

**«ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
АВТОМАТИЗАЦІЇ»**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання курсової роботи

спеціальність	174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка / 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
назва освітньо-професійної програми	Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка в металургії та гірництві / Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та гірництві

Рекомендовано Науково-методичною
радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол №1 від 27.09.2024 р)

Автори:

Костіков О. А., канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри цифрових технологій та проектних рішень,

Мірошніченко В. І., канд. техн. наук, доцент.

Рецензент:

Койфман О. О. – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА».

К55 Костіков О. А., Мірошніченко В.І. Ідентифікація та моделювання об'єктів автоматизації: методичні рекомендації до виконання курсової роботи для здобувачів вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 71 с.

Методичні вказівки включають методичні рекомендації до структури та змісту курсової роботи; вимоги до оформлення пояснювальної записки та захисту курсової роботи, критерії оцінювання курсової роботи, зразок титульної сторінки, завдання, рекомендовані літературні джерела.

УДК 681.5 (072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024
© Костіков О. А., Мірошніченко В. І. 2024

ЗМІСТ

1	МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
2	РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО СТРУКТУРИ ТА ЗМІСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	7
2.1	Загальні вимоги до змісту та структури КР	7
2.2	Рекомендації щодо змісту, реферату, вступу та переліку скорочень, символів і спеціальних термінів	9
2.3	Рекомендації щодо розділу «Побудова регресійних та авторегресійних моделей об'єкта».....	9
2.3.1	Побудова поліноміальної регресійної моделі	9
2.3.2	Побудова моделі багатовимірної регресії.....	12
2.3.3	Побудова авторегресійної моделі	13
2.4	Рекомендації щодо розділу «Непараметрична та параметрична ідентифікація»	17
2.4.1	Підготовка та обробка вихідних даних	17
2.4.2	Непараметричні методи ідентифікації	20
2.4.3	Параметричні методи ідентифікації	22
2.4.4	Верифікація моделей за експериментальними даними	27
2.5	Рекомендації щодо розділу «Побудова нелінійних ARX моделей»	31
2.5.1	Постановка задачі	31
2.5.2	Довідкові відомості щодо пакету System Identification Toolbox.....	31
2.5.3	Приклад побудови моделі SISO	33
2.5.4	Приклад побудови моделі MIMO	38
2.6	Рекомендації щодо розділу «Ідентифікація динамічних об'єктів з використанням даних в частотній області»	40
2.6.1	Постановка задачі	40
2.6.2	Довідкові відомості	41
2.7	Рекомендації щодо формулювання висновків	43
3	ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З КУРСОВОЇ РОБОТИ	44
3.1	Загальні вимоги до оформлення тексту.....	44
3.2	Вимоги до оформлення основного тексту	44
3.3	Вимоги до оформлення рисунків	45
3.4	Вимоги до оформлення таблиць	45
3.5	Вимоги до оформлення формул.....	46
3.6	Вимоги до оформлення переліків	47
3.7	Вимоги до оформлення посилань	48
3.8	Вимоги до оформлення переліку посилань.....	48
3.9	Вимоги до оформлення додатків.....	49
3.10	Вимоги до оформлення презентації.....	49
4	ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ	50
4.1	Етапи виконання та захисту курсової роботи	50
4.2	Права та обов'язки керівника курсової роботи, здобувача освіти, комісії із оцінювання курсових робіт	51
4.3	Застереження щодо академічної доброчесності.....	52
4.4	Регламенти і процедури виявлення порушень вимог академічної доброчесності та наслідки такого виявлення	56
4.5	Критерії оцінювання курсової роботи	58
4.6	Порядок оскарження результатів оцінювання курсової роботи.....	60
	РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА	62

ДОДАТОК А	
БЛАНК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА	63
ДОДАТОК Б	
БЛАНК ЗАВДАННЯ	64
ДОДАТОК В	
ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ.....	67

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота (КР) – це компонент професійного ядра освітньої програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка в металургії та гірництві», виконання якого забезпечує набуття здобувачами вищої освіти першого бакалаврського рівня загальних та фахових компетенцій.

Під час роботи над КР передбачається поєднання та поглиблення теоретичних знань і практичних умінь, набутих здобувачами освіти в результаті вивчення дисципліни професійної підготовки бакалаврів «Ідентифікація, моделювання об'єктів та елементи системного аналізу».

КР є індивідуальною творчою роботою, яка виконується здобувачем вищої освіти самостійно під керівництвом викладача згідно із поставленими завданнями.

Розробка КР сприяє розширенню та поглибленню теоретичних знань, розвитку навичок їх практичного використання, формує вміння самостійного розв'язання конкретних професійних завдань, створює підґрунтя для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра.

Метою курсової роботи є набуття здобувачами практичних навичок з ідентифікації та моделювання об'єктів, що застосовуються у вирішенні практичних задач автоматизації технологічних процесів, а також закріплення та впровадження у практику знань та навичок, набутих під час вивчення курсу.

Завдання курсової роботи передбачає побудову регресійних та авторегресійних моделей об'єкта, проведення непараметричної та параметричної ідентифікації, побудову нелінійних ARX моделей, ідентифікацію динамічних об'єктів з використанням даних в частотній області.

Для досягнення цієї мети необхідно поставити та вирішити такі **завдання:**

- сформулювати постановку задачі;
- навести математичну постановку задачі;
- навести опис методів розв'язання;
- навести опис вхідних та вихідних даних;
- розробити відповідні програми;
- підготувати презентацію результатів виконання курсової роботи, продемонструвати вміння обґрунтовано та коректно презентувати та аргументувати власну думку перед професійною аудиторією під час захисту.

Курсова робота спрямована на отримання здобувачами наступних загальних та спеціальних (фахових) компетентностей:

Загальні компетентності:

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел.

Фахові компетентності:

- здатність застосовувати знання математики в обсязі, необхідному для використання математичних методів для аналізу і синтезу систем автоматизації.

– здатність виконувати аналіз об'єктів автоматизації на основі знань про процеси, що в них відбуваються та застосовувати методи теорії автоматичного керування для дослідження, аналізу та синтезу систем автоматичного керування.

– здатність застосовувати методи системного аналізу, математичного моделювання, ідентифікації та числові методи для розроблення математичних моделей окремих елементів та систем автоматизації в цілому, для аналізу якості їх функціонування із використанням новітніх комп'ютерних технологій.

– здатність вільно користуватись сучасними комп'ютерними та інформаційними технологіями для вирішення професійних завдань, програмувати та використовувати прикладні та спеціалізовані комп'ютерно-інтегровані середовища для вирішення задач автоматизації.

У результаті виконання КР здобувач вищої освіти повинен продемонструвати достатній рівень сформованості наступних програмних результатів навчання:

– вміти застосовувати сучасні інформаційні технології та мати навички розробляти алгоритми та комп'ютерні програми з використанням мов високого рівня та технологій об'єктно-орієнтованого програмування, створювати бази даних та використовувати інтернет-ресурси.

– вміти застосовувати методи системного аналізу, моделювання, ідентифікації та числові методи для розроблення математичних та імітаційних моделей окремих елементів та систем автоматизації в цілому для аналізу якості їх функціонування з використанням новітніх комп'ютерних технологій.

– вміти використовувати різноманітне спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язування типових інженерних задач у галузі автоматизації, зокрема, математичного моделювання, автоматизованого проектування, керування базами даних, методів комп'ютерної графіки.

– вміти проводити аналіз стану технологічних об'єктів, класифікувати та описувати роботу систем автоматизації із використанням аналітичних методів та методів моделювання, розробляти та налагоджувати автоматизовані системи управління з врахуванням змінних у часі технологічних параметрів [1].

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО СТРУКТУРИ ТА ЗМІСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

2.1 Загальні вимоги до змісту та структури КР

Курсова робота повинна мати чітку і логічну структуру, складовими якої є:

1. Пояснювальна записка (за необхідністю зміст пояснювальної записки може бути змінено за узгодженням з керівником курсової роботи):

- Титульний лист (Додаток А).
- Завдання (див. Додаток Б).
- Зміст.
- Перелік умовних позначень, скорочень, символів і спеціальних термінів (за необхідності).
- Вступ.
- Завдання 1. Побудова регресійних та авторегресійних моделей об'єкта.

1.1 Для побудови одновимірних регресійних моделей об'єкта слід створити часовий ряд значень на основі передавальної функції аперіодичного типу, обрати яку потрібно за номером варіанту X з таблиці В.1 (Додаток В).

1.2 Для побудови моделей багатовимірної регресії слід створити часовий ряд значень на основі статичної ланки у вигляді полінома вигляду $Y = A_0 + A_1x_1 + A_2x_1x_2 + A_3x_2^2 + A_4x_1^2$, коефіцієнти обрати за варіантом X з таблиці В.2. На входи x_1 , x_2 подати сигнали аперіодичного типу відповідно номеру варіанту X та X+1 з таблиці В.1 (Додаток В). Для створення в Matlab статичної ланки використати блоки множення, додавання, зведення у квадрат зі стандартного набору блоків Simulink.

1.3 Для побудови одновимірних авторегресійних моделей об'єкта слід створити часовий ряд значень на основі передавальної функції ланки коливального типу за номером варіанту X з таблиці В.1 (Додаток В). Для отримання масивів часових значень зафіксувати реакцію ланки на ступінчастий вплив, скориставшись можливостями пакета Simulink. Значення кроку за часом і час спостереження визначити експериментально.

- Завдання 2. Непараметрична та параметрична ідентифікація.

2.1 Завантажити та підготувати набір експериментальних даних "dryer5" за допомогою команди load dryer2. Дані розбити на дві частини (для побудови моделі та для її верифікації) за варіантом з таблиці В.3 (Додаток В).

2.2 За допомогою методів непараметричного оцінювання отримати АКФ вхідного і вихідного сигналів, ВКФ, імпульсну характеристику, частотні характеристики. Побудувати графіки, зробити висновки.

2.3 Побудувати модель у просторі станів РЕМ (обсяг вибірки визначається за варіантом у таблиці В.3 (Додаток В)). Оцінити

адекватність отриманої моделі, використовуючи частину вибірки даних, що залишилася.

2.4 Побудувати авторегресійну модель ARX. Параметри n_a , n_b , n_k вибрати за варіантом у таблиці В.3 (Додаток В). Визначити адекватність отриманої моделі.

2.5 Проаналізувати отримані моделі системи (PEM, ARX), порівнявши імпульсні перехідні характеристики, діаграми Боде і Найквіста. Навести в описі роботи відповідні діаграмам і характеристикам критерії стійкості і, дотримуючись їх, зробити висновки про стійкість аналізованої системи.

2.6 Порівняти отримані моделі між собою.

2.7 Побудувати карту нулів і полюсів системи за розрахунковими моделями. Оцінити стійкість системи за конфігурацією полюсів.

- Завдання 3. Побудова нелінійних ARX моделей.

3.1 Завантажити та підготувати набір експериментальних даних SISO-об'єкта "icEngine" за допомогою команди loadicEngine. Дані розбити на дві частини (для побудови моделі та верифікації) за варіантом у таблиці В.4 (Додаток В).

3.2 Побудувати лінійну та нелінійну ARX-моделі з використанням звичайних регресорів. Параметри n_a , n_b , n_k та вид нелінійності вибрати виходячи з варіанта у таблиці В.4 (Додаток В). Проаналізувати адекватність отриманої моделі;

3.3 Побудувати лінійну ARX-модель із нелійними користувацькими регресорами, заданими у вигляді рядка, згідно з варіантом завдання у таблиці В.4 (Додаток В).

3.4 Побудувати лінійну ARX-модель із поліноміальними користувацькими регресорами.

3.5 Побудувати лінійну ARX-модель із нелійними користувацькими регресорами, сформованими за допомогою конструктора.

3.6 Побудувати нелінійну ARX-модель із користувацькими регресорами.

3.7 Порівняти отримані моделі між собою, зробити висновки.

3.8 Виконати операції в п.п. 3.1...3.8 для MIMO-об'єкта (набір експериментальних даних зберігається у файлі motorizedcamera.mat).

- Завдання 4. Ідентифікація динамічних об'єктів з використанням даних в частотній області.

4.1 Завантажити та підготувати набір експериментальних даних "demofr" за допомогою команди load demofr.

4.2 Побудувати моделі m_1 , m_2 , m_3 , структури яких необхідно визначити за варіантом (див. параметр n_p - для OE моделі та sys - для procest моделі в таблиці В.5 (Додаток В)).

4.3 Оцінити адекватність побудованих моделей, отримати порівняльні графіки, зробити висновки.

4.4 Порівняти результати моделювання з наявними у файлі "demofr" даними в часовій області, зробити висновки.

4.5 Провести стиснення вихідних даних до N-значень частоти. Кількість точок N вибирається за варіантом (див. параметр "N" у таблиці В.5 (Додаток В)). На основі отриманих даних побудувати нову модель структури ОЕ, отримати оцінку її адекватності та провести порівняння з попередніми результатами моделювання на основі нестиснутих даних. Зробити відповідні висновки.

- Висновки.
- Перелік використаних джерел.

2. Презентація, що передбачає коротке та вичерпне представлення результатів курсової роботи для її захисту перед комісією.

2.2 Рекомендації щодо змісту, реферату, вступу та переліку скорочень, символів і спеціальних термінів

У змісті послідовно перераховуються заголовки розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів, додатків і вказуються сторінки, на яких вони розміщені. Якщо сторінок декілька, вказується номер першої сторінки, з якої починається пункт і де розташований заголовок пункту. Зміст повинен включати всі заголовки, наявні в тексті.

Перелік скорочень, символів і спеціальних термінів містить скорочення, символи і терміни, які розташовуються у вигляді стовпчика, в якому ліворуч наведені скорочення (символ, спеціальний термін), а праворуч - їхнє детальне розшифрування.

У вступі необхідно: навести обґрунтування необхідності виконання роботи при сучасному стані проблеми (актуальність теми), сформулювати мету та задачі роботи [2].

2.3 Рекомендації щодо розділу «Побудова регресійних та авторегресійних моделей об'єкта»

2.3.1 Побудова поліноміальної регресійної моделі

Зазвичай часові послідовності даних описують поведінку будь-якого об'єкта в часі. Для побудови регресійної моделі об'єкта потрібні вихідні дані, тому скористаємося можливостями Matlab. Файл `census.mat` містить дані про населення США з 1790 по 1990 рік.

```
% Завантаження даних для розрахунку loadcensus
% Побудова графіка завантажених
даных plot(cdate, pop)
```

Встановлення наявності кореляції між змінними `cdate` і `pop`:

```
%Обчислення коефіцієнта кореляції
Corr = corrcoef(pop, cdate)
Corr =
1.000 0.959 0.959
1.000
```

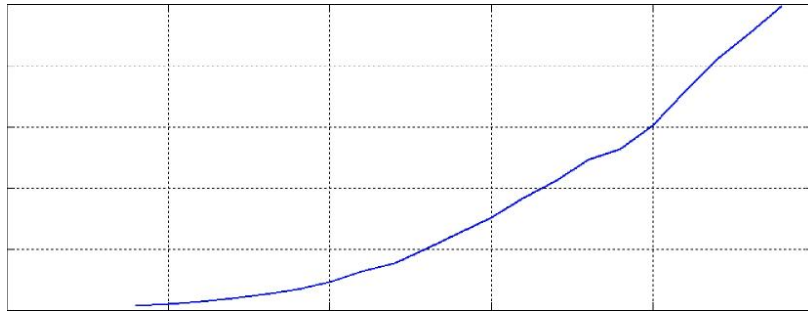


Рис. 2.3.1. Графік залежності народонаселення США (*pop*) від часу (*cdate*)

Діагональні елементи представляють дисперсії для стовпчиків, а діагональні елементи $corr(i, j)$ представляють коваріації стовпчиків i й j . У цьому випадку залежність є дуже сильною і припущення про вплив *cdate* на *pop* підтвердилося.

В результаті аналізу вигляд графіка рис. 2.3.1, можна припустити, що дані можуть бути описані параболою, тобто поліноміальною функцією вигляду $y = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$. Коефіцієнти моделі a_0 , a_1 і a_2 є невідомими. Для їх визначення є 21 рівняння (число 21 тут дорівнює числу пар даних у змінних *cdate* і *pop*, хоча достатнім є лише три пари). Побудова таких моделей часто призводить до перевизначених систем рівнянь. Невідомі величини можна обчислити методом найменших квадратів, мінімізуючи суму квадратів відхилень експериментальних даних від обчислених за моделлю.

Для цього слід сформуванати функцію відхилень (нев'язок) експериментальних і модельних значень:

$$\delta_i = y_i - a_0 - a_1 t_i - a_2 t_i^2$$

і визначити суму квадратів відхилень:

$$S = \sum_{i=1}^N \delta_i^2$$

Далі, для знаходження мінімальних значень суми квадратів відхилень порівнюємо до нуля похідні від S за шуканими коефіцієнтами регресії:

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - a_0 - a_1 t_i - a_2 t_i^2) = 0,$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - a_0 - a_1 t_i - a_2 t_i^2) \cdot t_i = 0,$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - a_0 - a_1 t_i - a_2 t_i^2) \cdot t_i^2 = 0.$$

Таким чином, наявна система лінійних рівнянь із трьома невідомими, розв'язання яких зазвичай не викликає труднощів.

Перетворимо рівняння до такого вигляду:

$$\sum_{i=1}^N y_i = a_0 N + a_1 \sum_{i=1}^N t_i + a_2 \sum_{i=1}^N t_i^2,$$

$$\sum_{i=1}^N y_i t_i = a_0 \sum_{i=1}^N t_i + a_1 \sum_{i=1}^N t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^N t_i^3,$$

$$\sum_{i=1}^N y_i t_i^2 = a_0 \sum_{i=1}^N t_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^N t_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^N t_i^4.$$

Сформуємо матрицю коефіцієнтів системи:

```
Y = [ ones(size(cdate)) cdate.^2 ]
Y =
1          1790          3204100
1          1800          3240000
1          1810          3276100
1 1970 3880900 1 1980 3920400 1 1990
3960100
```

З урахуванням викладеного вище, можна записати:

```
% Пошук коефіцієнтів полінома а = Y \ pop; а = 1.0e+004 *.
2.112959211923060 -0.002350974599542
0.000000654113049
```

У результаті шукана функція має вигляд, наведений на графіку рис. 2.3.2, що дає змогу візуально оцінити відхилення розрахункових та експериментальних даних.

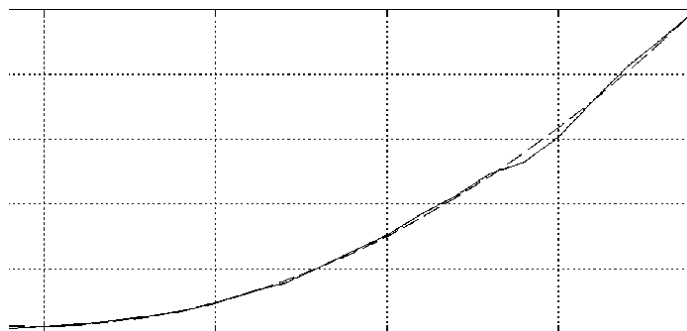


Рис. 2.3.2. Графік залежності змінної pop від часу (експеримент - -, поліноміальна модель —)

Позначимо в програмі знайдений поліном як pop2 і визначимо похибку моделювання Delta. Побудуємо графік похибки (див. рис. 2.3.3):

```
%Будова полінома моделі
pop2 = a(1)+a(2)*t+a(3)*(t.^2);
%Очислення похибки
Delta = abs(pop - pop2);
%Визначення максимальної похибки
maxDelta = max(Delta)
% Побудова діаграми похибок
```

```
stem(cdate, Delta);
maxDelta =
7.536132425940025
```

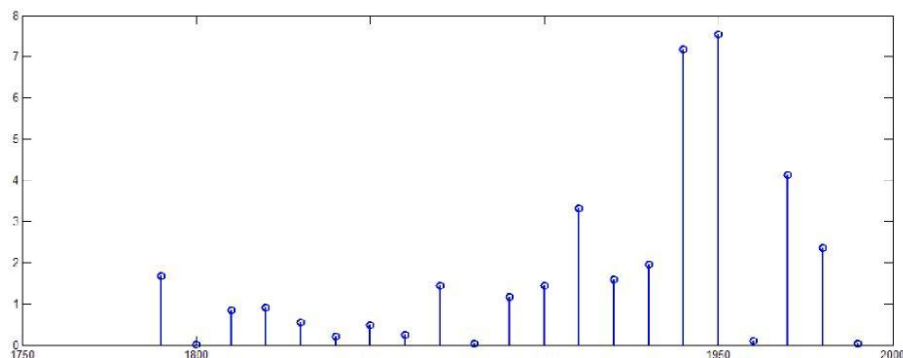


Рис. 2.3.3 – Гістограма похибки на всьому діапазону часу

Виходячи з графіка, наведеного на рис. 2.3.3, можна зробити висновок, що умову завдання виконують, оскільки максимальна похибка моделі зростання чисельності населення не перевищує 4 млн. осіб.

Визначити помилку прогнозу за обраною моделлю можна застосувавши функцію підстановки `subs()` до знайденого поліному `popPoly`, а саме:

```
%Розрахунок чисельності у 2000 р. pop2000 = subs(popPoly, 2000)
) %Розрахунок помилки прогнозу deltaPop = abs(pop2000 - 281.422)
pop2000 =
2.462791748046875e+002
deltaPop =
35.142825195312525
```

Виходячи з отриманих результатів, можна сказати, що помилка прогнозу моделі дуже велика і становить понад 35 мільйонів осіб.

2.3.2 Побудова моделі багатовимірної регресії

Якщо y - функція більш ніж однієї незалежної змінної, матричні рівняння, які виражають відношення між змінними, мають бути розширені, щоб урахувати вплив усіх незалежних змінних.

Припустімо, що вимірювали кількість деякої виробленої об'єктом речовини y для кількох значень параметрів x_1 і x_2 . Спостереження мають такий вигляд:

$$x_1 = [0,2 \ 0,5 \ 0,6 \ 0,8 \ 1,0 \ 1,1];$$

$$x_2 = [0,1 \ 0,3 \ 0,4 \ 0,9 \ 1,1 \ 1,4];$$

$$y = [0,17 \ 0,26 \ 0,28 \ 0,23 \ 0,27 \ 0,24].$$

Багатовимірна регресійна модель цієї системи в найпростішому випадку полінома першого ступеня матиме вигляд:

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 .$$

Невідомі коефіцієнти a_0 , a_1 і a_2 , як і раніше, визначаються методом найменших квадратів. Створимо систему рівнянь, формуючи регресійну матрицю X , і розв'яжемо її щодо коефіцієнтів a , a_0 і a_2 , використовуючи оператор `\` (backslash).

```
x1 = [.2 .5 .6 .8 1.0 1.1]'; x2 = [.1 .3 .4 .9 1.1 1 1.4]';
y = [.17 .26 .28 .23 .27 .24]';
%Матриця коефіцієнтів системи X = [ones(size(x1)) x1 x2];
%Обчислення коефіцієнтів a = X\y
a=
0.1018 0.4844 -0.2847
```

Це означає, що модель має вигляд $Y = 0.1018 + 0.4844x_1 - 0.2847x_2$. Оцінимо якість моделі, обчисливши максимум модуля відхилення обчислених даних від експерименту

```
%Обчислення виходу системи за моделлю
Y = X*a;
%Обчислення помилки моделі
MaxErr = max(abs(Y-y))
MaxErr =
0.0038
```

Таку максимальну помилку можна вважати задовільною.

2.3.3 Побудова авторегресійної моделі

Розглянемо набір експериментальних даних, представлений на рис.

2.3.4. Це типовий графік зміни в часі сигналу на виході динамічної системи. Не будемо конкретизувати поки що завдання і проведемо лише його якісний аналіз.

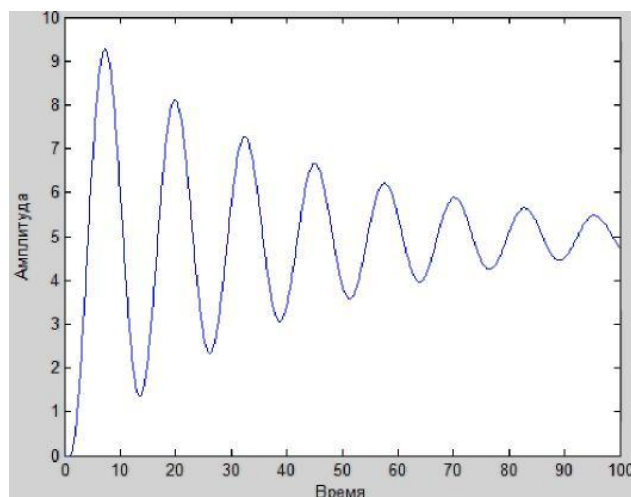


Рис. 2.3.4 – Графік зміни в часі вихідної величини y

Для опису такого набору даних можна скористатися побудовою поліноміальної регресійної моделі. Для підвищення швидкості розв'язання задачі можна використати GUI (GraphicalUserInterface - графічний інтерфейс користувача) BasicFitting пакету MATLAB, роботу в якому тут не розглядають і передбачають самостійне вивчення його можливостей.

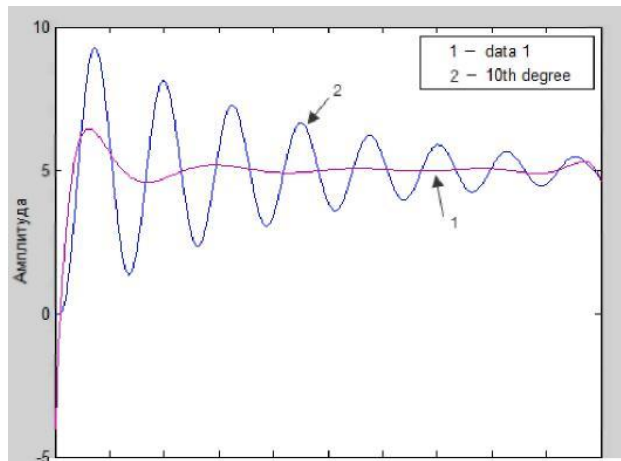


Рис. 2.3.5 – Побудова поліноміальної моделі за допомогою GUI BasicFilling пакета MATLAB

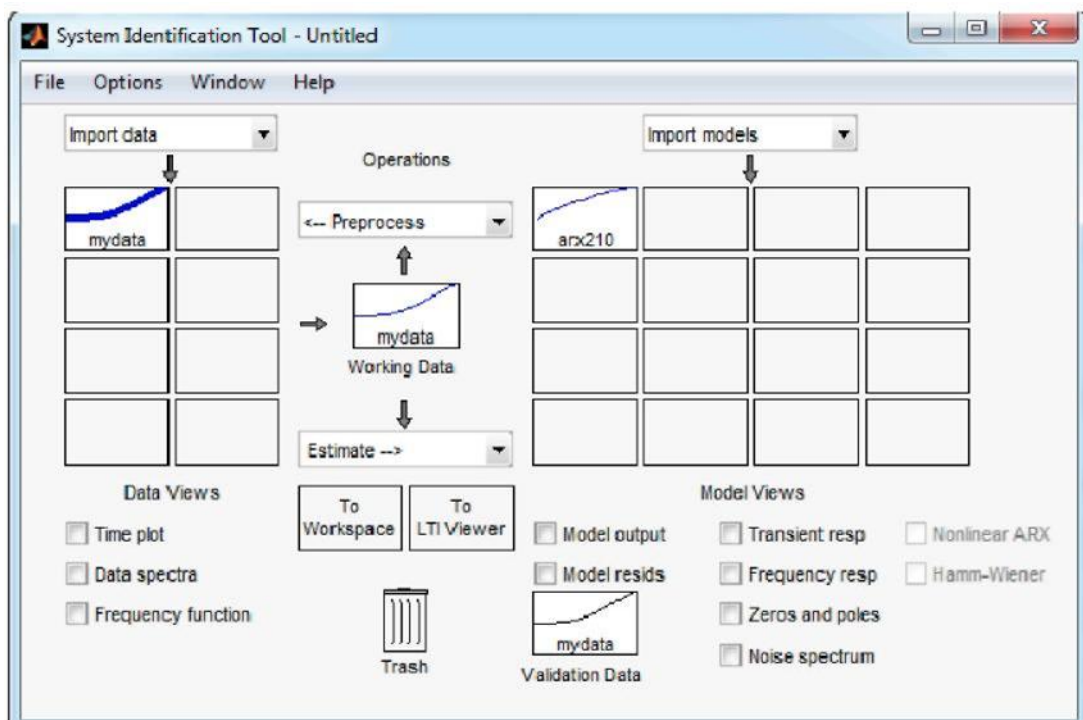


Рис. 2.3.6 – Побудова авторегресійної моделі за допомогою GUI SystemIdentificationToolbox пакета MATLAB

Створимо часові послідовності вхідних і вихідних даних динамічного об'єкта, для чого скористаємося можливостями системи Matlab. Визначимо передавальну функцію такого вигляду:

$$W = \frac{5e^{-p}}{(K^2 p^2 + 0,1Kp + 1)}$$

Для цього, спочатку, необхідно визначити змінну p , як параметр передавальної функції за допомогою команди $p = tf('p')$, а потім сформуванати передавальну функцію визначеного вище вигляду.

Нехай $K = 2$, тоді:

```

P = tf('p');
K = 2;
W = (5*exp(-p))/(K^2*p^2 + 0.1*K*p + 1)

```

Для отримання масиву значень реакції такої системи на ступінчастий вплив скористаємося можливостями пакета Simulink. З пакета ControlSystemToolbox необхідно взяти модуль LTISystem і завантажити в нього створену передавальну функцію W з робочого простору (Workspace). Поставте на вхід системи ступінчастий вплив (Step) і визначте початок впливу в момент часу $t = 0$. Потім за допомогою блоку ToWorkspace вивантажте масив значень відгуку системи в робочу область. Параметри симуляції підберіть таким чином, щоб за фіксованого кроку симулювання 0,1 кінцеве значення амплітуди коливань не перевищувало 10% від максимального значення.

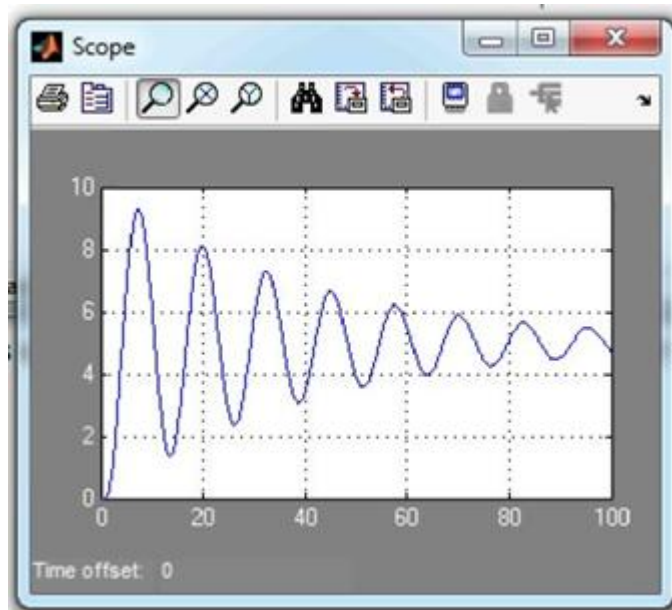
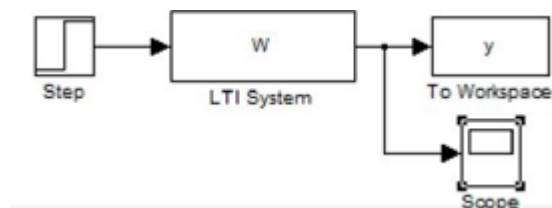


Рис.2.3.7 – Модель системи в Simulink та її відгук на ступінчастий вплив.

Тепер ви можете запустити графічний інтерфейс пакета SystemIdentificationToolbox і завантажити в нього системні налаштування. Для зручності значення відповіді системи на дію кроку, отриманої після операції Simulink, краще записати у вигляді структури у в окрему змінну, наприклад, Y. У графічному інтерфейсі завантажте дані як "визначені в часовій області", при цьому вхідна змінна встановлена в 1 (крок дії) і вихідні значення, отримані з Simulink. Оскільки на вхід системи завжди діє крок, вхідна змінна повинна бути масивом одиниць. Розміри вхідного і вихідного масивів повинні збігатися.

Виберемо найпростіший варіант (рис. 2.3.8) моделі ARX (у полі Оцінка виберіть LinearParametricModels) з параметрами $n_a = 2$, $n_b = 1$, $n_k = 0$ (n_k – кількість ланок із затримкою). Результатом стане модель ARX210.

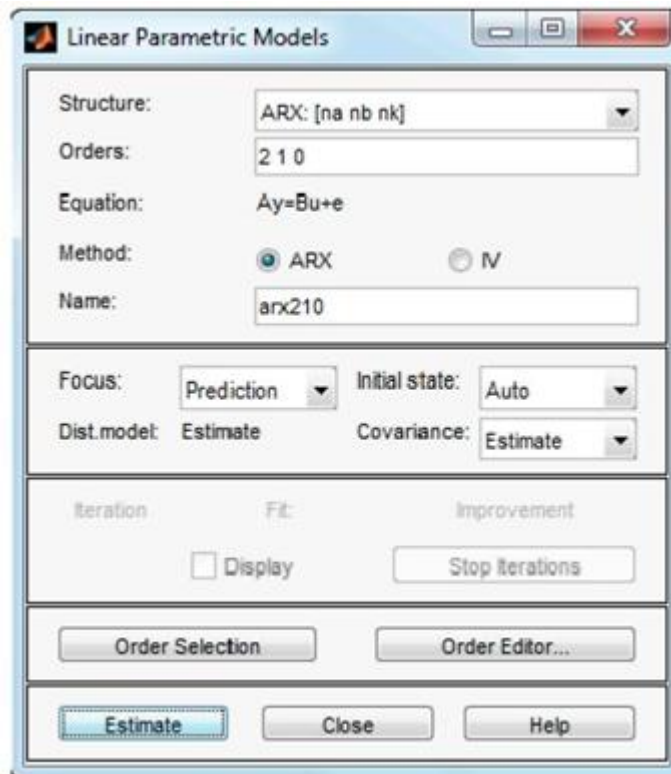


Рисунок 2.3.8 – Задання параметрів ARX-моделі системи

Отримаємо наступний результат(рис. 2.3.15)

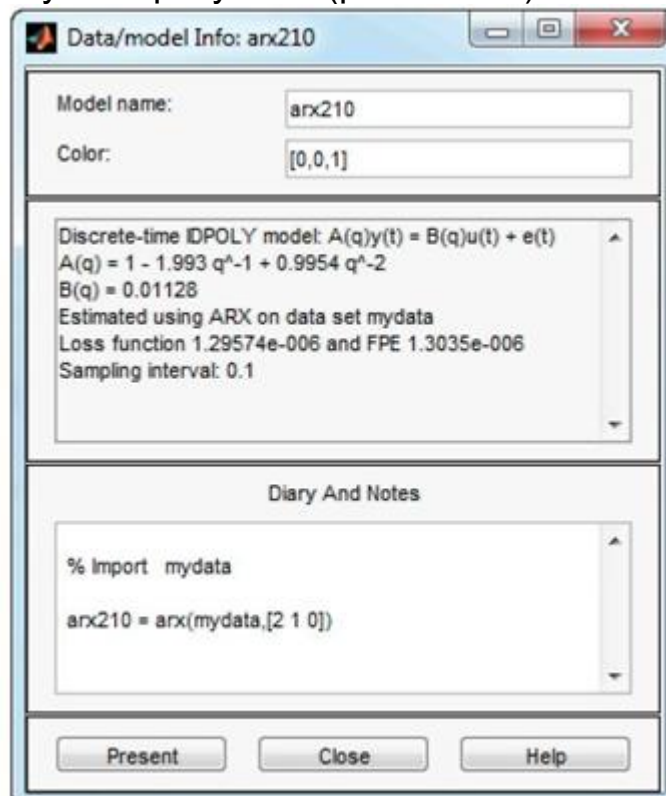


Рис. 2.3.9 – ARX-модель системи.

Виходячи зі значень отриманих коефіцієнтів поліномів А та В з урахуванням виду ARX-моделі, оцінка моделі має такий вигляд:

$$y_k = 1,993y_{k-1} - 0,9954y_{k-2} + 0,01128u$$

Розрахуємо вихідний сигнал на основі отриманої ARX-моделі. Для цього використаємо перші два дискретні значення виходу системи, розраховані в Simulink, а решту отримаємо за ARX-моделлю

```
Simout = Y;  
% Обчислення значення вихідного сигналу за параметрами  
% моделі та за попередніми 2-ма значеннями виходу simout(3)  
= 0.01128+1.993*simout(2)- 9954*simout(1);  
%Автоматизація процесу обчислення виходу моделі  
for i=4:1001  
    simout(i) = 0.01128+1.993*simout(i-1)-0.9954*simout(i-2); end  
% Побудова графіка вихідної величини plot(tout, Y, tout, simout)  
legend ('Y', 'simout')
```

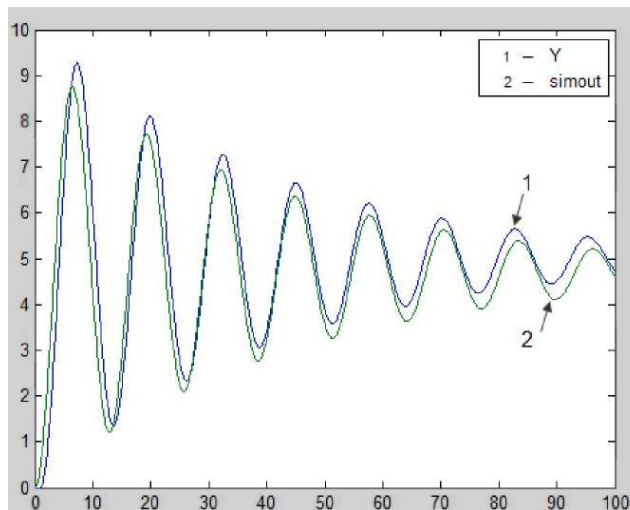


Рис. 2.3.10 – Графіки досліджуваної системи та отриманої моделі

Помилка моделі, як впливає з графіка на рис. 2.3.10, у багато разів менша, ніж у поліноміальної моделі десятого порядку за істотно меншого обсягу обчислень. Цю помилку можна ще більше зменшити шляхом зміни порядку ARX-моделі.

2.4 Рекомендації щодо розділу «Непараметрична та параметрична ідентифікація»

2.4.1 Підготовка та обробка вихідних даних

Підготуємо вхідні та вихідні дані для подальшої роботи. Нехай маємо деякі вимірювальні дані роботи термокамери. Створимо вектор-стовпці вихідних (y) і вхідних (u) даних у системі Matlab. Дані можна зберегти в єдиний mat-файл (наприклад "testData") для зручності імпорту в SystemIdentificationToolbox. У цьому випадку вектор u містить 1000

вимірювань температури в центрі камери, а вектор u - 1000 вимірювань споживаної потужності нагрівального елемента.

Зберегти отримані дані в єдиний *mat*-файл можна таким чином:

1. Створюємо нову змінну y : *File*→*New*→*Variable*. У вікні *Workspace* з'явиться нова змінна "*unnamed*". Перейменуємо її як " y ". Відкриємо отриману змінну в редакторі змінних *VariableEditor* подвійним клацанням миші і у вікні, що з'явилося, заповнимо масив вимірювальними даними. Для змінної u виконаємо аналогічні процедури.

2. Отримані змінні y і u зберігаємо в *mat*-файл. У вікні *Workspace* натискаємо кнопку *Save* і задаємо ім'я *mat*-файлу "*data*".

Для імпорту підготовлених даних у робочу область скористаємося командою: `load testData;`

У результаті виконання цієї команди в робочій області з'являться масив вхідних змінних u і масив вихідного параметра y . Інтервал дискретизації вказується додатково: `ts = 0.08;`

Дані для виконання курсової роботи знаходяться у файлі *dryer2*. Для завантаження цих даних потрібно виконати команду: `load dryer2;` Після цього потрібно встановити інтервал дискретизації за допомогою команди `ts = 0.08;`

Для подальшої роботи з даними необхідно сформувати об'єкт типу "*iddata*" (об'єкт ідентифікаційних даних, з якими може працювати *SystemIdentificationToolbox*), наповнивши його нашими експериментальними даними. Необхідність перетворення вихідних векторів y і u в єдиний об'єкт класу *iddata* зумовлена тим, що для нього доступні всі функції та команди аналізу систем. Конструктор класу *iddata* має такий вигляд: `sys_obj = iddata(y, u, ts)`, де параметр ts - заданий вище інтервал дискретизації.

У результаті ми отримали нову змінну *sysobj*, яку можна використовувати як дані в усіх процедурах оцінювання та аналізу систем. Для отримання інформації про властивості створеного нами об'єкта "*sysobj*" можна скористатися функцією *get()*:

```
info_obj = get(sys_obj).
```

Повертаються дані у вигляді структури *info_obj*, що описує наш об'єкт ідентифікації:

```
info_obj=
Домен: 'Time'
Ім'я: ''
OutputData: {[1000x1 double]}
OutputName: {'y1'}
OutputUnit: {''}
InputData: {[1000x1 double]}
InputName: {'u1'}
InputUnit: {''}
Період: {[Inf]}
InterSample: {'zoh'}
Ts: {[0.0800]}
```

```

Tstart: {}
SamplingInstants: {[1000x0 double]}
TimeUnit: ''
ExperimentName: {'Exp1'}
UserData: []

```

Для зручнішого подання даних необхідно ввести в структуру позначення вхідних і вихідних даних. Назвемо наші змінні "y" і "u" як "Temperature" і "Power" відповідно і визначимо їхні одиниці виміру шляхом безпосереднього звернення до полів структури "info_obj" об'єкта "sys_obj":

```

sys_obj.InputName = "Потужність";
sys_obj.OutputName = "Температура";
sys_obj.TimeUnit = "Секунди";
sys_obj.InputUnit = "Ватт";
sys_obj.OutputUnit = "°C".

```

Також є можливість працювати не з усіма експериментальними даними, а лише з їх частиною. Виділимо з нашої вихідної (генеральної) сукупності вибірку з 300 значень температури і потужності для оцінки моделі:

```
ze = sys_obj(1 : 300).
```

Виведемо отриманий об'єкт на екран (рис. 2.4.1), для чого скористаємося командою *plot()*, або командою *idplot()*, проте в останньому випадку графіки не міститимуть інформації про назву змінних та їхні розмірності:

```
plot(ze(200 : 300)).
```

У цьому разі буде виведено 100 вибірок сигналу y і u в інтервалі від 200 до 300.

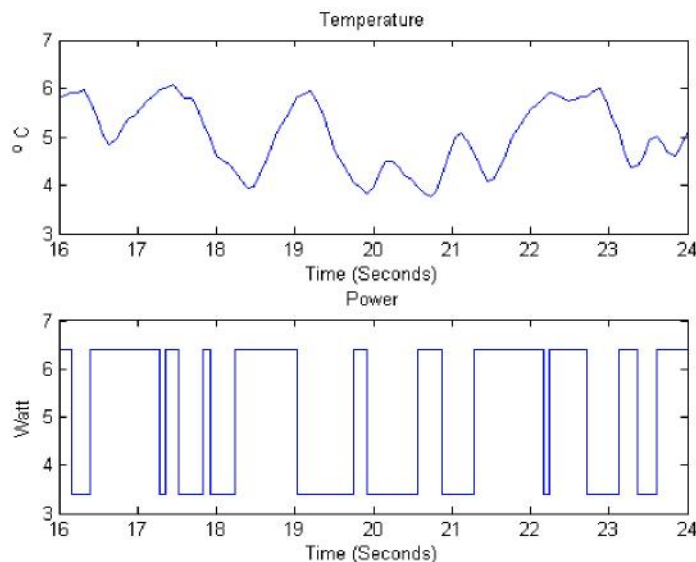


Рис. 2.4.1 – Дані для оцінки моделі

З отриманих графіків видно, що дані мають ненульову середню. Для подальшого використання вихідних даних необхідно провести попереднє опрацювання цих даних з метою видалення тренду і, якщо необхідно, відфільтрувати дані за допомогою наявних засобів пакета

SystemIdentification. Видалимо постійну складову, за допомогою функції *detrend()*:

```
ze = detrend(ze).
```

Виведемо на екран отримані результати з віддаленою постійною складовою (рис. 2.4.2):

```
plot(ze(200 : 300)).
```

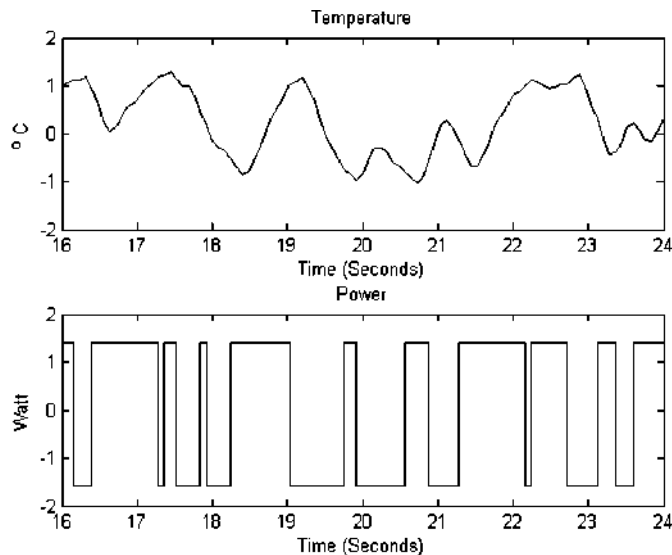


Рис. 2.4.2 – Дані моделі з віддаленою постійною складовою

У результаті цього отримано новий файл даних, у якому відсутня постійна складова сигналу. Цей файл надалі буде нами використано для побудови моделей ТОУ.

Крім наведеної команди видалення тренду в пакеті System Identification Toolbox є інші функції опрацювання даних експерименту, з якими можна ознайомитися в описі пакету [12]. Застосування цих функцій вимагає обережності та виконується в тих випадках, коли проведено попередній аналіз ТОУ та визначено можливі перешкоди або деякі інші динамічні характеристики, або з'являється потреба змінити інтервал дискретизації в разі підвищеної похибки представлення моделі ТОУ під час параметричного оцінювання.

2.4.2 Непараметричні методи ідентифікації

Визначимо оцінку імпульсної характеристики, скориставшись функцією *cra()*, встановивши параметри "M", "na" обраними за замовчуванням (див. табл. 3.1), а для підвищення точності статистичної моделі використаємо весь масив експериментальних даних. У цьому разі виклик функції матиме такий вигляд:

```
[ir, R, cl] = cra(sys_obj, [], [], 2)
```

Для наочнішого представлення, помістимо результати роботи функції в таблицю 2.4.2.

Таблиця 2.4.2

ip	R					cl
-0.0023	-20.0000	0.0171	-0.0599	0.0135		0.0435
-0.0014	-19.0000	0.0161	0.1115	0.0416		
0.0003	-18.0000	0.0147	0.0011	0.0655		
0.0657	-17.0000	0.0125	0.0455	0.0575		
0.1233	-16.0000	0.0100	0.0070	0.0531		
0.1361	-15.0000	0.0075	0.0149	0.0591		
0.1235	-14.0000	0.0060	-0.0444	0.0663		
0.1037	-13.0000	0.0050	-0.0571	0.0710		
0.0800	-12.0000	0.0056	-0.0075	0.0576		
0.0641	-11.0000	0.0073	0.0260	0.0439		
0.0504	-10.0000	0.0095	0.0028	0.0153		
0.0368	-9.0000	0.0127	-0.0022	-0.0025		
0.0270	-8.0000	0.0171	0.0011	-0.0131		
0.0180	-7.0000	0.0227	0.0052	-0.0062		
0.0186	-6.0000	0.0303	-0.0008	-0.0169		
0.0127	-5.0000	0.0403	-0.0022	-0.0065		
0.0088	-4.0000	0.0525	0.0043	0.0102		
0.0028	-3.0000	0.0673	-0.0093	-0.0038		
-0.0010	-2.0000	0.0835	0.0120	-0.0078		
0.0006	-1.0000	0.0979	-0.0132	0.0085		
0.0019	0 0	.1053 1.	2445 -0	.0079		
.		

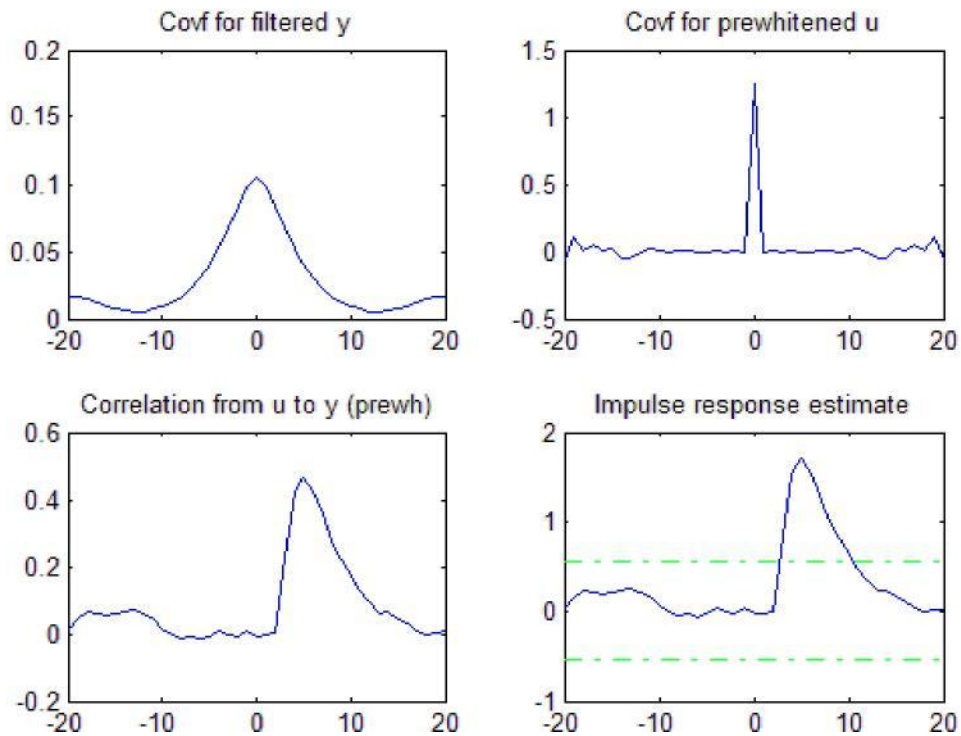


Рис. 2.4.3 – Графіки функцій: а) АКФ або коваріація (covf) вихідного сигналу; б) АКФ (covf) вхідного сигналу; в) ВКФ (prewh) вхідного і вихідного сигналу; г) імпульсна характеристика

Аналізуючи отримані залежності на рис. 2.4.3, слід узяти до уваги, що за віссю абсцис відкладаються проміжки часу $\tau = t_i - t_{i-1} = ts$ (точніше,

кількість M затримок τ), а за віссю ординат - значення ІХ і кореляційних функцій (АКФ, ВКФ) для вхідного u і вихідного y сигналів.

Кореляційні функції на графіках узяті з матриці R , у якій перший стовпчик визначає значення відліків у часі, другий і третій стовпчики - АКФ вихідного y і вхідного u сигналу (парні функції), а останній стовпчик містить ВКФ сигналів y і u . ВКФ є, як бачимо, масштабною копією оцінки імпульсної характеристики системи на рис. 3.3 г. Бачимо також, що кореляція здійснюється за позитивних значень τ і, отже, вхідна змінна u має залежність із пізнішими значеннями вихідної змінної y .

Для отримання частотних характеристик за експериментальними даними скористаємося функціями оцінювання частотних характеристик $spa()$ і $bodeplot()$, які реалізують перехід із часової в частотну область на основі перетворення Фур'є:

```
gs = spa(ze);  
bodeplot(gs).
```

Результатом виконання є виведення графіків АЧХ і ФЧХ (рис. 2.4.4).

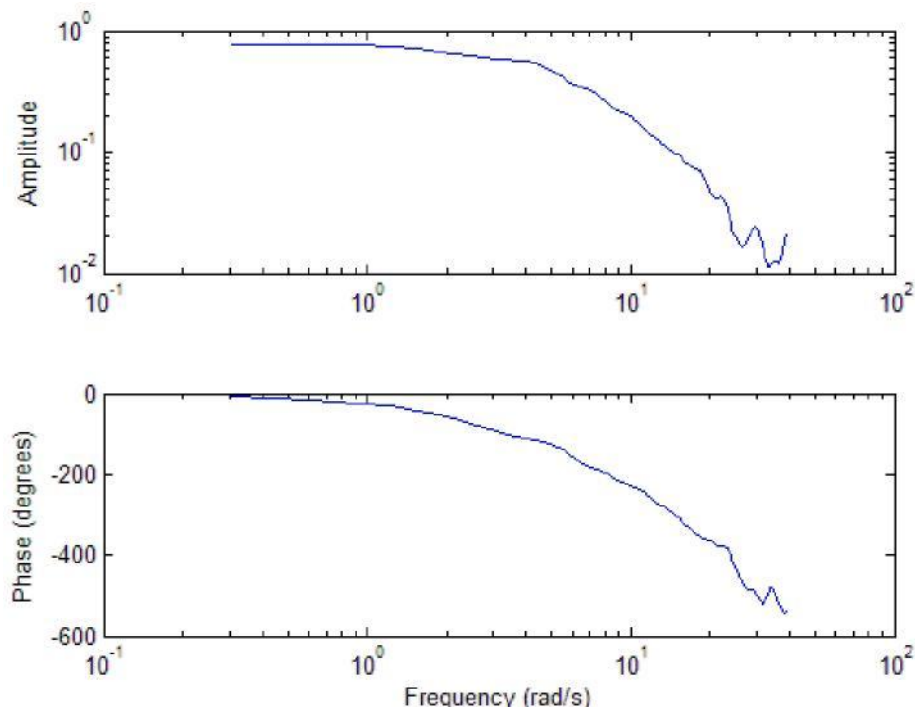


Рис. 2.4.4 – АЧХ і ФЧХ моделі, отримані непараметричним методом $spa()$

2.4.3 Параметричні методи ідентифікації

Параметричне оцінювання експериментальних даних проводиться з метою визначення параметрів моделі заданої структури шляхом мінімізації обраного критерію якості моделі. Для проведення параметричного оцінювання масив експериментальних даних у розділі 2.4.1 було розділено умовно на дві частини. Першу з яких ("ze") використовуватимуть безпосередньо для параметричного оцінювання та побудови моделі ТОУ, а частину, що залишилася, - для визначення

адекватності отриманої моделі (верифікації) та визначення похибок ідентифікації.

Побудуємо ARX-модель, опис якої наведено в розділі 2.1.3. Параметри моделі [na nb nk] (порядок полінома A, порядок полінома B, затримка входу) виберемо такими: $m2 = \text{arx}(ze, [2 \ 2 \ 3])$.

Відомо, що зі збільшенням порядку поліномів поліпшується адекватність моделі реальному об'єкту. Однак при цьому збільшується громіздкість моделі та час моделювання, тому необхідно визначити оптимальний порядок залежно від заданої точності моделювання.

Щоб побачити побудовану модель $m2$, введемо назву моделі у вікні командного рядка і натиснемо клавішу Enter, отримаємо:

```
Discrete-time IDPOLY model: A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t)
A(q) = 1 - 1.274 q^-1 + 0.3935 q^-2
B(q) = 0.06662 q^-3 + 0.04448 q^-4
Estimated using ARX on data set ze
Loss function 0.00166284 and FPE 0.00170718
Sampling interval: 0.08 Seconds
```

Перехідна характеристика моделі $m2$ несуттєво відрізняється від перехідної характеристики моделі ze , обчисленої за експериментальними даними:

```
impulse(ze, 'sd', 3);
impulse(m2, 'sd', 3).
```

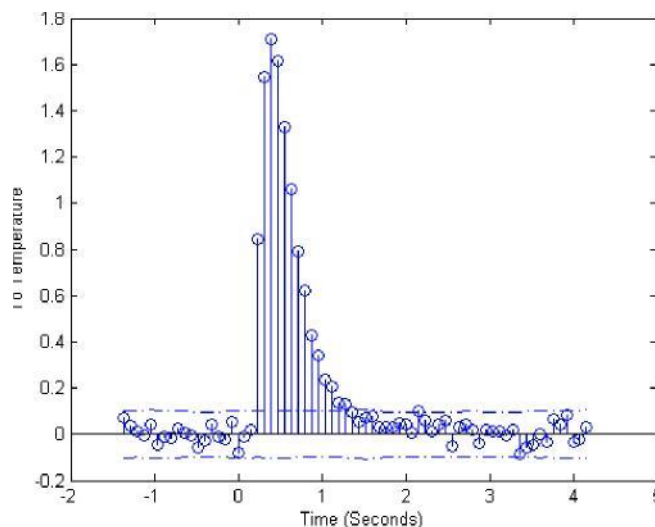


Рис. 2.4.5 – Імпульсний відгук системи

Модель у просторі станів. Простий спосіб оцінювання моделі полягає у використанні апарату моделей простору станів. Проведемо оцінку моделі з використанням функції *pem()*:

```
m1 = pem(ze) .
```

Порядок моделі визначиться автоматично (див. табл. 2.4.1). Для того щоб подивитися параметри розрахункової моделі, введемо назву моделі у вікні командного рядка. У результаті отримаємо:

```
m1
State-space model: x(t+Ts) = A x(t) + B u(t) + K e(t)
y(t) = C x(t) + D u(t) + e(t)
```

```

A =
x1 x2 x3
x1 0.95246 -0.21026 0.053065
x2 0.25434 0.6483 0.23707
x3 -0.051355 -0.66102 0.13742
B =
Power
x1 0.00031518
x2 0.01563
x3 0.057909
C =
x1 x2 x3
Temperature -14.058 0.094752 0.042548
D =
Power
Temperature 0
K =
Temperature
x1 -0.066092
x2 0.0094344
x3 0.092941
x(0) =
x1 0
x2 0
x3 0

```

Щоб отримати окремі параметри і властивості отриманої моделі, наприклад, матрицю станів "A" об'єкта, отриманого вище, ми можемо використати оператор "крапка" для звернення до поля об'єкта *m1*:

```
A = m1.a
```

Для того, щоб дізнатися, які поля об'єкта *m1* можуть бути повернуті для подальшої роботи з ними користувача, можна скористатися командою:

```

get(m1);
ans =
A: [3x3 double]
B: [3x1 double]
C: [-14.0584 0.0948 0.0425]
D: 0
K: [3x1 double]
X0: [3x1 double]
dA: []
dB: []
dC: []
dD: []
dK: []
dX0: []
SSparameterization: 'Free'
As: [3x3 double]
Bs: [3x1 double]
Cs: [NaNNaNNaN]
Ds: 0
Ks: [3x1 double]

```

```

X0s: [3x1 double]
StateName: {3x1 cell}
InitialState: 'Auto'
nk: 1
DisturbanceModel: 'Estimate'
CanonicalIndices: 'Auto'
Name: ''
Ts: 0.0800
InputName: {'Power'}
InputUnit: {'Watt'}
OutputName: {'Temperature'}
OutputUnit: {'^o C'}
TimeUnit: 'Seconds'

```

Отримаємо діаграми Бодє за допомогою функції *bode()*, як показано нижче, за якими зазвичай визначають частоту зрізу, критичну частоту та інші динамічні характеристики моделі:

```
bode(m1)
```

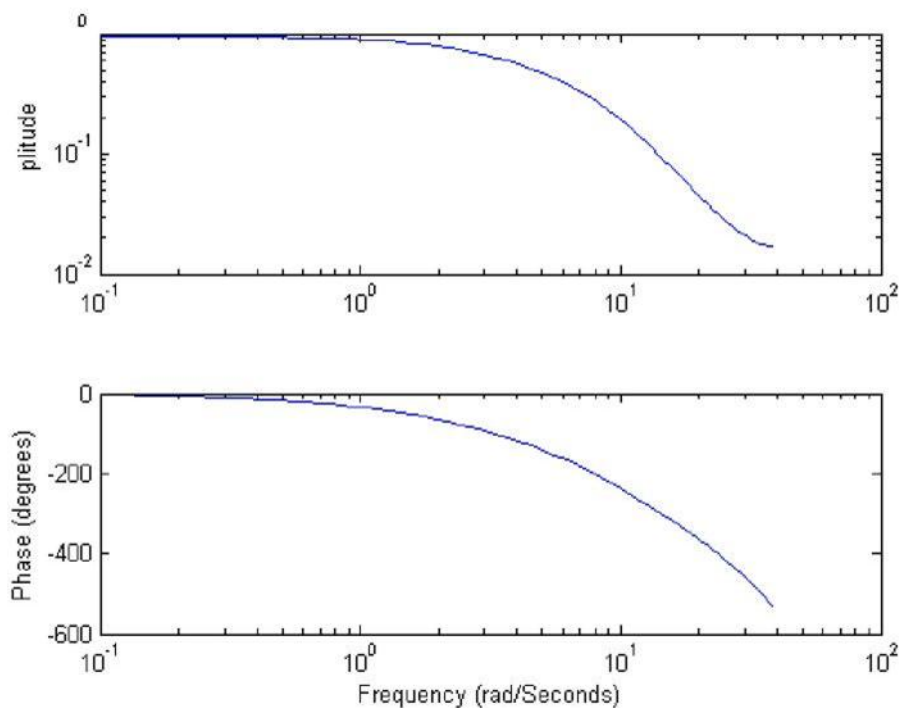


Рис. 2.4.6 – Амплітудно-частотна і частотна характеристики розрахункової моделі з автоматично обраним порядком

Також можете створити годограф Найквіста за допомогою функції *nyquist()*:

```
nyquist(m1, 'sd', 3)
```

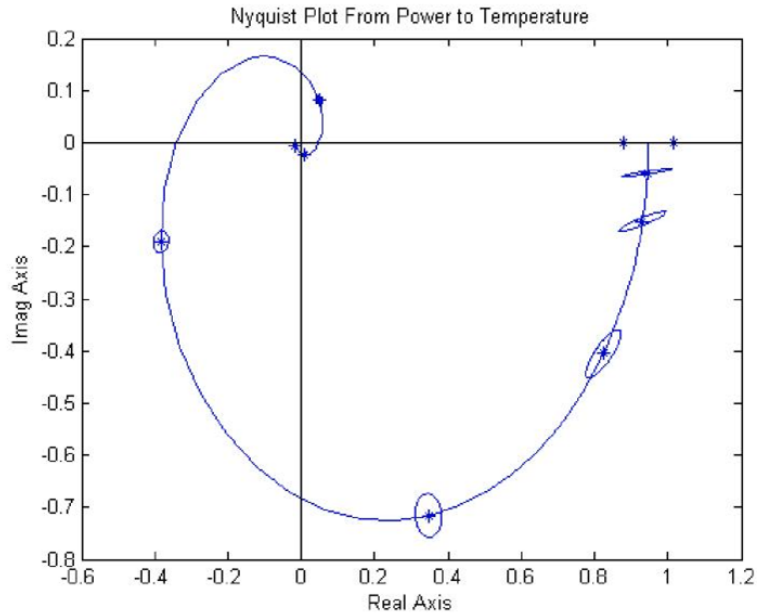


Рис. 2.4.7 – Годограф Найквіста

Бачимо, що в цьому разі система є стійкою, тому що годограф під час зміни частоти ω від $-\infty$ до $+\infty$ не охоплює особливої точки $(-1, j0)$.

Параметр $sd = 3$ дає змогу вивести на графіку довірчий інтервал, де значення 3 відповідає за його ширину в три середньоквадратичні відхилення, званий інтервалом максимально можливих відхилень, до якого потрапляє 99 % випадкових відхилень даних. Отже, якщо задано параметр 'sd', то на діаграмі будуть точки з виділенням еліпсами, у яких істинне значення можна визначити з довірчою ймовірністю, що відповідає стандартному середньоквадратичному відхиленню або кратному йому (розподіл Гауса). За замовчуванням ці точки будуються на кожному десятому значенні частоти. Якщо як параметр "*standarddeviation*" задати, наприклад, 'sd+5', то точки з відповідною довірчою ймовірністю будуватимуться на кожній п'ятій частоті.

Перехідна характеристика моделі *m1* дещо відрізняється від перехідної характеристики моделі *ze*, обчисленої безпосередньо з експериментальних даних:

```
step(m1, 'b', ze, 'r')
```

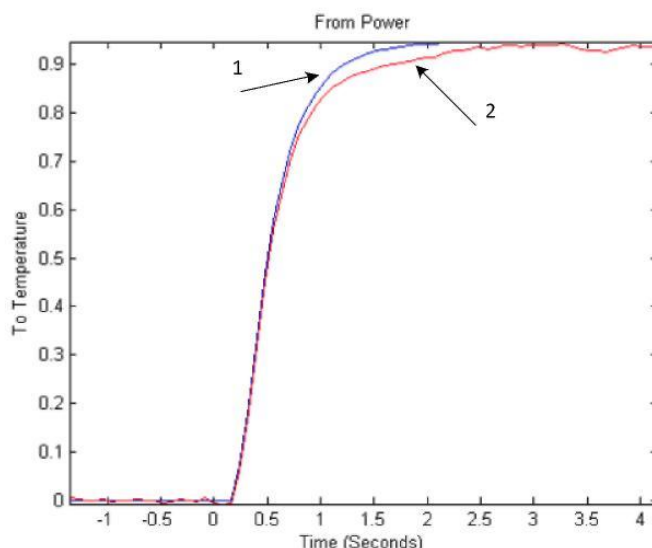


Рис. 2.4.8 – Порівняльні перехідні характеристики на основі розрахункової моделі (блакитний колір 1) та експериментальних даних (червоний колір 2)

2.4.4 Верифікація моделей за експериментальними даними

Найважливішим етапом ідентифікації моделей об'єктів є перевірка якості моделі за обраним критерієм близькості виходу моделі та об'єкта, тобто перевірка її адекватності. У пакеті System Identification Toolbox MATLAB як такий критерій прийнято оцінку адекватності моделі *fit*, яку розраховують за такою формулою:

$$fit = 100 * (1 - norm(yh - y) / norm(y - mean(y))),$$

де y - вимірювані вихідні дані; yh - дані, отримані в результаті моделювання; $norm()$ - функція розрахунку норми вектора; $mean()$ - функція розрахунку середнього значення.

Проведемо порівняння результатів моделювання з реальними вимірювальними даними. Як вимірювальні дані скористаємося частиною вихідних даних *dry*, які не використовувалися в побудові моделі (наприклад, точки 800...900). Використовуємо функцію порівняння *compare()*, як показано нижче, щоб побачити якість прогнозу:

```
%Вибір даних для порівняння
zv = data(800 : 900);
% Видалення постійної складової
zv = detrend(zv);
% Порівняння з експериментальними даними
compare(zv, m1);
```

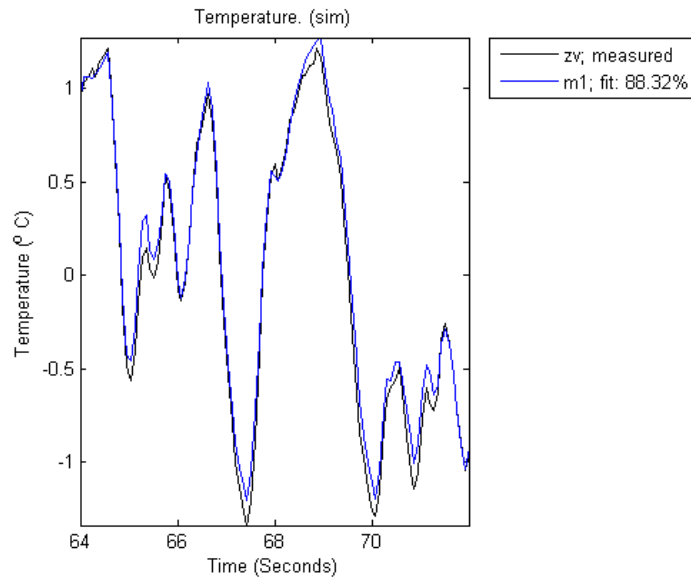


Рис. 2.4.9 – Верифікація моделі

Функція `compare()` відображає порівняльні графіки, що вказують на критерій адекватності моделі, виражений у відсотках (fit, %). З графіків можна сказати, що отримана модель досить точно описує поведінку реального об'єкта.

Порівнюємо розрахункові моделі. Для порівняння продуктивності різних параметричних моделей, таких як `m1` і `m2`, з експериментальною моделлю даних `zv`, ми знову можемо використовувати відому команду порівняння `compare()`:

```
compare(zv, m1, 'b', m2, 'r').
```

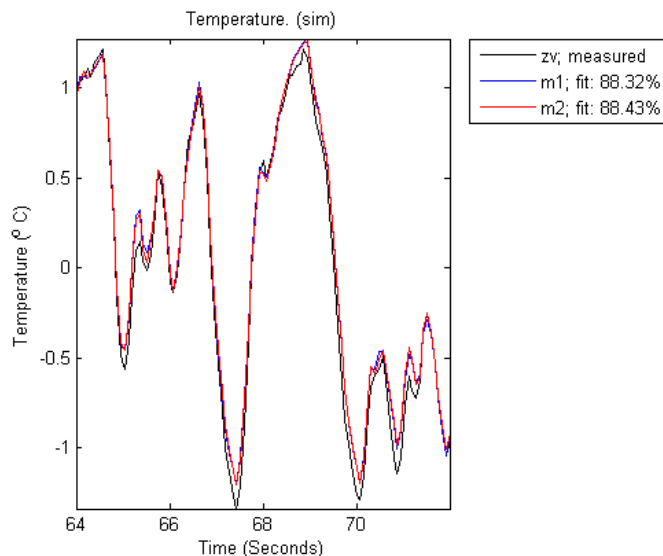


Рис. 2.4.10 – Порівняння моделей `m1` і `m2` з моделлю `zv`

Бачимо, що обидві моделі `m1` і `m2` дають приблизно однакові результати.

Відповідно до властивостей авторегресійних моделей полюси стаціонарної моделі мають лежати в окружності одиничного радіуса на площині параметрів, що автоматично гарантує її стійкість, а знаходження хоча б одного полюса на межі одиничного кола визначає межу стійкості моделі. Карту нулів і полюсів для двох моделей можна отримати з використанням функції `pzmap()`, виділивши модель *m1* блакитним (*b*), а модель *m2* червоним (*r*) кольором:

```
pzmap(m1, 'b', m2, 'r')
```

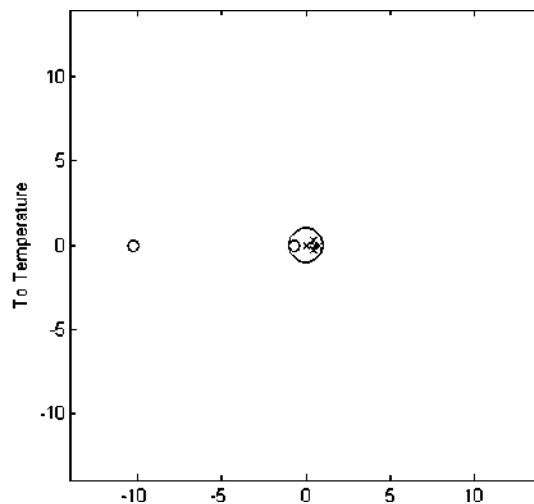


Рис. 2.4.11 – Полюси та нулі двох моделей *m1* і *m2* (нулі позначені колами)

Для збільшеного представлення графіка використовуємо такий оператор:

```
pzmap(m1, 'b', m2, 'r', 'sd', 3, 'axis', 1)
```

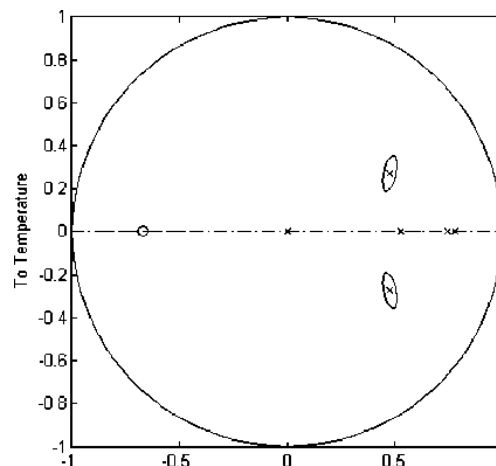


Рис. 2.4.12 – Збільшене представлення нулів і полюсів моделей

Дані графіка показують, що модель дійсно є стійкою. Амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) і фазо-частотні характеристики (ФЧХ), які відповідають двом оцінюваним моделям, можна відобразити за допомогою функції `bode()` у такому вигляді:

```
bode(m1, m2) .
```

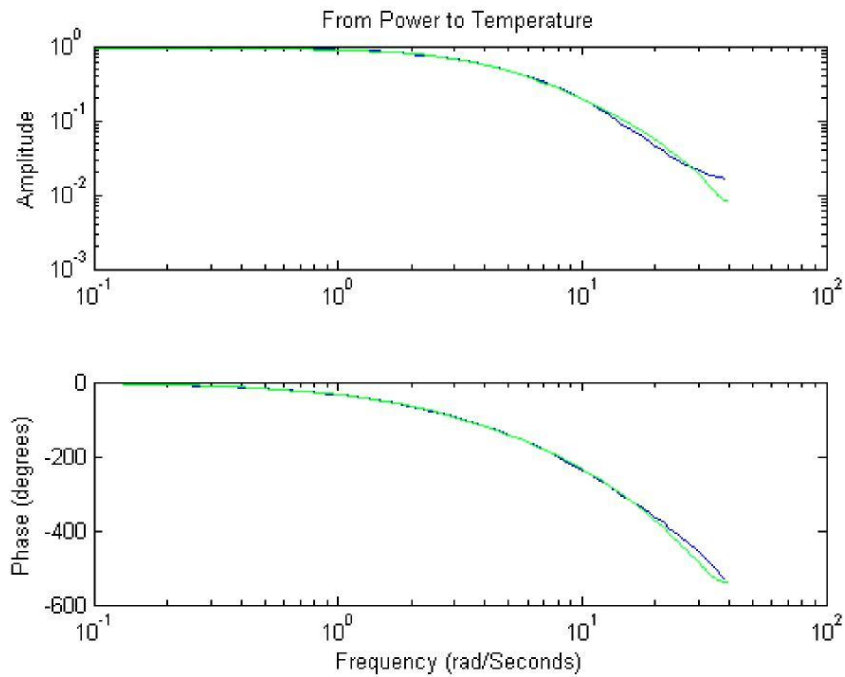


Рис. 2.4.13 – Порівняльні АЧХ і ФЧХ оцінюваних моделей

АЧХ і ФЧХ оцінюваних моделей можна порівняти з моделлю "gs", отриманою на основі непараметричного спектрального методу (*spr()*), описаного в розділі 2.4.3. Результати порівняння наведено на рис. 2.4.14.

```

bode(m1, m2, gs);
% "Легенда" графіків - графіки іменуються графіки за порядком їх
% виведення на екран.
legend('m1', 'm2', 'gs')

```

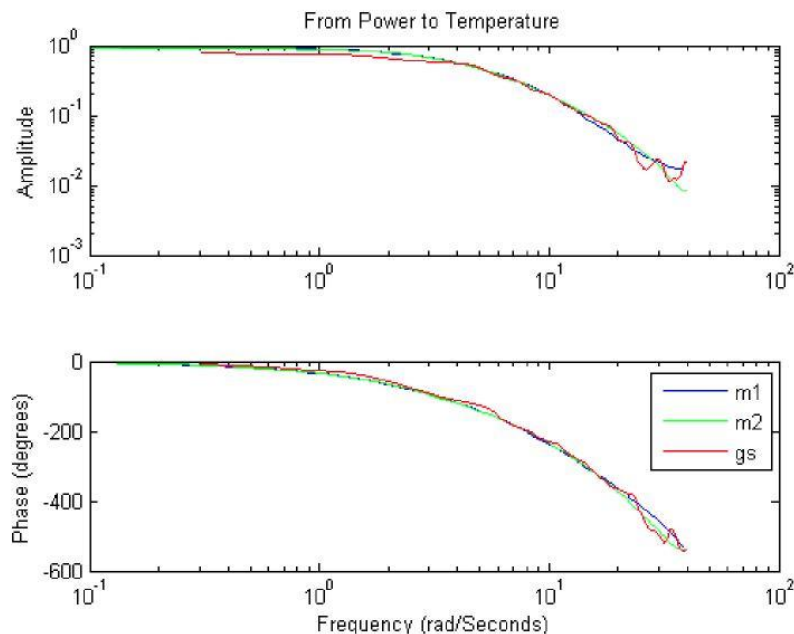


Рис. 2.4.14 – Діаграми Бодє параметричних моделей *m1* і *m2* та непараметричної моделі спектрального оцінювання *gs*

Видно, що результуючі АЧХ і ФЧХ трьох моделей дуже близькі. Крім того, з метою оцінювання точності моделей діаграма Найквіста також може

бути проаналізована в точках, розв'язок у яких можна визначити із заданою довірчою ймовірністю (виділено еліпсами):

```
nyquist(m1, m2, gs, 'sd', 3)
```

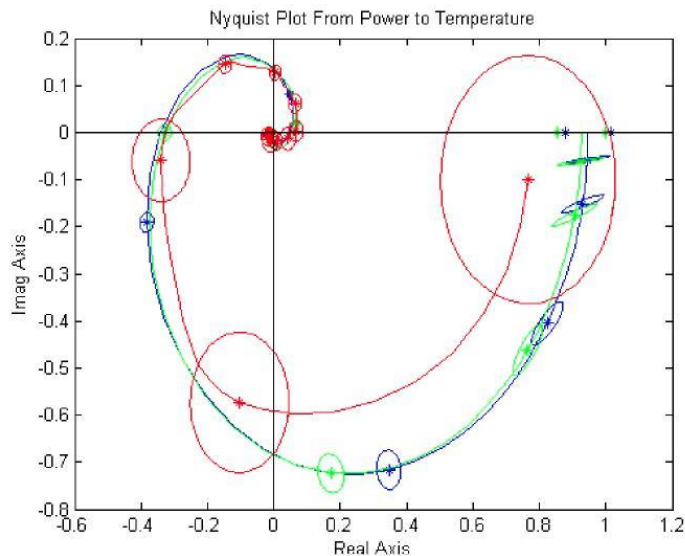


Рисунок 2.4.15 – Годограф Найквіста моделей $m1$, $m2$, gs

Бачимо, що всі моделі визначають об'єкт стійким, проте непараметрична модель gs має нижчу точність, що видно зі збільшеного значення величини довірчого інтервалу. Параметричні моделі $m1$, $m2$ дають приблизно однакові результати [3-6].

2.5 Рекомендації щодо розділу «Побудова нелінійних ARX моделей»

2.5.1 Постановка задачі

У реальному житті лінійних об'єктів і процесів не існує. Усі вони характеризуються тим чи іншим ступенем нелінійності. Існує низка ситуацій, коли лінійної моделі недостатньо для адекватного опису поведінки об'єкта. У цьому разі необхідно враховувати його нелінійність і, отже, будувати нелінійну модель. У лабораторній роботі використано демонстраційні та довідкові дані MatLab і SystemIdentificationToolbox.

2.5.2 Довідкові відомості щодо пакету System Identification Toolbox

System Identification Toolbox надає кілька нелінійних оцінок $g(x)$ для нелінійних моделей ARX. Нелінійність формується у вигляді вейвлета (wavenet), сигмоїдальної мережі (sigmoidnet), бінарного дерева (treepartition), багаторівневої нейронної мережі (neuralnet), лінійної оцінки (linear) [12]. За замовчуванням використовується нелінійна оцінка у вигляді вейвлета.

Відомо, що вейвлет-аналіз є частиною частотно-часового (різновид спектрального) аналізу [10], в якому роль простих коливань відіграють функції особливого роду, які називаються вейвлетами. Базисна функція вейвлета - це деяке "коротке" коливання, але не тільки. Поняття частоти спектрального аналізу тут замінено масштабом, та, щоб перекрити "короткими хвилями" всю часову вісь, введено зсув функцій у часі. Базис вейвлетів – це функції типу $f((t-b)/a)$, де b – зсув, a – масштаб. Функція $f(t)$ повинна мати нульову площу й осцилює біля деякого значення часу $t-b$. Фур'є-перетворення таких функцій має вигляд смугового фільтра і при різних значеннях масштабного параметра 'а' це буде набір смугових фільтрів. Сімейства вейвлетів у часовій або частотній ділянці використовують для подання сигналів і функцій у вигляді суперпозицій вейвлетів на різних масштабних рівнях декомпозиції (розкладання) сигналів.

Вигляд такого вейвлета і мають нелінійні оцінки $g(x)$ моделей ARX

$$g(x) = \sum_{n=0}^N \alpha_n f(\beta_n(x(t - \gamma_n))) \quad (2.5.1)$$

де $f(z)$ – базисний вейвлет,

$z = \beta_n(x(t - \gamma_n))$ – регресор;

α_n – координати сигналу в обраному базисі,

x - сигнал, що бере участь у формуванні регресора,

γ_n – часова затримка сигналу x .

Аналогічний нелінійний вигляд має однорівнева сигмоїдальна мережа, у якій:

$$k(z) = (e^z + 1)^{-1} \quad (2.5.2)$$

Оцінка *linear* має лінійну залежність щодо регресорів, але в ній можливе завдання нелінійних користувацьких регресорів.

Перелік використаних у роботі операторів для формування нелінійних ARX-моделей наведено в таблиці 2.5.1.

Таблиця 2.5.1 – Перелік використаних у роботі операторів для формування нелінійних ARX-моделей

Функція	Синтаксис	Опис
nlarx()	<i>nlarx</i> (дані, порядок моделі, вид нелінійності, користувацькі регресори, регресори в нелінійному блоці)	Функція побудови нелінійної ARX моделі. У результаті створюється об'єкт типу "структура", що містить поля з інформацією про параметри моделі. Аргумент <i>порядок моделі</i> являє собою масив [<i>na nb nk</i>], де параметри моделі <i>na, nb, nk</i> для SISO-об'єкта є скалярними числами, а для MIMO-об'єкта - матрицями, розмірності яких залежать від числа входів і виходів моделі
getreg()	<i>getreg</i> (модель)	Функція видає рядок виразів або значень регресорів у моделі <i>idnlarx</i>
compare()	<i>compare</i> (набір контрольних даних, модель 1,..., модель n)	Функція перевірки адекватності отриманих моделей
polyreg()	<i>polyreg</i> (модель, ступінь полінома, взаємодіючі регресори)	Функція створення списку користувацьких регресорів, шляхом піднесення до зазначеного ступеня звичайних регресорів, що використовуються в моделі, із зазначенням їхньої перехресної взаємодії
addreg()	<i>addreg</i> (модель, користувацькі регресори)	Функція об'єднання списку регресорів наявної моделі та списку користувацьких регресорів
customreg()	<i>customreg</i> (@функція, змінні, затримки змінних, векторизація)	Конструктор користувацьких регресорів. Дозволяє як регресор використовувати будь-які функції з будь-якою взаємодією змінних. Структуру функції можна задавати перед використанням оператора, при цьому в якості формальних вхідних аргументів, у функцію пересилатимуться змінні, зазначені в операторі <i>icustomreg</i> , у тому порядку, у якому вони перераховуються. Наприклад: $F = @(x1,x2,x3)\sin(x1.*x2+x3)$ де (<i>x1,x2,x3</i>) - список формальних вхідних аргументів функції $\sin(x1.*x2+x3)$, місце яких надалі займають регресори задачі

2.5.3 Приклад побудови моделі SISO

Файл *icEngine.mat* містить один набір даних з 1500 значеннями входу і виходу двигуна внутрішнього згоряння з інтервалом дискретизації 0,04 секунди. Вхід $u(t)$ - це напруга управління очікування повітряного клапана (тобто дросельна заслінка, керована зазвичай педалью газу в автомобілі, але в цьому випадку за допомогою електромагнітного повітряного клапана), а вихід $y(t)$ - частота обертання двигуна [(об/хв)/100] Дані завантажуються та розділяються на набір даних для оцінювання моделей (*ze*) і набір даних для перевірки моделей (*zv*).

```
load icEngine
z = iddata(y, u, 0.04);
ze = z(1 : 1000);
zv = z(1001 : 1500);
```

Параметри моделі [*na nb nk*] (порядок полінома *A*, порядок полінома *B*, затримка входу), які також використовуються в лінійній моделі ARX, дають змогу визначити стандартні регресори. Виберемо параметри

моделі. Для цього прикладу будемо використовувати $[na \ nb \ nk] [4 \ 2 \ 10]$, що відповідає стандартним регресорам $y(t-1)$, $y(t-2)$, $y(t-3)$, $y(t-4)$, $u(t-10)$, $u(t-11)$.

Зверніть увагу, що використовується лінійна оцінка і, таким чином, отримана модель схожа на лінійну модель ARX.

```
m0 = nlarx(ze, [4 2 10], linear);  
% Значення "linear" визначає використання  
% тільки лінійного блоку
```

Отже, $m0$ - нелінійна модель об'єкта в лінійному наближенні. Назва входу, виходу та назва списку регресорів цієї моделі показано нижче. Зверніть увагу, що за замовчуванням використовуються імена 'u1', 'y1'.

Отже, $m0$ - нелінійна модель об'єкта в лінійному наближенні. Назва входу, виходу та назва списку регресорів цієї моделі показано нижче. Зверніть увагу, що за замовчуванням використовуються імена 'u1', 'y1'.

```
m0.InputName  
ans =  
'u1'  
m0.OutputName  
ans =  
'y1'  
getreg(m0)  
Regressors:  
y1(t-1)  
y1(t-2)  
y1(t-3)  
y1(t-4)  
u1(t-10)  
u1(t-11)
```

2.5.3.1 Створення регресорів

Прості регресори, задані рядком. Прості користувацькі регресори можна задати у вигляді рядка за допомогою службового слова 'customreg':

```
m1 = nlarx(ze, [4 2 10], linear, 'customreg', ...  
{'u1(t-10)^2', 'y1(t-1)^2'})
```

Незважаючи на використання лише лінійного розрахункового блоку "linear", отримана модель є нелінійною, оскільки як параметри використовуються нелінійні регресори.

Загальний перелік регресорів як стандартних, так і користувацьких, повертається функцією `getreg()`.

```
getreg(m1)  
Регресори:  
y1(t-1)  
y1(t-2)  
y1(t-3)  
y1(t-4)  
u1(t-10)  
u1(t-11)  
u1(t-10)^2  
y1(t-1)^2
```

Давайте порівняємо дві моделі на контрольному наборі даних *zv*.
`compare(zv, m0, m1)`

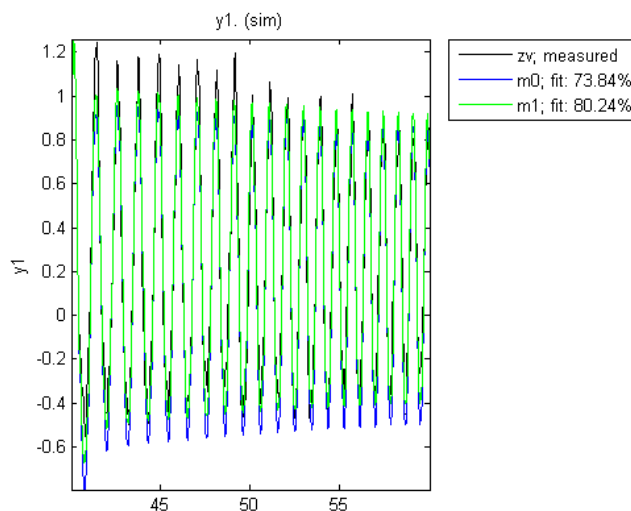


Рисунок 2.5.1 – Графік перевірки адекватності отриманої моделі

Як видно з графіка, модель *m1*, що використовує користувацькі регресори, має кращий збіг із поведінкою системи, ніж модель, побудована з використанням тільки стандартних регресорів.

Користувацькі регресори можуть визначатися будь-яким набором попередніх вхідних і вихідних змінних, і не обов'язково відповідають списку стандартних регресорів. У наступному прикладі стандартні регресори відсутні

```
m2 = nlarx(ze, [0 0 0], 'linear', 'customreg', ...
{'u1(t-10)^3', 'u1(t-11)^3', 'y1(t-1)', 'sin(y1(t-4))'});
getreg(m2)
Regressors:
u1(t-10)^3
u1(t-11)^3
y1(t-1)
sin(y1(t-4))
```

Поліноміальні регресори. Поліноміальні регресори можуть бути створені за допомогою команди *polyreg()*:

```
m3 = nlarx(ze, [4 2 10], 'linear '); %Створення моделі
pr = polyreg(m3, 'maxpower', 2, 'crossterm', 'off');
% Створення користувацького регресора у вигляді полінома 2-го
% порядку (maxpower=2) від звичайних регресорів без
% їхньої взаємодії(crossterm=off')
%Добавлення користувацьких регресорів у модель
m3 = addreg(m3, pr);
%Створення нової моделі з урахуванням користувацьких
регресорів
m3 = nlarx(ze, m3);
getreg(m3)
Regressors:
y1(t-1)
```

```

y1(t-2)
y1(t-3)
y1(t-4)
u1(t-10)
u1(t-11)
y1(t-1).^2
y1(t-2).^2
y1(t-3).^2
y1(t-4).^2
u1(t-10).^2
u1(t-11).^2

```

Ця операція допомагає автоматизувати створення регресорів, особливо якщо порядок *поліномів* *A* і *B* заздалегідь невідомий.

Конструктор користувацького регресора досліджуваного об'єкта.

Використана раніше форма рядка зручна для створення лише простих користувацьких регресорів. За необхідності завдання регресора у вигляді складної функції, зручніше скористатися конструктором призначеного для користувача регресора, що є потужнішим засобом для створення довільних регресорів.

У наступному прикладі, регресор створюється як функція *cos* змінної з іменем *'u1'* і затримкою 10 відліків, іншими словами: $r1 = \cos(u1(t-10))$. Логічне значення останнього вхідного аргументу показує - є користувацький регресор вектором (1 або *true*) або скаляром (0 або *false*). Векторизований (векторний, представлений у вигляді вектор-стовпчика) регресор швидший у розрахунках, оскільки визначені в MATLAB векторні операції відбуваються істотно швидше скалярних, але вимагає обережного використання функцій перших вхідних аргументів:

```

r1 = customreg(@cos, 'u1', 10, true)
Custom Regressor:
String expression: cos(u1(t-10))
Function: @cos
Arguments: {'u1'}
Delays: 10
Vectorized: 1
TimeVariable: 't'

```

У наступному прикладі беруть участь 3 змінні. Зверніть увагу, що замість оператора "*" для векторизованого регресора використовується оператор ".*" (поелементне множення).

```

F = @(x1,x2,x3)sin(x1.*x2+x3); % де (x1,x2,x3)
% Список формальних вхідних аргументів функції sin(x1.*x2+x3),
r2 = customreg(F, {'y1', 'u1', 'u1'}, [1 10 11], true)
% де {'y1', 'u1', 'u1'} - список фактичних аргументів
% використовуваних функцією F із затримками
% [1 10 11] відповідно
CustomRegressor:
String expression: sin(y1(t-1).*u1(t-10)+u1(t-11))
Function: @(x1,x2,x3)sin(x1.*x2+x3)
Arguments: {'y1' 'u1' 'u1'}
Delays: [1 10 11]
Vectorized: 1

```

```
TimeVariable: 't'
```

Обидва створені користувачькі регресори можна використовувати в моделі IDNLARX.

```
m4 = nlarx(ze, [4 2 10], 'linear', ...'customreg', [r1;r2]);  
% де [r1; r2] - створені раніше призначені для користувача регресори  
getreg(m4)  
Regressors:  
y1(t-1)  
y1(t-2)  
y1(t-3)  
y1(t-4)  
u1(t-10)  
u1(t-11)  
cos(u1(t-10))  
sin(y1(t-1).*u1(t-10)+u1(t-11))
```

2.5.3.2 Використання користувачьких регресорів для нелінійних оцінок

Як правило, користувачькі регресори використовують для знаходження лінійних оцінок, як у попередніх прикладах, але їх також можна застосовувати і для нелінійних оцінок.

Для прикладу розглянемо побудову нелінійної оцінки моделі з використанням вейвлета.

```
m5 = nlarx(ze, [4 2 10], 'wavenet', ...'customreg', [r1; r2]);  
getreg(m5)  
Regressors:  
y1(t-1)  
y1(t-2)  
y1(t-3)  
y1(t-4)  
u1(t-10)  
u1(t-11)  
cos(u1(t-10))  
sin(y1(t-1).*u1(t-10)+u1(t-11))
```

Оскільки користувачькі регресори, як правило, нелінійні, то утворюється надмірність нелінійності, коли нелінійна оцінка використовує користувачькі нелінійні регресори. Щоб уникнути такої надмірності, користувачькі регресори можна виключити з нелінійної функції моделі IDNLARX, зазначивши, що вона повинна використовувати тільки стандартні регресори. Це означає, що нелінійна функція IDNLARX моделі використовує тільки стандартні регресори, а лінійна функція - як стандартні, так і користувачькі.

```
m6 = nlarx(ze, [4 2 10], 'wavenet', 'customreg', ...  
[r1;r2], 'nlreg', 'standard');  
getreg(m6)  
Regressors:  
y1(t-1)  
y1(t-2)  
y1(t-3)
```

```

y1(t-4)
u1(t-10)
u1(t-11)
cos(u1(t-10))
sin(y1(t-1) .* u1(t-10) + u1(t-11))

```

Щоб дізнатися, які регресори використовуються в нелінійній функції моделі, звернемося до поля `nlregIDNLARX`-об'єкта, що містить порядкові номери регресорів, які використовуються.

```

m6.nlreg
ans =
1 2 3 4 5 6

```

Різні моделі можна зіставити одна з одною (див. рис. 4.2) у такий спосіб:

```
compare(zv, m1, m2, m3, m4, m5, m6)
```

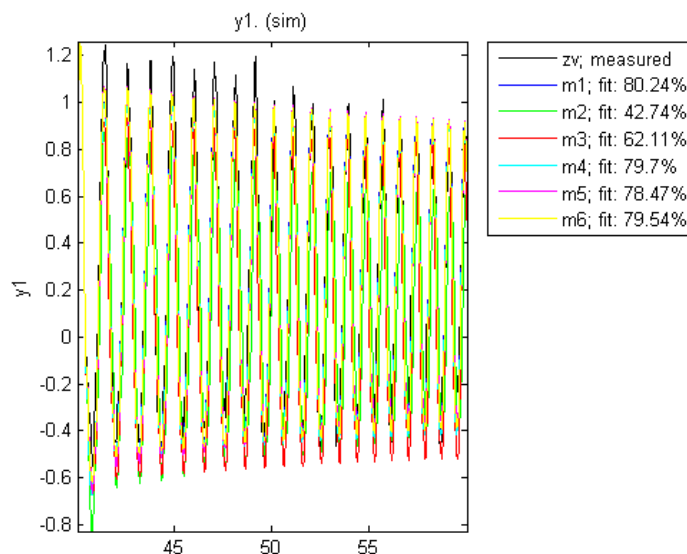


Рисунок 2.5.2 – Графік перевірки адекватності отриманих моделей

Найкращий збіг з експериментальними даними має модель *m1*. Найгірше себе показала модель *m2*, що використовує тільки користувацькі регресори. У разі використання нелінійних функцій оцінювання моделей (*m5*, *m6*) виключення користувацьких регресорів з опрацювання в нелінійному блоці приносить кращі результати (*m6*).

2.5.4 Приклад побудови моделі МІМО

Файл `motorizedcamera.mat` містить набір даних з 188 вибірками даних, зібраних під час роботи моторизованої відеокамери з частотою дискретизації 0,02 секунди. Вхідний вектор $u(t)$ складається з 6 змінних: 3 компоненти швидкості в ортогональній системі координат X - Y - Z [м/с], і 3 швидкості обертання навколо осей X , Y , Z [рад/с]. Вихідний вектор $y(t)$ містить 2 змінні: позиція (у пікселях) точки (координати X і Y), яка є зображенням (плоским), знятим на камеру нерухомої точки в 3D-просторі. Створюємо об'єкт `IDDATA` з для перекладу завантажених даних:

```
load motorizedcamera
```

```
z = iddata(y, u, 0.02, 'Name', ...
'MotorizedCamera', 'TimeUnit', 's')
```

Використання користувачьких регресорів у випадку MIMO не дуже відрізняється від випадку SISO. По суті це означає, що кожен вихід має свій власний регресор. Зазвичай регресори всіх виходів збираються в масив комірок перед вставкою в модель MIMO IDNLARX. Масив має розмірність $N \times I$, де N - число виходів, а I - число, визначене в прикладі нижче (2 + 6 + 6).

```
nanbnk = [ones(2,2), 2*ones(2,6), ones(2,6)];
% Створюється масив параметрів моделі, що складається з 3
матриць,
% причому перша квадратна матриця має розмір (na x na).
% Кількість стовпців для останніх двох матриць дорівнює nb і nk
% і визначається числом входів моделі (6), а кількість рядків
% для всіх матриць дорівнює na - числом виходів (2) моделі, при
% цьому, число рядків (2) для всіх матриць визначається
% кількістю виходів моделі. Елементи матриці визначають
% порядок моделі або затримку за поточним входом або виходом.
m11 = nlarx(z, nanbnk, 'linear', 'customreg', ...
{'u1(t-1)^2', 'y2(t-1)^3'}; {'u5(t-1)*u6(t-1)'});
% Оскільки створюється модель MIMO-об'єкта, призначені для
користувача регресорів для кожного виходу системи відокремлюють
% фігурними скобками {}
getreg(m11)
Regressors:
nanbnk =
1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1
1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1
getreg(m11)
Regressors:
```

Таблиця 2.5.2 – Виходи моделей

For output 1	For output 2
y1(t-1)	y1(t-1)
y2(t-1)	y2(t-1)
u1(t-1)	u1(t-1)
u1(t-2)	u1(t-2)
u2(t-1)	u2(t-1)
u2(t-2)	u2(t-2)
u3(t-1)	u3(t-1)
u3(t-2)	u3(t-2)
u4(t-1)	u4(t-1)
u4(t-2)	u4(t-2)
u5(t-1)	u5(t-1)
u5(t-2)	u5(t-2)
u6(t-1)	u6(t-1)
u6(t-2)	u6(t-2)
u1(t-1)^2	u5(t-1)*u6(t-1)
y2(t-1)^3	

Можна також використовувати конструктор користувачького регресора. Наступні регресори еквівалентні попереднім, створеним у

вигляді рядка, за винятком того, що тут регресори можуть бути векторизовані за допомогою конструктора.

```
F1 = @(x)x.^2;
r1 = customreg(F1, 'u1', 1, true);
F2 = @(x)x.^3;
r2 = customreg(F2, 'y2', 1, true);
F3 = @(x1,x2)x1.*x2;
r3 = customreg(F3, {'u5','u6'}, [1 1], true);
m12 = nlarx(z, nanbnk, 'linear', 'customreg',...
{[r1; r2], r3});
```

Чисельну еквівалентність двох моделей можна перевірити шляхом зіставлення їх із вихідними даними:

```
compare(z, m11, m12)
```

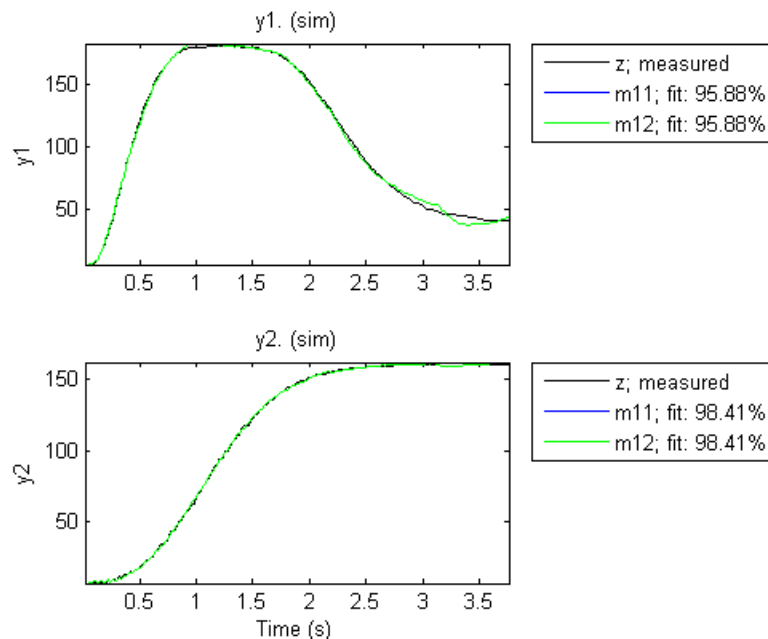


Рис. 2.5.3 – Перевірка адекватності отриманих моделей

Обрана модель дуже добре описує поведінку реальної системи. Через те, що обидві отримані моделі *m11* і *m12* по суті однакові й мають лише різні способи формування, вони показують однакові результати.

2.6 Рекомендації щодо розділу «Ідентифікація динамічних об'єктів з використанням даних в частотній області»

2.6.1 Постановка задачі

Наведено спеціалізовані засоби для ідентифікації лінійних динамічних систем за їхнім частотним відгуком. Частотні методи спрямовані на ідентифікацію безперервних систем і є доповненням до більш традиційних дискретних. Використовуючи частотний підхід, можна домогтися побудови кращої моделі, уникнути помилок дискретизації, виділяти постійну складову сигналу, істотно поліпшити відношення сигнал/шум. Toolbox забезпечує ідентифікацію безперервних і дискретних

лінійних стаціонарних систем, автоматичну генерацію вхідних сигналів, а також графічне зображення нулів і полюсів передавальної функції результуючої системи.

Експериментальні дані, отримані в частотній області (Frequency Domain Data), широко поширені. Часто подібні дані отримують у вигляді частотних характеристик різних процесів з використанням частотного (спектрального) аналізатора. Однак, іноді, бувають випадки, коли частину даних зручно отримати в часовій області, і застосувати до них Фур'є перетворення (FT), щоб весь масив даних був однорідно представлений у частотному вигляді. У цьому разі в *SystemIdentificationToolbox* дані частотної області подаються аналогічно даним у часовій області, тобто використовуються *iddata* об'єкти, під час створення яких параметр *'domain'* вказується рівним *'Frequency'*. Дані в частотній області не можуть бути використані для оцінки нелінійних моделей.

У даному розділі потрібно провести ідентифікацію кількох динамічних об'єктів з використанням даних частотної області. У роботі використано демонстраційні та довідкові дані MatLab і *SystemIdentificationToolbox*.

2.6.2 Довідкові відомості

2.6.2.1 Опис використовуваних функцій

Опис основних функцій, що використовуються в цьому розділі, наводиться в таблиці 2.6.1.

Таблиця 2.6.1 – Опис основних функцій

Функція	Синтаксис	Опис
loglog()	<i>loglog</i> (x, y)	Функція рівносильна функції <i>plot</i> , за винятком того, що вона використовує по обох осях логарифмічний масштаб
semilogx()	<i>semilogx</i> (x, y)	Команда <i>semilogx</i> використовує логарифмічний масштаб по осі x і лінійний масштаб по осі y
idfrd()	<i>sys = idfrd</i> (response, frequency) <i>sys = idfrd</i> (Конструктор IDFRD об'єкта. Аргументи функції: <i>frequency</i> - вектор-рядок частот; <i>response</i> - вектор-рядок значень комплексного коефіцієнта передачі; <i>Ts</i> - інтервал дискретизації вихідних даних за часом
bode()	<i>bode</i> (sys) <i>bode</i> (sys, w)	Функція повертає діаграми Бодє - графіки ЛАЧХ і ФЧХ. Аргументи функції: <i>w</i> - діапазон частот (<i>w</i> = [<i>wmin</i> , <i>wmax</i>]); <i>sys</i> - ім'я досліджуваної моделі
oe()	<i>sys = oe</i> (z, nn)	Функція оцінює параметри ОЕ-моделі. <i>sys</i> - ім'я (ідентифікатор) побудованої моделі; <i>z</i> - матриця експериментальних даних; <i>nn</i> - містить інформацію про ступені поліномів моделі <i>B(z)</i> , <i>F(z)</i> і про величину затримки <i>nk</i> . Задається у вигляді <i>nn</i> =

pem()	sys = pem (z,nn)	Функція оцінює параметри узагальненої багатовимірної лінійної моделі виду: sys - ім'я (ідентифікатор) побудованої моделі; z - матриця експериментальних даних; nn - задається у вигляді nn=[na, nb, nc, nnd, nf, nk], де na, nb, nc, nd, nf, nk - у багатовимірному випадку є вектор-стовпцями
procest()	sys = procest (data,type)	Функція оцінює модель процесу, використовуючи часові або частотні дані Має такі аргументи: sys – ім'я (ідентифікатор) побудованої моделі; data – вектор експериментальних даних; type – параметр, що визначає структуру моделі
compare()	compare (data, sys)	Функція перевірки адекватності моделі. Здійснює порівняння виходу моделі sys з експериментальними даними data з виведенням на дисплей порівняльних графіків із зазначенням критерію адекватності
spafdr()	g = spafdr (data) g = spafdr (data, resol, w)	Функція оцінки частотної характеристики зі змінною роздільною здатністю за частотою. Аргументи функції: data - експериментальні дані; resol - роздільна здатність за частотою (за замовчуванням 100); w - вектор частот
spa()	G = spa (data) G = spa(data, winSize, freq) G = spa (data, winSize, freq, MaxSize)	Функція оцінювання частотної характеристики з фіксованою роздільною здатністю за частотою в невизначеному або в певному діапазоні частот вектора freq, при цьому winSize - скалярна величина, що встановлює розмір вікна Ханна для віконного перетворення Фур'є, а MaxSize - додатне число, що підрозділить усі дані на групи в кількості, що не перевищує MaxSize, що підвищує швидкість обчислень
iddata()	data = iddata (y, u, Ts) data = iddata(y, u, Ts, 'Frequency' , W)	Функція-конструктор, створює об'єкт типу IDDATA, для якого доступні всі функції та команди аналізу систем. Він містить у собі: u, y - вхідні та вихідні експериментальні дані; Ts - інтервал дискретизації; 'Frequency' - ідентифікатор використання даних у частотній області (domain='Frequency'); W - вектор частоти
fft()	fft (data)	Функція швидкого перетворення Фур'є вихідних даних data
ifft()	ifft (data)	Функція зворотного швидкого перетворення Фур'є даних data

2.6.2.2 Вибір структури моделі при використанні функції procest

У цьому випадку модель будується з використанням такого конструктора (див. табл. 2.6.1):

$sys = procest(data, type),$

де параметр $type$ - це специфікатор, який визначає структуру моделі [15] і будується за такою схемою:

P_k - структура моделі має k -полюсів, причому k може бути задано в кількості 0, 1, 2, або 3;

Z - структура моделі має нулі ($T_z \neq 0$). Як впливає з умови фізичної реалізованості динамічної системи [9, 10] порядок знаменника передавальної функції має бути більшим за порядок чисельника і, отже, модель процесу, що не має полюсів, не може мати нулів (за умови $k = 0$);

D - модель процесу має затримку (запізнювання) ($T_d \neq 0$);

I - модель процесу містить у собі інтегратор;

U - модель процесу має загасання (underdamped) і, отже, містить у собі пару комплексних полюсів.

Наведемо приклад створення структури моделі з використанням таких ідентифікаторів [6]:

- специфікатор виду "P1D" визначає модель з одним полюсом і затримкою:

$$sys = \frac{K_p}{1 + T_{p1}s} e^{-T_d s}$$

де- K_p , T_{p1} , і T_d - ідентифіковані параметри моделі;

- "P2U" створює модель процесу з парою комплексних полюсів (загасаючу модель):

$$sys = \frac{K_p}{(1 + 2\zeta T_\omega s + (T_\omega s)^2)}$$

де K_p , T_ω , і ζ - ідентифіковані параметри моделі;

- "P3ZDI" створює моделі з трьома полюсами. Усі полюси є дійсними, тому що рядок не містить символу U . Ця модель також містить нуль, затримку та інтегратор:

$$sys = K_p \frac{1 + T_z s}{s(1 + T_{p1}s)(1 + T_{p2}s)(1 + T_{p3}s)} e^{-T_d s}$$

2.7 Рекомендації щодо формулювання висновків

У розділі необхідно стисло і точно сформулювати теоретичні висновки та, за наявності, практичні рекомендації, розроблені в процесі виконання курсової роботи. Формулювання висновків та рекомендацій не можуть повністю повторювати викладений раніше в роботі текст, вони мають бути узагальненими та конкретизованими.

3 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З КУРСОВОЇ РОБОТИ

3.1 Загальні вимоги до оформлення тексту

Основні вимоги до оформлення текстової частини пояснювальної записки відповідають ДСТУ 3008-2015 [2]:

- формат А4;
- поля: ліве – 30 мм, праве – 15 мм, верхнє і нижнє – 20 мм;
- шрифт Arial;
- розмір (кегель) шрифту – 14 пт;
- міжрядковий інтервал – одинарний;
- абзацний відступ (новий рядок) – 12,5 мм;
- вирівнювання тексту – по ширині;
- інтервал до / після основного заголовка розділу – 18 пт;
- інтервал до / після підрозділу – 12 / 6 пт.

3.2 Вимоги до оформлення основного тексту

Пояснювальна записка виконується в текстовому редакторі Word згідно з наведеними вище рекомендаціями (див. п. 3.1).

Розділи повинні мати порядкові номери, позначені арабськими цифрами без крапки. Кожен розділ рекомендується починати з нового аркуша (сторінки). Структурні елементи: «Зміст», «Скорочення та умовні позначки», «Вступ», «Висновки», «Перелік використаних джерел», — не нумерують, а їхні назви є заголовками структурних елементів.

Підрозділи нумеруються арабськими цифрами в межах розділу. Номер складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, між якими ставлять крапку. Після номера підрозділу крапки не ставлять. Підрозділи при необхідності розбивають на пункти, які нумеруються арабськими цифрами в межах підрозділу, тобто номер пункту складається з номера розділу, номера підрозділу та порядкового номера власне пункту. Всі цифри поділяються точками, в кінці крапка не ставиться. Наприклад, номер 3.2.1 слід розуміти як перший пункт другого підрозділу третього розділу. Пункти поділяються на підпункти, які нумеруються в межах пункту за правилами, аналогічним викладеним вище.

Найменування розділів записують у вигляді заголовків (посередині рядка) прописними буквами, найменування підрозділів - у вигляді заголовків (з абзацного відступу) малими літерами, крім першої великої. Перенесення слів в заголовках не допускаються. Аббревіатури в заголовках не вживають, їх треба розшифровувати у тексті. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою.

Сторінки звіту нумерують наскрізно, охоплюючи додатки. Номер сторінок рукопису проставляють на нижньому полі аркуша посередині, починаючи з третьої сторінки, дотримуючись наскрізної нумерації без

пропусків і буквених доповнень. На сторінках 1 (титульний лист) і 2 (завдання) номер сторінки не ставиться. Листи «ЗМІСТ» та додатки включаються в наскрізну нумерацію сторінок.

3.3 Вимоги до оформлення рисунків

Усі графічні матеріали звіту (графіки, блок-схеми тощо) повинні мати однаковий підпис «Рисунок». Рисунок подають одразу після тексту, де вперше посилаються на нього, або якнайближче до нього на наступній сторінці, а за потреби — в додатках.

Якщо рисунки створені не автором звіту, подаючи їх у звіті, треба дотримуватися вимог чинного законодавства України про авторське право.

Рисунки нумерують наскрізно арабськими цифрами, крім рисунків у додатках. Дозволено рисунки нумерувати в межах кожного розділу. У цьому разі номер рисунка складається з номера розділу та порядкового номера рисунка в цьому розділі, які відокремлюють крапкою, наприклад, «Рисунок 3.2» — другий рисунок третього розділу. Рисунки кожного додатка нумерують окремо. Номер рисунка додатка складається з позначки додатка та порядкового номера рисунка в додатку, відокремлених крапкою. Наприклад, «Рисунок В.1 —», тобто перший рисунок додатка В.

3.4 Вимоги до оформлення таблиць

Цифровий матеріал оформляють у вигляді таблиць (табл. 3.1).

Таблицю слід розташовувати безпосередньо після тексту, в якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці.

Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, наведених у додатках.

Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, таблиця 2.1 – перша таблиця другого розділу. Таблиця може мати назву, яку друкують малими літерами (крім першої великої) і вміщують над таблицею. Назва повинна бути стислою і відбивати зміст таблиці [2].

Таблиця 3.1 – Основні характеристики ДП № 2

№№ п/п	Характеристика	Величина	Од. вим.
1	2	3	4
	1. Розміри профілю		
1	Корисний об'єм	1719	м ³
2	Висота корисна	29070	мм
3	Висота повна	31820	мм
4	Висота колошника	1900	мм
5	Висота шахти	17800	мм
6	Висота распара	1700	мм
7	Висота заплічок	3000	мм
8	Висота горна	4000	мм
9	Висота поду	5457	мм
10	Висота мертвого шару	1242	мм
11	Висота осі повітряних фурм	2800	мм
12	Висота осі шлакової льотки	1600	мм
13	Діаметр колошника	6900	мм
14	Діаметр распара	10250	мм
15	Кут нахилу шахти	84°62'	град, хв
16	Кут нахилу заплічок	79°27'	град, хв
17	Діаметр горна	9100	мм
	Хід великого конуса	750	мм
18	Кількість повітряних фурм	20	шт.
	2. Бункерна естакада		
19	Об'єм скіпів	10	м ³
20	Об'єм коксових воронок	10	м ³
21	Вантажопідйомність скипової лебідки	22,5	т
22	Швидкість руху скіпа	3,5	м/с
23	Вантажопідйомність вагон-вагів	40	т
24	Кількість рудних бункерів	52	шт
25	Об'єм рудних бункерів	85	м ³

3.5 Вимоги до оформлення формул

Формули повинні бути оформлені в програмі за допомогою редактору формул MS Word. Формули і рівняння у звіті (за винятком формул і рівнянь, наведених у додатках) слід нумерувати порядковою нумерацією в межах розділу. Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою, наприклад, формула (1.3) – третя формула першого розділу. Номер формули або рівняння зазначають на рівні формули або рівняння в дужках у крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі чи рівнянні. Пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнта слід давати з нового рядка.

Переносити формули чи рівняння на наступний рядок допускається тільки на знаках виконуваних операцій, причому знак операції на початку наступного рядка повторюють. При перенесенні формули або рівняння на знакові операції множення застосовують знак «×».

Формули, що йдуть одна за одною й не розділені текстом, відокремлюють комою [2].

Для зручності роботи з формулами та нумерацією формул можна використовувати таблиці з невидимими кордонами.

$$dK = d \cdot \varepsilon \cdot \Phi / (1 - \varepsilon), \quad (3.1)$$

де ε – порозність шару, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

Φ – фактор форми, для куль $\Phi = 2/3$.

3.6 Вимоги до оформлення переліків

Переліки, за потреби, можуть бути наведені всередині пунктів або підпунктів. Перед переліком ставлять двокрапку.

Перед кожною позицією переліку слід ставити малу літеру української абетки з дужкою, або, не нумеруючи – дефіс (перший рівень деталізації).

Для подальшої деталізації переліку слід використовувати арабські цифри з дужкою (другий рівень деталізації).

Переліки першого рівня деталізації друкують малими літерами з абзацного відступу, другого рівня – з відступом відносно місця розташування переліків першого рівня.

Нижче наведено приклади перерахування.

Приклад № 1

Процес виробництва чавуну в доменній печі складається з наступних етапів:

- формування запасу шихтових матеріалів на бункерній естакаді;
- набір і подача шихти на колошник;
- завантаження шихтових матеріалів у доменну піч.

Приклад № 2

Причинами опускання матеріалів є:

1) горіння коксу перед фурмами та утворення в результаті цього вільного простору, в який надходить кокс, які перебувають вище осередків горіння;

2) зменшення обсягу матеріалів внаслідок розміщення дрібної фракції в порожнинах між великими шматками, подрібнення та стирання шматків;

3) перехід в нижній частині шахти, в распарі і заплічках твердих матеріалів в рідкий стан;

4) випуск з печі чавуну і шлаку.

Приклад № 3

Функція АСУ ТП повітрянагрівачів – оптимізація їх теплових режимів, що зводиться до вирішення трьох завдань:

а) визначення оптимальної тривалості складових циклу роботи повітрянагрівачів:

- 1) тривалості періоду нагрівання;
- 2) тривалості періоду дуття;

б) вибір оптимальних параметрів:

- 1) температури купола;
- 2) витрати газу;
- 3) закону їх зміни в період нагрівання повітрянагрівача;

в) пошук оптимального режиму роботи блоку:

- 1) послідовного;
- 2) попарно-паралельного;
- 3) змішаного [2].

3.7 Вимоги до оформлення посилань

Посилання в тексті записки на джерела слід вказувати порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад: «... в роботах [1-3]»

При посиланнях на розділи, підрозділи, пункти, підпункти, ілюстрації, таблиці, формули, рівняння, додатки зазначають їх номери.

При посиланнях слід писати: «... в розділі 4 ...», «... дивись 2.1 ...», «... по 3.3.4 ...», «... відповідно до 2.3.4.1 ...», «... на рис.1.3 ...», або «... на рисунку 1.3 ...», «... в таблиці 3.2 ...», «... (см.табл.3.2) ...», «... за формулою (3.1)», «... в рівняннях (1.23) - (1.25) ...», «... в додатку Б ...» [2].

3.8 Вимоги до оформлення переліку посилань

Список включає всі використовувані джерела, які слід розташовувати в порядку появи посилань у тексті записки. При посиланні в тексті на джерело інформації вказується його характер (монографія, стаття тощо) і порядковий номер у списку, укладений у квадратні дужки (наприклад, в статті [9]) посилання на креслення робляться в тексті із зазначенням номера креслення. Посилання в тексті представляють собою порядковий номер джерела, через кому – номер сторінки, на яку посилається автор, взяті в квадратні скобки, наприклад: [12, с.36]. При використанні цитати з певного джерела в тексті вказують автора і наводять уривок за правилами прямої мови також з обов'язковим посиланням на джерело.

Якщо текст не наводиться дослівно, а викладається власними словами, то обов'язково має бути збережений його зміст. Бібліографічні описи посилань у списку наводять відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання» [8].

3.9 Вимоги до оформлення додатків

У додатках розміщують офіційні, додаткові і розрахункові матеріали, допоміжні висновки тощо. Усі додатки повинні мати буквену нумерацію. Нумерація формул, таблиць і рисунків у кожному з додатків має бути самостійною [2].

3.10 Вимоги до оформлення презентації

Презентація – документ або комплект документів, призначений для подання чого-небудь (організації, проекту, продукту і т. п.).

Мета презентації - донести до аудиторії повноцінну інформацію про об'єкт презентації в зручній формі.

Презентація націлена на візуалізацію доповіді при захисті курсової роботи. Виконується в електронній формі у вигляді слайдів за наданим шаблоном, на яких слід розміщувати інформативні матеріали з курсової роботи, які повинні ілюструвати окремі тези виступу або результати, отримані в курсовій роботі. Презентація може бути підготовлена за допомогою будь-якої програми відкритого доступу, наприклад Microsoft PowerPoint, або іншої наявної ліцензійної програми. Допускається включати в презентацію разом зі статичними зображеннями відеоматеріали і анімацію за темою з обов'язковим посиланням на джерело інформації.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

4.1 Етапи виконання та захисту курсової роботи

До основних етапів виконання КР належать.

1. Отримання завдання на курсову роботу

Завдання видається керівником курсової роботи на початку семестру.

2. Здійснення огляду джерел

Аналіз стану питання щодо тематики курсової роботи виконується на основі огляду інформації, опублікованої в навчальній і науково-технічній літературі, в науково-технічних статтях, веб ресурсах, інших доступних джерелах інформації.

3. Виконання курсової роботи.

Після погодження та затвердження календарного плану (додаток Б) роботи здобувач починає виконувати курсову роботу. Вимоги до структури й оформлення окремих розділів наведені в цих методичних рекомендаціях вище. У процесі написання окремих розділів здобувач вищої освіти подає їх керівнику на перевірку, виправляє та вносить доповнення у разі потреби, звітує керівнику про готовність роботи. Обговорення проблемних питань з викладачем – керівником здійснюється під час індивідуально-консультативних зустрічей з підготовки курсової роботи або на консультаціях викладача відповідно до затвердженого розкладу.

4. Подання роботи на перевірку.

Файл із пояснювальною запискою курсової роботи у форматі:

Дисципліна_ВидДокументу_Прізвище_Група.docx

наприклад,

KR_PZ_Ivanenko_174_2X_1.docx

де

KR – курсової роботи;

PZ – пояснювальна записка (PVS – проєкт програми у Visual Studio, BS – блок-схема тощо);

Ivanenko – прізвище студента

174_2X_1 – академічна група

Назви додаткових файлів формуються у аналогічному форматі.

Для архівування використовувати формат *.zip.

Файли прикріплюються у відповідному завданні освітнього компоненту «Курсова робота «Ідентифікація та моделювання об'єктів

автоматизації» в системі Moodle у встановлений термін згідно з календарним планом.

Відповідальний за перевірку курсових робіт на кафедрі на дотримання вимог академічної доброчесності здійснює перевірку пояснювальної записки відповідно до п. 4.4 цих методичних рекомендацій на плагіат і надсилає звіт про результати перевірки керівникові. В разі, якщо звіт свідчить про належність дотримання академічних вимог при виконанні курсових робіт, керівник надалі здійснює оцінювання якості виконання роботи, виставляє оцінку за виконаний проєкт (за 100-бальною шкалою) та допускає до захисту.

В разі, якщо звіт про перевірку на плагіат є негативним, то подальші дії регламентуються п. 4.4 цих методичних рекомендацій.

5. Захист курсової роботи.

Захист курсової роботи відбувається з використанням Центру командної роботи Teams, здобувачу можуть задавати будь-які питання по суті роботи усі присутні. Оцінює захист комісія, до складу якої входять якнайменш два викладача з робочої групи спеціальності 174(151).

Здобувачі освіти, які вчасно не подали та/або не захистили курсовий проєкт:

- з поважної, документально підтвердженої причини – з дозволу декану можуть захистити її під час встановленого деканом терміну ліквідації академічної заборгованості;

- без поважної причини – вважаються такими, що не виконали індивідуальний навчальний план і відраховуються з Університету.

В разі, якщо захист було визнано незадовільним, з дозволу декана та на умовах, визначених Положенням про організацію освітнього процесу, здобувач може захистити курсову роботу у термін, встановлений деканом факультету. В разі неуспішності такого захисту здобувачі освіти вважаються такими, що не виконали індивідуальний навчальний план і відраховуються з Університету [9].

4.2 Права та обов'язки керівника курсової роботи, здобувача освіти, комісії із оцінювання курсових робіт

Керівництво курсовою роботою здійснюється з метою надання здобувачам вищої освіти необхідних консультацій, контролю термінів виконання та якості проєкту.

Обов'язками керівника курсової роботи є:

- Формування завдання курсової роботи, що відображає основний зміст і обсяг, містить основні дані, необхідні для виконання роботи, особливі вимоги до розробки окремих розділів, терміни виконання роботи (календарний план). Завдання курсової роботи оформляється на спеціальному бланку (Додаток Б).

- складання календарного плану-графіку (Додаток Б) виконання роботи;

- рекомендація здобувачеві необхідної основної літератури, довідкових матеріалів, інших джерел за темою;
- надання систематичних консультацій;
- перевірка виконання роботи (по частинах та/або в цілому);
- здійснення контролю за правильністю загального напрямку роботи;

- надання здобувачеві методичної та консультаційної допомоги у вирішенні принципів питань, надаючи йому більшу самостійність при розробці роботи, всіляко заохочуючи прояви творчої ініціативи.

Обов'язки здобувача освіти:

- ознайомитись із цими методичними рекомендаціями;
- проявляти ініціативність та сумлінність при виконанні курсової роботи;
- своєчасно відвідувати консультації керівника курсової роботи;
- дотримання термінів виконання курсової роботи;
- дотримуватися вимог академічної доброчесності при виконанні та захисті курсової роботи.

Права здобувача освіти:

- отримувати консультації, в т.ч. організаційно-методичні, з приводу виконання курсової роботи;
- отримувати роз'яснення від керівника щодо вирішення задач курсової роботи, підготовки тексту, підготовки до захисту курсової роботи;
- отримувати поради від керівника щодо літературних джерел та інших інформаційних ресурсів, які можна використати при виконанні курсової роботи;
- вимагати дотримання умов об'єктивності та дотримання процедури оцінювання курсової роботи;
- оскаржувати оцінку керівника та комісії з захисту курсової роботи в установленому порядку [9].

4.3 Застереження щодо академічної доброчесності

Як член студентської спільноти Технічного університету «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» здобувач має дотримуватися певних стандартів та академічної політики [9]:

- шахрайство та плагіат заборонені.
- методичні та інші матеріали, які отримані здобувачами в рамках процедур організації виконання курсової роботи, захищені авторським правом, можуть бути використані лише тільки здобувачами освіти, яким призначено даний курс, зарахованих на курс для цілей, пов'язаних з цим курсом і не можуть поширюватися.
- спілкування з однокурсниками та викладачем має бути професійним та ввічливим.
- очікується, що здобувач освіти перевірятиме всі власні письмові

повідомлення, включаючи поштові повідомлення, на коректність змісту та мови.

– університет прагне підтримувати середовище, вільне від дискримінації або дискримінаційних домагань, спрямованих на будь-яку людину або групу в межах своєї спільноти - здобувачів освіти, співробітників або відвідувачів.

Виконання КР має здійснюватися з урахуванням вимог щодо академічної доброчесності. Відповідно до статті 42 Закону України «Про освіту» [10]: «Академічна доброчесність – це сукупність етичних принципів та визначених законом 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». Головним проявом академічної недоброчесності вважається академічний плагіат. Академічний плагіат – 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, а саме:

а) відтворення в тексті роботи (повний текст роботи, з коментарями, примітками, бібліографією, переліком джерел та всіма додатками до основного тексту) 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;

б) 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;

в) відтворення в тексті роботи наведених в іншому джерелі цитат з третіх джерел без вказання, за яким саме безпосереднім джерелом наведена цитата.

г) відтворення в тексті роботи наведеної в іншому джерелі науково-технічної інформації (крім загальновідомої) без вказування на те, з якого джерела взята ця інформація.

д) перефразування тексту джерела у формі, що є близькою до оригінального тексту, або наведення узагальнення ідей, інтерпретацій чи висновків з певного джерела без посилання на це джерело;

е) подання як власних робіт, виконаних на замовлення іншими особами, у тому числі робіт, стосовно яких справжні автори надали згоду на таке використання [10].

Рекомендації щодо запобігання академічному плагіату в курсовій роботі:

а) робота має виконуватися самостійно, без видання за власний результат чужих робіт і результатів;

б) будь-який текстовий фрагмент обсягом від речення і більше, відтворений в тексті роботи без змін, із незначними змінами, або в

перекладі з іншого джерела, обов'язково має супроводжуватися посиланням на це джерело (у формі підрядкового посилання, наприклад як це зроблено щодо Закону «Про освіту» на попередній сторінці); винятки допускаються лише для стандартних текстових кліше, які не мають авторства та/чи є загальноживаними;

в) якщо перефразування чи довільний переказ в тексті роботи тексту іншого автора (інших авторів) займає більше одного абзацу, посилання (бібліографічне та/або текстуальне) на відповідний текст та/або його автора (авторів) має міститися щонайменше один раз у кожному абзаці роботи, крім абзаців, що повністю складаються з формул, а також нумерованих та маркованих списків (в останньому разі допускається подати одне посилання наприкінці списку);

г) якщо цитата з певного джерела наводиться за першоджерелом, в тексті роботи має бути наведено посилання на першоджерело; якщо цитата наводиться не за першоджерелом, в тексті роботи має бути наведено посилання на безпосереднє джерело цитування («цитуються за ХХХХХХ») і посилання на відповідний пункт списку використаних джерел;

д) будь-яка наведена в тексті роботи науково-технічна інформація має супроводжуватися чітким вказуванням на джерело, з якого взята ця інформація із посиланням на відповідний пункт списку використаних джерел; винятки припускаються лише для загальновідомої інформації, визнаної всією спільнотою фахівців відповідного профілю; у разі використання у роботі тексту нормативно-правового акту достатньо зазначити його назву, дату ухвалення та, за наявності, дату ухвалення останніх змін до нього або нової редакції, а також посилання на відповідний пункт списку використаних джерел.

е) для підтвердження власних аргументів посиланням на авторитетне джерело або для критичного аналізу того чи іншого друкованого твору слід наводити цитати; науковий етикет потребує точно відтворювати цитований текст, бо найменше скорочення наведеного витягу може спотворити зміст, закладений автором [10].

Правила цитування та посилання на використані джерела є такими:

1. При написанні КР здобувач повинен давати посилання на джерела, матеріали з яких наводяться у проєкті. Такі посилання дають змогу відшукати документи та перевірити достовірність відомостей про цитування документа, дають необхідну інформацію щодо нього, допомагають з'ясувати його зміст, мову тексту, обсяг. Посилатися бажано на останні видання публікацій. На більш ранні видання можна посилатися лише в тих випадках, коли в них є матеріал, який не включено до останнього видання.

2. Якщо використовують відомості, матеріали з монографій, оглядових статей, інших джерел з великою кількістю сторінок, тоді в посиланні необхідно точно вказати номери сторінок, ілюстрацій, таблиць, формул з джерела, на яке дано посилання в КР.

3. Посилання додаються одразу після закінчення цитати у квадратних дужках, де вказується порядковий номер джерела у списку літератури та відповідна сторінка джерела (наприклад: [12, с. 172]), або під текстом цієї сторінки у вигляді зноски, в якій вказують прізвище та ініціали автора, назву джерела, видавництво, рік видання та сторінку. При цьому враховувати наступне:

- текст цитати починається і закінчується лапками і наводиться в тій граматичній формі, в якій він поданий у джерелі, із збереженням особливостей авторського написання; наукові терміни, запропоновані іншими авторами, не виділяються лапками, за винятком тих, що викликали загальну полеміку – у цих випадках використовується вираз «так званий»;

- цитування повинно бути повним, без довільного скорочення авторського тексту та без перекручень думок автора;

- пропуск слів, речень, абзаців при цитуванні допускається без перекручення авторського тексту і позначається трьома крапками, вони ставляться у будь-якому місці цитати (на початку, всередині, наприкінці); якщо перед випущеним текстом або за ним стояв розділовий знак, то він не зберігається;

- кожна цитата обов'язково супроводжується посиланням на джерело;

- при непрямому цитуванні (переказі, викладі думок інших авторів своїми словами), що дає значну економію тексту, слід бути гранично точним у викладенні думок автора, коректним щодо оцінювання його результатів і давати відповідні посилання на джерело;

- якщо необхідно виявити ставлення автора роботи до окремих слів або думок з цитованого тексту, то після них у круглих дужках ставлять знак оклику або знак питання;

- коли автор роботи, наводячи цитату, виділяє в ній деякі слова, то робиться спеціальне застереження, тобто після тексту, який пояснює виділення, ставиться крапка, потім дефіс і вказуються ініціали автора дисертації, а весь текст застереження вміщується у круглі дужки. Варіантами таких застережень є: (курсив наш. – М.Х.), (підкреслено мною. – М.Х.), (розбивка моя. – М.Х.) [11].

До числа інших порушень академічної доброчесності, класифікованих законодавством України [10, 12], що можуть трапитися при виконанні курсової роботи, належать:

- фабрикація – вигадкування даних чи фактів, що використовуються в курсовому проекті;

- фальсифікація – свідома зміна чи модифікація вже наявних даних, що стосуються змісту курсової роботи;

- хабарництво – надання (отримання) учасником освітнього процесу чи пропозиція щодо надання (отримання) коштів, майна, послуг, пільг чи будь-яких інших благ матеріального або нематеріального характеру з

метою отримання неправомірної переваги в освітньому процесі;
необ'єктивне оцінювання – свідоме завищення або заниження оцінки результатів навчання здобувачів освіти.

В разі, якщо здобувач стикається із двома останніми формами порушень академічної доброчесності, він має повідомити про це завідувача кафедри, комісію з академічної доброчесності, Уповноваженого з питань протидії корупції, які, в свою чергу, повинні негайно після повідомлення забезпечити вжиття заходів попередження або виправлення таких порушень.

4.4 Регламенти і процедури виявлення порушень вимог академічної доброчесності та наслідки такого виявлення

На першому етапі особа, відповідальна за перевірку документу на наявність плагіату, призначена кафедрою, проводить перевірку електронної версії документу на наявність ознак академічного плагіату за допомогою системи StrikePlagiarism.com (<http://strikeplagiarism.com>) (далі – Система), використання яких регламентується відповідними угодами університету. Система формує звіт подібності, що містить інформацію, яка вказує на наявність текстових та інших запозичень зі знайдених джерел.

Така відповідальна особа не дає оцінку змісту наукової складової, а виконує виключно технічну перевірку. Подальший аналіз звіту подібності здійснює науковий керівник.

Інтерпретація показників звіту подібності системи StrikePlagiarism.com:

коефіцієнт подібності №1 – відсотковий показник, що визначає рівень текстових запозичень, знайдених у джерелах баз даних системи та Інтернет, який розраховується на підставі коротких словосполучень (довжиною мінімум 5 слів);

коефіцієнт подібності №2 – відсотковий показник, що визначає рівень текстових запозичень, знайдених у джерелах баз даних системи та Інтернет, який розраховується на підставі словосполучень, довжина яких становить 25 слів;

коефіцієнт цитувань – відсотковий показник, що показує на рівень текстових фрагментів у роботі;

сигнал «Тривога!» – вказує на наявність у тексті знаків одного алфавіту, замінених схожими знаками іншого алфавіту. Велика кількість таких замінів може вказувати на спробу фальсифікувати результати перевірки з метою збільшення показників оригінальності документу;

сигнал «Білі знаки» – вказує на наявність у тексті прихованих символів (використання невидимих знаків між словами). Такі дії вказують на спробу фальсифікувати результат перевірки з метою збільшення показників оригінальності роботи; кількість точних збігів слів (фрагментів) та їх відсоткове відношення, знайдених за URL.

У разі наявності сигналу «Тривога!» та/або «Білі знаки» в системі StrikePlagiarism.com робота обов'язково потребує додаткової перевірки наукового керівника або іншої відповідальної особи.

Виявлені у тексті роботи запозичення вважаються правомірними, якщо вони:

- є власними назвами (індивідуальними найменуваннями окремих одиничних об'єктів, у тому числі найменуваннями установ, назвами праць, які досліджувалися, бібліографічними посиланнями на джерела та ін.);
- є усталеними словосполученнями, що характерні для певної сфери знань;
- належним чином оформлені цитуваннями;
- містять кліше викладення результатів обробки результатів експерименту.

При значенні коефіцієнта подібності №1 вище 30% та/або коефіцієнта подібності №2 вище 5% в системі StrikePlagiarism.com особа, відповідальна за перевірку документу, визначає доцільність її подальшого аналізу, у тому числі із залученням експертів.

Усі запозичені фрагменти в документі мають бути розглянуті на предмет коректності оформлення цитувань та посилань на першоджерела.

На етапі перевірки на академічний плагіат курсових робіт/проектів:

рукопис вважається достатньо оригінальним, якщо рівень оригінальності «задовільний» (вище 40%), проте слід пересвідчитись у коректності надання посилань на першоджерела для цитованих фрагментів та після доопрацювання, за рекомендаціями керівника роботи, випускається до захисту;

якщо рівень оригінальності «низький» (від 31% до 40%), пропонується доопрацювати роботу за для підвищення рівня її оригінальності і пересвідчитися на коректність надання посилань на першоджерела для цитованих фрагментів та після доопрацювання направляється на повторну перевірку на рівень оригінальності тексту;

якщо рівень оригінальності «неприйнятний» (від 0% до 30%), робота вважається з незадовільним рівнем оригінальності, наявні ознаки плагіату.

Робота повертається на доопрацювання здобувачеві вищої освіти з подальшою повторною перевіркою; у разі коли проходження повторної процедури перевірки на академічний плагіат виявило незадовільні результати, робота знімається з розгляду та не випускається на захист та входить в академічну заборгованість здобувача освіти із подальшою зміною теми рукопису та ліквідується згідно термінів ліквідації академічних заборгованостей, встановлених Університетом.

Протокол перевірки пояснювальної записки формується на основі звіту подібності, що формується Системою та (за потреби) експертного аналізу наукового керівника. Зберігання висновків щодо перевірки у документах структурного підрозділу є обов'язковим протягом навчального

року. Позитивний висновок щодо відсутності ознак плагиату для навчальних робіт може зазначатися керівником при захисті [9].

4.5 Критерії оцінювання курсової роботи

Підсумкова оцінка за виконання та захист курсової роботи виставляється за прийнятою в Університеті системою оцінювання за наступною формулою:

$$\text{Оцінка КР} = 0,5 \cdot \text{Оцінка виконання роботи} + 0,5 \cdot \text{Оцінка захист}$$

Критерії оцінювання курсової роботи та його захисту наведені у табл. 4.1.

УВАГА: роботи, за якими визначено, що вони виконані без дотримання вимог академічної доброчесності, не оцінюються і до захисту не допускаються.

Таблиця 4.1 – Критерії оцінювання курсової роботи

Компетентності, рівень сформованості яких оцінюється	Критерії оцінювання курсвої роботи	Max відсоток
Ступінь досягнення результатів навчання при виконанні курсової роботи та підготовці пояснювальної записки та графічної частини		
<ul style="list-style-type: none"> - здатність аналізувати літературні та веб-джерела, технічну документацію, опрацьовувати отриману інформацію; - вміння дотримуватись вимог щодо змісту та оформлення пояснювальної записки; - здатність до планування часу на виконання курсової роботи в рамках відведеного часового ресурсу на самостійну та індивідуальну роботу протягом семестру; - спроможність викладати інформацію в логічному порядку з високим рівнем застосування української мови в технічній документації; - здатність обирати актуальні рішення поставлених задач та обґрунтовувати прийняті рішення. 	<ul style="list-style-type: none"> - оформлення пояснювальної записки курсової роботи відповідає вимогам; - студент продемонстрував належний рівень здатності до аналізу джерел інформації та володіння термінологією; - студент продемонстрував належний рівень здатності розв'язувати поставлені задачі та обґрунтовувати прийняті рішення; - студент вчасно реалізовував етапи виконання курсової роботи. 	100
Ступінь досягнення результатів навчання при захисті курсового проєкту		
<ul style="list-style-type: none"> - здатність пояснити зміст курсової роботи та обґрунтувати прийняті в ній рішення; - здатність презентувати результати власних досліджень з використанням 	Демонстрація розуміння теоретичних основ теми роботи, ступеню володіння практичними аспектами за тематикою роботи,	100

Компетентності, рівень сформованості яких оцінюється	Критерії оцінювання курсової роботи	<i>Max</i> <i>відсоток</i>
ілюстративного матеріалу (презентації); - здатність продемонструвати розуміння змісту предметної області, об'єкту, зв'язок результату роботи із поставленими задачами.	спроможності переконливо аргументувати власну точку зору щодо проблем і шляхів їх вирішення, в т.ч. в ході надання відповідей на запитання членів комісії, демонстрація володіння технічною термінологією українською мовою, здатності будувати логічні та структуровані виступи	
Всього за результатами виконання і захисту курсової роботи		100

Здобувач вищої освіти в процесі усного захисту дає правильні відповіді на всі запитання, виявляє високий рівень знань щодо теми КР, добре орієнтується у змісті своєї роботи, упевнено викладає її основні положення, висновки, правильно аргументує власну позицію – **100 балів**.

Здобувач вищої освіти в процесі усного захисту дає правильні відповіді на половину запитань, виявляє достатньо високий рівень знань щодо теми КР, добре орієнтується у змісті своєї роботи, упевнено викладає її основні положення, висновки, правильно аргументує власну позицію – **80 балів**.

Здобувач вищої освіти в процесі усного захисту дає правильні відповіді на 25% запитань, однак виявляє достатній рівень знань щодо проблематики в КР, добре орієнтується у змісті своєї роботи, упевнено викладає її основні положення, висновки, однак нечітко аргументує власну позицію – **60 балів**.

УВАГА: В разі, якщо комісією виявлено, що здобувач освіти виявляє низький рівень знань щодо проблематики в КР, не орієнтується у змісті своєї роботи, упевнено викладає її основні положення, висновки, не може аргументувати власну позицію, то курсова робота оцінюється на **35 балів** і надалі підлягає переробці, а в разі, якщо це не можливо відповідно до календарного графіка навчання, здобувач освіти вважається таким, що не виконав індивідуальний навчальний план і підлягає відрахуванню з Університету.

Результати захисту КР заносяться науково-педагогічним працівником (членом комісії, керівником роботи) в електронний журнал в системі електронного супроводу (Moodle, електронний деканат), та відомості обліку успішності [9].

4.6 Порядок оскарження результатів оцінювання курсової роботи

Упродовж одного робочого дня після оголошення результатів оцінювання керівником процесу виконання, пояснювальної записки та програмної частини курсової роботи здобувач освіти може звернутися до оцінювача за роз'ясненням щодо отриманої оцінки. Оцінювач має надати роз'яснення протягом одного робочого дня, однак щоб у здобувача освіти залишалась можливість оскарження результатів до завершення семестрового контролю. У випадку незгоди з наданим йому роз'ясненням щодо отриманої оцінки здобувач освіти не пізніше 12:00 наступного робочого дня після отримання роз'яснення може звернутись з умотивованою заявою щодо неврахування оцінювачем важливих обставин при оцінюванні до декана свого факультету.

Декан факультету ухвалює рішення за заявою здобувача освіти, керуючись аргументами, якими здобувач освіти мотивує свою незгоду з оцінкою, та поясненнями (усними чи письмовими) оцінювача. За рішенням декана комісія із захисту курсової роботи може переглянути рішення керівника курсової роботи щодо зазначеної оцінки. Крім того, за рішенням декана письмова робота здобувача освіти може бути надана для оцінки іншому науково-педагогічному працівнику, що відповідає профілю освітньої програми та має достатню компетенцію для оцінювання роботи здобувача освіти. Декан ухвалює рішення за заявою здобувача освіти, керуючись аргументами, якими здобувач освіти мотивує свою незгоду з оцінкою, та поясненнями (усними чи письмовими) оцінювача. У разі, якщо оцінка першого і повторного підсумкового оцінювання відрізняються більше ніж на 10 відсотків, робота автоматично передається для оцінки третьому оцінювачу, визначеному деканом, а підсумкова оцінка визначається як середнє трьох оцінок. В іншому разі чинною є оцінка, виставлена при першому оцінюванні.

За незгоди із результатами захисту курсової роботи або практики здобувач освіти у день оголошення оцінки може звернутися до комісії, яка проводила оцінювання, з незгодою щодо отриманої оцінки. Рішення щодо висловленої здобувачем незгоди приймає комісія.

Якщо здобувач освіти не згоден із рішенням комісії і вважає, що мало місце порушення процедури захисту або упередженість в оцінюванні, порушення академічної доброчесності, він може подати письмову заяву декану свого факультету. Декан своїм рішенням формує комісію для розгляду питання дотримання процедури. У разі підтвердження викладених у заяві здобувача освіти обставин за розпорядженням декана проводиться новий захист з іншим складом комісії.

Процедури, передбачені вище, не можуть бути використані здобувачем освіти у випадку незгоди з оцінками інших здобувачів освіти.

Якщо створена за заявою здобувача освіти (або за поданням оцінювачів) розпорядженням декана факультету або першого

проректора-проректора з навчальної роботи комісія або комісія з академічної доброчесності Університету виявить, що в ході семестрового контролю мали місце порушення, які вплинули на результат оцінювання знань студентів, не можуть бути усунені, ректор, не пізніше, ніж упродовж тижня з отримання висновку комісії має ухвалити рішення щодо про скасування результатів контрольного заходу і проведення повторного оцінювання результатів навчання для одного, декількох або всіх здобувачів освіти [9].

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Освітньо-професійна програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехнічні системи в металургії і гірництві» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації, спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка. ТОВ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». 2024. URL: <https://metinvest.university/page/8410> (дата звернення: 31.03.2024).
2. ДСТУ 3008-2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. [На заміну ДСТУ 3008-95 ; чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 31 с. URL: http://www.knmu.kharkov.ua/attachments/3659_3008-2015.PDF.
3. Виклюк Я. І., Камінський Р. М., Пасічник В. В. Моделювання складних систем: посібник. Львів: «Новий Світ – 2000», 2020. 404 с.
4. Isermann R. System Identification. Amsterdam : Elsevier, 2014. 93 p. URL: [Kortext | System Identification](#).
5. Subrahmanyam A., Rao G. P. Identification of Continuous-Time Systems. CRC Press LLC, 2020. 128 p. URL: [Kortext | Identification of Continuous-Time Systems](#).
6. Nelles O. Nonlinear System Identification. Berlin, Heidelberg : Springer Nature, 2013. 785 p. URL: <https://read.kortext.com/library/books/1658729>.
7. Giri F., Bai E.-W. Block-oriented Nonlinear System Identification. London : Springer, 2010. 425 p. URL: <https://read.kortext.com/library/books/1578354>.
8. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
9. Положення про організацію освітнього процесу у ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». URL: <https://metinvest.university/page/1171> (дата звернення: 31.03.2024).
10. Про освіту : Закон України від 05.09.2017 р. № 2145-VIII. Дата оновлення: 24.03.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (дата звернення: 06.02.2024).
11. Правила цитування та посилання на використані літературні джерела : Studopedia.org. URL: <https://studopedia.org/2-31712.html> (дата звернення: 11.01.2024).
12. Про вищу освіту : Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII. Дата оновлення: 24.03.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> (дата звернення: 08.02.2024).

БЛАНК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

Пояснювальна записка
до курсової роботи
на тему **Ідентифікація та моделювання об'єктів автоматизації**

Варіант № Х

Здобувача групи 174-2N-1

(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(прізвище та ініціали)

(посада, звання,)

Кількість балів _____

Оцінка за шкалою _____

Запоріжжя, 202N

БЛАНК ЗАВДАННЯ

ТОВ «Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

ЗАВДАННЯ
НА КУРСОВУ РОБОТУ «ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ
ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ»

рівня бакалавр

за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

ПІБ Студента повністю

1. Тема роботи Ідентифікація та моделювання об'єктів автоматизації

2. Строк здачі курсової роботи 17.01.202X р.

3. **Варіант завдання №X.** Завдання:

3.1. Завдання 1. Побудувати одновимірну та багатовимірну регресійні та авторегресійні моделі об'єкта,

Варіант	Одновимірна регресія	Багатовимірна регресія	ARX-модель
X	$W = \frac{0.7K + 3}{0.04(K + 1)p + 2K}$	$a_0 + a_1x_2 + a_2x_1 + a_3x_1^2$	$W = \frac{3 + 0.6p^2}{K^2p^2 + 0.3Kp + 2}$

Варіант	K	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃
X	3	0,15	0,25	-0,23	0,07

створивши відповідно:

- часовий ряд значень на основі передавальної функції ланки аперіодичної;
- часовий ряд значень на основі статичної ланки у вигляді полінома з використанням стандартних блоків математичної бібліотеки Simulink;
- часовий ряд значень на основі передавальної функції ланки коливального типу. Для отримання масивів часових значень зафіксувати реакцію ланки на ступінчастий вплив, скориставшись можливостями пакета Simulink. Значення кроку за часом і час спостереження визначити експериментально.

3.2. Завдання 2. Провести непараметричну та параметричну ідентифікацію:

Варіант	Вид оцінювання/ Параметри				
	Параметричне			Непараметричне	
	Обсяг вибірки		Параметри моделі ARX (na-nb-nk)	Значення затримки M для оцінки ІХ системи	Порядок AR-моделі вибілювального фільтру для оцінки ІХ системи.
	для побудови моделей	Для верифікації			
X	200-500	600-900	4-3-6	20	10

- а) Завантажити та підготувати набір експериментальних даних, який розбити на дві частини (для побудови моделі та для її верифікації).
- б) За допомогою методів непараметричного оцінювання отримати АКФ вхідного і вихідного сигналів, ВКФ, імпульсну характеристику, частотні характеристики. Побудувати графіки, зробити висновки.
- в) Побудувати модель у просторі станів РЕМ (обсяг вибірки визначено варіантом). Оцінити адекватність отриманої моделі, використовуючи частину вибірки даних, що залишилася.
- г) Побудувати та визначити адекватність авторегресійної моделі ARX(na-nb-nk).
- г) Проаналізувати отримані моделі системи (РЕМ, ARX), порівнявши імпульсні перехідні характеристики, діаграми Боде і Найквіста. Навести відповідні діаграмам і характеристикам критерії стійкості та на їхній основі зробити висновки про стійкість аналізованої системи. Порівняти отримані моделі між собою.
- д) Побудувати карту нулів і полюсів системи за розрахунковими моделями. Оцінити стійкість системи за конфігурацією полюсів.

3.3. Завдання 3. Побудова нелінійних ARX моделей.

- а) Завантажити та підготувати набір експериментальних даних SISO-об'єкта "icEngine":

Варіант	Розмір вибірки		Параметри моделі ARX	Користувацькі регресори		Функції для конструктора користувацьких регресорів	Вид нелінійності
	для побудови моделі	для контролю		При використанні у співпраці з звичайними	При використанні без звичайних		
X	150-750	1000-1200	5-3-8	$u(t-4)$ $y^4(t-3)$	$u^2(t-5)$ $u^2(t-2)$ $\sin^2(t-1)$ $y^4(t-4)$	$u(t-2)u^2(t-4)$ $\sin^2(5y(t-3))$ $u^2(t-4)y(t-3)$	wave net

- б) Побудувати лінійну та нелінійну ARX-моделі з використанням звичайних регресорів. Проаналізувати адекватність отриманої моделі.
- в) Побудувати лінійну ARX-модель із нелінійними користувацькими регресорами, заданими у вигляді ряду.
- г) Побудувати лінійну ARX-модель із поліноміальними користувацькими регресорами.
- г) Побудувати лінійну ARX-модель із нелінійними користувацькими регресорами, сформованими за допомогою конструктора.
- д) Побудувати нелінійну ARX-модель із користувацькими регресорами.
- е) Порівняти отримані моделі між собою, зробити висновки.
- е) Виконати операції в п.п. а)-е) для MIMO-об'єкта (набір експериментальних даних зберігається у файлі motorizedcamera.mat).

3.4. Завдання 4. Ідентифікація динамічних об'єктів з використанням даних в частотній області.

- а) Завантажити та підготувати набір експериментальних даних "demofr".
- б) Побудувати моделі m1, m2, m3, структури яких визначити за параметрами (nn - для ОЕ моделі та sys – для procest моделі).

Варіант	Параметр		
	nn	sys	N
X	nb = 2, nf=2, nk=1	$\frac{K_p e^{-T_d s}}{s(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)}$	250

- в) Оцінити адекватність побудованих моделей, отримати порівняльні графіки, зробити висновки.
- г) Порівняти результати моделювання з наявними у файлі "demofr" даними в часовій області, зробити висновки.
- г) Провести стиснення вихідних даних до N-значень частоти. На основі отриманих даних побудувати нову модель структури ОЕ, отримати оцінку її адекватності та провести порівняння з попередніми результатами моделювання на основі нестиснутих даних. Зробити відповідні висновки.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів розробки курсової роботи	Строк виконання етапів курсової роботи	Примітка
1	Виконання завдання 1	01.10.25-16.10.25	
2	Виконання завдання 2	17.10.25-30.10.25	
3	Виконання завдання 3	01.11.25-16.11.25	
4	Виконання завдання 4	17.11.25-30.11.25	
5	Виконання завдання 5	01.12.25-20.12.25	
6	Оформлення пояснювальної записки та презентації	25.12.25-20.01.26	
7	Перевірка на плагіат	25.01.26-31.01.26	
8	Захист курсової роботи	01.02.26-14.02.26	

Здобувач вищої освіти _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник курсової роботи _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

Таблиця В.1 – Варіанти завдання 1

Варіант	Одновимірна регресія	Багатовимірна регресія	ARX-модель
1	$W(p) = \frac{K+4}{0.05(K+1)p+K}$	$a_0 + a_1x_1 + a_2x_1x_2 + a_3x_2^2$	$W(p) = \frac{5+p^2}{K^2p^2+0.1Kp+1}$
2	$W(p) = \frac{-K}{Kp+K}$	$a_1x_2 + a_2x_1x_2 + a_1x_1^2 + a_3x_2^2$	$W(p) = \frac{K+2p}{K^2p^2+0.1Kp+1}$
3	$W(p) = \frac{3K+1}{Kp+0.1K}$	$a_1x_2 + a_2x_1^3x_2 + a_1x_1^2 + a_3x_2^3$	$W(p) = \frac{5Ke^{-2p}}{K^2p^2+0.5Kp+3}$
4	$W(p) = \frac{-2K}{0.01Kp+0.1K}$	$a_0 + a_1x_1^3 + a_2x_2 + a_3x_2^2$	$W(p) = \frac{2+Kp^2}{0.3K^2p^2+0.5}$
5	$W(p) = \frac{(K-3)e^{-p}}{0.25(K+3)p+(K-2)}$	$a_0 + a_1\sqrt{x_1} + a_2x_2 + a_3x_1x_2^2$	$W(p) = \frac{Ke^{-p}}{K^2p^2-0.1Kp+3}$
6	$W(p) = \frac{0.3K+3}{0.02(K+1)p+2K}$	$a_0 + a_1x_2 + a_2x_1 + a_3x_1^2$	$W(p) = \frac{3+0.5p^2}{K^2p^2+0.3Kp+2}$
7	$W(p) = \frac{-3K}{2Kp+0.3K}$	$a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_2^2$	$W(p) = \frac{3K+0.2p}{K^2p^2+0.3Kp+4}$
8	$W(p) = \frac{4K+3}{Kp+0.3K}$	$a_0 + a_1x_2 + a_2x_1x_2 + a_3x_1^2$	$W(p) = \frac{4Ke^{-p}}{K^2p^2+0.2Kp+3}$
9	$W(p) = \frac{-3K}{0.02Kp+0.4K}$	$a_0 + a_1x_1 + a_2x_1x_2 + a_3x_2^2$	$W(p) = \frac{2+0.1Kp^2}{0.4K^2p^2+0.3}$
10	$W(p) = \frac{(K-1)e^{-p}}{0.35Kp+4}$	$a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1x_2$	$W(p) = \frac{Ke^{-2p}}{K^2p^2-0.3Kp+2}$

Таблиця В.2 – Варіанти завдання 1.2

Варіант	K	a0	a1	a2	a3
1	2	0,1	0,5	-0,2	0.05
2	4	0,2	0,15	-0,3	-0.03
3	6	0,5	0,25	-0,4	0.04
4	3	0,8	0,75	-0,7	-0.02
5	0,7	0,35	0,95	-0,6	-0.15
6	0,4	0,75	0,83	-0,3	-0.02
7	4	0,85	0,51	-0,4	-0.06
8	5	0,45	0,30	-0,3	-0.25
9	0,9	0,25	0,45	-0,7	-0.75
10	3	0,7	0,21	-0,6	-0.34

Таблиця В.3 – Варіанти завдання 2

Вид оцінювання	Параметр		Варіант				
			1	2	3	4	5
Параметричне оцінювання	Обсяг вибірки	для побудови моделей	100-400	300-600	700-1000	200-500	500-800
		для верифікації	700-800	601-700	100-200	600-1000	200-499
	Параметри моделі <i>ARX</i> (na-nb-nk)		5-2-8	2-4-9	3-7-4	4-1-6	2-3-4
Непараметричне оцінювання	Значення затримки <i>M</i> для оцінки ІХ системи .		10	15	20	25	30
	Порядок <i>AR</i> -моделі вибілювального фільтру для оцінки ІХ системи.		0	10	5	15	20
Вид оцінювання	Параметр		Варіант				
			6	7	8	9	10
Параметричне оцінювання	Обсяг вибірки	для побудови моделей	200-500	100-400	500-900	300-600	600-900
		для верифікації	600-900	501-800	200-300	700-900	300-599
	Параметри моделі <i>ARX</i> (na-nb-nk)		4-3-7	3-5-8	4-8-3	3-2-7	4-5-6
Непараметричне оцінювання	Значення затримки <i>M</i> для оцінки ІХ системи.		15	25	10	35	20
	Порядок <i>AR</i> -моделі вибілювального фільтру для оцінки ІХ системи.		5	0	15	20	10

Таблиця В.4 – Варіанти завдання 3

Варіант	Розмір вибірки		Параметри моделі ARX	Користувацькі регресори		Функції для конструктора користувачьких регресорів	Вид нелінійності
	для побудови моделі	для контролю		При використанні у співпраці з звичайними	При використанні без звичайних		
1	200-800	1100-1300	2-3-4	$u^2(t-5);$ $y^2(t-1)$	$u^2(t-2);$ $u(t-6);$ $u^4(t-6);$ $y^3(t-1).$	$u(t-2) * u^2(t-5);$ $\sin^2(y(t-1));$ $u^3(t-3) * e^{u(t-1)y(t-2)}$	wave net
2	1-700	800-1050	5-2-8	$u(t-6) * y^2(t-2);$ $y^3(t-1)$	$u^3(t-1);$ $u(t-2);$ $\cos^2(y(t-1));$ $y(t-2)$	$u(t-1) * y^2(t-2);$ $\cos(u^3(t-3));$ $y^2(t-1) * tg(u(t-2))$	sigmoid net
3	100-1000	1001-1400	4-1-6	$u^3(t-8);$ $y^2(t-4)$	$u^2(t-2);$ $u^3(t-3);$ $y^3(t-1);$ $\sin(y(t-4).$	$y^3(t-2) * y^2(t-3);$ $2tg(5y(t-2));$ $\sin^3(u(t-1) * u^3(t-2))$	wave net
4	900-1500	100-400	2-4-9	$y(t-1) * y(t-2);$ $y^2(t-1)$	$u^2(t-3);$ $y(t-1);$ $y^2(t-2);$ $e^{2y(t-3)}.$	$u^3(t-1) * y(t-1);$ $2\sin(u^2(t-2));$ $2\cos(y(t-1) * u^3(t-1))$	sigmoid net
5	500-1200	1-300	3-7-4	$u(t-4) * u^2(t-7);$ $u^3(t-9)$	$\sin(u^3(t-1));$ $u^2(t-4);$ $y^3(t-2);$ $y^2(t-3).$	$u^4(t-1) * u^2(t-8);$ $tg^3(u^2(t-3));$ $y^2(t-2) * e^{u^2(t-2)y(t-3)}$	wave net
6	200-800	1100-1300	2-3-5	$u^3(t-2);$ $y^3(t-3)$	$u^3(t-3);$ $u(t-4);$ $u^4(t-5);$ $y^2(t-1).$	$u(t-3) * u^2(t-1);$ $\sin^2(2y(t-2));$ $u^2(t-1)y(t-2)$	wave net
7	1-700	800-1050	5-2-8	$u(t-4);$ $y^4(t-3)$	$u^2(t-3);$ $u(t-1);$ $\cos^4(t-2);$ $y^3(t-2)$	$u(t-1)u^3(t-2)$ $\cos^2(3y(t-1))$ $u^3(t-3)y(t-1)$	sigmoid net
8	100-1000	1001-1400	4-1-6	$u^2(t-1)$ $y^3(t-3)$	$u^2(t-5);$ $u^2(t-2);$ $\sin^2(t-1);$ $y^4(t-4)$	$u(t-2)u^4(t-1);$ $\cos^4(5y(t-3));$ $u^5(t-1)y(t-4)$	wave net
9	300-900	1000-1200	2-3-3	$u^4(t-3)$ $y^2(t-1)$	$u^2(t-4);$ $u(t-3);$ $u^3(t-2);$ $y^4(t-5)$	$u(t-2)u^2(t-4)$ $\sin^2(5y(t-3))$ $u^2(t-4)y(t-3)$	wave net
10	100-600	400-850	3-3-4	$u^5(t-2)$ $y^3(t-1)$	$u^3(t-4);$ $u(t-2);$ $\sin^4(t-2);$ $y^3(t-1)$	$u(t-2)u^3(t-3);$ $\cos^3(4y(t-2));$ $u^2(t-2)y(t-3)$	sigmoid net

Таблиця В.5 – Варіанти завдання 4

Варіант	Параметр		
	nn	sys	N
1	nb = 3, nf=2, nk=1	$\frac{K_p e^{-T_d s}}{1 + 2\xi T_\omega s + (T_\omega s)^2}$	150
2	nb = 3, nf=3, nk=2	$\frac{K_p e^{-T_d s}}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$	200
3	nb = 2, nf=2, nk=2	$\frac{K_p (1 + T_z s)}{1 + 2\xi T_\omega s + (T_\omega s)^2}$	250
4	nb = 3, nf=2, nk=2	$\frac{K_p e^{-T_d s}}{s(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$	300
5	nb = 3, nf=3, nk=1	$\frac{K_p (1 + T_z s) e^{-T_d s}}{s(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$	350
6	nb = 3, nf=2, nk=2	$\frac{K_p e^{-T_d s}}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$	200
7	nb = 2, nf=2, nk=1	$\frac{K_p e^{-T_d s}}{1 + 2\xi T_\omega s + (T_\omega s)^2}$	350
8	nb = 3, nf=2, nk = 2	$\frac{K_p e^{-T_d s}}{s(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$	150
9	nb = 3, nf=2, nk = 1	$\frac{K_p (1 + T_z s) e^{-T_d s}}{s(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$	250
10	nb = 2, nf= 1, nk = 1	$\frac{K_p (1 + T_z s)}{1 + 2\xi T_\omega s + (T_\omega s)^2}$	300



Навчально-методичне видання

Олександр Анатолійович Костіков
Вікторія Ігорівна Мірошниченко

«ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
АВТОМАТИЗАЦІЇ»

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання курсової роботи

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції

спеціальність	174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка / 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
назва освітньо-професійної програми	Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка в металургії та гірництві / Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та гірництві