



MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
VINNYTSIA NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY



# CERTIFICATE

issued to

Valerii Hraniak

who passed an advanced training courses in the Department of Power Plants and Systems  
of the Vinnytsia National Technical University  
from October 19 till October 21, 2021  
on the following directions:

- Promising methods, software and hardware for optimal control of electrical installations;
- Optimal control of power systems;
- Features of design, control and operation of electrical systems with RES;
- Optimal control of the automated electric drive;
- Modern methods and tools for diagnosing electrical equipment;
- NPPs in the unified energy system of Ukraine;
- Intelligent technologies in control systems.

Total amount of 30 hours (1 credit ECTS)

Rector  Victor BILICHENKO

Vinnytsia, Ukraine

October 21, 2021

**ОКЕУ 2021**

**ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ  
ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ**

**V МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА  
КОНФЕРЕНЦІЯ**



**ПРОГРАМА**

**19-20 жовтня, 2021 р.  
Вінниця, Україна**

## НАУКОВИЙ КОМІТЕТ

**Голова** – В. Грабко, перший проректор ВНТУ, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків ВНТУ

**Заступник голови** – П. Лежнюк (ВНТУ, професор кафедри ЕСС)

**Члени:** Є. Бардик (Київ), М. Бурбело (Вінниця), П. Говоров (Харків), Л. Добровольська (Луцьк), Дінг Тхань В'єт (В'єтнам, Дананг), К. Запайшиков (Київ), П. Кацейко (Польща, Люблін), В. Клепіков (Харків), О. Ковальчук (Вінниця), В. Комар (Вінниця), А. Копесбаєва (Казахстан, Алмати), С. Кудря (Київ), В. Кулик (Вінниця), В. Кутін (Вінниця), А. Лозинський (Львів), Б. Мокін (Вінниця), Ж-П. Нгома (Камерун, Дуала), С. Пересада (Київ), А. Поліщук (Вінниця), О. Садовой (Каменське), Ф. Сантана (Португалія, Лісабон), М. Сегеда (Львів), А. Стайгер-Гарсія (Португалія, Лісабон), І. Стратан (Молдова, Кишинів), Тран Ван Нам (В'єтнам, Дананг), О. Чорний (Кременчук), О. Яндудзький (Київ), В. Янішевський (Київ), Мохіт Баджадж (Індія), Мілан Белік (Чехія), Маріана Косовіч (Боснія), Срі Лакшмі Гундебому (Індія).

### ОРГКОМІТЕТ (Робоча група)

**Голова** - М. Розводюк, декан ФЕЕЕМ.

**Заступник голови** - О. Рубаненко, заступник декана ФЕЕЕМ з наукової роботи та міжнародних зв'язків.

**Члени:** Ю. Малогулко, О. Сікорська, В. Тептя, М. Мошноріз, В. Гриник, І. Гунько, В. Нетребський, В. Лесько, О. Бабенко, Н. Остра.

## V МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

### «ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ – ОКЕУ'21»

#### ОРГАНІЗАТОРИ:

Інститут електродинаміки Національної академії наук України

Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України

Державне підприємство НАЕК «Енергоатом»

Національний технічний університет України «КПІ»

Національний університет «Львівська політехніка»

Секція «Україна» Міжнародного інституту ІЕЕЕ

Луцький національний технічний університет

Новий університет Лісабону, Португалія

Технічний університет Молдови, м. Кишинів

Університет м. Дуала, Республіка Камерун

Університет м. Дананг, В'єтнам

Алматинський університет енергетики і зв'язку, м. Алмати, Республіка Казахстан

Технічний університет «Люблинська політехніка», Польща

Tafila Technical University, Jordan

## ТЕМАТИЧНІ НАПРЯМКИ ПРОВЕДЕННЯ КОНФЕРЕНЦІЇ:

- Теоретичні проблеми оптимального керування;
- Електроенергетичні системи та керування ними;
- Електромеханічні системи, електротехнічні комплекси та керування ними;
- Електротехнологічні процеси й енергозбереження;
- АЕС в об'єднаній енергетичній системі України;
- Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії в електроенергетичних системах.

**Робочі мови конференції: українська, англійська.**

### Посилання на on-line участь:

пленарне засідання:

<https://meet.google.com/nsu-wksb-fyw>

засідання 1 секції:

<https://meet.google.com/nsu-wksb-fyw>

засідання 2 секції:

<https://meet.google.com/nyw-rage-cpt>

засідання 3 секції:

<https://meet.google.com/rpv-vmpj-uok>

**Організаційний комітет:** Вінницький національний технічний університет; 21021. Україна. Вінниця, вул. Воїнів-Інтернаціоналістів, 9, корп. 4, 4304; Тел.: (098)227-59-03; e-mail: [vntu2021okey@gmail.com](mailto:vntu2021okey@gmail.com).

### Програма роботи

#### V Міжнародної науково-технічної конференції

«Оптимальне керування електроустановками – ОКЕУ'21»

### ГРАФІК РОБОТИ

#### 19 жовтня 2021 р.

9.00 – 10.00 – реєстрація учасників конференції

10.00 – 11.30 – відкриття конференції, привітання учасників конференції, пленарне засідання

11.30 – 12.00 – перерва

12.00 – 13.30 – секційні засідання

13.30 – 14.30 – обід

14.30 – 17.00 – секційні засідання

17.00 – культурна програма

#### 20 жовтня 2021 р.

9.30 – 11.00 – секційні засідання

11.00 – 11.15 – перерва

11.15 – 14.00 – пленарне засідання, підведення підсумків

**Від'їзд учасників конференції**

**Тривалість пленарних виступів – до 15 хв.**

**Тривалість секційних виступів – до 10 хв.**

**Робота секцій (корпус 4, Факультет електроенергетики та електромеханіки)**

Секція 1 - ауд. 4305

Секція 2 - ауд. 4113

Секція 3 - ауд. 4206

**Пленарне засідання**  
**Голова: д.т.н., професор Грабко В.В.,**  
**Перший проректор Вінницького національного технічного університету**  
**(аудиторія 210 ГУК)**

1. Грабко В. В., д.т.н., професор

**ВІДКРИТТЯ КОНФЕРЕНЦІЇ. ВСТУПНЕ СЛОВО.**

*Вінницький національний технічний університет*

2. Рубаненко О.О., к.т.н., доц.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВДЕ В БАЛАНСІ  
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ**

*Вінницький національний технічний університет*

3. Томашевський Ю.В., к.т.н.

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В  
РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ  
ПРИСТРОЇВ SMART METERING**

*АТ «Вінницяобленерго»*

4. Граняк В. Ф., к.т.н., доц.

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ  
ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

*Вінницький національний аграрний університет*

5. Belik Milan, Ph. D.

**MICROGRIDS INCLUDING PV AND EOLIC SYSTEMS, ENERGY  
ACCUMULATION AND OPERATION OPTIMISATION**

*University of West Bohemia*

**Секція 1**

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ  
ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ**

**Голови: Лежнюк П. Д., д.т.н., проф., Кулик В. В., д.т.н., проф.**  
**(аудиторія 4305)**

1. Бевз С.В.

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ СХЕМ**

*Вінницький національний технічний університет*

2. Баженов В.А.

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ГІЛОК І ГРАНИЦЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ  
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ СУЧАСНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ**

*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

3. Богомолова О.С.

**ПЛАНУВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ**

*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

4. Луців П. Д.

**ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ВТРАТАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ 150-0,38КВ**

*Вінницький національний технічний університет; АТ «ХМЕЛЬНИЦЬКОБЛЕНЕРГО»*

5. Сегеда М.С. , Баран П.М. , Кідиба В.П., Пришляк Я.Д.

**АНАЛІЗ РОБОТИ РЕЛЕ ЧАСТОТИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ**

*Національний університет "Львівська політехніка"*

6. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю., Хом'як Е. А., Кирисов І. Г.

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АСУ ТП У ПОЗАШТАТНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ ЕНЕРГОБЛОКУ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

*Українська інженерно-педагогічна академія*

7. Василюк К.С.

**ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВУЗЛОМ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ**

*Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна*

8. Вишневецький С.Я.

**АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ЕЕС В ДОСЛІДЖЕННЯХ ПИТАНЬ СТІЙКОСТІ РОБОТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ**

*Вінницький національний технічний університет*

9. Добровольська Л.Н., Собчук Д.С.

**ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ**

*Луцький національний технічний університет*

10. Добровольська Л.Н., Куць Н.Г., Собчук Д.С.

**ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ**

*Луцький національний технічний університет*

11. Дьяков В.О., Антонов А.В.

**ПРОТИКОРОЗИЙНИЙ ЗАХИСТ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД**

*Український державний університет науки і технологій (УДУНТ)*

12. Кацадзе Т. Л. , Паненко О. М., О. М. Янковська О. М., Новіков К. М.

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСТРЕМАЛЬНОЇ ЗА НАПРУГОЮ ТОЧКИ В ДАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ**

*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

13. Кирик В. В., Буряк А. Р., Іськова М. С.

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ОПОРУ РЕЗИСТОРА ЗАЗЕМЛЕННЯ НЕЙТРАЛІ В МЕРЕЖАХ 20 КВ**

*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

14. Кулик В.В., Гриник В.А.

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 10(6)-0,4 КВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТИПОВИХ ГРАФІКІВ**

*Вінницький національний технічний університет*

15. Кучанський В. В.

**САМОЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ В НЕНАВАНТАЖЕНОМУ РЕЖИМІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ**

*Інститут електродинаміки НАН України*

16. Лежнюк П.Д., Остра Н.В., Ткачук В.С.

**РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЕС З ВРАХУВАННЯМ ЧУТЛИВОСТІ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ ДО КОЕФІЦІЄНТІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ**

*Вінницький національний технічний університет*

17. Нанака О. М., Головченко О. М.  
**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ЧАСТИНИ ЕНЕРГОБЛОКУ ТЕС В ЗАДАЧАХ ЙОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ**  
*Вінницький національний технічний університет*
18. Нетребський В.В., Лесько В.О., Сікорська О.В., Палій О.О.  
**ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ**  
*Вінницький національний технічний університет*
19. Сахно О.А., Доморощин С.В., Скрупська Л.С.  
**МОНІТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦІЙ ГАЗІВ, РОЗЧИНЕНИХ У ТРАНСФОРМАТОРНОМУ МАСЛІ, ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ**  
*Національний університет «Запорізька політехніка»; ТОВ «Енергоавтоматизація»*
20. Тептя В. В., Тептя Є.А.  
**ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО ТЕРМІНАЛУ RET670 ДЛЯ ЗАХИСТУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ**  
*Вінницький національний технічний університет*
21. Тептя В. В. , В. О. Лесько, Костіна Т. Є., Коваль К. А.  
**ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ**  
*Вінницький національний технічний університет*
22. Черкашина В.В., Баклицький В.М., Борисенко Є.А.  
**ЗАСТОСУВАННЯ ВИХРОСТРУМОВИХ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ**  
*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*
23. Рубаненко О.Є., Рубаненко О.О., Грищук М.О.  
**КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ АЧХ**  
*Вінницький національний технічний університет*
24. Рубаненко О.Є., Гунько І.О., Гасич В. В.  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДВІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАМКНЕНЬ НА ЗЕМЛЮ ТА ЗАХИСТІВ ВІД НИХ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.**  
*Вінницький національний технічний університет*
25. Рубаненко О.Є., Лесько В.О., Поліщук А. В., Мельничук Д. О.  
**ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМИКАЧІВ**  
*Вінницький національний технічний університет*
26. Бардик Є. І.  
**МОДЕЛЮВАННЯ І ОЦІНКА РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ В ПІДСИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (ЕЕС) З АТОМНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ (АЕС).**  
*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
27. Бардик Є. І., Коваль Я. С.  
**МОДЕЛЮВАННЯ ВУЗЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РЕЖИМНОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (ЕЕС) ПРИ ВІДМОВАХ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.**  
*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
28. Бардик Є. І. , Бондаренко О. Л.  
**ВИЗНАЧЕННЯ СПРАЦЬОВАНОГО РЕСУРСУ ТА ЙМОВІРНОСТІ ВІДМОВИ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ АГРЕГОВАНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО**  
*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
29. Яремак І. І.  
**ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ**  
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

## Секція 2

**ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

Голови: Комар В. О., д.т.н., проф., Рубаненко О. О., к.т.н., доц.

(аудиторія 4113)

1. Бурикін О. Б., Кулик В. В, Гриник В. А, Малогулко Ю. В.

**МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЧАСТКИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАДАНОГО СПОЖИВАЧА, ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ З ВДЕ.***АТ «Вінницяобленерго», Вінницький національний технічний університет*

2. Олійник Ю.С.

**СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ***Українська інженерно-педагогічна академія*

3. Габрінець В.А., Накашідзе Л.В., Титаренко І.В.

**КОМПЛЕКСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ***Дніпровський національний університет залізничного транспорту**імені академіка В. Лазаряна*

4. Кирисов І. Г., Буданов П. Ф., Хом'як Е. А, Бровко К. Ю

**ПІДХОДИ ТА ВИМОГИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ РЕЛЬЄФУ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ШАРУ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ***Українська інженерно педагогічна академія*

5. Денисюк С.П., Дерев'янка Д.Г., Белоха Г.С.

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ У ENERGY SMART COMMUNITY З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ***НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

6. Добровольська Л.Н., Куць Н.Г., Собчук Д.С.

**ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ТА СУЧАСНА ЕНЕРГЕТИКА***Луцький національний технічний університет*

7. Довгалюк О. М., Яковенко І. С.

**АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАВІТАЦІЙНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ***Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

8. Комар В.О., Нетребський В.В., Семенюк Ю.В.

**АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ.***Вінницький національний технічний університет*

9. Комар В.О., Собчук Н.В., Сікорська О.В.

**ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В ЗАДАЧАХ БАЛАНСУВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ***Вінницький національний технічний університет*

10. Комар В.О., Тептя В.В., Болдирев А.А.

**ВИКОРИСТАННЯ КРИТЕРІЮ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТРАТЕГІЇ ЇХ РОЗВИТКУ***Вінницький національний технічний університет*

11. Кулик В.В., Затхей М. В.

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПРИЄДНАННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ДО РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ЕКОНОМІЧНОГО СТРУМОРОЗПОДІЛУ***Вінницький національний технічний університет*

12. Кучеренко І.А, Войтенко С.М

**ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ***Українська інженерно-педагогічна академія*



13. Лежнюк П.Д., Повстанко К.О.  
**БАЛАНСУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ  
 ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**  
*Вінницький національний технічний університет*
14. Малогулко Ю.В., Шаргородський Д.М., Щербатий Д.В.  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ  
 НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ**  
*Вінницький національний технічний університет*
15. Поліщук А. Л., Бурикін О. Б., Кулик В. В., Малогулко Ю. В., Ситник А. В.  
**ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ДАХОВИХ СЕС НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИТРАТИ  
 ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 0,4 КВ ЗАСОБАМИ ПК  
 «ВТРАТИ-10/0,4»**  
*Вінницький національний технічний університет*
16. Прокопенко І.О., Лежнюк П.Д.  
**АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ РОБОТИ СИСТЕМИ  
 НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ РІЗНИХ СЦЕНАРІЯХ ФОРМУВАННЯ ЦІНИ НА  
 НАДАНІ ПОСЛУГИ**  
*Вінницький національний технічний університет*
17. Рубаненко О.О., Гунько І.О., Урсуленко В.В., Кириченко І.Ф.  
**МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРУВАННЯ ФЕС З ВИКОРИСТАННЯМ  
 3D-DWT РОЗКЛАДАННЯ**  
*Вінницький національний технічний університет*
18. Лежнюк П.Д., Смагло І.І., Рубаненко О.О.  
**МЕТОДИ І СПОСОБИ МОНІТОРИНГУ ТА САМОДІАГНОСТИКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ  
 СТАНЦІЙ**  
*Вінницький національний технічний університет*
19. Тептя В. В., Чорний В. С.  
**ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ**  
*Вінницький національний технічний університет*
20. Пушкар М. В., Красношарпа Н.Д., Баженов В.А., Павленко В. І.  
**СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО  
 АПАРАТУ ЧАСТОТНИМИ МЕТОДАМИ**  
*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
21. Хом'як Е. А., Буданов П. Ф., Бровко К. Ю., Кирисов І. Г.  
**СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ВИМОГИ ДО МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ  
 ОБОЛОНКИ ТЕПЛОВИДІЛЯЮЧОГО ЕЛЕМЕНТУ**  
*Українська інженерно педагогічна академія*
22. Чернюк А.М., Качанов Є.І., Черевик Ю.О., Оберемок З.В.  
**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СТАБІЛЬНОЇ РОБОТИ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ  
 ЕНЕРГОСИСТЕМ**  
*Українська інженерно педагогічна академія*
23. Лесько В.О., Казьмірук О.І. Колотило Д. В.  
**ВИКЛИКИ ПЕРЕД ВПРОВАДЖЕННЯМ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК В ОЕС УКРАЇНИ  
 В УМОВАХ ЕНЕРГОКРИЗИ**  
*Вінницький національний технічний університет, АТ «Вінницяобленерго»*

## Секція 3

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ  
ТА КЕРУВАННЯ НИМИ**

**Голови: Говоров П.П., д.т.н., проф., Розводюк М. П., к.т.н., доц.  
(аудиторія 4206)**

1. Жуков О. А., Сінчук О.М., Бойко С. М., Сьомочкін А.Б., Риков Г.Ю.  
**СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ КОРИГУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ  
ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧОВИДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ**  
*Вінницький національний технічний університет; Криворізький національний університет;  
Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського*
2. Грабко В. В., Паланюк О. В.  
**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО  
ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН**  
*Вінницький національний технічний університет*
3. Бурбело М. Й., Лебедь Д. Ю., Лобода Ю. В., Бабенко О. В., Войтюк Ю. П.  
**СИМЕТРУВАННЯ НАПРУГ І СТРУМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА  
ДОПОМОГОЮ ОБ'ЄДНАНОГО РЕГУЛЯТОРА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**  
*Вінницький національний технічний університет*
4. Говоров П.П., Говоров В.П., Кіндінова А.К.  
**АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА  
ОСВІТЛЕННЯ МІСТ**  
*Харківський Національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова*
5. Широкоступ О. Ю.  
**АНАЛІЗ ПРОТОТИПІВ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ  
РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ**  
*Криворізький національний університет*
6. Терешкевич Л.Б., І. О. Бандура  
**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ БАТАРЕЯМИ СТАТИЧНИХ  
КОНДЕНСАТОРІВ З ОГЛЯДУ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ В МІКРОПРОЦЕСОРНІЙ СИСТЕМІ**  
*Вінницький національний технічний університет, Луцький національний технічний університет*
7. Демов О.Д., Бабенко О.В.  
**МОДЕЛІ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РАДІАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ  
МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ДЕКОМПОЗИЦІЇ**  
*Вінницький національний технічний університет*
8. Босий Д. О., Земський Д. Р.  
**АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІ-  
АНАЛІТИКИ**  
*Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*
9. Родькін Д. І., С. М. Пересада, В. М. Пижов, О. І. Райчук  
**СПОСТЕРІГАЧ МЕХАНІЧНИХ КООРДИНАТ В СИСТЕМІ КООРДИНАТ СТАТОРА ДЛЯ  
НЕЯВНОПОЛЮСНИХ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ**  
*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
10. Бур'ян С.О., Печеник М. В., Маліборський С. О.  
**АНАЛІЗ ХАРАКТЕРУ ВІДПРАЦЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ ПОХИБКИ ЗА ШВИДКІСТЮ  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ШТУЧНІЙ ЗМІНІ НАВАНТАЖЕННЯ В  
АВТОМАТИЗОВАНОМУ КОМПЛЕКСІ МЕТАЛООБРОБКИ**  
*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
11. Бур'ян С.О., Печеник М. В., Худя В.І.  
**ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТУРБОМЕХАНІЗМІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ  
КАСКАДНОЇ СХЕМИ ВКЛЮЧЕННЯ НАСОСІВ**  
*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

12. Коваль А. М.

**ВРАХУВАННЯ НЕЛІНІЙНОГО ХАРАКТЕРУ ПРУЖНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ РОЗРОБЦІ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДВОДВИГУННОГО ПРИВОДУ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА**

*Вінницький національний технічний університет*

13. Красношарпа Н.Д., Пушкар М.В.

**ПУСКОВІ РЕЖИМИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ОПОРУ ЛІНІЇ СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

14. Кушніренко Д.С.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНУСНОЇ ДРОБАРКИ ККД-1500/180**

*Криворізький національний університет*

15. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Шалагай Д. О.

**ПРО ОДИН ІЗ ПІДХОДІВ НАБЛИЖЕНОГО ОБЧИСЛЕННЯ ІНТЕГРАЛІВ СТІЛТЬЄСА І ЛЕБЕГА НА МОВІ PUTHON В ЗАДАЧАХ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ З ДИСКРЕТНИМИ МОДЕЛЯМИ**

*Вінницький національний технічний університет*

16. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Горенюк В. В.

**МЕТОДОЛОГІЯ ІНТЕГРАЦІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДВОХОСЬОВОГО ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ В ЗАДАЧІ ОЦІНКИ ЙОГО СТІЙКОСТІ НА ПОВОРОТАХ**

*Вінницький національний технічний університет*

17. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Войцеховська О. О.

**НЕЧІТКИЙ ВАРІАНТ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В УМОВАХ КРИТЕРІАЛЬНОГО АНТАГОНІЗМУ**

*Вінницький національний технічний університет*

18. Мороз В.І., Вакарчук А.Б.

**ЧИСЛОВІ ІНТЕГРАТОРИ В РОЗРАХУНКАХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ**

*Національний університет «Львівська політехніка»*

19. Розводюк М. П., Розводюк К. М.

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЩІТОК ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

*Вінницький національний технічний університет*

20. Сиченко В.Г., Косарев Є.М., Ляшук В.М., Погожий С.К., Шарипкін А.Р., Пулін М.М

**СИНТЕЗ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РОЗПОДІЛЕНОГО ТИПУ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

*Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту АТ «Укрзалізниця»; Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна; ТОВ «ЕДС-Проект»; РФ «Львівська залізниця»*

21. Сінчук О., Краснопольський Р.І., Будніков К.В.

**СИНЕРГЕТИЧНА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕФЕКТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ВЕНТИЛЯТОРІВ ГОЛОВНОГО ПРОВІТРЮВАННЯ ШАХТ**

*Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського*

22. Супрун О.С.

**ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СКЛАДІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ДЛЯ SMART GRID**

*Криворізький національний університет*

23. Хворост М.В., Шавкун В.І.

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ З АВТОНОМНИМ ХОДОМ**

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова*

24. Далека В.Х. , Скуріхін В.І.

**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова*

25. Шпачук О.

**МЕТОД КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ БЛОКУ «ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР»**

*Організація ВП «Хмельницька атомна електростанція»*

26. Паянок О. А.

**РОЗПОДІЛ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ГАЛЬМУВАНЬ ІЗ АКТИВНИМИ СПОЖИВАЧАМИ НА ДІЛЯНЦІ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ**

*Вінницький національний технічний університет*

27. Коритний А.В., Бомбик В.С.

**ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ ТОЧКИ ВІДБОРУ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНИМ МОДУЛЕМ**

*Вінницький національний технічний університет*

28. Шулле Ю.А., Войтюк Р.Ю.

**ОГЛЯД МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ**

*Вінницький національний технічний університет*

29. Пересада С.М., Ковбаса С.М., Желінський М.М., Ніконенко Є.О., Райчук О.І.

**СТІЙКІСТЬ СИСТЕМ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ НАПРУГОЮ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

30. Пересада С.М., Ніконенко Є.О., Ковбаса С.М., Стаценко О.В.

**СТІЙКІСТЬ ДВОКОНТУРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ НАПРУГОЮ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА**

*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

31. Кутін В.М.; Кутіна М.В.; Ковальов А. І.

**ПРИНЦИП ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ З ПОВІТРЯНИМИ ЛІНІЯМИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАПРУГОЮ 6- 35 КВ**

*Вінницький національний технічний університет*

32. Курляк П. О., Бацала Я. В.

**МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

# **РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

**Доповідач: к.т.н., доц. В. Ф. Граняк**

# ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

1

Технічний розвиток промислового виробництв загалом, та автоматизованого електроприводу зокрема, призводить до постійного розширення сфери застосування обертових електричних машин. Наслідком зазначеного процесу є і зростання складності, вартості та ефективності використання технологічного обладнання, а, отже, і зростання потенційних збитків, що супроводжуються його аварійною відмовою в процесі експлуатації.

Іще одним фактором, характерним для вітчизняного промислового виробництва, є доволі високий рівень зношення основних виробничих фондів. Так, за оцінками Міністерства економіки України рівень зносу основних засобів у промисловому секторі станом на 2019 рік становив 67 %. Тенденція до зростання частки електрообладнання (у першу чергу великої потужності), що відпрацювало номінальний термін служби є і загальносвітовим трендом. Зокрема, в більшості промислово розвинених країн світу на початок 21-го століття частка такого обладнання, що експлуатується на електростанціях «класичної» генерації перевищувала 50 %.

# ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ ПРИ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

2

ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Механічні

Механічний момент

Кутова швидкість

Кутове прискорення

Радіальний  
вібросигнал  
(віброприскорення,  
віброшвидкість та  
віброзміщення)

Кліренс

Осьове зміщення  
ротора

Електричні

Струм (у статорному  
та роторному колі,  
пусковий, асиметрія  
струмів тощо)

ЕРС (ротора та  
статора)

Споживана  
потужність (активна  
та реактивна)

Магнітні

Магнітний потік чи  
магнітна індукція в  
зазорі

Магніторушійна сила

Магнітна індукція  
поля ротора

Картина зовнішнього  
магнітного поля  
машини

Термічні

Температура обмоток  
статора та ротора

Температура  
підшипникових  
вузлів

Температура активної  
частини корпусу  
машини

Температура  
охолоджуючого  
середовища

# СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

1. Універсальна система вібраційного стану VIMOS – Шведське відділення компанії АВВ. Система побудована на основі аналізу віброакустичного сигналу (віброшвидкості), переміщення напрямних підшипників по осям X і Y, переміщення підпятників, а також значення кліренсу машини.

2. Універсальна вібродіагностична система MCM (Machine Condition Monitoring) – Німецьке представництво Brüel & Kjaer Vibro. Система побудована на основі аналізу первинної вимірювальної інформації віброшвидкості, переміщення валу, переміщення корпусу статора, переміщення підшипників, кліренсу машини.

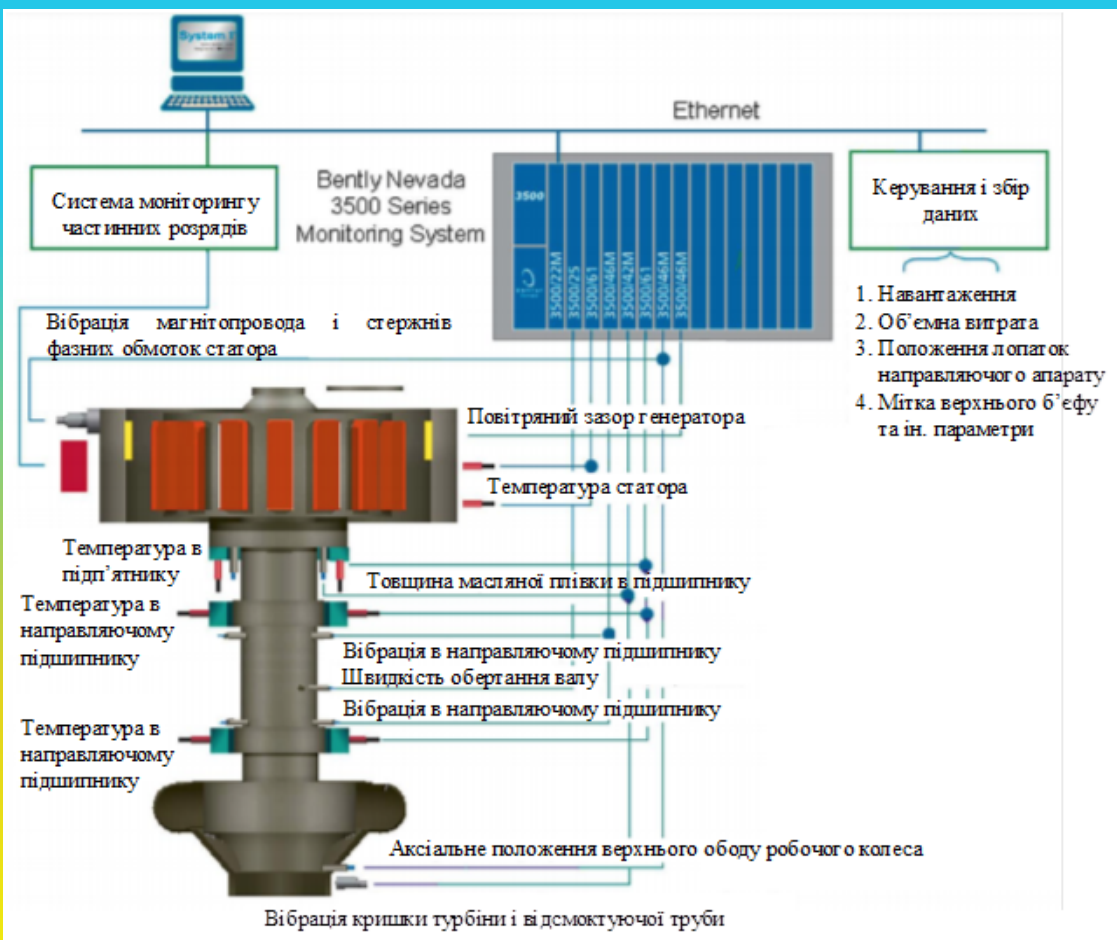
3. АЛМАЗ-710-ГЕС (Стационарная система виброконтроля, мониторинга, и диагностики виброагрегатов) – ООО ДИМАХЕР, м. Москва, Росія. Система побудована на основі аналізу первинної вимірювальної інформації віброшвидкості, кліренсу машини та осьового зміщення осердя статора.

4. ZOOM (Zero Outage On-line monitor) – VibroSystM Inc., Канада. Система побудована на основі аналізу первинної вимірювальної інформації віброшвидкості та кліренсу.

5. Системи контролю і діагностики параметрів турбо- і гідрогенераторів СТК-ЕР – «Ракурс», м. Санкт-Петербург, Росія. Система здійснює діагностування технічного стану агрегатів на основі аналізу температури активних частин, підшипників, охолоджувальних середовищ, електричних величин та вологості повітря робочої зони.



Подальшим розвитком систем контролю технічного стану та діагностування електричних машин великої потужності стали експертні системи.



### Містить

1. Систему збору даних з локалізованих точок.
2. Система моніторингу.
3. Експертну базу знань — «XRulerpak».
4. Автоматизованая система розвитку внутрішньосистемного тестування нових елементів, що надходять до бази знань (за допомогою вбудованої системи штучного інтелекту).
5. Система користувальницького інтерфейсу для технічного персоналу.

Структурна схема експертної діагностичної системи що працює на базі керуючої комп'ютерної системи System 1 компанії New York Power Authority, Iris Power GE's Bently Network

До перспективних експертних діагностичних систем слід віднести і експертну систему контролю і діагностики TGS – Turbine Generator Sets (КНР). Однією з відмінних рис даної системи є наявність спеціального програмного забезпечення, що моделює процеси, які протікають в електричній машині. Це дозволяє порівняти відповідні показники нормального режиму роботи обладнання та показники датчиків, що вказують на розвиток певного дефекту.

Всі можливі режими роботи електричної машини (робочий, перехідний, неробочий) описуються набором структурних елементів із залученням мереж Петрі, що дозволяють з достатньою точністю ідентифікувати збої в роботі електричної машини при умові точності використовуваної моделі. Про те, як зазначалося вище, використання такого підходу неодмінно наштовхуватиметься на обмежені можливості математичного моделювання електричної машини в наслідок її високої (виключної) складності.

# ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИЯВЛЕННЯ РІЗНИХ ДИФЕКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАРАМЕТРІВ РАДІАЛЬНОЇ ВІБРАЦІЇ

6

Дефекти	Можливість виявлення дефекту за допомогою вимірювання вібрацій, %	Можливість визначення місця дефекту, %	Можливість прогнозування часу розвитку дефекту, %
Розбалансування	100	75	75
Неспіввісність вала	90	90	65
Нестабільність осі	100	75	75
Дефекти напрямних підшипників	75	75	50
Нерівномірність повітряного зазору	80	80	50
Дефекти ущільнень	80	30	25
Незакріплені частини ротора	70	50	50
Ушкодження редуктора	80	80	30
Кавітація в турбіні	50	100	20
Несиметрія турбіни	80	80	30
Відхилення форми ротора	80	80	60
Структурні резонанси	60	30	20
Ослаблення опірних болтів	70	60	30
Порушення у водопідведенні	30	20	20
Тріщини в роторі	50	50	20
Забруднення лопаток турбіни	30	25	25
Дефекти опорних підшипників	70	60	40
Крутильні резонанси	65	45	40
Гідравлічні пульсації	70	50	30

Алексеев Б. А. Определение состояния (диагностика) крупных гидрогенераторов – М.: НЦ ЭНАС, 2002. – 144 с.

# Методи відбору типу вхідної інформації

7

До головних якісних характеристик ознак, що доцільно застосовувати у системі діагностування електричних машин, можна віднести:

- інформативність;
- вираженість;
- селективність;
- складність алгоритму отримання (розрахунку).

Як інформативність ознак зазвичай використовуються умовна ентропія

$$H(K/X) = - \sum_x p(x) \sum_k P(k/x) \log P(k/x),$$

## Методи відбору ознак

### Методи перебору

#### Методи повного перебору

- класичний повний перебор
- пошук у глибину
- пошук у ширину

#### Методи скороченого перебору

- метод гілок та границь
- метод групового обліку аргументів

### Евристичні методи

- метод послідовного додавання ознак
- метод послідовного видалення ознак
- метод почергового додавання та видалення ознак

### Методи ранжирування та кластеризації

- ранжирування ознак
- кластеризація ознак

### Методи випадкового пошуку

- випадковий пошук з адаптацією
- еволюційний пошук

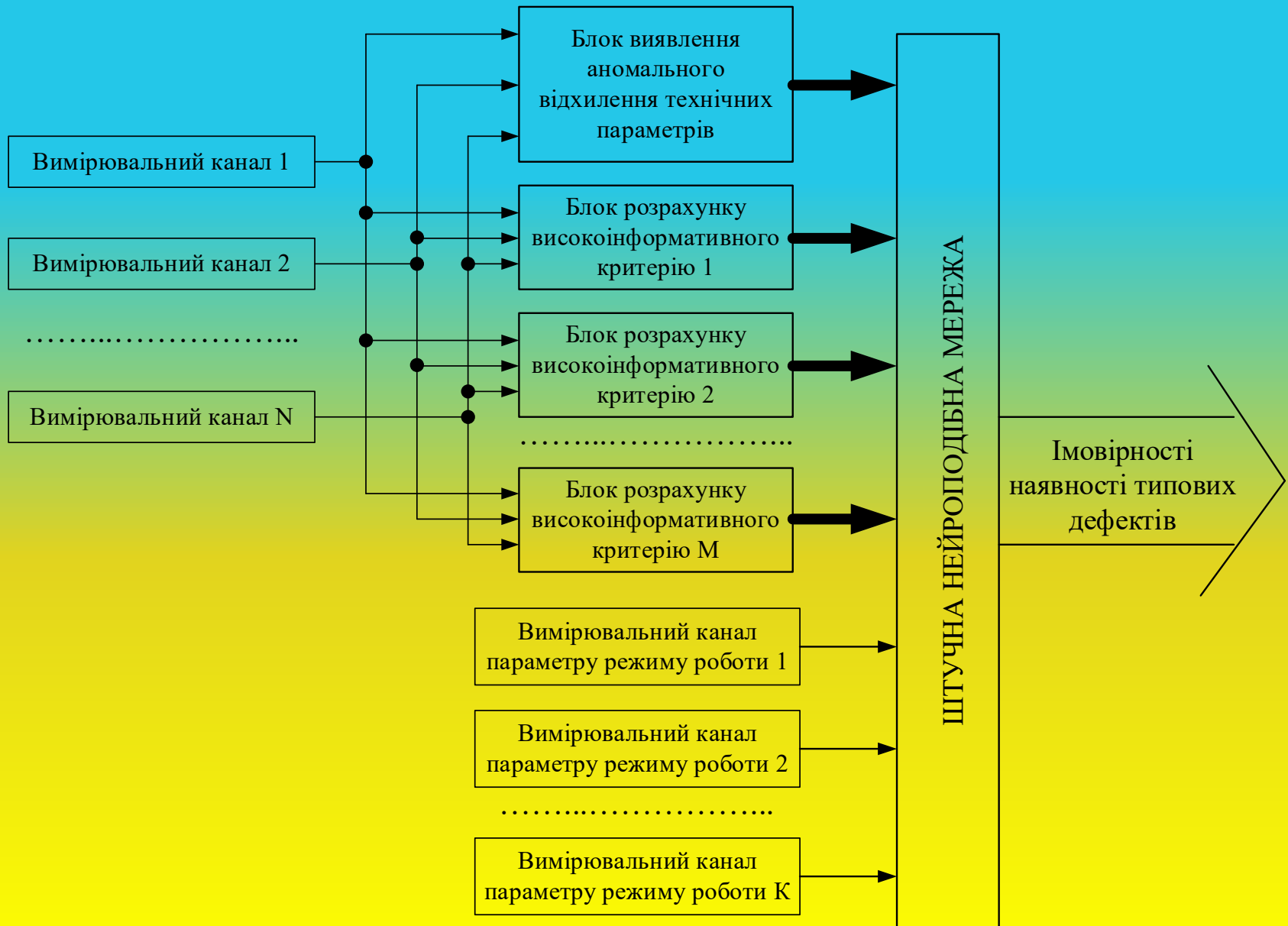
Метод еволюційного пошуку інформативних ознак являє собою еволюційний алгоритм, що на кожній ітерації працює з підмножиною потенційних розв'язків. Кожен кандидат на оптимальний розв'язок представлений хромосомою – бітовим рядком з  $k$  елементів, де  $k$  – загальна кількість усіх можливих ознак, що описують об'єкт. Якщо ознака береться до розгляду в поточному розв'язку-кандидаті, то відповідний біт хромосоми встановлюється рівним 1

$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	...	$P_k$		
1	0	0	1	...	1	0	0

Структура хромосоми

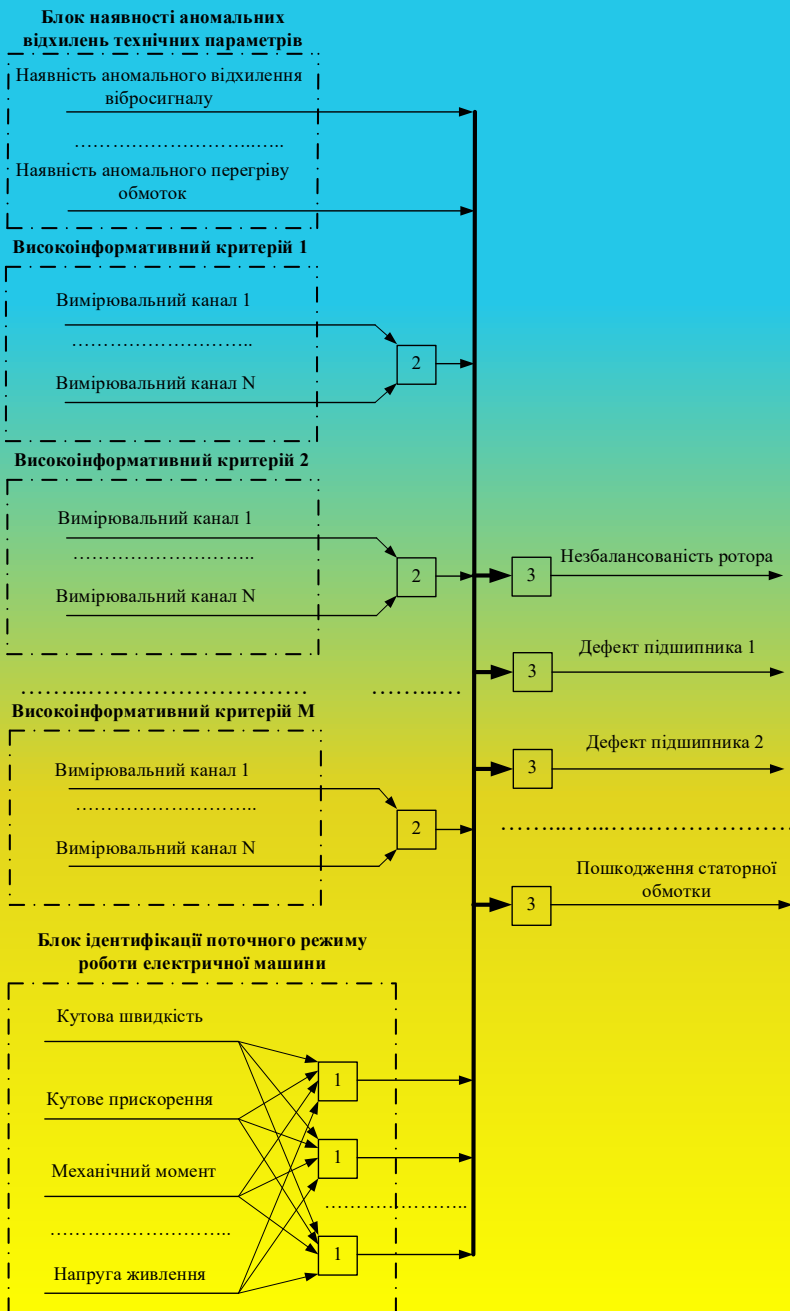
Перевагою еволюційного пошуку є те, що він має можливості для виходу з локальних оптимумів і пристосований для знаходження нових рішень за рахунок об'єднання кращих рішень, отриманих на різних ітераціях. Такий пошук, дозволяє на кожній ітерації працювати із множиною потенційних розв'язків одночасно, що дозволяє більш повною мірою охопити простір пошуку, близький до оптимального, за відносно короткий час.

# СТРУКТУРНА СХЕМА ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ



# СТРУКТУРНА ЗАПРОПОНОВАНОЇ ШНМ

10



Навчання наведеної ШНП доцільно здійснювати на етапі передексплуатаційного налаштування з використанням наперед сформованої навчальної вибірки та методу “K-nearest neighbor” з застосуванням cross-валідаційного алгоритму визначення параметру K.

Додатковою перевагою запропонованої структури ШНМ є можливість навчання блоку ідентифікації поточного режиму роботи електричної машини автономно від основної частини нейронної мережі.

# РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИСТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ВИХОДУ З ЛАДУ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

11

Результати статистичного дослідження причин виходу з ладу АД з КЗ ротором на основі аналізу робочої звітності інженерно-технічної групи «Енергомаш» (2678 екземплярів)

1. Пошкодження ізоляції статорної обмотки у наслідок перегріву (перевантаження) – 29 %.
2. Міжвиткове коротке замикання - 14%.
3. Механічне пошкодження обмоток статора - 11%.
4. Робота електродвигуна на двох фазах - 8%.
5. Пошкодження підшипників - 12%.
6. Дисбаланс ротора електродвигуна – 6%. **80 %**
7. Нерівномірний повітряний зазор між ротором та статором - 9%.
8. Обрив чи ослаблення кріплень стержнів білячої клітки - 5%.
9. Ослаблення кріплень обмоток статора - 3%.
10. Неспіввісність валів - 2%.
11. Інші причини – 1%.



# ВИКОРИСТАННЯ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ВІБРОСИГНАЛУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ВИСОКОІНФОРМАТИВНИХ КРИТЕРІЇВ НАЯВНОСТІ ДЕФЕКТІВ

Одна з головних ідей вейвлетного представлення сигналів на різних рівнях декомпозиції (розкладання) полягає в розділенні функцій наближення до сигналу на дві групи: що апроксимує – грубу, з достатньо повільною часовою динамікою змін, і що деталізує – з локальною і швидкою динамікою змін на тлі плавної динаміки, з подальшим їх дробленням і деталізацією на інших рівнях декомпозиції сигналів. В цьому випадку базисна вейвлет-функція дозволяє сконцентрувати увагу на тих або інших локальних особливостях аналізованих процесів. При чому, за своєю суттю деталізація неперервного вейвлет-перетворення є ні чим іншим, як визначенням функції взаємочореляції між материнською вейвлет-функцією та досліджуваним сигналом, що впливає з математичної моделі такого перетворення:

$$W(a, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot \psi_{a, \tau}^*(t) dt$$

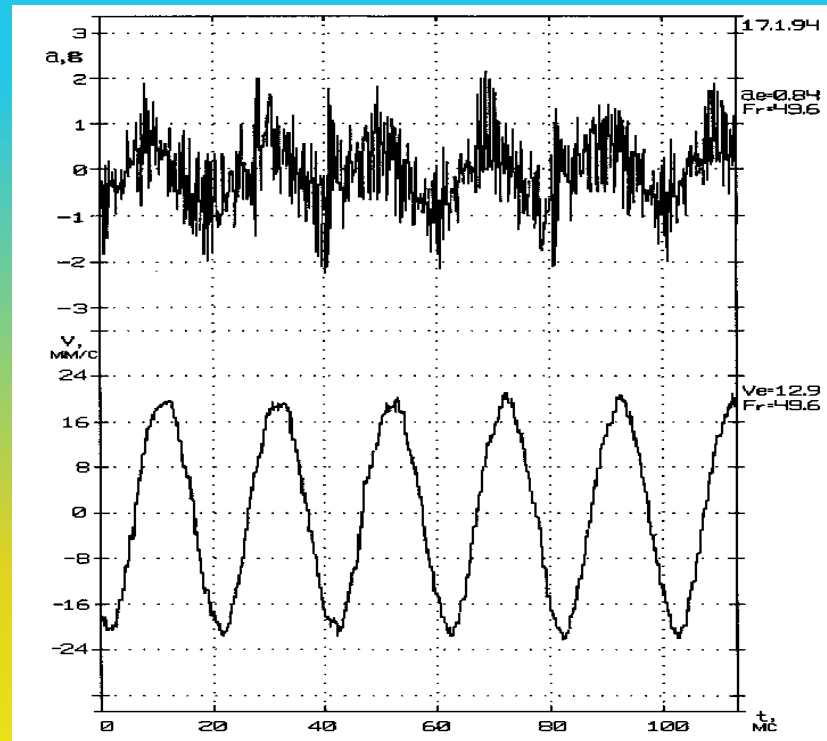
Аналогічний фізичний зміст зберігається і при дискретному вейвлет-перетворенні, у якому коефіцієнти деталізації можуть бути розраховані наступним чином:

$$d_k^j = \sum_{n \in \mathbb{Z}} g_{n-2k} \cdot c_n^{j+1},$$

# ІНФОРМАТИВНИЙ КРИТЕРІЙ НАЯВНОСТІ НЕВРІВНОВАЖЕНОСТІ РОТОРА

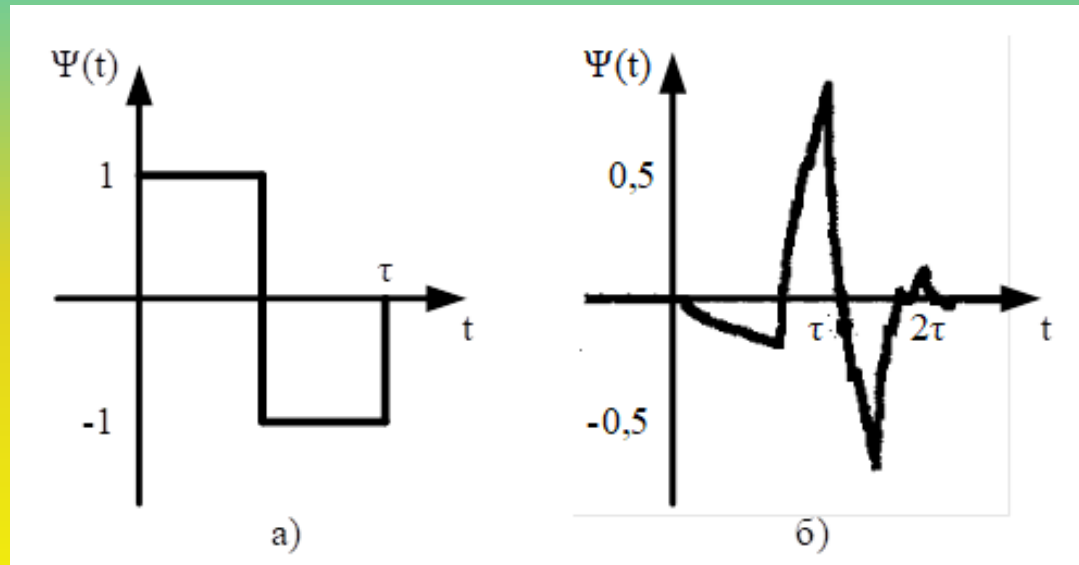
13

Особливістю вібросигналів, обумовлених невірноваженістю ротора є їх квазіперіодичний квазігарномічний характер



Тож, при проведенні стандартного вейвлет-аналізу наявність таких складових вібрації не призводять до формування одиничного яскраво вираженого локального піку в певній частотній смузі, а, отже, за умови відносно невеликих значеннях дебалансу, буде мало помітною при аналізі сигналу, отриманого у результаті дискретного вейвлет перетворення.

До основних характеристик одиничного гармонічного коливання можна віднести симетрію відносно осі часу, при зміщенні додатної складової на половину періоду уздовж зазначеної осі в довільному напрямку та три нульових стани при розгляді кожного з періодів як незалежних піків, рознесених у часовій області. Враховуючи це, найбільш подібними до одиничного гармонічного коливання можна вважати вейвлет Хаара та вейвлет Добеши 4-го порядку. Проте варто відзначити, що кожен із них має у своїй структурі суттєві відмінності у порівнянні з одиничним гармонічним коливанням. Зовнішній вигляд зазначених вейвлетів наведений на рисунку.



Материнські вейвлет-функції: а) Хаара, б) Добеши 4-го порядку

Другою задачею, що була сформульована у межах пошуку критерію виявлення дебалансу ротора є розробка числового параметру аналізу коефіцієнтів вейвлет перетворення. Враховуючи періодичність вібросигналу, обумовленого наявністю зазначеного дефекту, а також ту обставину, що кожне із гармонічних коливань представляється як окремий сплеск, варто очікувати періодичну зміну значень вейвлет коефіцієнтів у часовій області в межах смуг частот, що включають у себе роторну частоту, а також її другу та третю гармоніки. При чому амплітуди таких періодичних змін будуть напряму пов'язані з ступенем розвитку дефекту. Тож, при виконанні наступної нерівності:

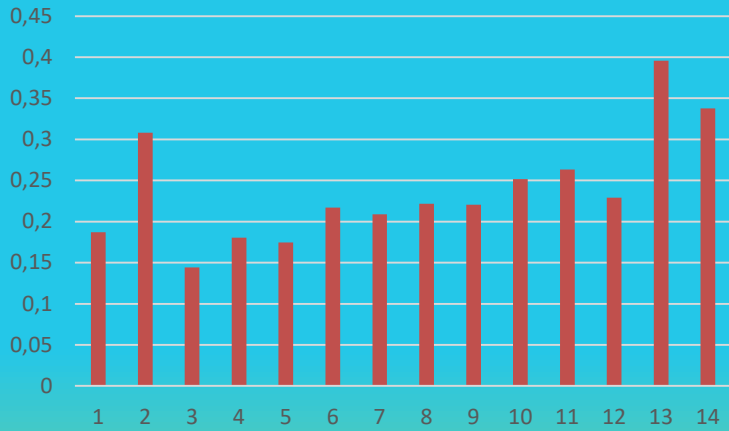
$$t_{cn} \gg T_p,$$

доцільним є застосування інтегрального підходу до аналізу коефіцієнтів вейвлет перетворення. Відтак, у якості шуканого критерію може бути використано усереднене квадратичне значення вейвлет коефіцієнтів досліджуваних частотних смуг у межах часового інтервалу, тривалість якого значно більша за період обертання ротора. Такий підхід дозволить врахувати наявність як додатних так і від'ємних максимумів вейвлет коефіцієнтів у межах досліджуваного часового інтервалу, а також характеризуватиметься пониженою чутливістю до неінформативних збурень, обумовлених аперіодичними збурюючими діями, що можуть виникати в процесі експлуатації електричної машини. Виходячи з сказаного, математично числовий критерій оцінки наявності дебалансу ротора може бути представлений наступним чином:

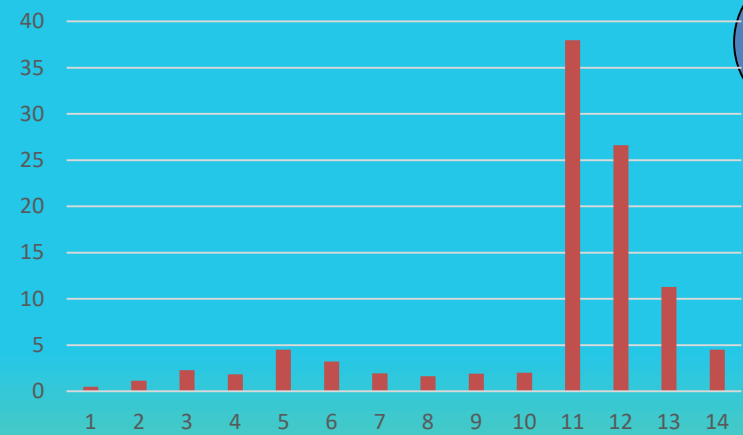
$$k_{деб} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \text{ при умові } t_{cn} \gg T_p,$$

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО КРИТЕРІЮ

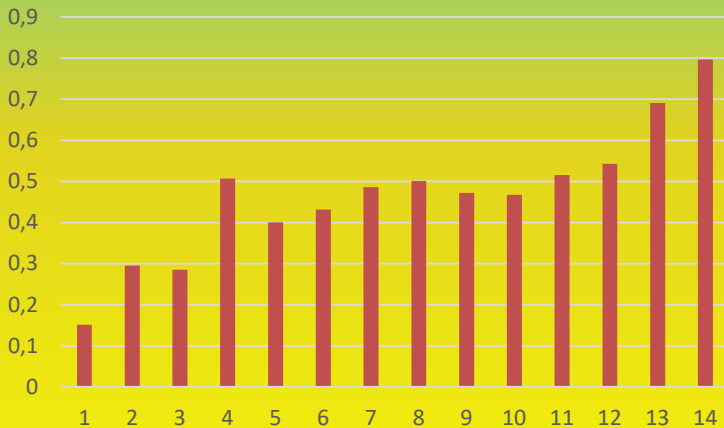
З метою підтвердження неведених вище теоретичних міркувань було проведено експериментальне дослідження з використанням електричної машини в режимі холостого ходу з моментом інерції ротора –  $0,002 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ , частотою обертання в режимі холостого ходу –  $720 \text{ об/хв}$  ( $12 \text{ Гц}$ ) та додатковим внесеного дебалансу  $0,002 \text{ кг}\cdot\text{м}$ . П'єзо акселерометр було закріплено на корпусі електричної машини таким чином, щоб вимірювальні осі сенсора були строго перпендикулярними до осі ротора, вісь  $X$  – напрямлена строго вертикально, вісь  $Y$  – строго горизонтально. Частота дискретизації сигналу становила  $232 \text{ Гц}$ , довжина часової реалізації досліджуваного сигналу –  $2^{14}$  значень.



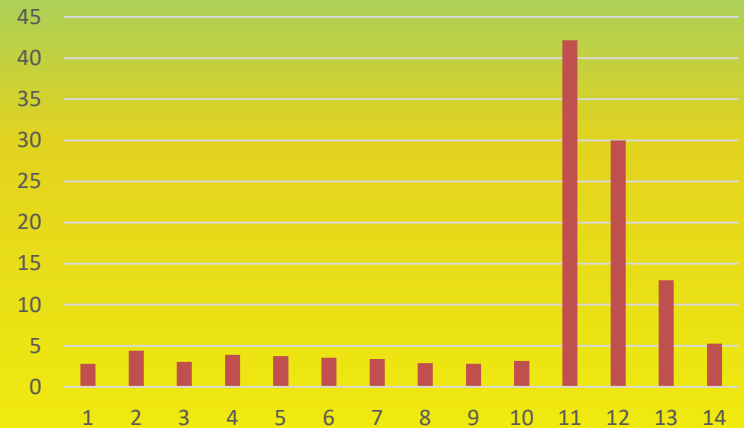
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібро сигналу по осі X без використання дебалансу



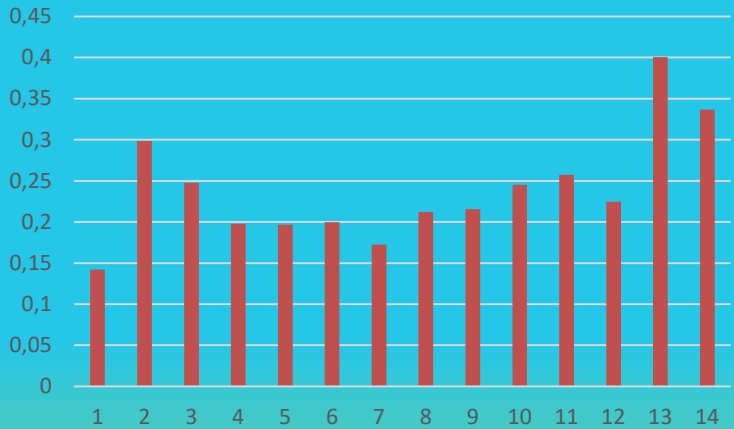
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібро сигналу по осі X з використання дебалансу



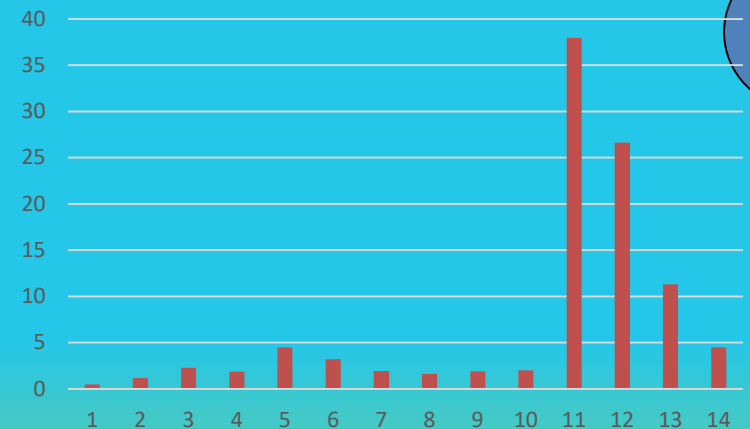
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібро сигналу по осі Y без використання дебалансу



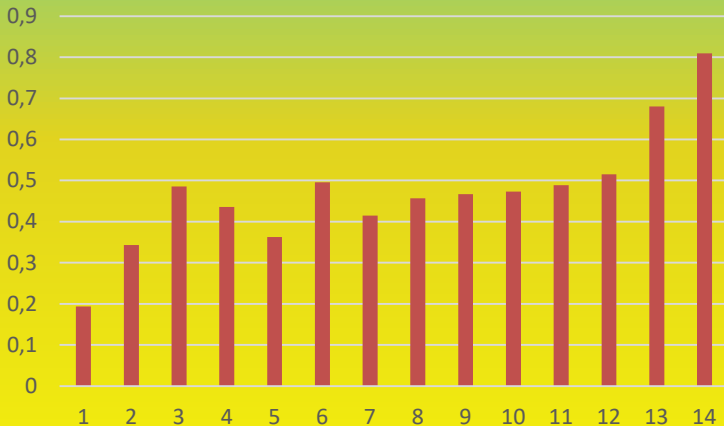
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібро сигналу по осі Y з використання дебалансу



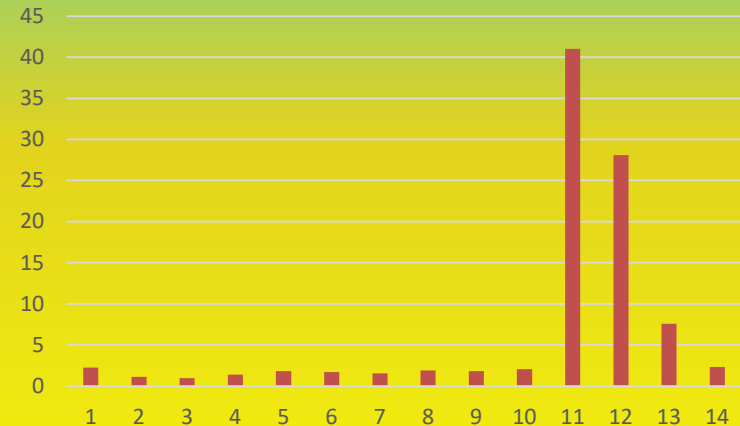
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі X без використання дебалансу



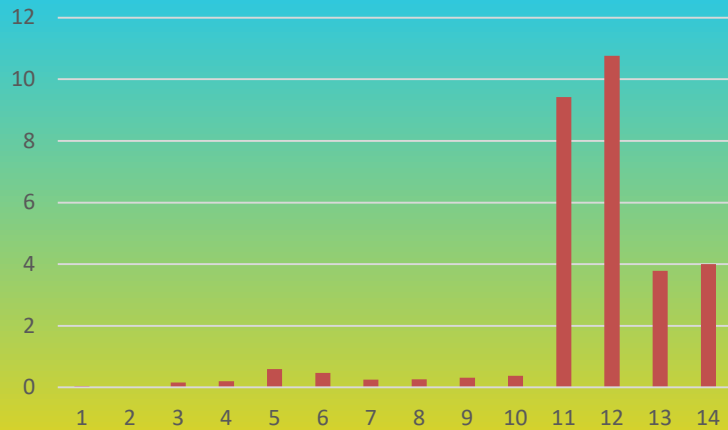
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі X з використання дебалансу



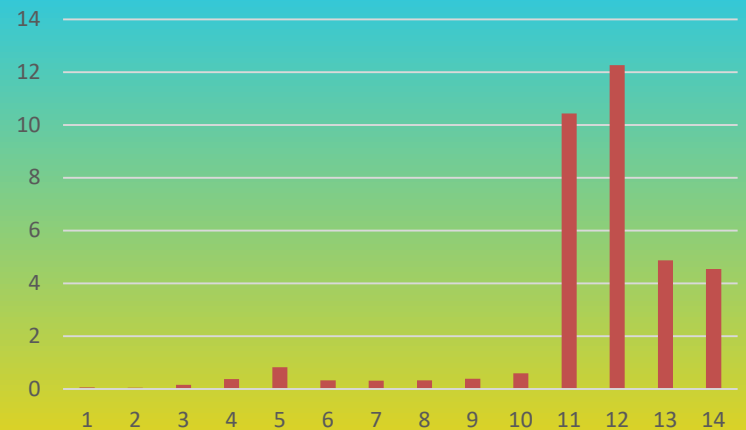
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі Y без використання дебалансу



Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі Y з використання дебалансу



Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 6-го порядку для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі X з використання дебалансу



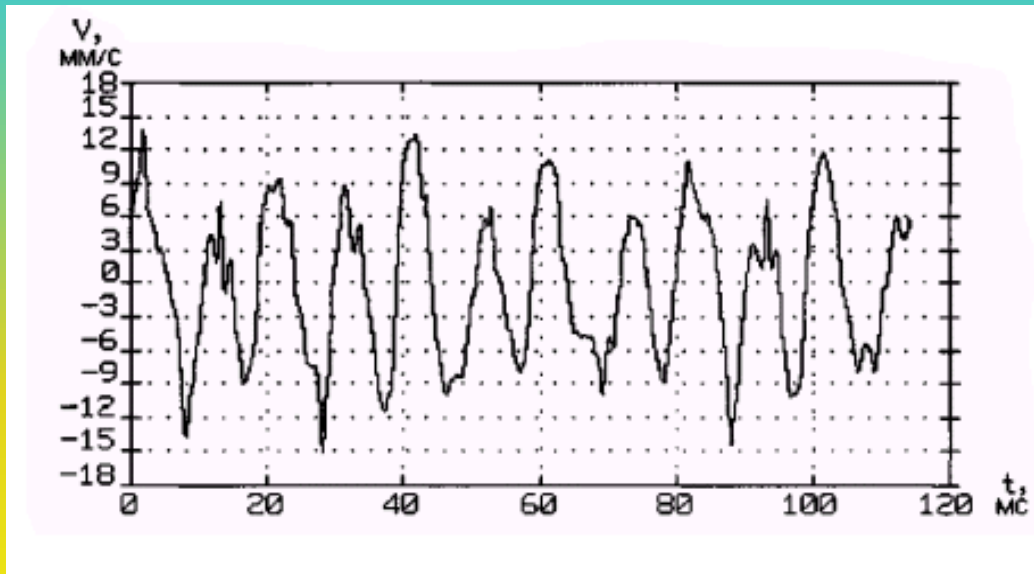
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 6-го порядку для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі Y з використання дебалансу



# ІНФОРМАТИВНИЙ КРИТЕРІЙ НАЯВНОСТІ ДЕФЕКТІВ ПІДШИПНИКІВ

20

Наявність зазначених дефектів, зазвичай, призводить до формування нерівномірного радіального зазор у підшипнику, який, у свою чергу, обумовлює складну залежність жорсткості мастильного прошарку від кута повороту ротора. Зазначений ефект практично завжди викликає збільшення вібрації на частоті обертання ротора та її вищих гармоніках.



Особливістю вібросигналів, обумовлених зазначеними дефектами, є їх квазіперіодичний характер у поєднанні з доволі складною форма сигналу. Варто відзначити і те, що при дослідженні часової реалізації віброприскорення (похідної віброшвидкості), складність форми сигналу, очевидно, буде зростати.

Враховуючи квазіперіодичність сигналу, обумовленого наявністю зазначеного дефекту, варто очікувати періодичну зміну значень вейвлет коефіцієнтів у часовій області в межах смуг частот, що включають у себе роторну частоту та її гармонічні складові. При чому амплітуди таких періодичних змін будуть напряму пов'язані з ступенем розвитку дефекту. Тож, при виконанні наступної нерівності:

$$t_{cn} \gg T_p,$$

доцільним також є застосування інтегрального підходу до аналізу коефіцієнтів вейвлет-перетворення.

Враховуючи ту обставину, що при наявності зазначеного дефекту, вібраційний відгук в межах одного періоду характеризуватиметься декількома піками, є очевидним, що для встановлення факту його наявності доцільним буде застосування материнських вейвлет-функцій старших порядків. Це пояснюється тим, що при зростанні порядку материнської вейвлет-функції типово зростає число її осциляцій. Тож, для вейвлет-функції  $N$ -го порядку буде справедливим вираз

$$\int_{-\infty}^{+\infty} t^k \psi(t) dt = 0, \quad k = 0, 1, \dots, N - 1.$$

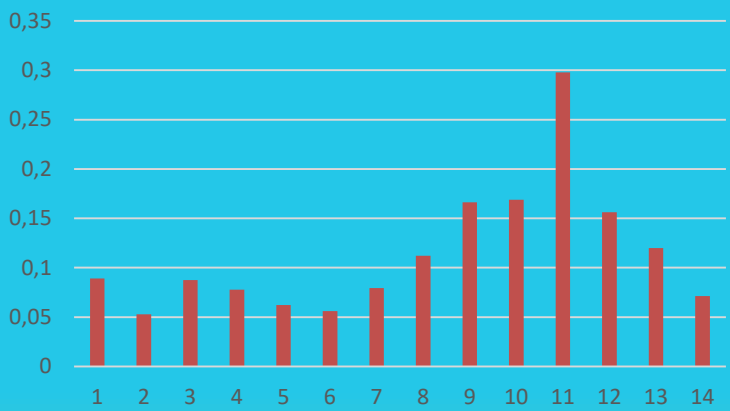
Враховуючи сказане, математичний числовий критерій оцінки наявності дефектів підшипників може бути сформульований, як:

$$k_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \text{ при умові } t_{cn} \gg T_p.$$

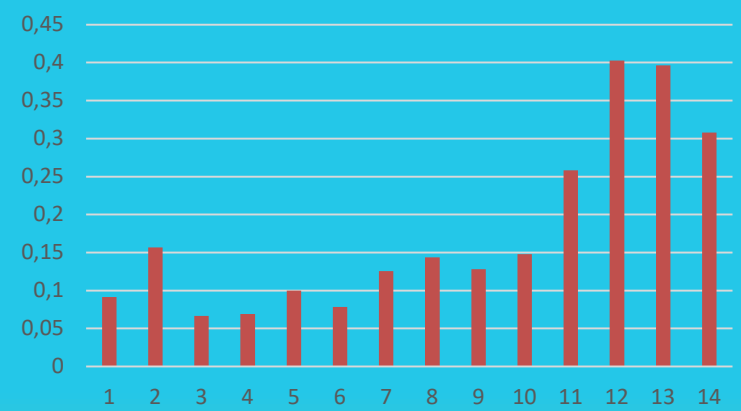
# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО КРИТЕРІЮ

З метою підтвердження неведених вище теоретичних міркувань було проведено експериментальне дослідження з використанням асинхронної електричної машини АИМ90La6У2.5, номінальною потужністю 0,75 кВт та синхронною швидкістю обертання 1000 об/хв (16,67 Гц, 12 частотна смуга) при її експлуатації в режимі холостого ходу. Дефект підшипника було імітовано шляхом застосування підшипника при відсутності масляної плівки. П'єзо акселерометр було закріплено на корпусі електричної машини таким чином, щоб вимірювальні осі сенсора були строго перпендикулярними до осі ротора, вісь X – напрямлена строго вертикально, вісь Y – строго горизонтально. Частота дискретизації сигналу становила 232 Гц, довжина часової реалізації досліджуваного сигналу –  $2^{14}$  значень.

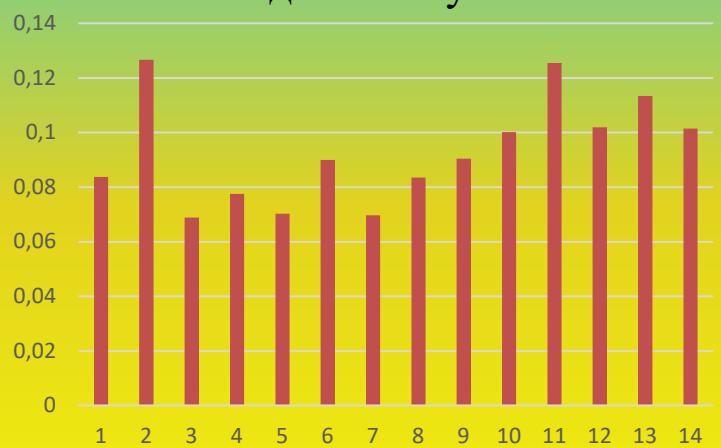
Оскільки розрахунок коефіцієнтів переважної більшості дискретних вейвлет-функцій є доволі трудомістким, а форма вібраційного відгуку при пошкодженнях підшипників, як показано раніше, характеризується доволі складною структурою, яка однозначно не асоціюється з жодним із «стандартних» вейвлетів, у якості базових вейвлет функцій було використано сімейство вейвлетів Добеши, для яких існує можливість відносно простого аналітичного розрахунку їх коефіцієнтів для функції довільного порядку.



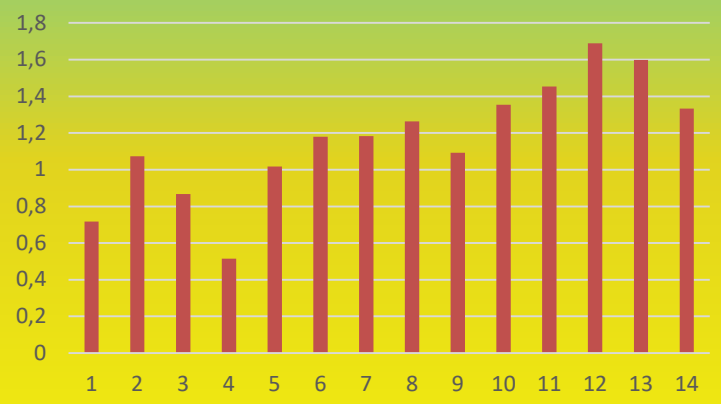
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі X при наявності мастила у підшипнику



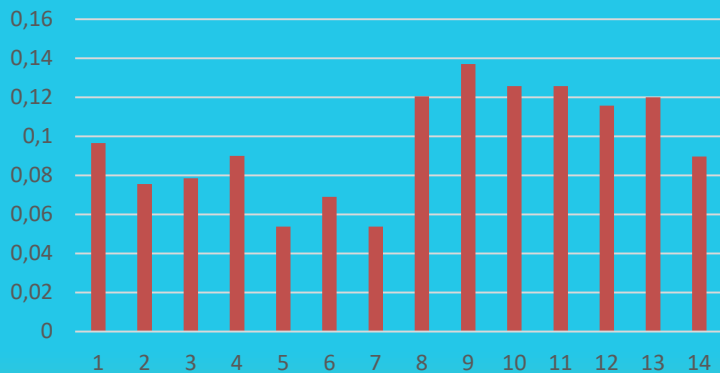
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі X при відсутності мастила в підшипнику



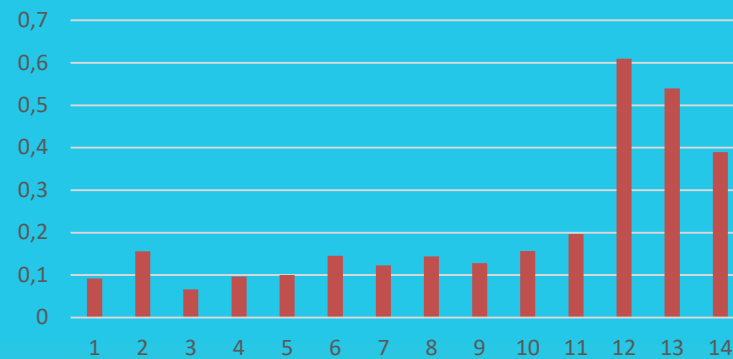
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі Y при наявності мастила у підшипнику



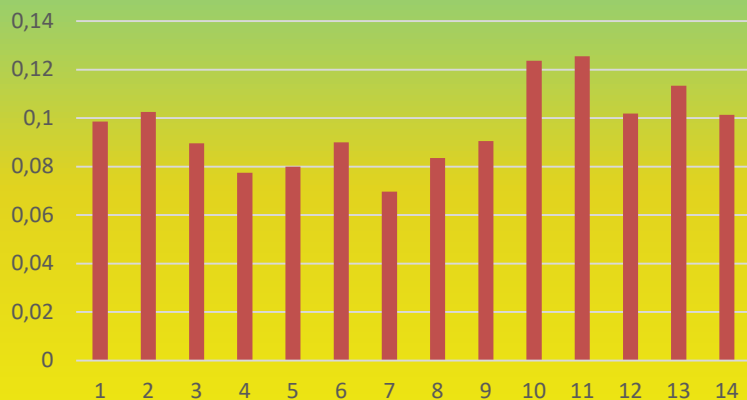
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі Y при відсутності мастила в підшипнику



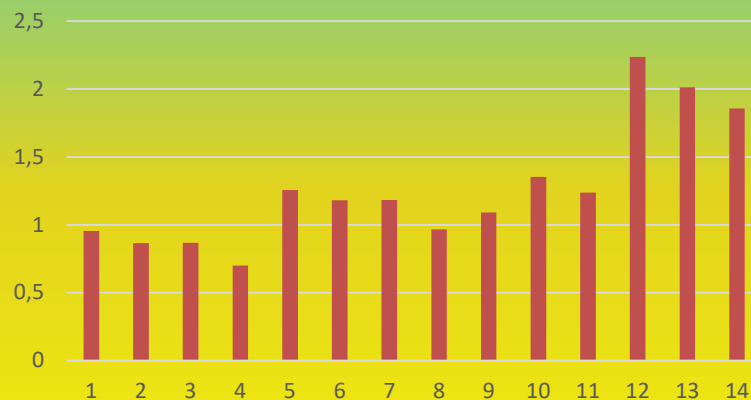
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 6-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі X при наявності мастила у підшипнику



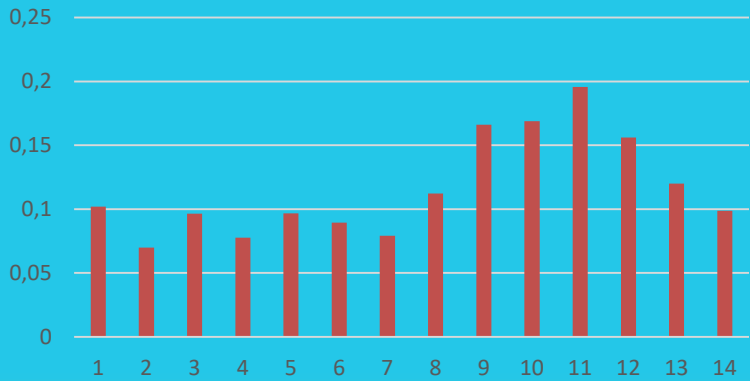
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 6-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі X при відсутності мастила в підшипнику



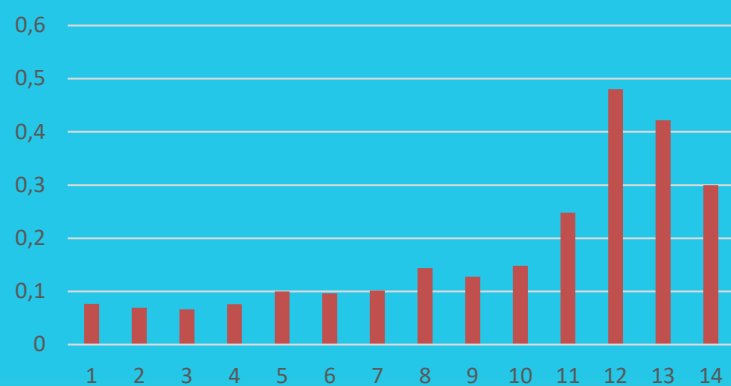
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 6-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі Y при наявності мастила у підшипнику



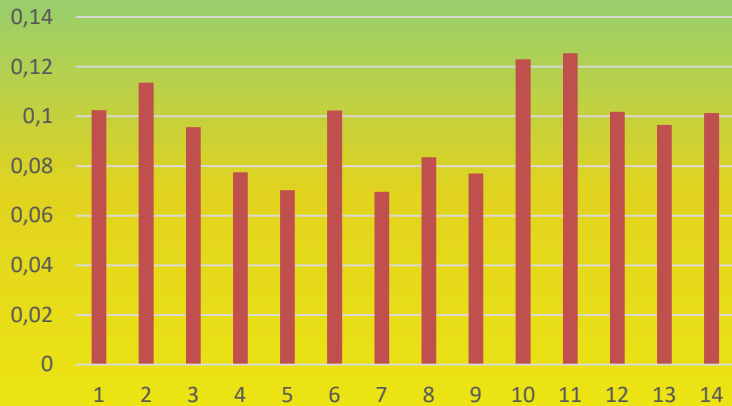
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 6-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі Y при відсутності мастила в підшипнику



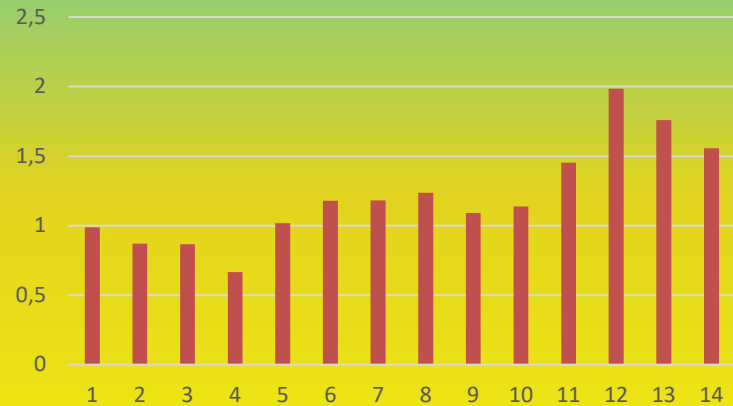
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 8-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі X при наявності мастила у підшипнику



Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 8-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі X при відсутності мастила в підшипнику



Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 8-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі Y при наявності мастила у підшипнику



Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 8-го порядку для кожної із частотних смуг віброцигналу по осі Y при відсутності мастила в підшипнику

# ІНФОРМАТИВНИЙ КРИТЕРІЙ НАЯВНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ АСИМЕТРІЇ СТАТОРА

Особливістю складової вібрації електромагнітної природи машин змінного струму, зазвичай, є її квазі-гармонічність з періодом, що відповідає періоду напруги живлення. Про те, при проведенні стандартного вейвлет-аналізу наявність невеликої асиметрії чи навіть обрив фази в режимі холостого ходу, для якого буде характерним мінімальне значення струму статора, не призводять до появи одиничного яскраво вираженого локального піку в певній частотній смузі, а, отже, за умови відносно невеликих значеннях електромагнітної асиметрії, буде мало помітною при аналізі сигналу, отриманого у результаті дискретного вейвлет перетворення.

До основних характеристик обумовленого дефектом додаткового вібраційного відгуку можна віднести симетрію відносно осі часу, при зміщенні додатної складової на половину періоду уздовж зазначеної осі в довільному напрямку та три нульових стани при розгляді кожного з періодів як незалежних піків, рознесених у часовій області. Тож, виходячи з міркувань, наведених раніше, найбільш подібними до нього можна вважати вейвлет Хаара та вейвлет Добеши 4-го порядку.

Виходячи з сказаного, при виконанні наступної нерівності:

$$t_{cn} \gg T_{жс},$$

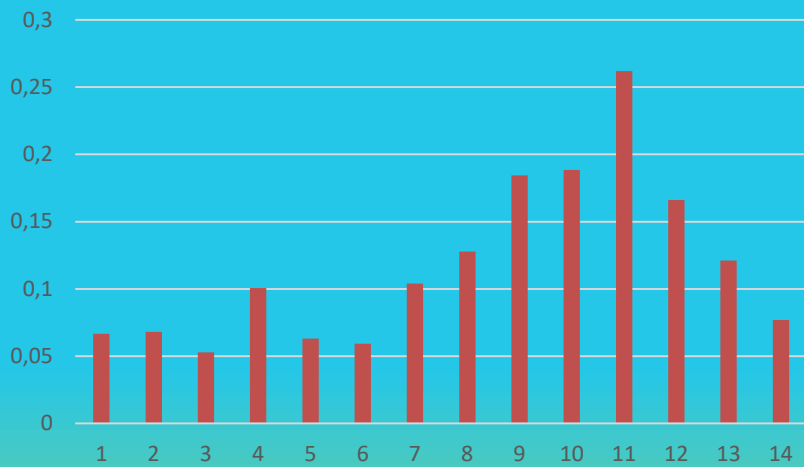
числовий критерій оцінки наявності електромагнітної асиметрії статорного кола може бути представлений наступним чином

$$k_{деб} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \text{ при умові } t_{cn} \gg T_{жс},$$

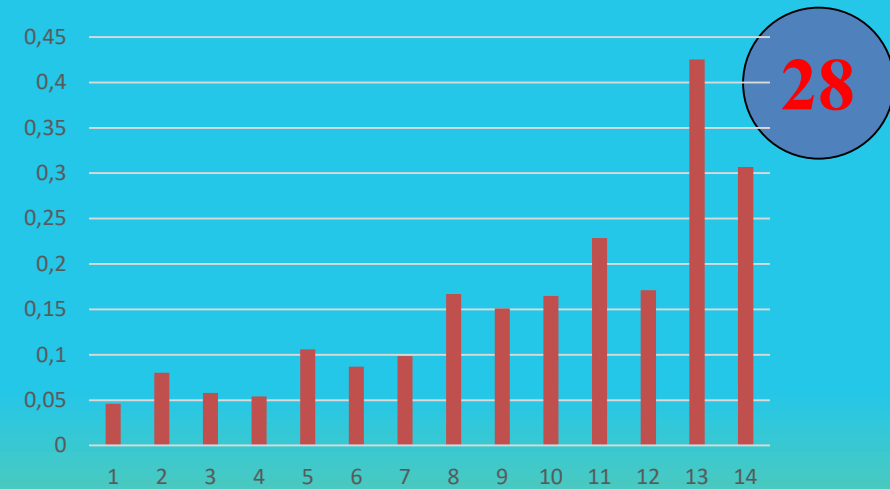
# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО КРИТЕРІЮ

З метою підтвердження неведених вище теоретичних міркувань було проведено експериментальне дослідження з використанням асинхронної електричної машини АИМ90La6У2.5, номінальною потужністю 0,75кВт. Для зниження амплітуди електромагнітної складової вібрації зазначене експериментальне дослідження проводилося для режиму холостого ходу. П'єзо акселерометр було закріплено на корпусі електричної машини таким чином, щоб вимірювальні осі сенсора були строго перпендикулярними до осі ротора, вісь X – напрямлена строго вертикально, вісь Y – строго горизонтально. Частота дискретизації сигналу становила 232 Гц, довжина часової реалізації досліджуваного сигналу –  $2^{14}$  значень. Частота напруги живлення 50 Гц (13 частотна смуга).

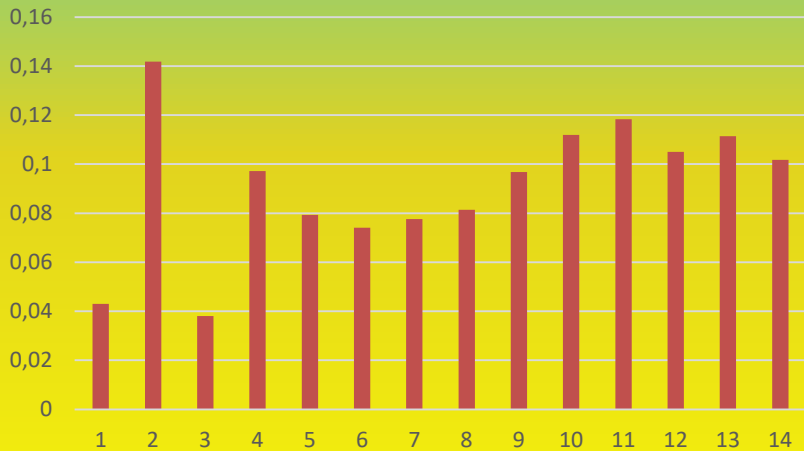




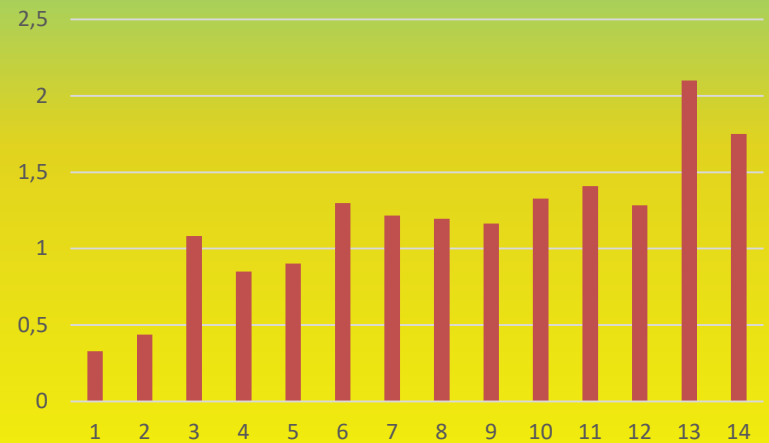
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібро сигналу по осі X при роботі електродвигуна у штатному режимі



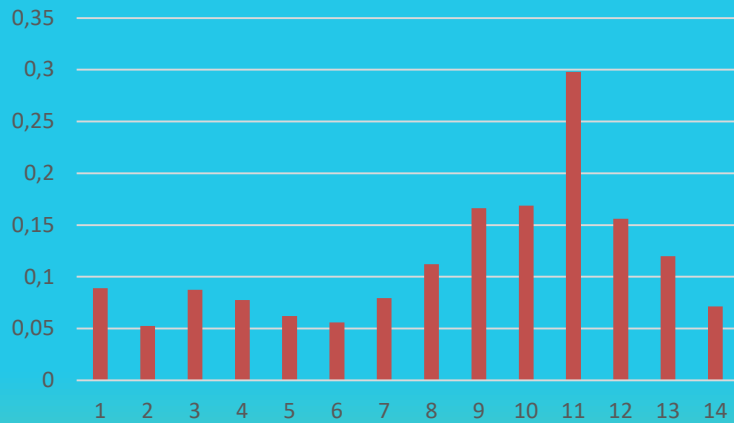
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібро сигналу по осі X при обриві фази А



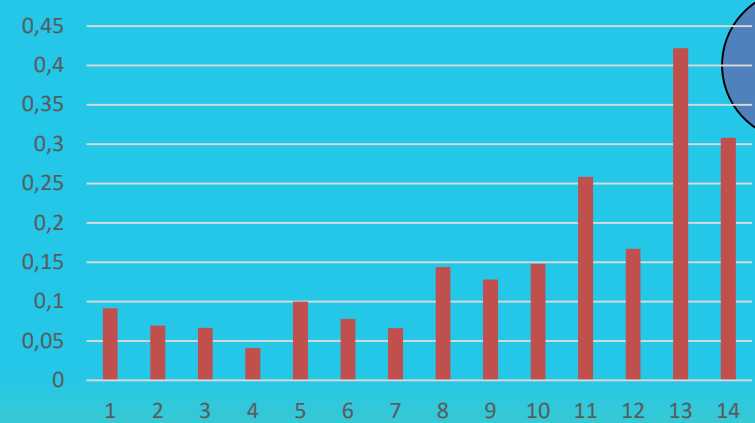
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібро сигналу по осі Y при роботі електродвигуна у штатному режимі



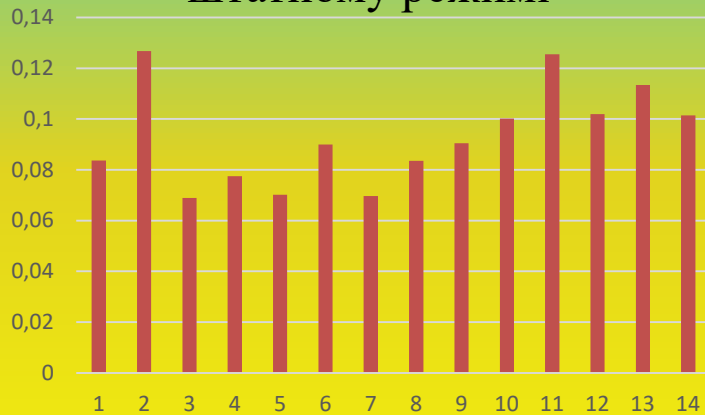
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібро сигналу по осі Y при обриві фази А



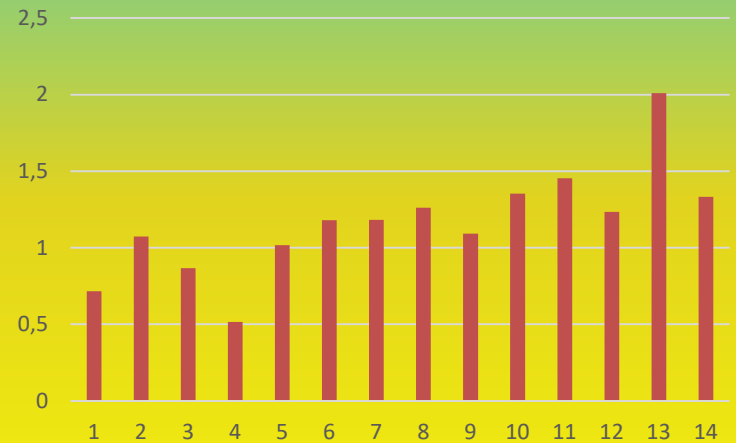
Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі X при роботі електродвигуна у штатному режимі



Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі X при обриві фази А

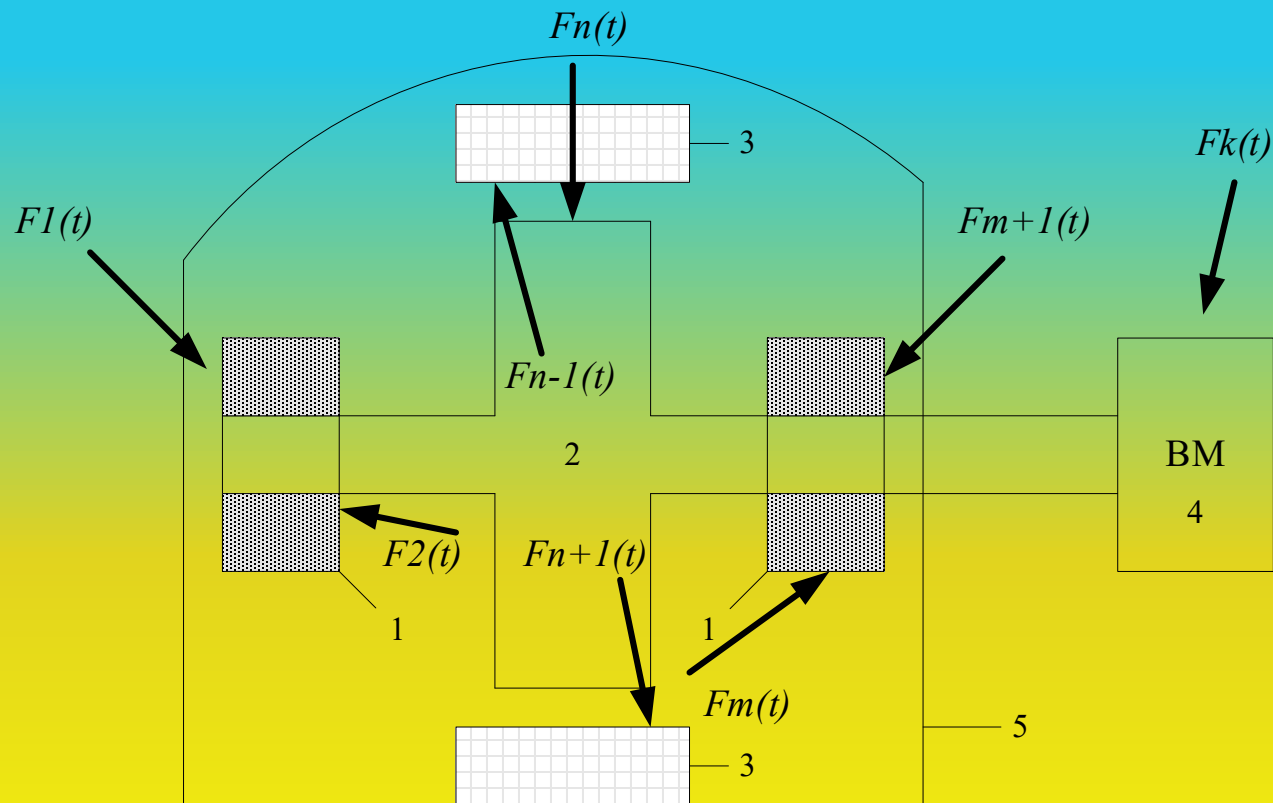


Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі Y при роботі електродвигуна у штатному режимі



Залежність усередненого квадратичного вейвлет коефіцієнтів Добеши 4-го порядку для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі Y при обриві фази А

# ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОЕФІЦІЄНТИ ВЗАЄМОКОРЕЛЯЦІЇ МІЖ ВІБРОСИГНАЛАМИ У ПРОСТОРОВО РОЗПОДІЛЕНИХ ВУЗЛАХ ОБЕРТОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ



Спрощена структурна схема обертової електричної машини: 1 – підшипники; 2 – ротор; 3 – статор; 4 – виконавчий механізм; 5 – зовнішній кожух

Для довільно обраного вузла А, що являється частиною об'єкта діагностування, буде справедливою наступна система

$$\begin{cases} \Delta\psi_{A1}(t) = \Delta F_1(t) \cdot h_{A1}(t), \\ \Delta\psi_{A2}(t) = \Delta F_2(t) \cdot h_{A2}(t), \\ \dots\dots\dots \\ \Delta\psi_{Ak}(t) = \Delta F_k(t) \cdot h_{Ak}(t), \end{cases}$$

У такому випадку результуючий приріст вібросигналу, що остерігатиметься у точці А, може бути знайдений виходячи із принципу суперпозиції.

$$\Delta\psi_A(t) = \sum_{i=1}^k \Delta\psi_{Ai}(t) = \sum_{i=1}^k \Delta F_i(t) \cdot h_{Ai}(t).$$

Відповідно, для довільно обраного вузла В:

$$\begin{cases} \Delta\psi_{B1}(t) = \Delta F_1(t) \cdot h_{B1}(t), \\ \Delta\psi_{B2}(t) = \Delta F_2(t) \cdot h_{B2}(t), \\ \dots\dots\dots \\ \Delta\psi_{Bk}(t) = \Delta F_k(t) \cdot h_{Bk}(t), \end{cases}$$

$$\Delta\psi_B(t) = \sum_{i=1}^k \Delta\psi_{Bi}(t) = \sum_{i=1}^k \Delta F_i(t) \cdot h_{Bi}(t).$$

Звідси, загальний приріст реакції системи у точці В може бути визначеною, як:

$$\Delta\psi_B(t) = \sum_{i=1}^k \frac{h_{Bi}(t)}{h_{Ai}(t)} \Delta\psi_{Ai}(t).$$

Хоча наведений вище вираз при його інтегральній оцінці теоретично дає змогу встановити однозначний зав'язок між функціями віброцигнала у різних частинах ОД, що могло б забезпечити можливість на основі відомих реалізацій віброцигнала у зазначених точках відновити вклад кожної із елементарних сил  $\Delta F_i(t)$  для кожного досліджуваного моменту часу, про те на практиці не можливо визначити не лише конкретні точки прикладання рівнодійних збурюючих сил, а й навіть отримати достовірну інформацію про їх точну кількість.

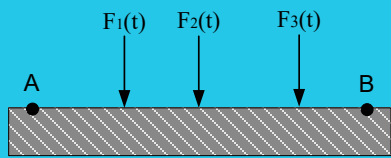
Так як коливання будь-якого пружного тіла відбувається відносно деякого центрального (нульового) положення, то на проміжку часу, що є кратним періоду обертання ротора електричної машини віброцигнал будь-якого її вузла можна вважати центрованим. У такому випадку, вираз для розрахунку коефіцієнту взаємкореляції між віброцигналами двох розосереджених вузлів запишеться наступним чином:

$$K_{\psi}^*(t_1) = \frac{1}{T} \int_0^T (\psi_A^*(t_1)) (\psi_B^*(t_1)) dt_1.$$

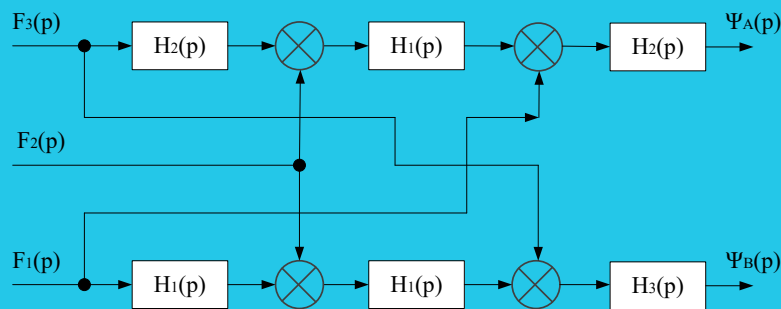
Оскільки вимірювання вихідних віброцигналів здійснюється дискретно, то, з урахуванням відомого рівняння Пірсона, коефіцієнт взаємкореляції можна записати у наступному вигляді:

$$K_{\psi}^*(t_1) = \frac{\sum_{i=1}^n \psi_{Ai}^* \psi_{Bi}^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \psi_{Ai}^{*2} \cdot \sum_{i=1}^n \psi_{Bi}^{*2}}},$$

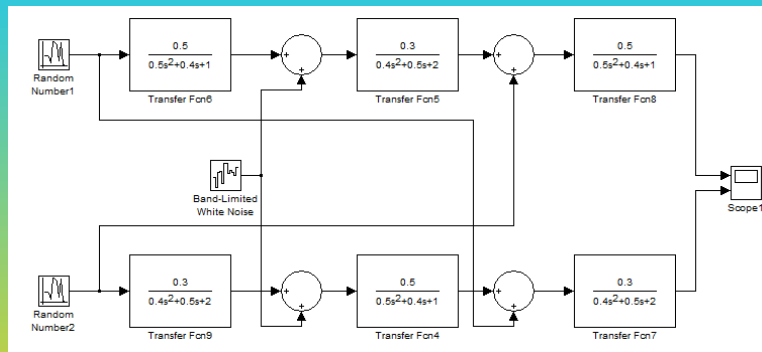
# МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ



а)



б)



в)

## Спрощений модельований об'єкт дослідження

Умови виконання моделювання

Усереднений коефіцієнт взаємкореляції

$$F_1(t) \approx F_2(t) \approx F_3(t)$$

(Усі збурюючі сили мають один порядок амплітуди)

0,278

$$F_1(t) \gg F_2(t) \approx F_3(t)$$

(Амплітуда  $F_1(t)$  на порядок більша за амплітуду  $F_2(t)$  та  $F_3(t)$ )

0,18

$$F_1(t) \approx F_3(t) \ll F_2(t),$$

(Амплітуда  $F_2(t)$  на порядок більша за амплітуду  $F_1(t)$  та  $F_3(t)$ )

0.54

$$F_1(t) \approx F_2(t) \ll F_3(t)$$

(Амплітуда  $F_3(t)$  на порядок більша за амплітуду  $F_1(t)$  та  $F_2(t)$ )

0,11

# Результати експериментальних досліджень (різне навантаження)

Навантаження – 6.1 МВт

Місце отримання та вісь вхідних сигналів	Номер смуги частот													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Опорний підшипник, вісь Y – турбінний підшипник, вісь Y	0,821	0,707	0,73	0,953	0,703	0,879	0,693	0,527	0,64	0,754	0,53	0,699		
Опорний підшипник, вісь Y – опорний підшипник, вісь X	0,851	0,83	0,862	0,864	0,846	0,794	0,683	0,699	0,763	0,849	0,64	0,68		
Опорний підшипник, вісь X – турбінний підшипник, вісь X	0,642	0,658	0,612	0,688	0,606	0,846	0,753	0,688	0,585	0,816	0,668	0,57		
Турбінний підшипник, вісь X – турбінний підшипник, вісь Y	0,625	0,524	0,691	0,877	0,905	0,741	0,831	0,765	0,781	0,641	0,634	0,29		

Навантаження – 3.7 МВт

Місце отримання та вісь вхідних сигналів	Номер смуги частот													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Опорний підшипник, вісь Y – турбінний підшипник, вісь Y	0,908	0,693 <sub>9</sub>	0,767	0,75	0,565	0,68	0,485	0,46	0,75	0,908	0,526	0,755		
Опорний підшипник, вісь Y – опорний підшипник, вісь X	0,611	0,614	0,765	0,744	0,626	0,637	0,791	0,598	0,774	0,646	0,698	0,62		
Опорний підшипник, вісь X – турбінний підшипник, вісь X	0,891	0,588	0,517	0,288	0,475	0,68	0,728	0,684	0,63	0,381	0,882	0,389		
Турбінний підшипник, вісь X – турбінний підшипник, вісь Y	0,815	0,73	0,636	0,703	0,696	0,511	0,758	0,83	0,678	0,536	0,722	0,177		

# Результати експериментальних досліджень (різний напор гідроагрегату)

36

Напор - 4,85 м

Місце отримання та вісь вхідних сигналів	Номер смуги частот													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Опорний підшипник, вісь Y – турбінний підшипник, вісь Y	0,57	0,677	0,678	0,678	0,706	0,523	0,65	0,871	0,548	0,864	0,659	0,808		
Опорний підшипник, вісь Y – опорний підшипник, вісь X	0,479	0,539	0,537	0,537	0,528	0,629	0,622	0,664	0,555	0,7	0,648	0,77		
Опорний підшипник, вісь X – турбінний підшипник, вісь X	0,534	0,512	0,511	0,511	0,641	0,801	0,677	0,791	0,646	0,722	0,527	0,931		
Турбінний підшипник, вісь X – турбінний підшипник, вісь Y	0,654	0,742	0,757	0,757	0,794	0,556	0,633	0,893	0,603	0,79	0,47	0,819		

Напор - 6,35 м

Місце отримання та вісь вхідних сигналів	Номер смуги частот													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Опорний підшипник, вісь Y – турбінний підшипник, вісь Y	0,679	0,796	0,732	0,732	0,809	0,697	0,71	0,949	0,673	0,619	0,778	0,789		
Опорний підшипник, вісь Y – опорний підшипник, вісь X	0,636	0,703	0,662	0,662	0,882	0,78	0,765	0,704	0,69	0,687	0,915	0,931		
Опорний підшипник, вісь X – турбінний підшипник, вісь X	0,854	0,803	0,772	0,772	0,667	0,884	0,75	0,702	0,544	0,632	0,608	0,627		
Турбінний підшипник, вісь X – турбінний підшипник, вісь Y	0,833	0,861	0,836	0,836	0,801	0,716	0,722	0,425	0,459	0,648	0,736	0,877		



1. Проведено детальний аналіз існуючих підходів до побудови систем діагностування обертових електричних машин та типових фізичних величин, що використовуються ними у якості вхідних параметрів. Показано, що перспективним напрямком підвищення ефективності роботи систем діагностування є використання експертних систем на основі технології machine learning.
2. Обґрунтовано доцільність вибору типу вхідної інформації систем діагностування на основі методу еволюційного пошуку. Показано, що зазначений метод дозволяє більш повною мірою охопити простір пошуку, ніж, наприклад, градієнтні методи оптимізації, та отримати розв'язок, близький до оптимального, за відносно короткий час (малу кількість ітерацій).
3. Запропоновано структурну схему системи діагностування обертових електричних машин на основі модифікованої нестандартної ШНМ та структуру самої ШНМ, що враховує при діагностування поточний режим роботи електричної машини та характеризується високою адаптивністю до об'єкта діагностування.
4. Проведено статистичне дослідження причин виходу з ладу АД з КЗ ротором за результатами якого виявлено найбільш імовірні причини їх аварійної відмови.
5. Вперше запропоновано методику розрахунку інтегральних високоінформативних діагностичних ознак ряду найбільш поширених дефектів обертових електричних машин на основі використання дискретного вейвлет-аналізу їх вібраційного сигналу, що характеризуються високою чутливістю та селективністю. Експериментально підтверджено їх ефективність.
6. Вперше запропоновано використання у якості діагностичних ознак типу та місця локалізації дефекту коефіцієнтів взаємкореляції вібросигналів та їх похідних у просторово розподілених вузлах електричної машини. Ефективність зазначених критеріїв доведено шляхом комп'ютерного моделювання та експериментального дослідження.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**