–46.

	- Безруков С. А., Хмельов А. А. Дослідження циліндричних оболонок. <i>Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки</i>. Запоріжжя, 2015. № 3. С. 153–159. - Хорошилова С. А., Малафіїк Л. О., Хмельов А. А. Моделювання складеної конструкції за допомогою матриць типу Гріна. <i>Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій</i>. Дніпропетровськ, 2012. Вип. 19. С. 212–218.
Частина видання: періодичного видання (журналу, газети)	- Кучеренко О. О. Конституційні права людини і громадянина // <i>Часопис Київського університету права</i>. 2007. № 4. С. 88–92. - Коваль Л., Коваль П. Переваги дистанційної роботи. <i>Урядовий кур'єр</i>. 2017. 1 листоп. (№ 205). С. 5. - Bletska D. I., Glukhov K. E., Frolova V. V. Electronic structure of 2H-SnSe₂. <i>Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics</i>. 2017. Vol. 18, No 2. P. 109–118.
Електронні ресурси	- Україна очима дітей : фотовиставка. URL: http://www.kmu.gov.ua/control/uk/photogallery/gallery?galleryId=15725757 & (дата звернення: 15.11.2017). - Хміль А. А. Функції державної служби за законодавством України // <i>Юридичний науковий електронний журнал</i>. 2017. № 5. С. 115–118. URL: http://lsei.org.ua/5_2017/32.pdf. - Хміль І. О. Шляхи подолання правового нігілізму в Україні. <i>Вісник Запорізького національного університету. Юридичні науки</i>. Запоріжжя, 2016. № 3. С. 20–27. URL: http://ebooks.znu.edu.ua/files/Fakhovivvydannya/vznu/juridichni/VestUr2015v3/5.pdf. (дата звернення: 15.11.2017). - Куцкір Я. С., Махно Б. А., Борислав С. Г. Трансформація науково-педагогічної системи України протягом 90-х років ХХ століття: період переходу до ринку. <i>Наука та інновації</i>. 2016. Т. 12, № 6. С. 6–14. DOI: https://doi.org/10.15407/scin12.06.006.
Каталоги	- Прокопенко І. П. Каталог растений для работ по экодизайну / Донец. ботан. сад НАН Украины. Донецк : Лебедь, 2005. 228 с. - Історична спадщина України : кат. вист. / Харків. держ. наук. б-ка ім. В. Г. Короленка; уклад.: Л. І. Петров, О. В. Олійник. Харків, 2000. 64 с. - Пам'ятки історії та мистецтва Закарпатської області : кат.-довід. / авт.-упоряд.: М. Петрик та ін.; Упр. культури Закарпат. облдержадмін., Закарпат. іст. музей. Ужгород, 2003. 160 с.
Бібліографічн і покажчики	- Боротьба з злочинністю: нагальна проблема сучасності : бібліогр. покажч. Вип. 3 / уклад.: О. В. Куріпта, відп. за вип. Н. М. Щур; Запорізький національний університет. Запоріжжя, 2017. 60 с. - Іван Марченко : біобібліогр. покажч. / уклад. В. Петрик. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2003. 356 с. (Українська біобібліографія ; ч. 9).