МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аерокосмічних систем управління

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри АКСУ

_____ Юрій МЕЛЬНИК

"_____"_____2023р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ

“БАКАЛАВР”

Тема Первинна обробка даних напівнатурного моделювання багатовимірного динамічного стенда-імітатора кутових положень по каналу крену.

Виконавець: _____Дубчак Богдан Мстиславович

Керівник:_____старший викладач Єрмолаєва Ольга Вікторівна

Нормоконтролер:_____к.т.н., доцент Дивнич Микола Полікарпович

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аерокосмічних систем управління

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКСУ

_____Юрій МЕЛЬНИК

"_____"_____2023р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Дубчака Богдана Мстиславовича

(Прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Первинна обробка даних напівнатурного моделювання багатовимірного динамічного стенда-імітатора кутових положень по каналу крену затверджена наказом ректора від «13» 04.2023р. № 507/ст

2. Термін виконання роботи: з "22" травня 2023 р. по"18" червня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: масиви данних вхідних та вихідних сигналів динамічного багатовимірного стенда-імітатора по каналу крена за даними напівнатурного моделювання_____

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Стенди-імітатори, методи обробки сигналів, Первинна обробка стенду-іматора по каналу крена, Висновки,

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки спектральних щільностей вхідного та вихідного сигналів, взаємна спектральних щільностей між вхідним і вихідним сигналами

6. Календарний план-графік:

№ пор	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Уточнення постановки задачі	23.05.2023	
2	Збір інформації	24.05.23 -27.05.23	
	Аналіз літературних джерел	27.05.23-28.05.23	
3	Вступ	28.05.23 -02.06.23	
4	Розділ 1. Стенди-імітатори	03.06.23 -05.06.23	
5	Розділ 2. Методи обробки сигналів	06.06.23 -07.06.23	
6	Розділ 3. Первинна обробка стенду іматора по каналу крена	08.06.23 -09.06.23	
7	Оформлення роботи	10.06.23 -13.06.23	

7. Дата видачі завдання: “8” ___травня_____ 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Єрмолаєва О.В.

(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Дубчак Б.М.

(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему «Первинна обробка даних напівнатурного моделювання багатомірного динамічного стенда-імітатора кутових положень по каналу крену»: 55 сторінок, 20 рисунків, 5 таблиць, 10 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – Багатовимірний динамічний стенд-імітатор кутових положень.

Предмет дослідження – обробка та апроксимація сигналів.

Мета роботи – Розібрати які є види стендів-імітаторів, чим вони відрізняються від симуляторів, розібрати види методів наближення функцій. Провести первинну обробку даних напівнатурного моделювання багатовимірного стенда-імітатора за допомогою методу узагальнених логарифмічних характеристик.

Методи дослідження – метод узагальнених логарифмічних характеристик.

КАНАЛ КРЕНУ, СПЕКТРАЛЬНА ЩІЛЬНІСТЬ, ВЗАЄМНА СПЕКТРАЛЬНА ЩІЛЬНІСТЬ, СПЕКТРАЛЬНА ЩІЛЬНІСТЬ ПРИ НЕКОНТРОЛЬОВАНИХ ЗБУРЕННЯХ, АПРОКСИМАЦІЯ

ЗМІСТ

Вступ

У контексті технологічного розвитку і збільшення точних вимог до якості навігаційних та управлінських систем на борту, потрібно проводити так звані етапи динамічної атестації під час створення або модернізації цих систем. Основна ідея такої атестації полягає в тому, що тестовий об’єкт розміщується на динамічний стенд-імітатор для відтворення рухів рухомого об’єкта в заданих умовах. Збурений рух об’єкта, що характеризується сигналами, являє собою багатовимірний стохастичний процес з відомими динамічними характеристиками, отриманими в результаті тестування прототипів. На основі результатів експерименту ідентифікуються моделі динаміки об’єкту, включаючи матриці спектральних щільностей неконтрольованих збурювань, які впливають на продукт при його роботі в динамічних умовах, аналогічних тим, що імітуються на стенді.

Враховуючи факт, що океанське хвилювання характеризується еліптичним циклічним рухом водяних частинок і океан являє собою потужний елемент, на динаміку якого наявність навіть великого корабля майже не впливає, і те, що частотний діапазон каналів діючого стенду приблизно 1 Гц, значно вищий за основну частоту океанського хвилювання, не потрібно змінювати існуючу структуру управління стендом для імітації "коливань" корабля.

При проведенні структурної ідентифікації об’єкту дослідження та його частин, з урахуванням центрованих випадкових сигналів "вхід-вихід", необхідно виконати наступні кроки: реєстрація зазначених сигналів, первинна обробка зареєстрованих сигналів та складання спектральних і взаємних спектральних щільностей, а також апроксимація отриманих графічних залежностей.

Після первинної обробки вхідних і вихідних сигналів та відповідної апроксимації отриманих графічних залежностей формуються спектральні і взаємні спектральні щільності вектора вихідних сигналів каналу крену

трьохступеневого стенда-імітатора кутових рухів

Об’єкт дослідження – Багатовимірний динамічний стенд-імітатор кутових положень.

Предмет дослідження – обробка та апроксимація сигналів.

Мета роботи – Розібрати які є види стендів-імітаторів, чим вони відрізняються від симуляторів, розібрати види методів наближення функцій. Провести первинну обробку даних напівнатурного моделювання багатовимірного стенда-імітатора за допомогою методу узагальнених логарифмічних характеристик.

Методи дослідження – метод узагальнених логарифмічних характеристик.

Результати моєї роботи пройшли апробацію міжнародній конференції студентських робітПОЛІТ 2023

РОЗДІЛ 1

ОПИС ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕНДІВ-ІМІТАТОРІВ

В цьому розділі ми здійснимо детальний огляд основних понять, термінології та існуючих методик, пов’язаних з багатомірними динамічними стендами-імітаторами кутових положень по каналу крену та первинною обробкою даних. Поняття та термінологія, використовувана в області напівнатурного моделювання, може бути складною та незрозумілою, особливо для тих, хто тільки починає досліджувати цю тему. Тому ми спробуємо надати ясні та зрозумілі визначення ключових термінів.

Однак, просто надати визначення термінів недостатньо для глибокого розуміння теми. Тому ми також проведемо огляд існуючих методик обробки даних, що використовуються в процесі напівнатурного моделювання. Ми детально розглянемо принципи їхньої роботи, переваги та недоліки, а також області застосування. Це дозволить нам краще зрозуміти, які проблеми і обмеження можуть виникнути при використанні цих методик, і як ці проблеми можуть бути вирішені за допомогою нових методів обробки даних, які ми розробляємо.

Останньою, але не менш важливою частиною цього розділу буде аналіз кутових положень по каналу крену. Ми розглянемо, як ці положення моделюються в багатомірних динамічних стендах, і які особливості та виклики пов’язані з цим процесом.

Цей розділ надасть необхідний теоретичний фундамент для наступних розділів, де ми зосередимося на розробці та аналізі нових методів обробки даних.

1.1 Загальна характеристика стендів-імітаторів руху.

Мова йде про системи-імітатори руху, які вже втілені в роботу найпередовіших світових корпорацій, які працюють в таких галузях, як аерокосмічна, морська, оборонна і автомобільна промисловість, біотехнології та

метрологія. Типовими для цього роду обладнання є одноосьові, двохосьові, трьохосьові системи, а також п’ятиосьові системи для напівнатурного моделювання, що забезпечують проведення випробувань в замкнутому циклі.

Приводи, що використовуються в таких системах, дуже різноманітні для найбільш ефективного вирішення технічного завдання від клієнта. Це можуть бути колекторні і безколекторні електродвигуни, а також гідравлічні приводи.

Також існують стенди-імітатори, які доповнені спеціальними характеристиками, для більш точного моделювання:

- Обмежений або необмежений кут повороту
- Кількість і характеристики токозємних кілець
- Волоконно-оптичні з’єднання, що обертаються
- Установка термокамери
- Установка вакуумної камери
- Спеціальна система фіксації навантаження на столі

Існують також спеціалізовані стенди-імітатори, доповнені певними особливостями для більш точного моделювання, такими як обмежений або необмежений кут повороту, кількість та характеристики токозємних кілець, волоконно-оптичні обертові з’єднання, установка термокамери та вакуумної камери, спеціальна система фіксації навантаження на столі. Існують навіть системи, призначені для спеціальних умов випробувань, таких як вакуумностійкі та немагнітні.

До лідерів у виробництві стендів-імітаторів руху належать компанії ACUTRONIC AG (Швейцарія) та Actidyn Systemes (США).

1.1.1. Одноосьові системи

Одноосьові стенди розроблені для імітації кутової швидкості, прискорення та позиціювання для датчиків кутового переміщення, таких як гіроскопи і акселерометри. Їх конструкція зазвичай включає такі елементи, як прецизійні, наперед навантажені підшипники, план-шайба з плоскою

поверхнею з отворами для установки випробовуваного навантаження, колектор для подачі та відбору сигналів з навантаження.

Стенди приводяться в рух двигунами постійного та змінного струму, а для зниження вартості можуть бути використані ремінний привід та контроллер, доступний для окремої покупки. Сучасні контролери здатні працювати в системі автоматичного керування випробуваннями і можуть бути керовані комп'ютером користувача через інтерфейси Ieee-488 або Ethernet (Tcp/ip). Є можливість додаткового встановлення температурної та вакуумної камери.

Рис. 1.1 Одноосьовий стенд BD 125

Діаметр столу - 305мм

Характеристики

Таблиця 1.1

Характеристика стенду BD 125

Діапазон кутових швидкостей	°/с	до 2000
Прискорення без навантаження	°/с	4200

Точність	кут. сек.	1

1.1.2. Системи з двома осями

Системи з двома осями розроблені для імітації руху вздовж двох осей, імітуючи кутову швидкість, прискорення та позиціонування для датчиків кутового переміщення, таких як гіроскопи та акселерометри. Вони також використовуються для перевірки елементів агрегатування, які базуються на цих системах. Наявність великорозмірних температурних камер та висока обертова швидкість є критичними факторами для виробництва датчиків та мікромеханічних гіроскопів. Ці умови забезпечують правильність тестування та високу надійність випробувань.

Рис.1.2. Двохосьовий стенд DC 2267-TCM

Діаметр столу - 660мм

Навантаження - 40 кг

Таблиця 1.2

.Характеристики стенда DC 2267-TCM

Характеристики		Внутр. вісь	Зовн. вісь
Швидкість	°/с	1000	400
Прискорення	°/с^2	1000	80
Точність, СЬКО	кут.сек	1	1

Смуга пропускання	Гц	45	25

Диапазон температур від - 50°C to +90°C

Стабільність температури +/- 1°C

1.1.3. Системи з трьома осями

Системи з трьома осями розроблені для одночасного тестування за трьома осями. Їх зазвичай використовують для калібровки інерціальних приладів для вимірювання, інерціальних навігаційних систем, систем керування, а також окремих інерціальних датчиків для рухомих об’єктів різного типу. Ці стенди можуть імітувати Скорсбі коливання для моделювання різних сценаріїв руху, наприклад, руху судна на морі або політу вертольота. Двох- та трьохосеві системи для імітації руху є найбільш популярними пристроями для тестування інерціальних навігаційних систем на сьогоднішній день. Ці імітатори можуть працювати в режимах позиціонування, підтримання заданої кутової швидкості або слідування траєкторії, а також використовуватися разом з кліматичними камерами для проведення термоциклічних тестів. Ці імітатори є найбільш оптимальним вибором на всіх етапах розробки інерціальних навігаційних систем, включаючи дослідження, розробку, виробництво, первинне тестування та налаштування. Геометрична конфігурація осей системи може бути адаптована для задоволення конкретних вимог або режимів роботи. Також можливе налаштування продуктивності, швидкості, максимального прискорення та точності позиціонування відповідно до конкретних потреб.

Рис 1.3 Стенд BD 357-TCG

Таблиця 1.3

Характеристики стенду BD 357-TCG

Характеристики		Внутр. вісь	Средн. вісь	Зовн. вісь
Швидкість	°/с	100	100	100
Прискорення	°/с^2	50	50	50
Точність, СЬКО	кут.сек.	5	5	5
Кут повороту	°	±185	±185	±185

Охолоджування рідкою вуглекислотою

Диапазон температур від - 55°C to +90°C

Стабильность температури +/- 1°C

1.1.4 П’ятиосьові стенди

Зазвичай п’ятиосьові системи напівнатурних випробувань використовуються для моделювання польоту об’єктів. Таке тестування значно знижує витрати на реальні випробування перед початком виробництва виробів.

На стендах випробовуються навантаження великої ваги, що вимагає високої точності і динаміки у поєднанні з прискоренням і швидкістю. Для цих цілей застосовуються гідравлічно приводи і безколекторні електродвигуни.

Рис.1.4. П’ятиосьова система напівнатурних випробувань

Таблиця 1.4

Характеристики п’ятиосьової системи фірми ACUTRONIC AG

Характеристики	Од.ізм.	Крен	Рискання	Тангаж	Азимут	Піднесення
Зсув	град	Постійне	±60	±110	±60	±45
Швидкість	°/с	1,500	400	400	100	100
Прискорення	$^{\circ}/с^2$	32,000	15,000	15,000	1,200	1,200
Смуга пропускання сервоконтура	Hz	40	30	25	10	10

1.2. Специфікація та динамічні характеристики стенда, використовуваного в дослідженні.

Одним з основних вимог до сучасних імітаторів руху є максимальна точність імітації реального руху об’єкта. Це важливо при створенні ефективних систем імітації для повноцінного та напівнатурного моделювання. Для управління цими імітаторами (динамічними стендами) в сучасних умовах потрібно розробляти нові алгоритми, які дозволять досягнути оптимального виконання критеріїв якості, забезпечуючи високу точність імітації програмованих рухів з урахуванням стохастичних відхилень та шуму вимірювань. Так, динамічні стенди для імітації слід розглядати як складні багатовимірні динамічні системи, які враховують випадкові впливи.

Теоретичні дослідження та практичні експерименти демонструють, що точність більшості гіроскопічних систем залежить від характеру руху об’єктів, на яких вони встановлені. При цьому більшість факторів, які збурюють роботу систем і які виникають через технологію їх виробництва та експлуатацію, проявляються лише при випадковому русі об’єктів. Основні вимоги до наземних тестів кібернетичних комплексів включають максимально точну імітацію реальних умов (рухів).

Відомо, що під час реального руху гіроскопічні прилади та інерціальні навігаційні системи (ІНС) зазвичай піддаються стохастичним впливам. Аналіз існуючих стендів для тестування гіроскопічних приладів показав, що вони, як правило, працюють за принципом детермінованих впливів. Однак, аналіз літератури показав, що в багатьох випадках характер зміни помилок гіроскопічних приладів та ІНС під впливом випадкових впливів суттєво відрізняється від того, що виникає при детермінованих впливах. Більше того, врахування випадкових впливів дозволяє пояснити появу деяких складових помилок у гіроскопічних приладах і ІНС.

Основна відмінність запропонованого стенда полягає в тому, що він представляє собою оптимальний електромеханічний формуючий фільтр, який перетворює сигнали програмного вектора в вектор механічних рухів платформи. Стенд складається з платформи, встановленої на трьох

ступінчастому кардановому підвісі, з двигунами та датчиками вихідних реакцій на кожній осі. В комплекті також входять підсилювачі потужності.

Особливості конструкції, принцип дії та принципова схема цієї частини стенда були детально розглянуті. З метою оцінки лінійності моделі цієї частини стенда та визначення параметрів було проведено етап ідентифікації динаміки стенда. Розроблені алгоритми та методика ідентифікації при гармонійних впливах дозволяють отримувати моделі багатовимірних електромеханічних об’єктів, враховуючи механічні (інерційні, гіроскопічні) перехресні зв’язки.

Стенд оснащений оптимальною системою управління, реалізованою на аналоговій елементній базі. Однак, ця система управління може бути також реалізована в дискретному вигляді, оскільки діапазон робочих частот програмних сигналів стенда значно нижчий за можливі частоти дискредитації. Для оптимальної точності імітації стохастичних рухів судна навколо центру мас в збуреному русі, запропонована динамічна система управління, функціональна схема якої представлена на рисунку 1.5.

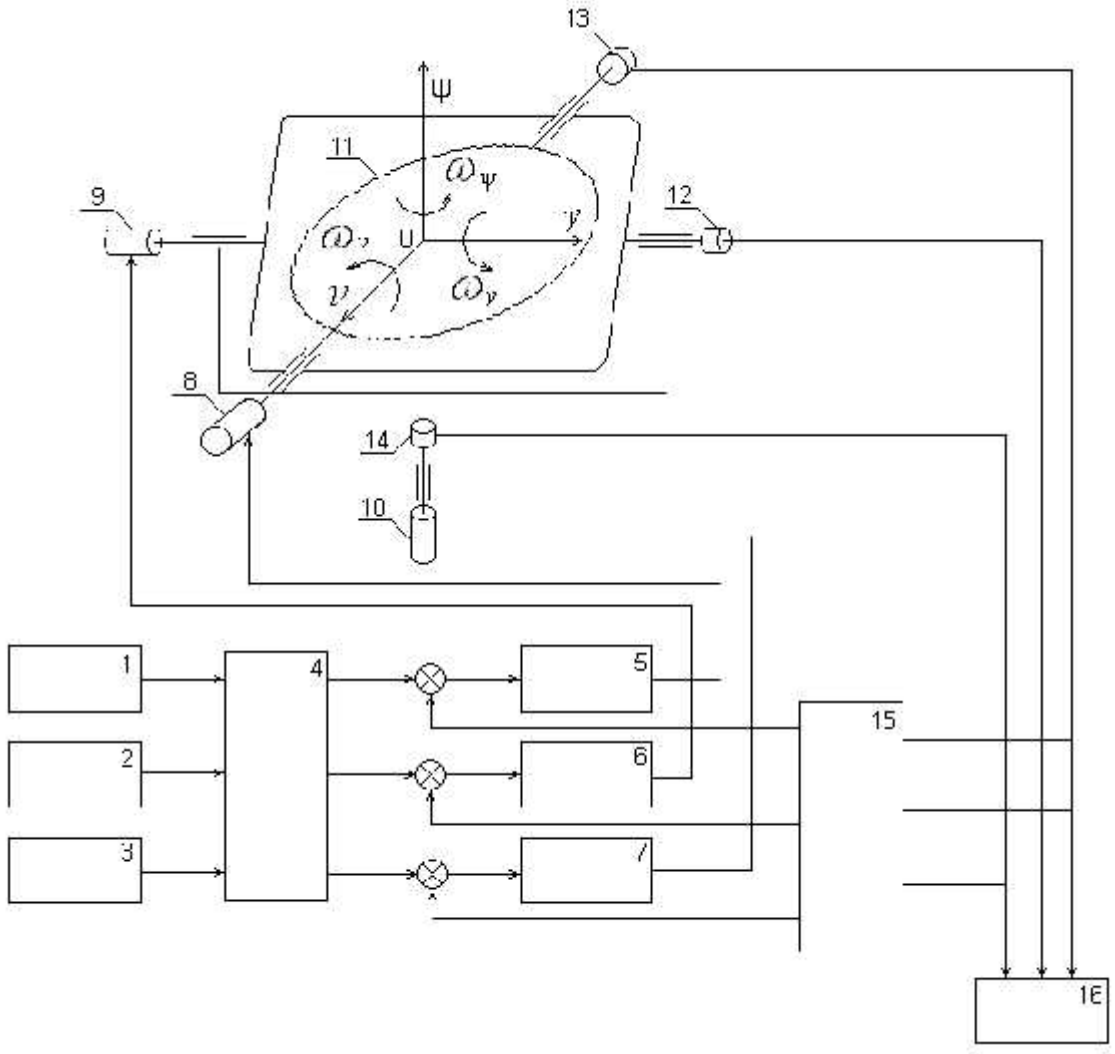


Рис. 1.5. Функціональна схема ДМС

1, 2, 3 – задаючі генератори шуму; 4, 15 – блоки системи управління;

5, 6, 7 – підсилювачі потужності та напруги; 8, 9, 10 – виконавчі двигуни;

11 – платформа стенда; 12, 13, 14 – датчики зворотних зв’язків; 16 – реєстратор або ПЕОМ.

Для випробування приладів та систем, які встановлюються на рухомій платформі ДМС, можуть бути використані стаціонарні сигнали, які мають характеристики, максимально близькі до реальних. Багатовимірний стаціонарний випадковий процес, що є повністю визначеним, дозволяє імітувати рухи, які відповідають дійсним експлуатаційним умовам. Основна мета полягає у відтворенні платформою ДМС кутових рухів, найбільш приближених до рухів судна.

На вхід ДМС подається багатовимірний стаціонарний випадковий сигнал, наприклад, вектор "білих" шумів. Він також надходить до електронного формуючого фільтра ФФ, що перетворює вектор в електричні сигнали, які повністю відповідають рухам, імітуючим рух судна.

Особливість пропонованого ДМС полягає в тому, що він представляє собою не просто електричний, а оптимальний електромеханічний формуючий фільтр. Цей фільтр перетворює вектор електричних сигналів у вектор механічних рухів платформи, який відповідає реальному збуреному кутовому руху судна в конкретному режимі руху. Точність імітації обмежується лише властивостями механічної системи, тобто вектором ψ, та співвідношенням корисного сигналу і шуму в вимірюванні вихідних реакцій.

Для підвищення точності навігаційних систем судна, необхідно знати реальні динамічні характеристики перешкод у вимірювальних системах. Ці характеристики можна визначити за допомогою спеціалізованих ДМС, які здатні точно відтворювати стохастичні рухи судна. Це, в свою чергу, дозволяє покращити якість даних, які використовуються для керування і навігації судна, та забезпечити більш ефективне та безпечне його управління.

Проведення динамічної атестації також передбачає використання реальних даних про рух судна для точного відтворення реальних робочих умов. Дані, що отримані від прототипів, збираються, обробляються і використовуються для випробування нових систем у безпечних та контрольованих умовах. Це дозволяє нам переконатися, що системи працюють належним чином і що вони відповідають вимогам безпеки та ефективності.

Процес динамічної атестації також включає ідентифікацію моделей динаміки виробу. Це означає, що відповідні характеристики системи, такі як її реакція на різні типи впливів, аналізуються і використовуються для покращення її дизайну і функціонування. Матриці спектральних щільностей використовуються для аналізу динаміки системи і виявлення потенційних проблем.

Особливістю пропонованого ДМС є його здатність адаптуватися до різних умов роботи. Завдяки використанню оптимального електромеханічного формуючого фільтра, система може точно відтворювати рухи судна в різних режимах руху, враховуючи реальну динаміку заданої механічної системи, динамічні характеристики збурень і завад вимірювань.

Все це допомагає підвищити точність навігаційних систем судна, впроваджуючи сучасні технології та методики атестації, що використовують стохастичні процеси для імітації реальних рухів судна.

Зауважимо, що основні параметри, які були використані при моделюванні, включають амплітуду судової качки, період хвилювання, швидкість вітру, температуру повітря і води. Також були враховані такі характеристики судна, як його маса, розміри, форма і матеріали корпусу, а також властивості його моторів і рульового управління.

У процесі випробувань, діапазон функціонування стенду був налаштований на частоти від 0.01 до 1 Гц, що відповідає діапазону основних частот хвилювання океану. Це включає в себе розгляд широкого діапазону умов, від спокійної поверхні океану до сильного шторму.

Система контролю для стенду була розроблена з використанням сучасного програмного забезпечення, яке включає в себе алгоритми оптимізації і машинного навчання для досягнення найвищої точності моделювання.

Всі вимірювання велися за допомогою сучасних цифрових датчиків, які мають високу точність і швидкість відгуку. Система збору даних включала цифрові акселерометри, гіроскопи, вимірювачі тиску, температури і вологості, а також спеціальні датчики для вимірювання деформації корпусу судна.

За допомогою цього комплексного підходу ми можемо отримати глибоке розуміння динаміки судна в реальних умовах і впровадити ці знання в процес проектування та експлуатації майбутніх суден.

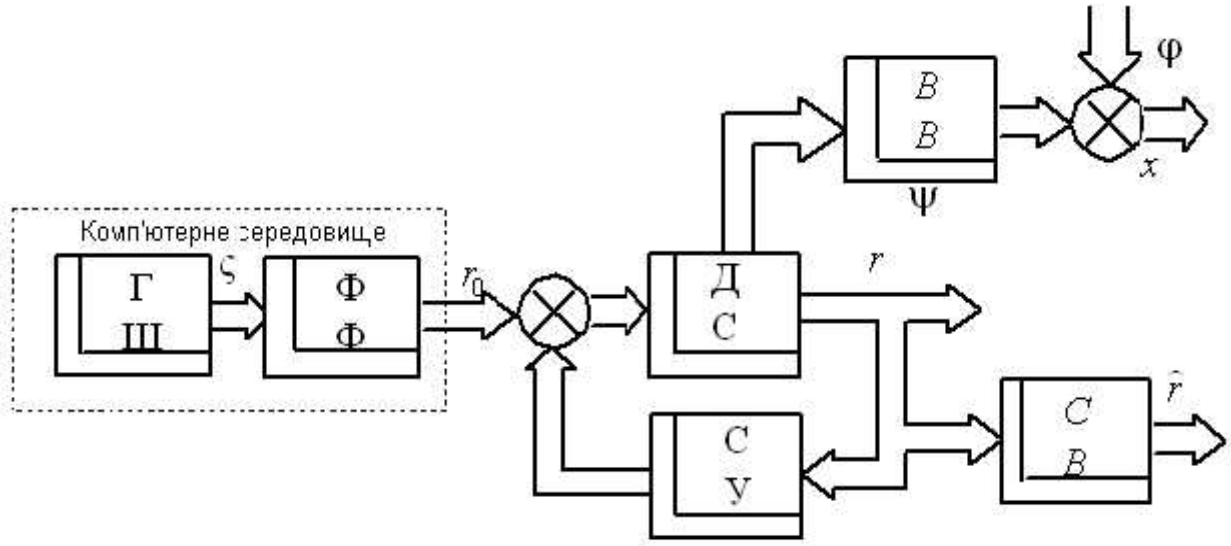


Рис. 1.6. Блок-схема тракту імітації

В блок-схемі наведені наведені наступні позначення:

ГШ – генератор шумів;

ФФ – багатомірний фільтр, формуючий вектор програмних сигналів стенда r_0

ДС – динамічний стенд;

СУ – штатна система управління стендом;

$\hat{r}$ - вектор оціночних значень кутових координат стенда-імітатора.

Висновок до розділу:

Цей розділ присвячений детальному опису та аналізу характеристик стендів-імітаторів. Ми розглянули їх важливість в контексті технологічного прогресу і зростання вимог до точності і якості бортових навігаційних та управлінських систем.

Стенди-імітатори відіграють ключову роль у процесі створення або модернізації таких систем, оскільки вони дозволяють провести динамічну атестацію тестових об’єктів в умовах, що імітують реальний рух. Це забезпечує можливість ідентифікувати динамічні моделі об’єкту і визначити спектральні

щільності неконтрольованих збурювань, які можуть впливати на продукт під час його роботи в динамічних умовах.

Ми також розглянули, як структура управління стендом може залишатися незмінною, навіть при імітації "коливань" корабля в океані, з урахуванням високого частотного діапазону каналів діючого стенду порівняно з основною частотою океанського хвилювання.

В кінці розділу ми детально розглянули процес структурної ідентифікації об’єкта дослідження та його частин, який включає в себе реєстрацію вхідних і вихідних сигналів, їх первинну обробку, а також апроксимацію отриманих графічних залежностей для складання спектральних щільностей.

В цілому, розглянуті в розділі стенди-імітатори виявилися незамінними інструментами в процесі дослідження, модернізації та створення бортових навігаційних та управлінських систем.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Методи наближення функцій служать для вирішення численних задач, коли аналітичне вирішення є неможливим або надто складним. Ці методи дозволяють апроксимувати функцію за допомогою більш простих функцій або дискретних значень. Основні методи включають:

Інтерполяція є методом чисельного аналізу, що використовується для встановлення нових точок відносно відомого набору точок.

Основними методами інтерполяції є лінійна інтерполяція, поліноміальна інтерполяція, сплайн-інтерполяція та інтерполяція за допомогою методу найменших квадратів.

2.1 Лінійна інтерполяція

Це найпростіший метод інтерполяції. Він припускає, що дві сусідні точки з'єднані прямою. Лінійна інтерполяція між двома точками (x0, y0) та (x1, y1) може бути виражена такою формулою:

$$f(x) = y0 + (x - x0) * ((y1 - y0) / (x1 - x0))$$

2.2 Поліноміальна інтерполяція

Поліноміальна інтерполяція використовується для встановлення полінома, який проходить через декілька відомих точок. Для множини точок (x1, y1), (x2, y2), ..., (xn, yn), поліноміальна інтерполяція генерує поліном n-1 степеня P(x), такий що P(xi) = yi для всіх i = 1, 2, ..., n.

Поліном Лагранжа є найпопулярнішим методом поліноміальної інтерполяції. Він виражається такою формулою:

$$L(x) = \Sigma [y * \Pi (x - x) / (x - x)]$$

для i, j = 1, 2, ..., n та j ≠ i.

2.3 Сплайн-інтерполяція

Сплайн-інтерполяція використовується, коли потрібна більш гладка крива. Вона призводить до набору поліномів низького степеня, кожен з яких обчислюється для різних діапазонів x. Кубічний сплайн є найбільш поширеним видом сплайн-інтерполяції.

2.4 Інтерполяція методом найменших квадратів

Інтерполяція методом найменших квадратів використовується, коли набір точок містить шум, і ми хочемо знайти найкращу лінію або криву, яка найкраще відповідає даним. Цей метод мінімізує суму квадратів відхилень між реальними даними та апроксимуючою функцією.

Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, і вибір конкретного методу залежить від конкретного застосування.

2.5 Метод найменших квадратів (Least Squares Method) - це математичний метод оптимізації, який шукає найкраще рішення, мінімізуючи суму квадратів відхилень між передбаченими та дійсними даними. Він широко використовується в регресійному аналізі для апроксимації моделей.

Розглянемо на прикладі лінійної регресії. Предположимо, що у нас є набір точок даних $(x1, y1), (x2, y2), \ldots, (x\ , y\ )$, і ми хочемо знайти лінійну функцію, яка найкраще підходить для цих даних. Така функція має вигляд:

$$y = a\ + b$$

де a - це кутовий коефіцієнт (slope), а b - це коефіцієнт зсуву (intercept). Ці параметри можна визначити, мінімізуючи суму квадратів відхилень ($\Sigma\,[y\ - (ax\ + b)]^2$), де y - це реальне значення, $a\,(ax\ + b)$ - це передбачене значення.

Для визначення a та b можна використати наступні формули:

$$a = [n * (\Sigma\ \ ) - (\Sigma x\ )(\Sigma y\ )] / [n * (\Sigma x^2) - (\Sigma x\ )^2]$$

$$b = [(\Sigma y\ )(\Sigma x^2) - (\Sigma\ \ )(\Sigma x\ )] / [n(\Sigma x^2) - (\Sigma x\ )^2]$$

де:

- n є кількістю точок;
- Σxi є сумою всіх значень x;
- Σyi є сумою всіх значень y;
- Σxi*yi є сумою профуктів пар значень x і y;
- Σxi^2 є сумою квадратів значень x.

Ці формули допомагають знайти параметри лінійної моделі, які мінімізують суму квадратів відхилень, що робить цей метод дуже корисним для вирішення проблем регресії в статистиці, машинному навчанні та інших областях.

2.6 Аналіз Фур'є - це метод, який використовується для аналізу часових рядів або сигналів. Він перетворює сигнал з часового простору (де кожний сигнал представлений як послідовність значень в часі) в частотний простір (де сигнал представлений як сума синусоїд різних частот).

Це здійснюється за допомогою **Перетворення Фур'є**, що описується такою формулою:

$$F(\omega) = \int f(t)\, e^{-i\omega}\, d$$

де:

- $F(\omega)$ - це перетворення Фур'є функції f(t),
- ω - це частота,
- i - це уявна одиниця,
- e - це основа натурального логарифму,
- $\int$ - це інтеграл.

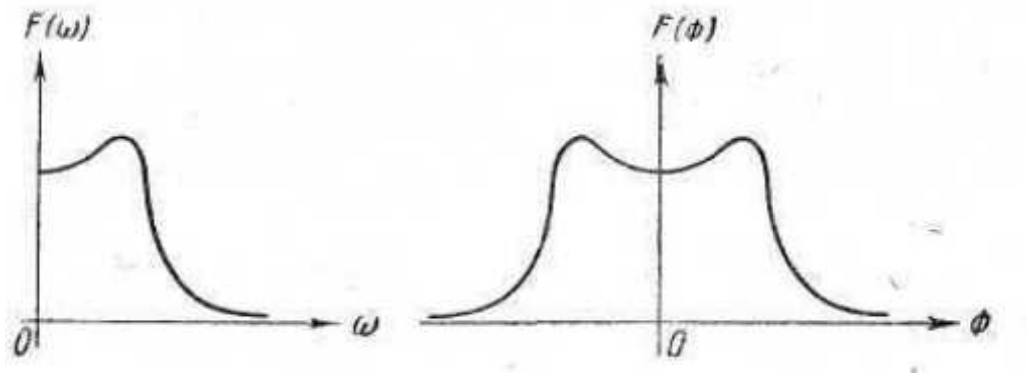


Рис. 2.1

Обернене перетворення Фур’є використовується для відновлення сигналу в часовому просторі з частотного простору і визначається наступною формулою:

$$f(t) = (1 / 2\pi) \int F(\omega)\, e^{i\omega} \; d$$

Аналіз Фур’є використовується в багатьох областях, включаючи фізику, інженерію, математику, обробку сигналів і т.д. Для дискретних сигналів і часових рядів використовується Дискретне перетворення Фур’є (DFT), а його ефективна обчислювальна реалізація відома як Швидке перетворення Фур’є (FFT).

2.7 Метод узагальнення логарифмічних характеристик

Узагальнення логарифмічних характеристик – це механізм, який дозволяє аналізувати та представляти динаміку комплексних систем. Цей метод є основою багатьох математичних моделей і технік в різних галузях, таких як статистика, фінанси, машинне навчання і інше.

Математичне основування

Логарифмічні характеристики базуються на основних принципах логарифму, які походять від його визначення. Логарифм числа a за основою b - це степінь, до якої потрібно піднести основу b, щоб отримати число a. Застосування логарифмів може спростити багато математичних обчислень, особливо коли мова йде про множення та ділення великих чисел.

У контексті узагальнення, ми можемо розглянути "логарифмічні характеристики" як універсальні атрибути, які можна використовувати для аналізу широкого спектру феноменів. Прикладами таких характеристик можуть бути логарифмічний розподіл, логарифмічне усереднення, логарифмічне вимірювання, і т.д.

Визначення логарифму

Логарифм числа a за основою b визначається наступним чином:

$$log\_b(a) = x$$

де x - це степінь, до якої потрібно піднести основу b, щоб отримати число a. Тобто, $b^x = a$.

2.2.2 Властивості логарифмів

Властивості логарифмів відіграють важливу роль в узагальненні логарифмічних характеристик. Основні властивості включають:

1. $lo_{\_}b(a * c) = lo_{\_}b(a) + lo_{\_}b(c)$
2. $lo_{\_}b(a / c) = lo_{\_}b(a) - lo_{\_}b(c)$
3. $lo_{\_}b(a^n) = n * lo_{\_}b(a)$
4. $lo_{\_}b(b) = 1$
5. $lo_{\_}b(1) = 0$

Узагальнення логарифмічних характеристик

Розглянемо простий приклад узагальнення логарифмічних характеристик за допомогою логарифмічного усереднення. Замість використання арифметичного середнього для ряду чисел {a1, a2, ..., an}, ми можемо обчислити логарифмічне середнє так:

$$M\_lo_{\_} = 10^{(1/n * [lo\ 1\ (a1) + lo\ 1\ (a2) + ... + lo\ 1\ (a\ )])}$$

де n - це кількість елементів в ряду.

2.2.4 Перетворення даних за допомогою логарифмічних характеристик

У деяких випадках, перетворення даних за допомогою логарифмічних характеристик може бути корисним для роботи з даними великого масштабу. Для прикладу, якщо у нас є набір даних $X = \{x1, x2, \ldots, x\ \}$, ми можемо обчислити логарифмічні перетворення як:

$$lo_{\_}X = \{lo_{\_}(x1), lo_{\_}(x2), \ldots, lo_{\_}(x\ )\}$$

Це часто корисно для управління високими значеннями, скосами або високими степенями варіації в даних.

2.8 Методика первинної та вторинної обробки даних

Обробка даних в сучасному контексті часто вимагає використання програмного забезпечення і алгоритмів, розроблених для специфічних завдань,

що охоплюють широкий спектр можливостей від простої обробки табличних даних до складних аналітичних і прогнозних моделей.

У контексті моделювання динаміки суден, цей процес може включати в себе різні стадії, такі як предварительна обробка даних, кластеризація, класифікація, прогнозування, а також інтерпретація результатів.

Предварительна обробка даних включає очищення даних від шуму та виправлення помилок, нормалізацію даних, виявлення та видалення викидів, заповнення відсутніх значень, перетворення даних тощо.

Кластеризація використовується для групування даних на основі подібності, що дозволяє визначити групи схожих об’єктів або явищ. Це може бути особливо корисним при вивченні різних типів суден або різних умов експлуатації.

Класифікація є процесом визначення категорії, до якої належить об’єкт або явище, на основі його характеристик. Прогнозування полягає в оцінці майбутніх значень або тенденцій на основі існуючих даних.

Інтерпретація результатів - це аналіз отриманих результатів з метою виявлення важливих висновків або паттернів. Цей етап може включати в себе формулювання гіпотез, виявлення тенденцій або зв’язків між різними властивостями або об’єктами, та виявлення нових фактів або закономірностей.

Всі ці етапи вимагають використання відповідних інструментів і технологій, включаючи програмне забезпечення для обробки даних, математичні та статистичні методи, а також методи машинного навчання і штучного інтелекту.

Протиставлення якісної та кількісної обробки даних, дійсно, може бути умовним, адже обидва види аналізу мають свою цінність і є важливими складовими частинами процесу обробки даних. Застосування одного без іншого може призвести до неповної або зовнішньої картини досліджуваного об’єкта чи явища.

Кількісний аналіз використовує кількісні та статистичні дані для розробки твердих фактів і виявлення шаблонів або тенденцій. Якісний аналіз, з іншого боку, включає в себе детальне розуміння контексту, мотивів, думок та почуттів, що стосуються об’єкту дослідження.

Обидва методи доповнюють одне одного і, при правильному використанні, можуть забезпечити більш глибокий аналіз і краще розуміння досліджуваного об’єкту. Кількісна обробка часто використовується на початкових стадіях дослідження для визначення загальних тенденцій і визначення областей для подальшого дослідження, тоді як якісна обробка використовується для глибшого розуміння цих областей.

Факторний аналіз, таксономічний аналіз, класифікація та інші методи демонструють взаємозалежність якісної та кількісної обробки. Вони використовують як кількісні дані, так і якісні описи для визначення характеристик, що є спільними для групи об’єктів, а також для виявлення відмінностей між групами.

Кінцевою метою обох методів є забезпечення точних, надійних та перевірених даних, на основі яких можна робити обґрунтовані наукові висновки. Кількісна обробка становить основу для вибірки та аналізу даних, а якісна обробка допомагає в переході від сухих цифр до глибокого та всебічного розуміння досліджуваного явища.

2.8.1 Методи статистичної обробки результатів експерименту

Методи статистичної обробки результатів експерименту мають велику різноманітність і вибір конкретного методу в значній мірі залежить від цілей експерименту та характеру зібраних даних.

Т-критерій Стьюдента є одним з найбільш широко використовуваних методів статистичного аналізу. Цей критерій дає змогу порівняти середні значення двох вибірок і визначити, наскільки суттєво вони відрізняються від одне одного.

Хі-квадрат аналіз дозволяє визначити, наскільки спостережувані дані відрізняються від очікуваних результатів. Цей метод часто використовується для аналізу категоріальних даних.

Аналіз коваріації (ANCOVA) - це метод, що поєднує регресійний аналіз і дисперсійний аналіз, і використовується для вивчення впливу одної або кількох незалежних змінних на залежну змінну, враховуючи одну або кілька інших змінних (коваріат).

Тест Манна-Уїтні - це не параметричний статистичний тест, який використовується для порівняння двох незалежних вибірок. Цей тест особливо корисний, коли дані не відповідають припущенням т-тесту, особливо відносно нормального розподілу.

Кластерний аналіз використовується для групування об’єктів або змінних в класи, так що об’єкти або змінні в одному класі є більш схожими між собою, ніж об’єкти або змінні в різних класах.

Принципово важливо пам’ятати, що статистичний аналіз не замінює професійного судження. Він може підтримувати процес прийняття рішень, але не вирішує самостійно проблеми.

2.9 Первинна обробка даних

Всі методи кількісної обробки прийнято поділяти на первинні та вторинні.

Первинна статистична обробка [11] націлена на упорядкування інформації про об’єкт і предмет вивчення. На цій стадії «сирі» відомості групуються за тими чи іншими критеріями, заносяться у зведені таблиці. Первинно оброблені дані, представлені в зручній формі, дають дослідникові в першому наближенні поняття про характер усієї сукупності даних в цілому: про їх однорідності – неоднорідності, компактності – розкиданості, чіткості – розмитості і т.д. Ця інформація добре прочитується з наочних форм подання даних і дає відомості про їх розподіл.

2.10 Задача первинної обробки даних.

Під *первинною обробкою даних* в системах реального часу розуміється обробка даних, що надходять з виходів первинних перетворювачів інформації (датчиків).

Задачу первинної обробки даних можна сформулювати наступним чином: відомі спостережувані (вимірювані), які містять помилки, дійсні значення Y введеної фізичної величини, а також структура і похибки Δy обладнання, що входить до складу вимірювального каналу (Рис. 2.1). Необхідно знайти номінальні значення фізичної величини X_0 або її дійсні значення X.

Рис. 3.1. Задача первинної обробки даних.

На практиці завдання первинної обробки [5] інформації являє собою комплекс наступних взаємно пов’язаних завдань.

- масштабування, калібрування, лінеаризація характеристик обладнання вимірювального каналу;
- контроль достовірності виміряних значень;
- коректування впливу помилок вимірювання Δy і перешкод Δx.

Розглянемо ці завдання на прикладі одновимірного вимірювального каналу з лінійною статичною характеристикою:

$$y = k \quad + m \tag{2.1}$$

де k, m – константа та масштабні коефіцієнти відповідно.

Завдання масштабування полягає у визначенні масштабних коефіцієнтів у виразі (2.1).

Завдання калібрування (градуювання) полягає у визначенні функції.

$$x = f(y) \tag{2.2}$$

Функція (2.2) називається калібрувальною (градуювальною) функцією і визначається експериментально або за характеристиками пристроїв.

Завдання лінеаризації полягає в апроксимації калібрувальної функції у вигляді ламаної або полінома n-го ступеня по заданих опорних точках. Масив опорних точок називається калібрувальною (градуювальною) таблицею.

Контроль достовірності вимірюваних значень фізичної величини полягає в перевірці наявності можливих помилок апаратури та контроль очевидних помилок, наприклад, дефектів датчиків, грубих помилок вимірювання або явних невідповідностей. Контроль достовірності вимірювань зазвичай здійснюється за допомогою виразів:

$$x_m \leq x \leq x_m \ ,$$
$$X_m \leq X_- \leq X \leq X_+ \leq X_m \qquad (2.3)$$

де x_m , x_m – межі діапозона достовірності вимірюваної величини X; X_-, X_+ – небезпечні межі зміни величини X.

При вирішенні завдання коригування впливу помилок вимірювання і перешкод розрізняють:

- статичне коригування виміряних значень (компенсацію);
- динамічне коригування (фільтрацію, згладжування).

Необхідність статичного коригування виникає при нестабільності масштабних коефіцієнтів k та m у (2.1). Ефект *"дрейфу нуля"* виміряного каналу пов'язаний, наприклад, із зміною в часі масштабного коефіцієнта

$$M = M(t). \qquad (2.4)$$

Масштабний коефіцієнт k визначає чутливість вимірювального каналу і може змінюватися, наприклад, залежно від температури

$$K = K(T^0C). \qquad (2.5)$$

Якщо відомі закони зміни масштабних коефіцієнтів (2.4) і (2.5), то завдання компенсації вирішується відповідно з виразом:

$$Y = [K + K(T^0C)]X + [M + M(t)]. \qquad (2.6)$$

Динамічне коректування виміряних значень реалізується методом згладжування виміряних значень за рахунок формування середніх:

$$\bar{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X. \quad (2.7)$$

2.10.1 Основні етапи первинної обробки

Первинна статистична обробка - це набір методів та процедур, які застосовуються для збору, обробки і аналізу статистичних даних. В ході застосування первинних методів статистичної обробки отримуємо показники, безпосередньо пов’язані з проведеними в дослідженні вимірами.[11] Також можна виділити основні етапи обробки статистичної інформації:

1. Складання зведеної таблиці вихідної інформації в порядку зростання показників надійності (варіаційний ряд);
2. Складання статистичного ряду;
3. Визначення середнього значення (M) і середнього квадратичного відхилення (σ) показника надійності;
4. Перевірка інформації на випадні точки;
5. Графічне зображення дослідженої інформації (побудова полігону і кривої накопичених досліджених ймовірностей показника надійності);
6. Визначення коефіцієнта варіації (υ), який характеризує відносне розсіювання показника надійності;
7. Вибір теоретичного закону розподілу, визначення його параметрів і графічна побудова диференціальної та інтегральної кривих;
8. Оцінка збігу досліджуваного і теоретичного розподілів за критеріями згоди;
9. Визначення довірчих меж одиночних і середніх значень показника надійності та найбільших можливих помилок розрахунку.

Основні методи первинної обробки До основних методів первинної статистичної обробки відносяться:

1. Обчислення мір центральної тенденції;
2. Міри розкиду (мінливості) даних.

Первинний статистичний аналіз всієї сукупності отриманих у дослідженні даних дає можливість охарактеризувати її в гранично стислому вигляді і відповісти на два головних питання:

1. Яке значення є найбільш характерним для вибірки;
2. Чи великий розкид даних щодо цього характерного значення, тобто яка «розмитість» даних.

Для вирішення першого питання обчислюються міри центральної тенденції, для вирішення другого – міри мінливості (або розкиду). Ці статистичні показники використовуються відносно кількісних даних, представлених порядковою, інтервальною або пропорційною шкалою.

При первинному аналізі важливо також враховувати:

- Підготовку даних для аналізу, включаючи перевірку на відсутність помилок та неприпустимих значень;
- Визначення мір форми розподілу даних, включаючи скісність та ексцес;
- Пошук взаємозв’язку між різними показниками в даних, використовуючи кореляційний аналіз.

2.11.Задачі вторинної обробки даних

Задачу вторинної обробки даних можна сформулювати наступним чином: відомі відновлені в результаті розв’язку задачі первинної обробки номінальні або дійсні значення вимірюваних фізичних величин X. Необхідно знайти управляючі дії U , що забезпечують стан об’єкта управління відповідно до його алгоритму функціонування. [7] Пошук керуючих впливів здійснюється відповідно алгоритмом управління. Таким чином, алгоритмом рішення завдання вторинної обробки даних є алгоритм управління (рис. 2.2), де ΔU похибка методу розв’язання задачі.

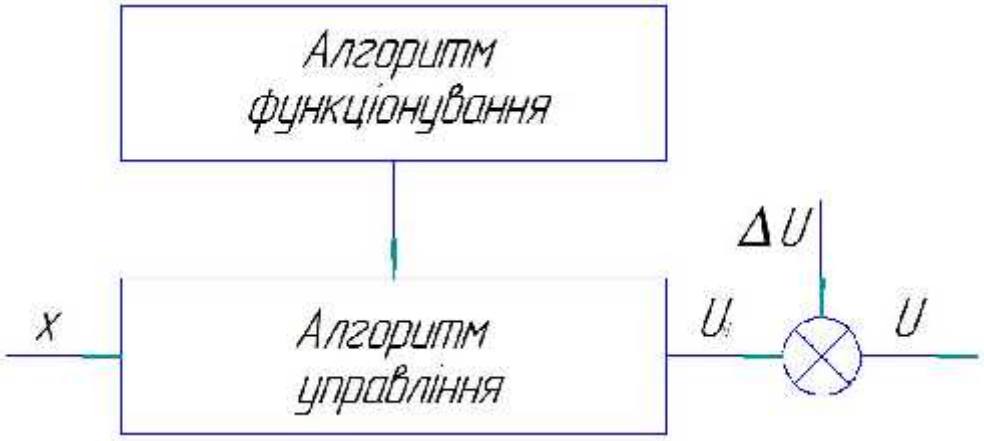


Рис. 3.2. Схема алгоритму вирішення завдання вторинної обробки даних.

2.12 Методи вторинної обробки даних

До вторинних відносяться такі методи статистичної обробки, за допомогою яких на базі первинних даних виявляють приховані в них статистичні закономірності. Вторинні методи можна поділити на регресійне числення, методи оцінки значущості відмінностей і методи встановлення статистичних взаємозв'язків, методи виявлення внутрішньої статистичної структури емпіричних даних (наприклад, факторний аналіз)

Регресійний аналіз

Регресійне числення - це метод математичної статистики, що дозволяє звести частинні, розрізнені дані до деякого лінійної графічної залежності, який приблизно відбиває їх внутрішній взаємозв'язок, і отримати можливість за значенням однієї із змінних приблизно оцінювати ймовірне значення іншої змінної.[12]

Графічне вираження регресійного рівняння називають лінією регресії. Лінія регресії виражає найкращі передбачення залежною зміною *(Y)* із незалежним змінним *(X).*

Регресію виражають за допомогою двох рівнянь регресії, які в самому прямому випадку виглядають, як рівняння прямої.

$$Y = a_0 + a_1 X \quad (2.15)$$

$$X = b_0 + b_1 Y; \quad (2.16)$$

У рівнянні (2.15) *Y* – залежна змінна, *X* – незалежна змінна, a_0 – вільний член, a_1 – коефіцієнт регресії, або кутовий коефіцієнт, що визначає нахил лінії регресії по відношенню до осей координат.

У рівнянні (2.16) *X* – залежна змінна, *Y* – незалежна змінна, b_0 – вільний член, b_1 – коефіцієнт регресії, або кутовий коефіцієнт, що визначає нахил лінії регресії по відношенню до осей координат.

Кількісне представлення зв'язку (залежності) між *X* та *Y* (між *Y* і *X*) називається *регресійним аналізом*. Головне завдання регресійного аналізу полягає в знаходженні коефіцієнтів a_0, b_0, a_1 та b_1 і визначенні рівня значимості отриманих аналітичних виразів, що зв'язують між собою змінні *X* і *У*.

При цьому коефіцієнти регресії a_1 і b_1 показують, наскільки в середньому величина однієї змінної змінюється при зміні на одиницю іншої. Коефіцієнт регресії a_1 у рівнянні можна розрахувати за формулою:

$$a_1 = r_x \frac{S_y}{S_x}, \tag{2.17}$$

а коефіцієнт b_1 в рівнянні за формулою

$$b_1 = r_x \frac{S_x}{S_y} \tag{2.18}$$

де r_x - коефіцієнт кореляції між змінними *X* і *Y*; S_x - середньоквадратичне відхилення, розраховане для змінної *X*; S_y – середньоквадратичне відхилення, розраховане для змінної *Y*.

Для застосування методу лінійного регресійного аналізу необхідно дотримуватися таких умов:

1. Порівняні змінні *X* і *Y* повинні бути виміряні в шкалі інтервалів або відносин.

2. Передбачається, що змінні *X* і *Y* мають нормальний закон розподілу.

3. Число варіюючих ознак у порівнюваних змінних має бути однаковим.

Способи оцінки значущості відмінностей

Для порівняння вибіркових середніх величин, які належать двом сукупностям даних, і для вирішення питання про те, чи відрізняються середні значення статистично достовірно один від одного, використовують t-критерій Стьюдента. Його формула виглядає наступним чином:

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{|m_1^2 - m_2^2|}} \quad (2.19)$$

де M_1, M_2 – вибіркові середні значення порівнюваних вибірок; m_1, m_2 – інтегровані показники відхилень приватних значень із двох порівнюваних вибірок, обчислюються за такими формулами:

$$m_1^2 = \frac{D_1}{N_1};$$

$$m_2^2 = \frac{D_2}{N_2}, \quad (2.20)$$

де D_1, D_2 – дисперсії першої та другої вибірок; N_1, N_2 – число значень в першій і другій вибірках.

Після обчислення значення показника t за таблицею критичних значень, обирають рівень значимості ~ та знаходять число ступенів свободи ($N_1 + N_2 - 2$, з обраною ймовірністю припустимої помилки (0,05, 0,01, 0,02, 001 і т.д.) знаходять табличне значення t. Якщо обчислене значення t більше або дорівнює табличному, роблять висновок про те, що порівняні середні значення двох вибірок статистично достовірно різняться з імовірністю допустимої помилки, меншою або рівною обраної.

Якщо в процесі дослідження постає завдання порівняти неабсолютносні середні величини, частотні розподіли даних, то використовується χ^2критерій, формула якого виглядає наступним чином:

$$\chi^2 = \sum_{k-1}^{m} \frac{(V_k - P_k)^2}{P_k}, \quad (2.21)$$

де $P_k -$ частоти розподілу в першому вимірюванні, $V_k -$ частоти розподілу в другому вимірюванні, $m -$ загальна кількість груп, на які розділилися результати вимірювань.

Після обчислення значення показника χ^2 по таблиці критичних значень, заданого числа ступенів свободи $(m-1)$ і обраної ймовірності припустимої помилки (0,05, 0,01, 0,02, 001 і т.д.) (χ^2 більше або дорівнює табличному) роблять висновок про те, що порівняні розподіли даних у двох вибірках статистично достовірно різняться з імовірністю допустимої помилки, меншою або рівною обраної.

Для порівння дисперсії двох вибірок використовується F −критерій Фішера. Його формула виглядає наступним чином:

$$F(N_1 - 1, N_2 - 1) = \frac{D_1}{D_2}, \quad (2.22)$$

де D_1, D_2 − дисперсії першої та другої вибірки; N_1, N_2 − число значень в першій і другій вибірках.

Після обчислення значення показника F по таблиці критичних значень, заданого числа ступенів свободи $(N_1 - 1, N_2 - 1)$ знаходиться $F_{кр}$. Якщо обчислене значення F більше або дорівнює табличному, роблять висновок про те, що відмінність дисперсій в двох вибірках статистично достовірно.

Способи встановлення статичних взаємозв’язків

Попередні показники характеризують сукупність даних за певною одною ознакою. Ця змінна ознака називається змінною величиною або просто змінною. Ступінь зв’язку виявляють співвідношенням між двома змінними або між двома вибірками. Ці зв’язки, або кореляції, визначають через обчислення коефіцієнтів кореляції. Однак наявність кореляції не означає, що між змінними існує причинний (або функціональний) зв’язок.

Функціональна залежність – це окремий випадок кореляції. Навіть якщо зв’язок функціональний, кореляційні показники не можуть вказати, яка з двох змінних є причиною, а яка – наслідком.

За тим, наскільки тісний зв’язок, виділяють наступні види кореляції: повна, висока, виражена, часткова, відсутність кореляції. Ці види кореляцій визначають залежно від значення коефіцієнта кореляції.

При повній кореляції його абсолютні значення рівні або дуже близькі до 1. У цьому випадку встановлюється обов’язкова взаємозалежність між змінними. В даному випадку імовірна функціональна залежність.

Висока кореляція встановлюється при абсолютному значенні коефіцієнта кореляції 0,8 – 0,9. Виражена кореляція вважається при абсолютному значенні коефіцієнта 0,6 – 0,7. Часткова корреляція існує при абсолютному значенні коефіцієнта 0,4 – 0,5. Абсолютні значення коефіцієнта кореляції менше 0,4 свідчать про дуже слабкий кореляційний зв’язк і даний вид кореляції, як правило, в розрахунок не приймається. Відсутність кореляції констатується при значенні коефіцієнта кореляції 0.

Крім того, в інжннерній практиці при оцінці тісноти зв’язку використовують так звану «окрему» класифікацію кореляційних зв’язків. Вона орієнтована не на абсолютну величину коефіцієнтів кореляції, а на рівень значимості цієї величини при певному обсязі вибірки. Ця класифікація застосовується при статистичній оцінці гіпотез. При цьому підході передбачається, що чим більше вибірка, тим менше значення коефіцієнта кореляції може бути прийняте для визнання достовірності зв’язків, а для малих вибірок навіть абсолютно велике значення коефіцієнта може виявитися недостовірним.

По спрямованості виділяють такі види кореляційних зв’язків: позитивна (пряма) і негативна (зворотня).

Позитивний (прямий) кореляційний зв’язок реєструється при коефіцієнті зі знаком «плюс»: при збільшенні значення однієї змінної спостерігається збільшення іншої.

Негативна (зворотна) кореляція має місце при значенні коефіцієнта зі знаком «мінус». Це означає зворотну залежність: збільшення значення однієї змінної тягне за собою зменшення іншої.

За формою розрізняють такі види кореляційних зв’язків: прямолінійну і криволінійну. При *прямолінійному* зв’язку рівномірним змінам однієї змінної

відповідають рівномірні зміни іншої. Якщо говорити не тільки про кореляції, а й про функціональні залежності, то такі форми залежності називають пропорційними. При *криволінійному* зв'язку рівномірна зміна однієї ознаки поєднується з нерівномірною зміною іншого.

Коефіцієнт лінійної кореляції за К. Пірсоном (r) визначається за допомогою наступної формули:

$$r = \frac{\sum x}{N}, \tag{2.23}$$

де x − відхилення окремого значення x від середнього вибірки (M_x), y − відхилення окремого значення y від середнього вибірки (M_y), δ − стандартне відхилення для x, δ − стандартне відхилення для y, N − число пар значень x і y.

При порівнянні порядкових даних застосовується коефіцієнт рангової кореляції за Ч. Спірменом (R):

$$R = 1 - \frac{\sum d^2}{N(N^2-1)}, \tag{2.24}$$

де d − різниця рангів (порядкових місць) двох величин, N − число порівнюваних пар величин двох змінних (X і Y).

Впровадження в наукові дослідження автоматизованих засобів обробки даних дозволяє швидко і точно визначати будь кількісні характеристики будь-яких масивів даних. Розроблено різні програми для комп'ютерів, за якими можна проводити відповідний статистичний аналіз практично будь-яких вибірок.

Для застосування приватного коефіцієнта кореляції необхідно дотримуватися таких умов:

1. Порівнянні змінні повинні бути виміряні в шкалі інтервалів або відносин.

2. Передбачається, що всі змінні мають нормальний закон розподілу.

3. Число варіюють ознак у порівнюваних змінних має бути однаковим.

4. Для оцінки рівня достовірності кореляційного відносини Пірсона слід користуватися формулою і таблицею критичних значень для *t*-критерію Стьюдента при $k = n - 2$.

Факторний аналіз

Факторний аналіз - статистичний метод, який використовується при обробці великих масивів експериментальних даних. Завданнями факторного аналізу є: скорочення числа змінних (редукція даних) та визначення структури взаємозв'язків між змінними, тобто класифікація змінних, тому факторний аналіз використовується як метод скорочення даних або як метод структурної класифікації. [12]

Важлива відмінність факторного аналізу від всіх описаних вище методів полягає в тому, що його не можна застосовувати для обробки первинних, або, як кажуть, "сирих", експериментальних даних, тобто отриманих безпосередньо при обстеженні досліджуваних. Матеріалом для факторного аналізу служать кореляційні зв'язки, а точніше – коефіцієнти кореляції Пірсона, які обчислюються між змінними, включеними до обстеження. Іншими словами, факторному аналізу піддають кореляційні матриці, або, як їх інакше називають, матриці інтеркорреляцій. Найменування стовпців і рядків у цих матрицях однакові, тому що вони представляють собою перелік змінних, включених в аналіз. З цієї причини матриці інтеркорреляцій завжди квадратні, тобто кількість рядків у них дорівнює кількості стовбців, і симетричні, тобто на симетричних місцях щодо головної діагоналі стоять одні й ті ж коефіцієнти кореляції.

Головне поняття факторного аналізу – фактор. Це штучний статистичний показник, що виникає в результаті спеціальних перетворень таблиці коефіцієнтів кореляції між досліджуваними психологічними ознаками, або матриці интеркорреляций. Процедура вилучення факторів з матриці интеркорреляций називається факторизації матриці. У

результаті факторизації з кореляційної матриці може бути вилучено різну кількість чинників аж до числа, рівного кількості вихідних змінних. Однак фактори, що виділяються в результаті факторизації, як правило, нерівноцінні за своїм значенням.

Найчастіше в результаті факторного аналізу визначається не один, а кілька факторів, по-різному пояснюють матрицю інтеркорреляций змінних. У такому випадку фактори ділять на генеральні, загальні і одиничні. *Генеральними* називаються фактори, всі факторні навантаження яких значно відрізняються від нуля (нуль навантаження свідчить про те, що дана зміна ніяк не пов'язана з іншими і не чинить на них ніякого впливу в житті). *Загальні* – це фактори, які мають частина факторних навантажень відмінна від нуля. *Одиничні* – це чинники, в яких істотно відрізняється від нуля тільки одна з навантажень.

Факторний аналіз може бути доречним, якщо виконуються наступні критерії.

1. Не можна факторизувати якісні дані, отримані за шкалою найменувань, наприклад, такі, як колір волосся (чорний / каштановий / рудий) і т. і.

2. Всі змінні повинні бути незалежними, а їх розподіл повинен наближатися до нормального.

3. Зв'язки між змінними повинні бути приблизно лінійні або, принаймні, не мати явно криволінійного характеру.

4. У вихідній кореляційній матриці має бути кілька кореляцій по модулю вище 0,3. В іншому випадку досить важко витягти з матриці будь-які чинники.

5. Вибірка досліджуваних повинна бути досить великою. Рекомендації експертів варіюють. Найбільш жорстка точка зору рекомендує не застосовувати факторний аналіз, якщо кількість піддослідних менше 100, оскільки стандартні помилки кореляції в цьому випадку виявляться занадто великі.

Однак якщо фактори добре визначені (наприклад, з навантаженнями 0.7, а не 0.3), експериментатору потрібна менша вибірка, щоб виділити їх. Крім того, якщо відомо, що отримані дані відрізняються високою надійністю (наприклад, використовуються валідні тести), то можна аналізувати дані і по меншому числу досліджуваних.

Підсумовуючи можна зробити висновки по даному розділу, якщо дані, отримані в експерименті, якісного характеру, то правильність роботи на основі їх висновків повністю залежить від інтуїції, ерудиції та професіоналізму дослідника, а також від логіки його міркувань. Якщо ж ці дані кількісного типу, то спочатку проводять їх первинну, а потім вторинну статистичну обробку. Первинна статистична обробка полягає у визначенні необхідного числа елементарних математичних статистик. Така обробка майже завжди передбачає як мінімум визначення вибіркового середнього значення. У тих випадках, коли інформативним показником для експериментальної перевірки запропонованих гіпотез є розкид даних відносного середнього значення, обчислюється дисперсія або відхилення. Значення медіани рекомендується обчислювати тоді, коли передбачається використовувати методи вторинної статистичної обробки, розраховані на нормальний розподіл. Для такого роду розподілу вибіркових даних медіана, а також мода збігаються або досить близькі до середньої величини. Цим критерієм можна скористатися для того, щоб приблизно судити про характер отриманого розподілу первинних даних.

Вторинна статистична обробка (порівняння середніх, дисперсій, розподілів даних, регресійний аналіз, кореляційний аналіз, факторний аналіз та ін.). Проводиться в тому випадку, якщо для вирішення завдань чи докази запропонованих гіпотез необхідно визначити статистичні закономірності, приховані в первинних експериментальних даних. Приступаючи до вторинної статистичної обробці, дослідник передусім має вирішити, які з різних вторинних статистик йому слід застосувати для обробки первинних експериментальних даних. Рішення приймається на основі врахування

характеру перевіряється гіпотези і природи первинного матеріалу, отриманого в результаті проведення експерименту.

Якщо експериментальна гіпотеза містить припущення про те, що в результаті проведеного дослідження зростуть (або зменшаться) показники якого якості, то для порівняння до - і постекспериментальних даних рекомендується використовувати критерій Ст'юдента або χ^2 - критерій. До останнього звертаються в тому випадку, якщо первинні експериментальні дані відносні і виражені, наприклад, у відсотках.

Якщо експериментальна гіпотеза, що перевіряється, включає в себе твердження про причинно- наслідкового залежності між деякими змінними, то її доцільно перевіряти, звертаючись до коефіцієнтів лінійної або рангової кореляції. Лінійна кореляція використовується в тому випадку, коли вимірювання незалежною і залежною змінних виробляються за допомогою інтервального шкали, а зміни цих змінних до і після експерименту невеликі. До рангової кореляції звертаються тоді, коли досить оцінити зміни, що стосуються порядку проходження один за одним по величині незалежних і залежних змінних, або коли їх зміни досить великі, або коли вимірювальний інструмент був порядковим, а не інтервальним.

Іноді гіпотеза включає припущення про те, що в результаті експерименту зростуть або зменшаться індивідуальні відмінності між випробуваними. Таке припущення добре перевіряється за допомогою критерію Фішера, що дозволяє порівняти дисперсії до і після експерименту. Зауважимо, що, користуючись критерієм Фішера, можна працювати тільки з абсолютними значеннями показників, але не з їх рангами.

Висновок до розділу:

Використання різних методів наближення функцій та аналізу сигналів має важливе значення в численних дисциплінах, включаючи математику, статистику, інженерію, фізику та комп'ютерні науки.

1. Метод інтерполяції використовується для встановлення нових точок на основі вже відомого набору точок. Залежно від конкретного застосування, можуть бути використані різні методи інтерполяції, такі як лінійна, поліноміальна, сплайн-інтерполяція або метод найменших квадратів. Кожен з них має свої переваги та обмеження.

2. Метод найменших квадратів - це стандартний метод оптимізації, що шукає рішення, яке мінімізує суму квадратів відхилень між передбаченими та реальними даними. Цей метод особливо корисний для моделювання лінійних залежностей, але він також може бути адаптований для нелинійних моделей.

3. Аналіз Фур’є є потужним інструментом для аналізу часових рядів та сигналів. Він дозволяє перетворити сигнал з часового простору до частотного простору, що може допомогти у виявленні періодичних компонентів сигналу або видаленні шуму.

Ці методи надають важливі інструменти для аналізу та розуміння даних. Вибір конкретного методу залежить від конкретного застосування та природи даних. Крім того, їх застосування вимагає глибокого розуміння їх переваг, обмежень та припущень.

РОЗДІЛ 3

ПЕРВИННА ОБРОБКА СТЕНДУ ІМАТОРА ПО КАНАЛУ КРЕНА

Одна з головних вимог, яка пред’являється до сучасних динамічних стендів-імітаторів рухів, - це найбільша близькість рухів, які імітуються, до тих, що імітують. Таке завдання виникає при створенні конкурентноспроможних комплексів, що імітують натурне або напівнатурні моделювання. Для управління імітаторами у теперішніх умовах необхідні алгоритми, які забезпечать оптимальне управління стендом-імітатором, тобто забезпечать максимальну точність імітації стохастичних програмних рухів з урахуванням завад вимірювань. Тому такі імітатори необхідно розглядати як складні багатомірні динамічні системи при динамічних впливах.

Одна з головних проблем – це недостатність знань про моделі динаміки руху реальних рухливих об’єктів. Наявні досить повні відомості про деформації плавучого командного комплексу у різних режимах, які дають підстави достатньо близько оцінити моделі динаміки кутового „хитання” судна.

Додатково, у процесі первинної обробки даних важливо також врахувати наступні кроки:

- Проведення оцінки кореляції між вхідними і вихідними сигналами, що допоможе зрозуміти ступінь взаємного впливу цих сигналів;
- Визначення нормальності розподілу сигналів за допомогою графічних методів (наприклад, використовуючи гістограми або QQ-графіки) та статистичних тестів (наприклад, тест Шапіро-Уілка або тест Колмогорова-Смірнова);
- Проведення спектрального аналізу сигналів, що включає в себе визначення головних частотних компонентів сигналів і вивчення їх амплітудної

та фазової характеристик;

) Використання методів часового ряду для аналізу темпоральних залежностей у сигналах і виявлення можливих трендів, сезонності, циклічності та інших взаємозв’язків у часі.

Після проведення первинної обробки даних і отримання результатів вищезгаданих процедур, необхідно проаналізувати ці результати, використовуючи теоретичні знання про систему, що досліджується.

Усі розрахунки проводяться у пакеті прикладних програм MATLAB за спеціально складеною програмою, текст якої наведено у додатках роботи.

3.1 Побудова кривих спектральних щільностей

Після проведення напівнатурного моделювання були зареєстровані масиви вхідних та вихідних сигналі На рис. 3.1 та 3.2 зображено осцилограми вхідних та вихідних реакцій стенда-імітатора по каналу крена, побудовані з використанням стандартних команд середовища MATLAB.

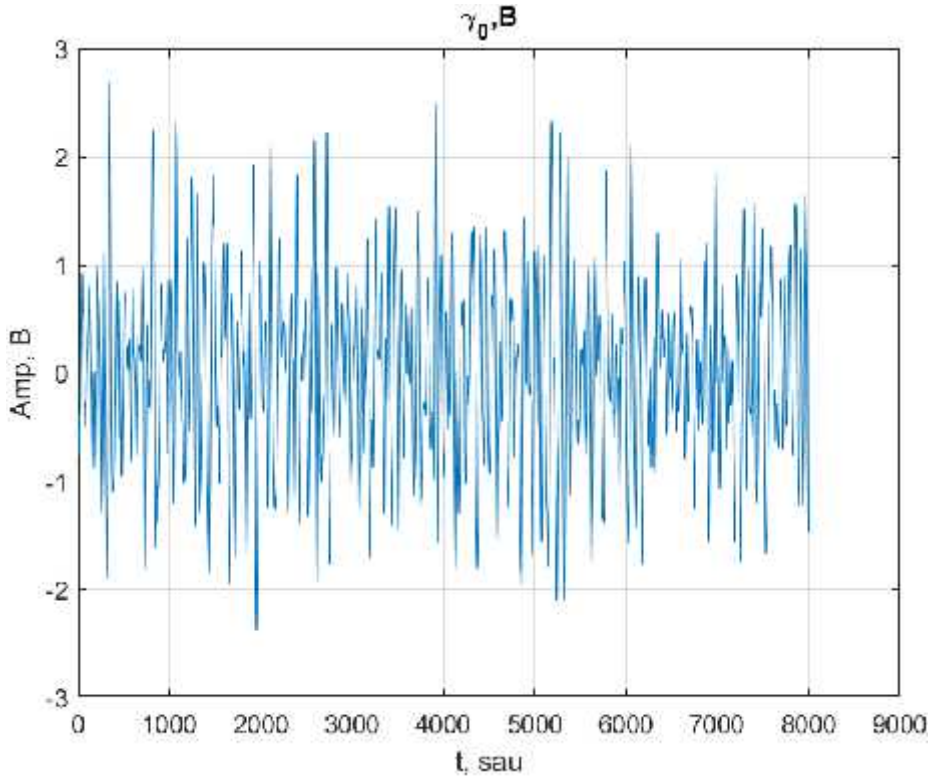


Рис. 3.1 Осцилограма вхідного сигналу багатовимірного стенда-імітатора по каналк крену

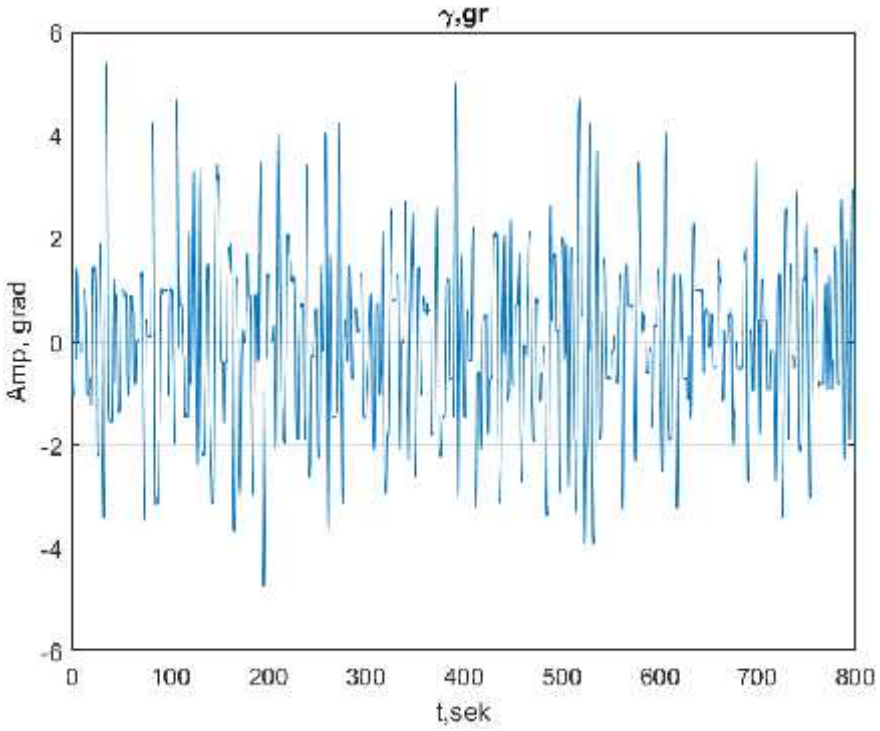


Рис. 3.2 Осцилограма вихідного сигналу багатовимірного стенда-імітатора по каналк крену

За побудованими графічними залежностями видно, що обидва досліджуваних сигнали мають випадковий характер. Для обробки і подальшого дослідження стохастичних даних використовують статистичні методи.

На практиці при обробці випадкових процесів найчастіше користуються функціями спектральних та взаємних спектральних щільностей.

Для побудови кривих спектральних та взаємних спектральних щільностей застосовується функція spectr. Функція spectr на першому кроці за векторами досліджуваних даних виконує розрахунок кореляційних та взаємних кореляційних функцій. На другому кроці до віднайдених функцій застосовують перетворення Фур’є. Перетворенням Фур’є кореляційної функції, як відомо, буде залежність для спектральної щільності. Таким чином у результаті роботи функції spectr визначаються графічні залежності для спектральних та взаємних спектральних щільностей.

Побудовані у логарифмічному масштабі власні спектральні щільності вхідного та вихідного сигналів зображені на рис. 3.3. та рис. 3.4

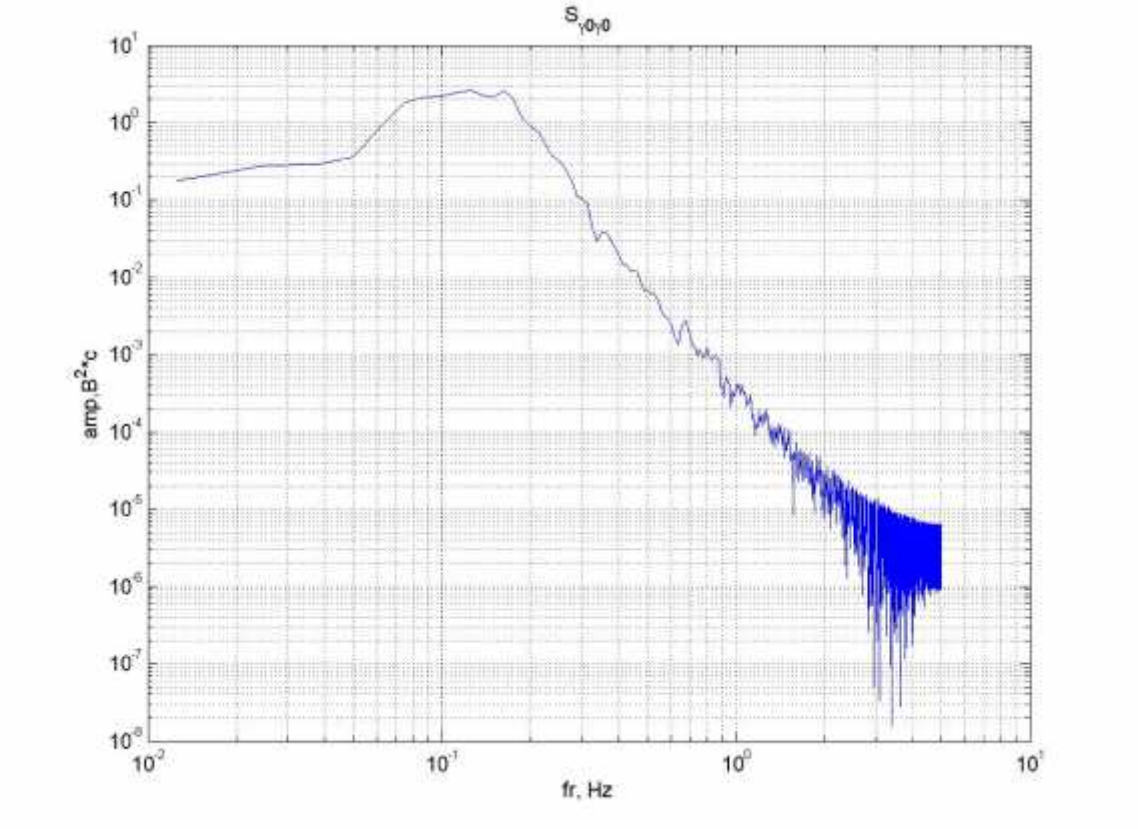


Рис. 3.3 Спектральна щільність вхідного о сигналу багатовимірного стенда-імітатора по каналк крену

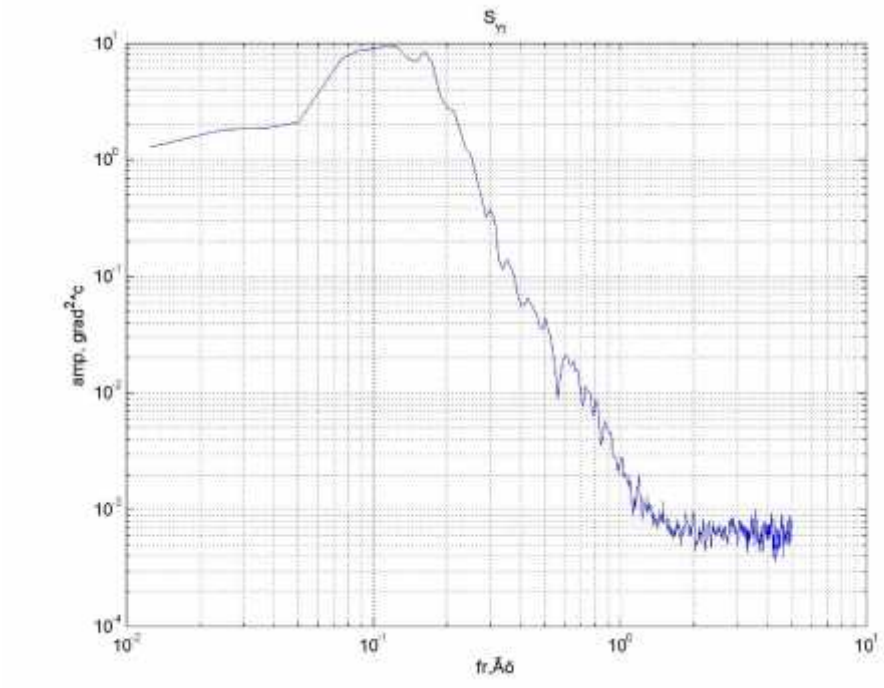


Рис. 3.4 Спектральна щільність вхідного сигналу багатовимірного стенда-імітатора по каналк крену

Амплітудна та фазова характеристики взаємна спектральної щільності між вхідим та вихідним сигналами зображені на рис. 3.5 і рис. 3.6.

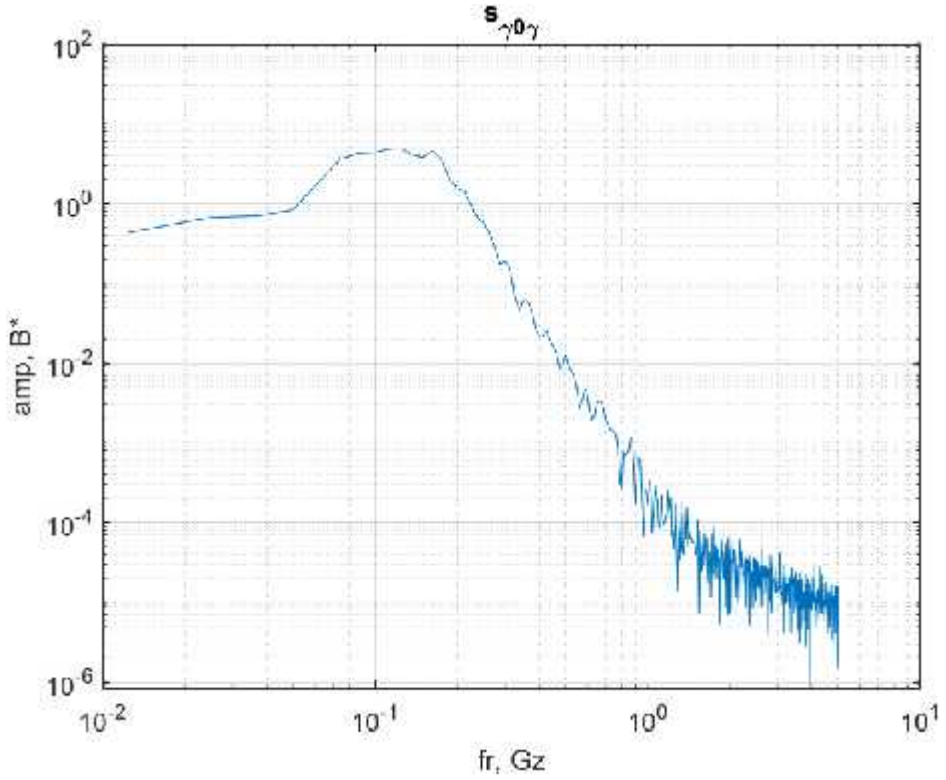
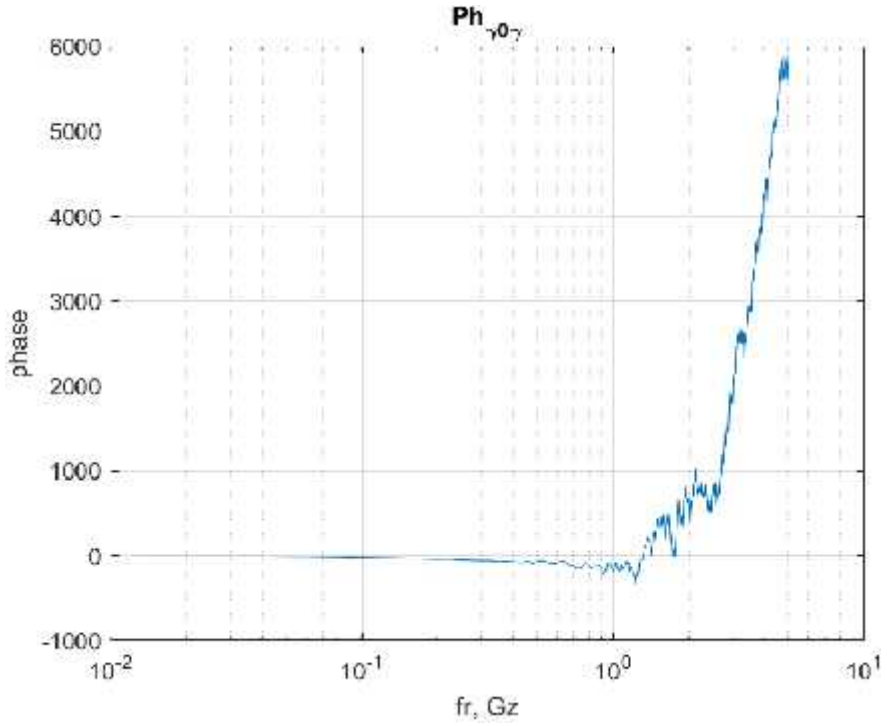


Рис.3.5 Амплитудна характеристика взаєна спектральної щільності між вхідним та вихідним сигналами багатовимірного стенда-імітатора по каналу крену



б

Рис. 3.6 Фазова характеристика взаєна спектральної щільності між вхідним та вихідним сигналами багатовимірного стенда-імітатора по каналу крену

Амплітудна та фазова характеристики взаємна спектральної щільності між вихідим та вхідним сигналами зображені на рис. 3.7 і рис. 3.8

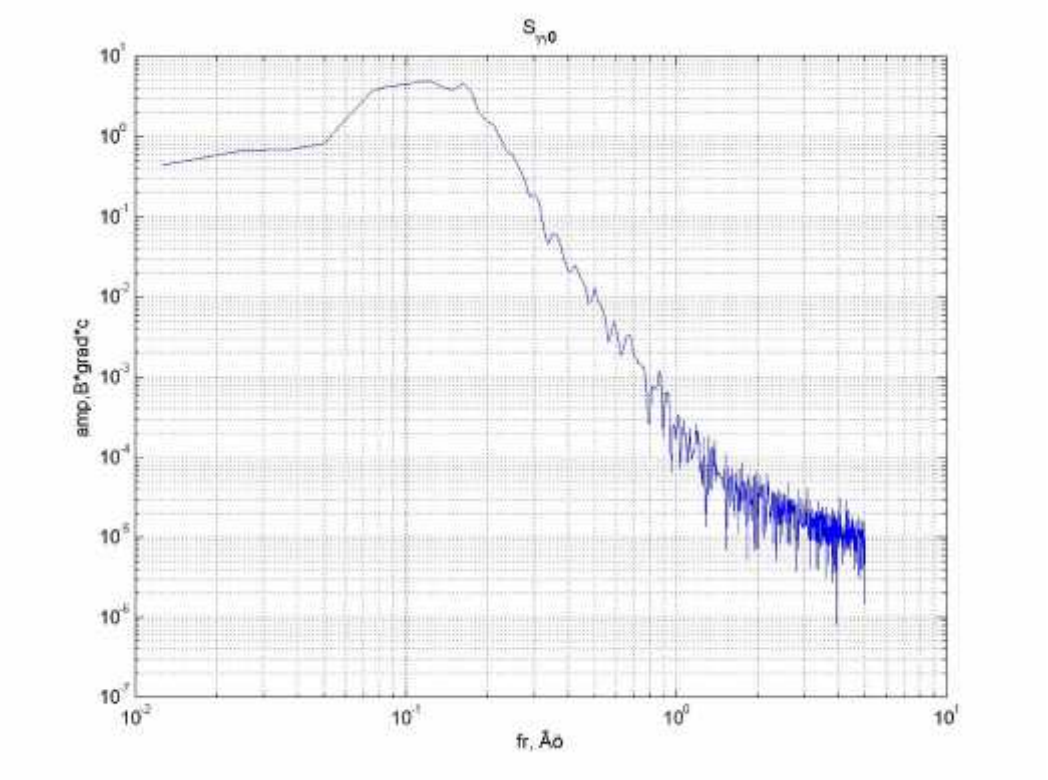


Рис.3.7 Амплитудна характеристика взаєна спектральної щільності між вихідним та вхідним сигналами багатовимірного стенда-імітатора по каналу крену

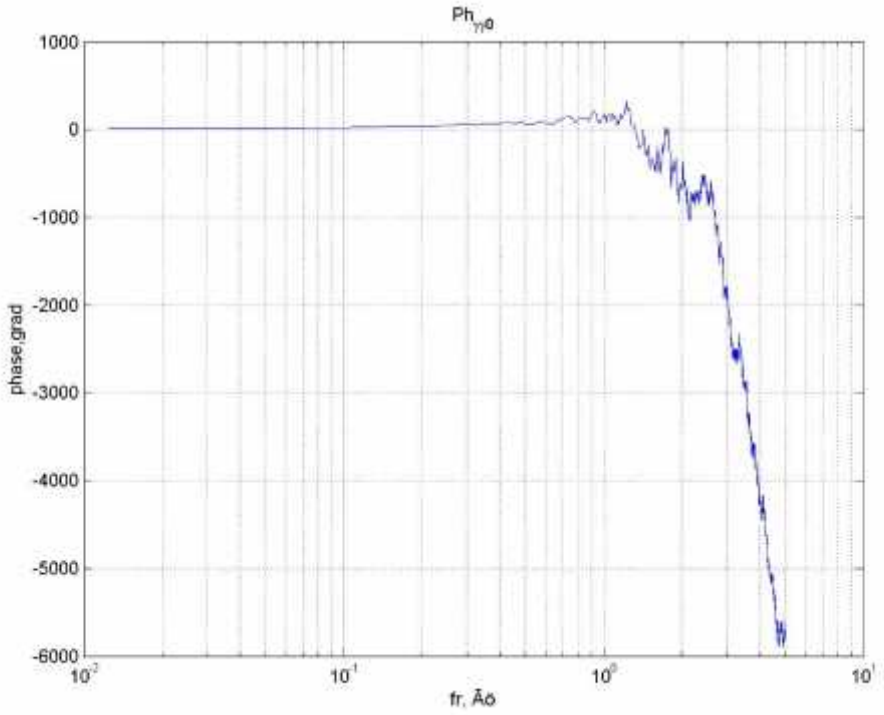


Рис. 3.8 Фазова характеристика взаєна спектральної щільності між вихідним та вхідним сигналами багатовимірного стенда-імітатора по каналу крену

3.2 Апроксимація логарифмічних кривих спектральних щільностей

За побудованими логарифмічними графічними залежностями амплітуди від частоти треба віднайти математичні моделі для спектральних та взаємних спектральних щільностей вхідного та вихідного сигналів системи. З цією метою логарифмічні криві спектральних щільностей апроксимуються методом узагальнених логарифмічних характеристик.

На початковому етапі певні інтервали кривої замінюються асимптотами, які являють собою логарифмічні амплітудні частотні характеристики типових ланок. В результаті цього встановлюються загальний вигляд математичного виразу для спектральних щільностей, з яких ланок він складається і приблизні значення параметрів цих ланок – значення постійних часу та коефіцієнтів демпфування.

Отримана наближена математична модель уточняється у пакеті програм MATLAB, шляхом подальшого добору типових ланок та їх параметрів таким чином, щоб крива, побудована за апроксимаційним виразом якомога ближче проходила до експериментальної кривої, побудованої функцією spectr.

Графічне представлення апроксимованої і вихідної спектральних щільностей по вхідному сигналу багатовимірного стенду імітатора по каналу крена зображено на рис. 3.9.

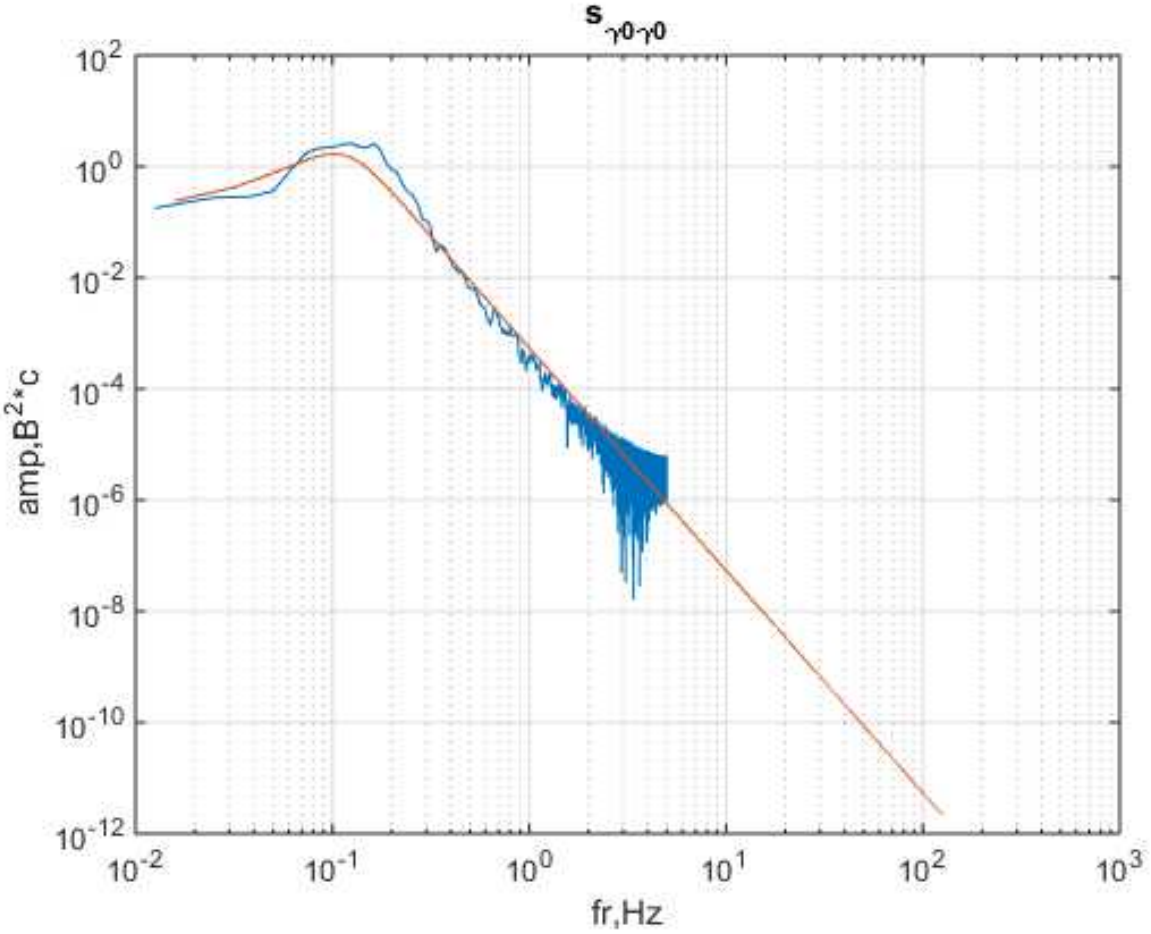


Рис. 3.9 Спектральна щільність по вхідному сигналу багатовимірного стенду імітатора: 1 – апроксимована крива; 2 – вихідна експериментальна крива

Визначена в результаті апроксимації математична модель для спектральної щільності вхідного керуючого сигналу багатовимірного стенду імітатора по каналу крену має такий вигляд:

$$S_{\gamma_0\gamma_0} = \frac{0.7^2}{\pi}\left|\frac{(5.3s+1)}{(1.76s+1)(1.14^2s^2+2\cdot 0.32\cdot 1.14s+1)}\right|^2 \ (\text{В}^2\cdot\text{сек})$$

Криві апроксимованої і вихідной спектральних щільностей по вихідному сигналу реакції багатовимірного стенду імітатора по каналу моментного датчика крену зображено на рис. 3.10.

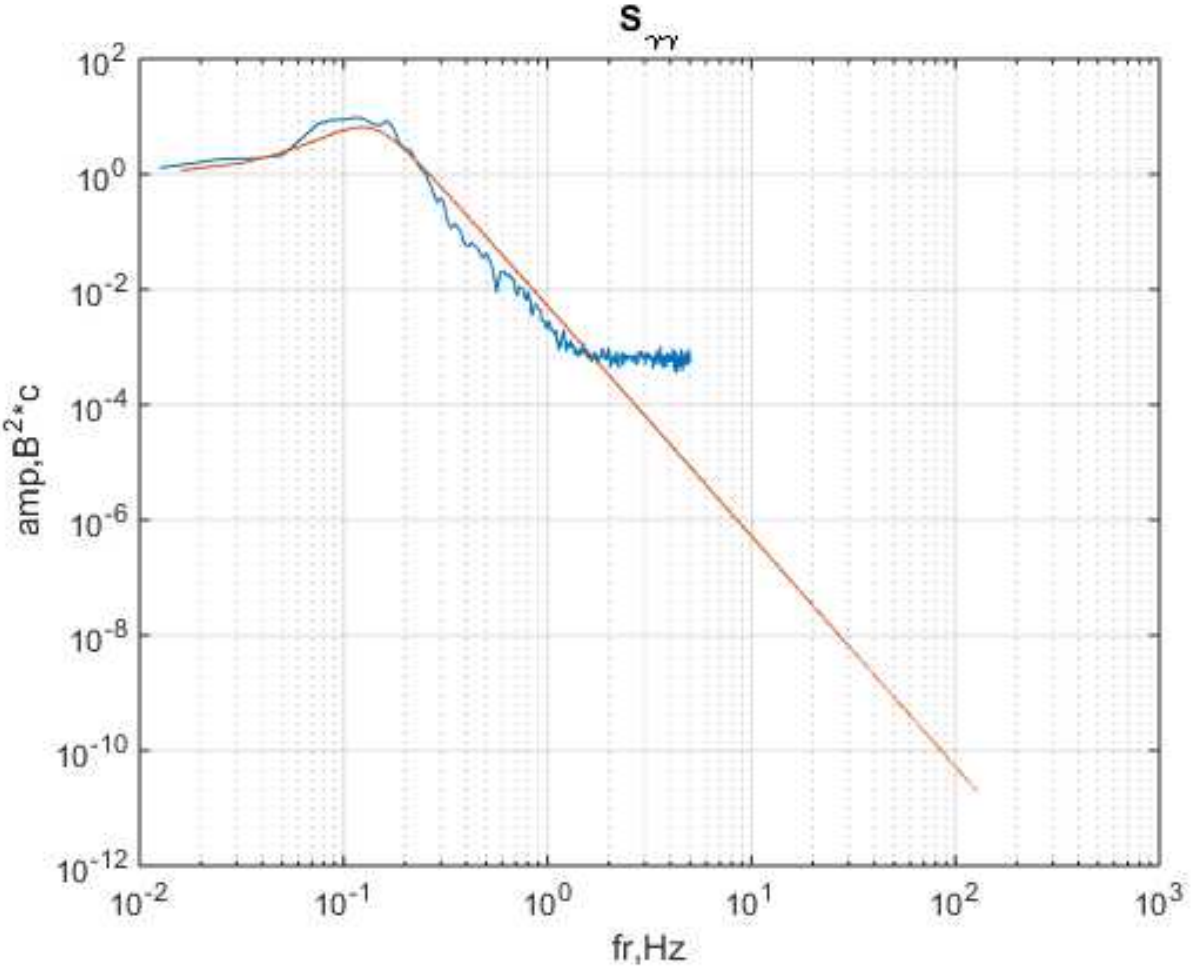


Рис. 3.10 Спектральна щільність по вихідному сигналу реакції системи: 1 – вихідна експериментальна крива; 2 – апроксимована крива

Вираз для спектральної щільності вихідного сигналу багатовимірного стенду імітатора по каналу крена, отриманий в результаті апроксимації

$$S_\gamma = \frac{1.8^2}{\pi}\left|\frac{(3.54s+1)}{(1{,}68s+1)(1.14^2s^2+2\cdot 0.32\cdot 1.14s+1)}\right|^2 \text{(град}^2\cdot\text{сек)}$$

Математичні моделі взаємних спектральних щільностей отримують за теоремою Вінера-Хінчина з використанням наявних спектральних щільностей за вхідним і вихідним сигналами окремо.

Таким чином вираз для взаємна спектральної щільності між вхідним та вихідним сигналами по каналу крену має такий вигляд:

Графічне зображення кривих взаємнаспектральної щільності між входом і виходом по каналу крену представлено на рис. 3.11.

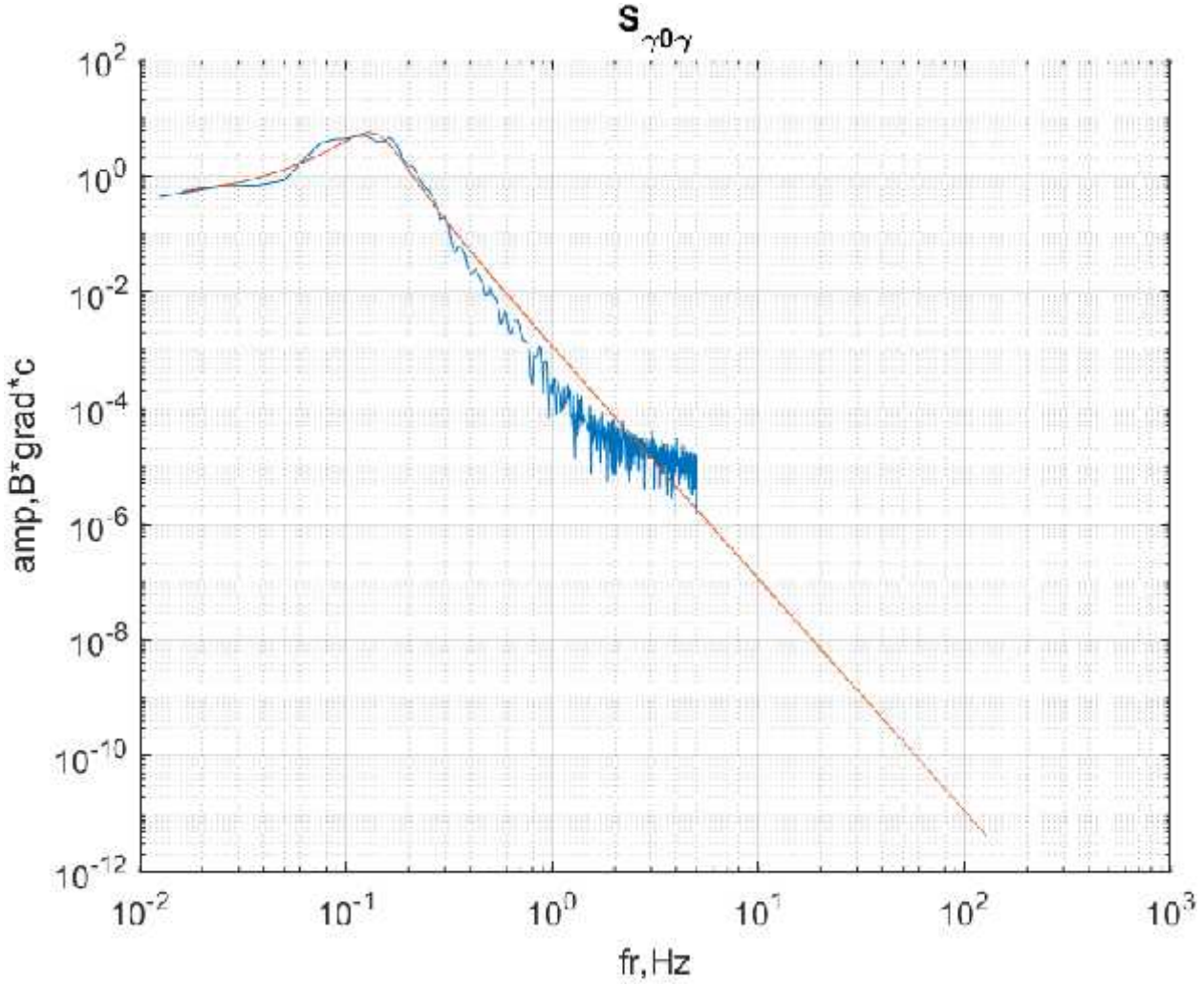


Рис. 3.11 Взаємна спектральна щільність між вхідним і вихідним сигналами багатовімірного стенда-імітатора по каналу крена: 1 – апроксимована крива спектральної щільності; 2 – вихідна крива спектральної щільності

Вираз для взаємної спектральної щільності між вихідним та вхідним сигналами

$$S_{\gamma_0\gamma} = \frac{0.7 \cdot 1.8}{\pi} \frac{(3.54s + 1)(-5.3s + 1)}{|(1.7s + 1)(1.14^2 s^2 + 2 \cdot 0.32 \cdot 1.14s + 1)|^2} \text{ (В} \cdot \text{град} \cdot \text{сек)}$$

Апроксимована та вихідна криві взаємна спектральної щільності між вихідним та вхідним сигналами багатовимірного стенда-імітатора по каналу крену представлені на рис. 3.12.

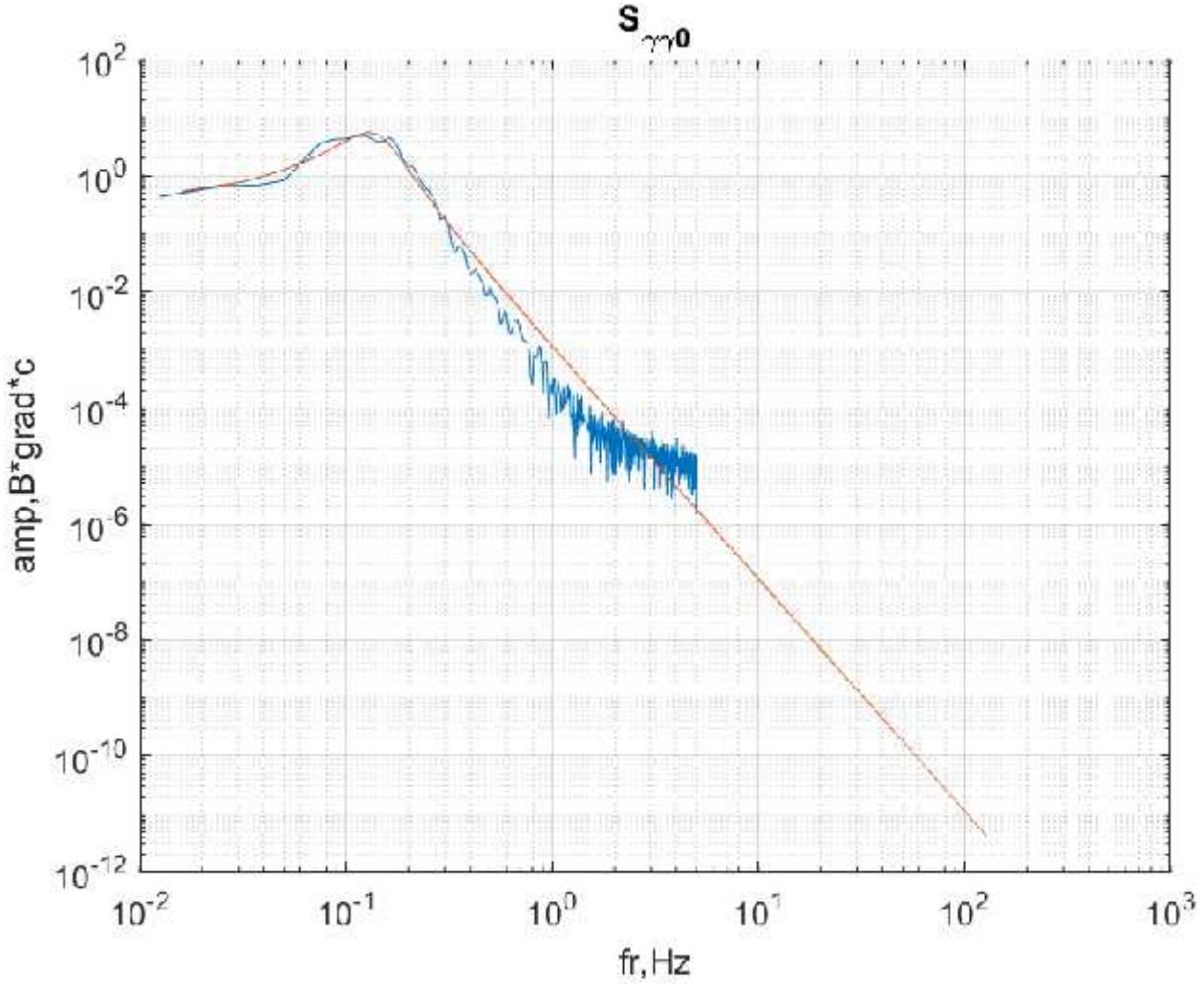


Рис. 3.12 Взаємна спектральна щільність між вихідним і вхідним сигналами багатовимірного стенда-імітатора по каналу кроену: 1 – апроксимована крива спектральної щільності; 2 – вихідна крива спектральної щільності

Вираз для взаємна спектральної щільності між вихідним та вхідним сигналами

$$S_{\gamma\gamma_0} = \frac{0.7 \cdot 1.8}{\pi} \frac{(-3.54s + 1)(5.3s + 1)}{|(1.7s + 1)(1.14^2 s^2 + 2 \cdot 0.32 \cdot 1.14s + 1)|^2} \text{ (В} \cdot \text{град} \cdot \text{сек)}$$

Висновок до розділу:

У ході цього дослідження ми детально розглянули процес первинної обробки даних, отриманих в ході напівнатурного моделювання багатомірного динамічного стенда-імітатора кутових положень по каналу крену. Ми описали основні поняття та термінологію, провели огляд існуючих методик обробки даних, аналізували їхні переваги та недоліки, і визначили потенційні проблеми та обмеження.

Отримали математичні моделі в вигляді спектральних щільностей для вхідних та вихідних сигналів та для взаємна спектральних щільностей між вхідним та вихідним сигналами та між вихідним та вхідним сигналами.

Поставлена задача повністтю виконана. Результати первинної обробки можуть використовуватись на подальших етапах дослідження, а саме, на етапі ідентифікації, синтизу та модернізації динамічного багатовимірного стенда-імітатора по каналу крену.

ВИСНОВКИ

Першим етапом виконання дипломної роботи був опис та аналіз стендів-імітаторів. У першому розділі було проведено загальну характеристику цих систем, зокрема розглянуто їхню одноосьову структуру. Це дало можливість глибше зрозуміти принципи роботи стендів та їх важливість для різних досліджень. Особлива увага була приділена специфікації та динамічним характеристикам конкретного стенду, що був використаний у цьому дослідженні. Це допомогло отримати конкретні дані про його роботу та можливості.

Другий розділ роботи був присвячений методам обробки сигналів. Було вивчено ряд методів, які включали лінійну, поліноміальну та сплайн-інтерполяцію, а також методи найменших квадратів і аналіз Фур'є. Дослідження також охопило вивчення узагальнення логарифмічних характеристик. Кожен з цих методів має свої особливості та переваги при обробці сигналів, і вони були детально проаналізовані у роботі.

Далі було виконано первинну обробку даних зі стенду-імітатора. Цей процес включає в себе виконання ряду задач, включаючи визначення основних етапів обробки даних. Після первинної обробки була проведена вторинна обробка, яка дозволила детальніше аналізувати отримані дані.

Усі отримані в ході роботи дані та висновки дозволяють краще зрозуміти особливості роботи стендів-імітаторів та можливості їх використання у різних областях. Отримані результати мають велике значення для подальших досліджень та можуть бути використані для вдосконалення роботи стендів, покращення їх ефективності та досконалення методів обробки сигналів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Л.М. Блохін, М.Ю. Бурiченко. Статистична динаміка систем управління: Підручник для ВНЗ. – К.: НАУ, 2003. – 208 с.

2. Дж. Бендат, А. Пирсол. Прикладной анализ случайных данных.: Машиностроение. – 1989. –486 с

3. В.С. Балакирев, Е.Г. Дудников, А.М. Цирлин. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления.: „Энергия”, 1967. –232 с.

4. http://www.demetra5.kiev.ua/ua/catalog/1-axis/EVO-10S

5. В.В.Солодніков Введення в статистичну динаміку систем автоматичного управління 1952р.

6. .Єрмолаєва О.В., Ноєнко Н.С., Зюміна Ю.Б. Завдання і результати імітації просторових кутових рухів корабля на діючому триступеневому динамічному стенді. Електроніка та системи управління.– 2006. - №2 – С.22–26.

7. Єрмолаєва О.В., Безкоровайний Ю.М. Стенд–имитатор трехстепенной стохастической «качки» тяжелого корабля. Гиротехнологии, навигация, управление движением: VI міжнар. наук.-техн. конф., 26–27 квітня 2007 р.– К, 2007.– Ч.II – С. 20 –26.

8. Єрмолаєва О.В. Методика обробки стохастичної інформації у процесі модернізації багатовимірного стенда-імітатора рухів. АВІА-2009: IX Міжнародна науково-технічна конф., 21–23 вересня 2009 р.: тези доп. – К., 2009.– Т.2. – С.9.39 -9.42

9. О.В.Єрмолаєва, Г.Л.Токарик, Т.М.Гребінник Методика та деякі результати первинного оброблення стохастичної інформації багатовимірного

стенда-імітатора кутових рухів по каналу диферента. Електроніка та системи управління.– 2011. - №2(28) – С.11–15

10. Єрмолаєва О.В. Первинна обробка стохастичної інформації багатовимірного стенда-імітатора кутових рухів по каналу крена. Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: міжнародна наукова конференція., 20–24 травня 2013 р..– Херсон, 2013. – С. 122-124.