

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
Інститут транспорту та логістики  
Кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-  
транспортних машин**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до дипломної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

напряму підготовки 274 Автомобільний транспорт  
спеціальності 8.07010601 Автомобілі та автомобільне господарство

на тему: «Удосконалення методу діагностування системи запалювання ав-  
томобільного двигуна»

Виконав: студент групи АТ-16дм  
Чередніченко О.С.

.....  
(підпис)

Керівник: ст. викл. Клімаш А.О.

.....  
(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Горбунов М.І.

.....  
(підпис)

Рецензент:

.....  
(підпис)

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА.....	10
1.1. Сучасні вимоги до діагностування системи запалювання автомобільного двигуна .....	10
1.2. Аналіз конструкцій сучасних систем запалювання та методів їх діагностування.....	15
1.3. Аналіз засобів діагностування системи запалювання.....	24
1.4. Порівняльна характеристика методів і засобів діагностування системи запалювання.....	29
1.5. Постановка завдань дослідження .....	32
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ .....	34
2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ.....	35
2.1. Вибір і обґрунтування діагностичних параметрів системи запалювання та аналіз факторів, що на них впливають.....	35
2.2. Математична модель зняття, реєстрації і попередньої обробки вхідних даних.....	42
2.3. Підхід і математична модель автоматизованого визначення несправностей системи запалювання .....	54
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ .....	62
3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ТА РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ.....	64
3.1. Підготовка даних і попередня обробка сигналу напруги системи запалювання.....	64
3.2. Визначення спектральних характеристик сигналу напруги системи запалювання.....	75
3.3. Аналіз частотного спектру сигналу напруги системи запалювання ..	80
3.4. Врахування граничних умов та супутніх факторів при використанні методу.....	84
3.5. Розробка алгоритму діагностування системи запалювання .....	93
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ .....	98

## ВСТУП

Система запалювання автомобільного двигуна безпосередньо впливає на багато показників його роботи. До числа таких показників відносять потужність двигуна, економічність, рівномірність і стійкість роботи, токсичність відпрацьованих газів та ін. Загальновідомо, що навіть, на перший погляд, непомітні несправності системи запалювання (зменшення пробивної напруги, порушення кута замкнутого стану контактів або часу накопичення енергії, порушення кута випередження запалювання та ін.) суттєво збільшують витрату палива і підвищують вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах. На даний час в Україну ввозиться велика кількість автомобілів закордонного виробництва. Основна частина таких автомобілів мають досить тривалий термін експлуатації і, як наслідок, вони експлуатуються з багатьма несправностями, в тому числі і несправностями в системі запалювання.

Процес діагностування електронного та електричного обладнання автомобіля потребує постійного удосконалення поряд з постійним ускладненням конструкції сучасного автомобіля та більш жорстких вимог до охорони навколишнього середовища.

На даний час широко застосовують порівняльні методи діагностування системи запалювання, коли оператор візуально порівнює дані, зчитані за допомогою мотор-тестера чи осцилографа із справної та несправної системи запалювання і робить відповідні висновки про той чи інший вид несправності (відмови). У таких методах надто великим є вплив суб'єктивних факторів, тому досить актуальним є питання зменшення важливості людського фактору при діагностуванні. Це може бути досягнуто впровадженням та удосконаленням методів математичної обробки отриманої діагностичної інформації. З удосконаленням обчислювальної техніки з'явилася можливість автоматизувати пошук несправностей в системі запалювання.

лювання. Основна мета автоматизації – позбавлення від рутинної роботи виміру і порівняння діагностичних параметрів.

### **Актуальність теми**

Методи і засоби діагностування системи запалювання, що використовуються в Україні на даний час, не забезпечують в достатній мірі вимоги щодо ефективності та можливості автоматизації процесу діагностування. У таких методах частково використовується діагностична інформація, яка міститься в параметрах електричних сигналів іскроутворення в циліндрах двигуна. Досить часто застосовуються застарілі методи почергового визначення діагностичних параметрів з низьким рівнем використання інформаційних технологій та великими затратами часу.

Отже, питання підвищення ефективності, створення передумов автоматизації діагностування системи запалювання, більш повного і досконалого аналізу діагностичної інформації на основі сучасних інформаційних технологій є досить актуальним, що і визначає доцільність даного дисертаційного дослідження.

### **Мета і завдання дослідження**

*Мета дослідження* – удосконалити метод автоматизованого визначення технічного стану системи запалювання двигуна в умовах експлуатації засобів транспорту.

*Об'єкт дослідження* – робочі процеси системи запалювання, що змінюються в ході експлуатації і визначають технічний стан автомобільного двигуна.

*Предмет дослідження* – параметри електричних сигналів системи запалювання, що характеризують її технічний стан і складають інформаційну основу для автоматизації процесу діагностування.

*Методи дослідження.* Непараметричні методи спектрального аналізу застосовуються при визначенні спектральних характеристик сигналів напруги системи запалювання, що дає можливість використати діагностичну інформацію, яка міститься в частотному спектрі досліджуваних сигналів.

Математичне моделювання застосовується для розробки математичної моделі визначення діагностичних параметрів системи запалювання, що дозволяє автоматизувати процес діагностування шляхом порівняння параметрів математичної моделі.

Фізичне моделювання, методи безмоторних (стендових) та моторних випробовувань застосовуються при проведенні експериментальних досліджень, що дозволяє практично підтвердити виконані теоретичні дослідження.

Методи математичної статистики та теорії похибок застосовуються для визначення похибок вимірювань та граничних відхилень діагностичних параметрів, що дозволяє зробити висновок про достовірність діагностичної інформації.

*Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:*

- провести аналіз наукових досліджень, порівняльний аналіз методів і засобів діагностування. Вибрати методи, які б забезпечили передумови автоматизації процесу діагностування системи запалювання автомобільного двигуна;

- вибрати і обґрунтувати діагностичні параметри, які мають високу інформативність, прості в реалізації вимірювань. Проаналізувати фактори, що на них впливають;
- обґрунтувати теоретичні передумови застосування методів цифрової обробки сигналів для діагностування системи запалювання. Розробити аналітичну основу для визначення спектральних характеристик сигналу напруги системи запалювання;
- удосконалити математичну модель зняття, реєстрації та попередньої обробки вхідних даних, алгоритм розподілу сигналу напруги системи запалювання на окремі реалізації та їх усереднення при постійній та змінній частоті обертів колінчатого валу;
- удосконалити математичну модель та алгоритм автоматизованого визначення несправностей системи запалювання методом порівняння параметрів досліджуваного та еталонного сигналів, розробити алгоритм поповнення інформаційної бази даних параметрів математичної моделі;

### **Наукова новизна одержаних результатів**

- удосконалено математичну модель процесу діагностування системи запалювання автомобільного двигуна шляхом порівняння параметрів спектральної щільності потужності досліджуваного та еталонного сигналів, яка дозволяє автоматизувати процес постановки діагнозу;
- набув подальшого розвитку метод спектрального аналізу електричних сигналів системи запалювання шляхом розробки аналітичної основи аналізування частотного спектру усереднених реалізацій іскроутворення в циліндрах двигуна, що дало можливість використання діагностичної інформації, яка міститься в спектральних характеристиках сигналу напруги системи запалювання;
- удосконалено модель розподілу сигналу напруги системи запалювання на окремі реалізації та метод їх усереднення шляхом зміни частоти

дискретизації окремих реалізацій і приведення їх до однієї бази, що дає можливість усереднення реалізацій іскроутворення в окремих циліндрах при постійній та змінній частоті обертів колінчатого вала;

- удосконалено підхід створення інформаційної бази для автоматизованого діагностування системи запалювання автомобілів різних моделей шляхом впровадження можливості поповнення параметрів математичної моделі, що дозволяє створити адаптивну, відкриту систему діагностування.

## 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА

З розвитком автомобілебудування значно змінюються і вдосконалюються елементи електрообладнання автомобіля, серед яких досить важливе місце займає система запалювання. Таке удосконалення конструкції значною мірою підвищує якість робочих параметрів системи, покращує експлуатаційні показники автомобіля в цілому. Але, поряд з цим, виникає проблема в удосконаленні методів і засобів діагностування такого обладнання, в розробці нових підходів до визначення технічного стану його складових. Сучасна промисловість пропонує досить широкий спектр різноманітного діагностичного обладнання, яке базується на різних методах діагностики.

У даному розділі проведений аналіз існуючих у даний час методів і засобів діагностування системи запалювання автомобільного двигуна, а також поставлені завдання дослідження.

### 1.1. Сучасні вимоги до діагностування системи запалювання автомобільного двигуна

Бурхливий розвиток автомобільної промисловості ставить досить жорсткі вимоги до технічного стану автомобіля в цілому, і до системи запалювання як його складової. Ці вимоги характеризують розвиток автомобільного транспорту на майбутнє [22] і визначаються нормативно-технічною документацією [39, 67, 82]. Стан автомобіля, при якому він відповідає всім вимогам нормативно-технічної документації, називається справним [53]. Але, в процесі експлуатації, в різних системах автомобіля (у системі запалювання зокрема) виникають несправності, які порушують ці вимоги. Виникає завдання створення передумов, які б визначали причини появи несправностей і давали можливість підтримувати автомобіль в тех-



нічно справному стані. Основною метою технічної діагностики [8, 65] є організація ефективних процесів визначення технічного стану об'єкту діагнозу. Сучасні вимоги до діагностування системи запалювання визначають, що процедура визначення технічного стану системи, як об'єкту діагнозу, має бути максимально автоматизованою, вона повинна мати високу точність, достовірність, ефективність, бути простою в реалізації, об'єктивною і забезпечити неможливість зашкодити двигуну [2, 20, 24, 47, 62, 68, 69, 94]. У роботі [122] обґрунтований пріоритетний розвиток автомобільної діагностики на основі сучасних інформаційних технологій та моделювання, який базується на двох Європейських проектах розвитку систем діагностування засобів транспорту: VMBD "Vehicle Model based Diagnosis" і IDD "Integrated Design Process for onboard Diagnosis", в яких беруть участь такі компанії як "Volvo Car Corporation", "Robert Bosch", "OCC'M Software GmbH" та ін.

Методи і засоби діагностування автомобіля в цілому, і системи запалювання як його складової, почали інтенсивно розвиватися в другій половині ХХ століття. Цій тематиці присвячена досить велика кількість робіт [1, 8, 9, 13, 15, 18, 20, 21, 23, 24, 30, 40, 41, 48, 53, 54, 58, 65, 69, 90, 103, 104, 105, 106]. Значний вклад у розвиток науки в цьому напрямку зробили Абрамчук В.Є., Авдонькін Ф.Н., Біргер І.А., Болдін А.Г., Борц А.Д., Глухов В.В., Говорущенко М.Я., Грибенко С.М., Дмитренко А.В., Дунаєв А.П., Клімець Б.І., Ключев В.В., Левінсон Б.В., Литвиненко В.В., Лудченко А.А., Мирошніков Л.В., Опарін І.М., Пархоменко П.П., Сидоров В.І., Соснін Д.А., Спичкін Г.В., Фламиш О., Харазов А.М., Шумик С.В. та ін. Досить великий об'єм досліджень у цій галузі, починаючи з 60-их років, був проведений в ХАДІ, де вперше був описаний метод діагностування системи запалювання по аналізу осцилограм [21, 43], спроектований і розроблений діагностичний стенд ХАДІ-2. Проводились дослідження в МАДІ, НДІАТ, КПП, АвтоВАЗ та інших структурах. Поряд з усіма науковими до-

сягненнями в галузі діагностування системи запалювання на сьогоднішній день ще не повністю вирішена проблема достовірності та ефективності діагностичних вимірювань, особливо тих, що здійснюються в неідеальних умовах. Достовірність діагностичної інформації системи запалювання є досить важливою річчю, адже мова йде про систему, яка безпосередньо впливає на економічність двигуна та вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

Специфіка системи технічної діагностики полягає у тому, щоб спрямувати засоби і методи діагностування на визначення технічного стану як автомобіля в цілому, так і його окремих вузлів та агрегатів в комплексі. Технічне діагностування автомобіля в цілому і системи запалювання зокрема можна поділити на кілька частин [28, 65, 90, 97] і спрямувати на вирішення одного або декількох завдань (рис. 1.1). Виходячи з приведених завдань діагностики, можна зробити висновок, що для системи запалювання в повній мірі потрібні всі три складові технічної діагностики і виконуватись вони повинні поетапно.



Рис.1.1. Завдання технічної діагностики

Система запалювання горючої суміші суттєво впливає на роботу двигуна, його запуск, потужність, витрату палива, токсичність відпрацьованих

газів. Несправності системи запалювання можуть виникати як в результаті спрацювання деталей у процесі експлуатації, так і з причин неякісного догляду чи обслуговування системи.

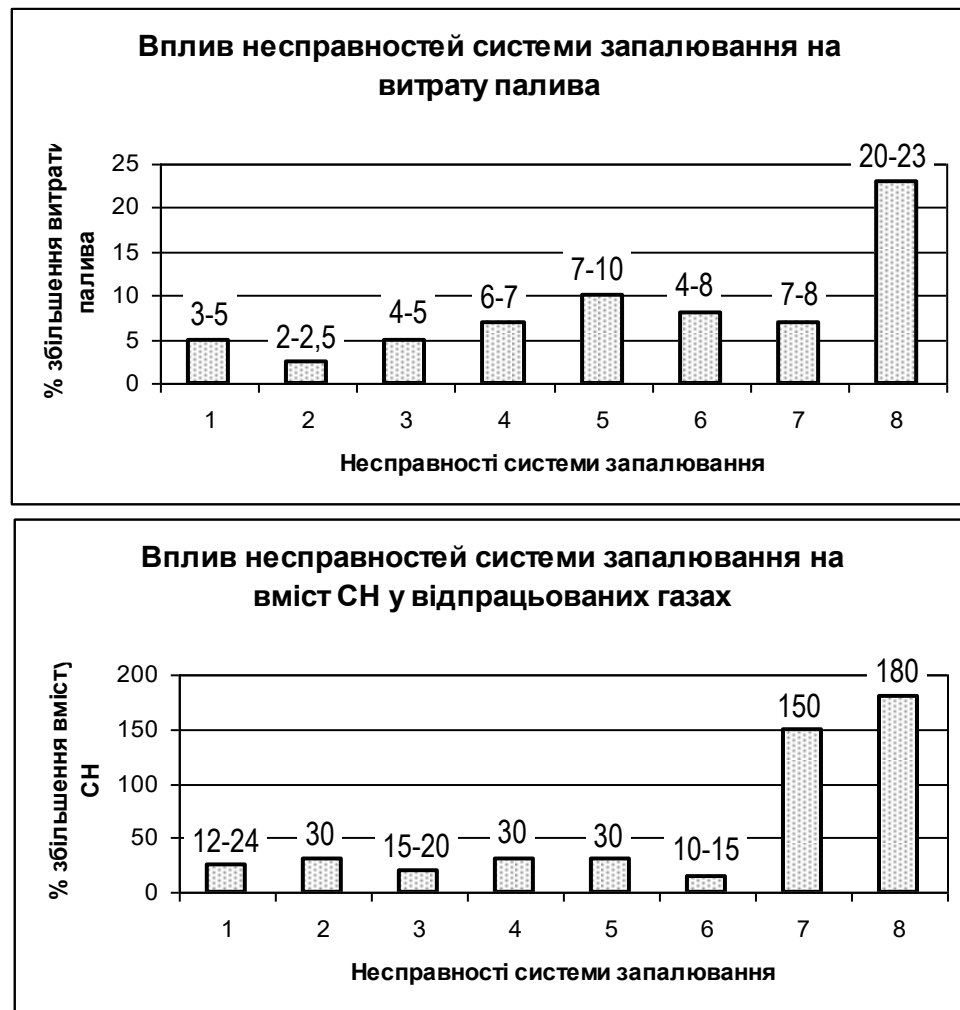
Практично всі несправності системи запалювання пов'язані з погіршенням експлуатаційних показників роботи автомобіля. Найбільший вплив система запалювання має на витрату палива та вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

Досить великий об'єм досліджень в цій галузі приведений у роботах [6, 19, 20, 21, 32, 43, 44, 45, 47, 68]. На рис. 1.2 графічно представлена залежність витрати палива та вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах від різних несправностей системи запалювання [19, 44]. У роботі [106] показана залежність питомої витрати палива від величини іскрового зазору в свічках запалювання та від кута випередження запалювання на максимальних обертах колінчатого валу для різних двигунів (рис. 1.3).

У роботі [44] досліджено вплив технічного стану системи запалювання на коефіцієнт корисної дії (ККД) автомобіля. На рис 1.4 показана залежність ККД від несправності свічок запалювання та невідповідності нормі початкового кута випередження запалювання.

У роботі [45] досліджений вплив кута випередження запалювання на індикаторний момент. При цьому визначено, що величина індикаторного моменту, в залежності від кута випередження запалювання, може змінюватись в межах 5 %.

Отже, з описаного вище можна зробити висновок, що дослідження і вдосконалення методів діагностування системи запалювання є досить важливим і актуальним питанням. Розвиток електроніки і обчислювальної техніки відкриває перспективні можливості для створення нових, більш ефективних, автоматизованих систем діагностування автомобіля в цілому і системи запалювання зокрема, а також підвищення достовірності результатів діагностики.



- 1- Збільшений зазор між електродами свічок запалювання.
- 2- Зменшений зазор між електродами свічок запалювання.
- 3- Збільшення кута випередження запалювання на 12 град.
- 4- Зменшення кута випередження запалювання.
- 5- Не відрегульований зазор між контактами переривника.
- 6- Несправність відцентрового регулятора випередження запалювання
- 7- Одна свічка запалювання працює з перебоями
- 8- Одна свічка запалювання не працює

Рис. 1.2. Вплив несправностей системи запалювання на витрату палива та токсичність відпрацьованих газів [19, 44]

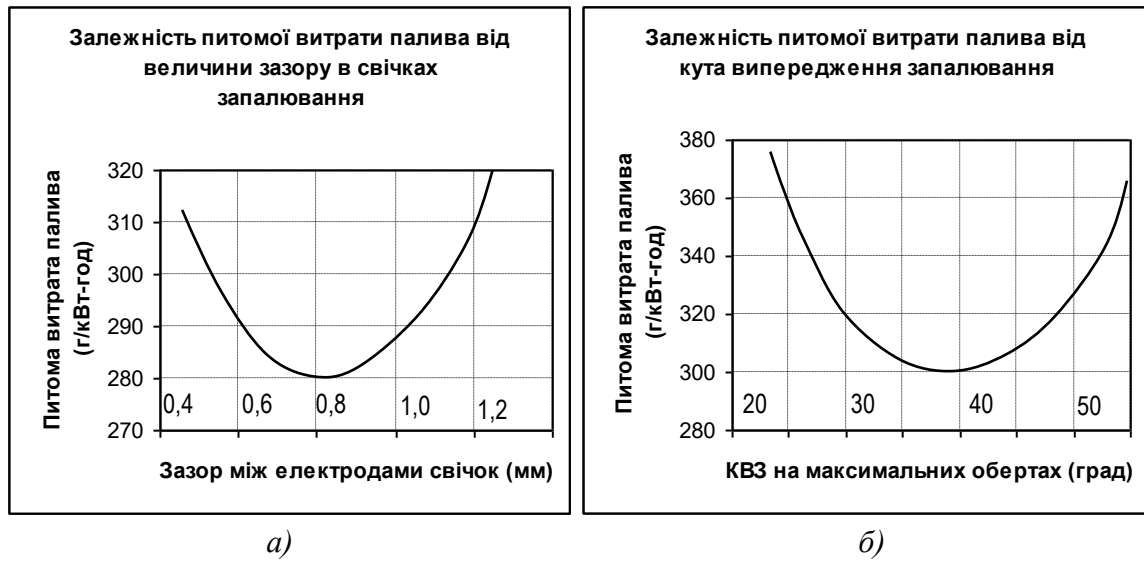


Рис. 1.3. Залежність питомої витрати палива від величини іскрового зазору в свічках запалювання та кута випередження запалювання [106]

## 1.2. Аналіз конструкцій сучасних систем запалювання та методів їх діагностування

Система запалювання автомобільного двигуна запалює робочу суміш у циліндрах. Згідно з [63, 85, 113] призначенням системи запалювання є генерація імпульсів високої напруги, які викликають спалахування робочої суміші в камері згоряння двигуна, синхронізації цих імпульсів з фазами газорозподілу двигуна і розподілу імпульсів запалювання по циліндрах двигуна.

Тенденції розвитку автомобільних двигунів спрямовані на підвищення потужності, покращення економічності, подальше зниження токсичності відпрацьованих газів, зменшення затрат на діагностування і обслуговування. З бурхливим розвитком автомобільної промисловості за останні десятиліття значно змінилися як вимоги до системи запалювання так і її конструкція [3, 10, 26, 31, 33, 81, 89, 108, 115]. На рис. 1.5 приведена кла-

сифікаційна схема систем запалювання, які встановлені на сучасні автомобілі вітчизняного та закордонного виробництва [4, 107, 110, 113].

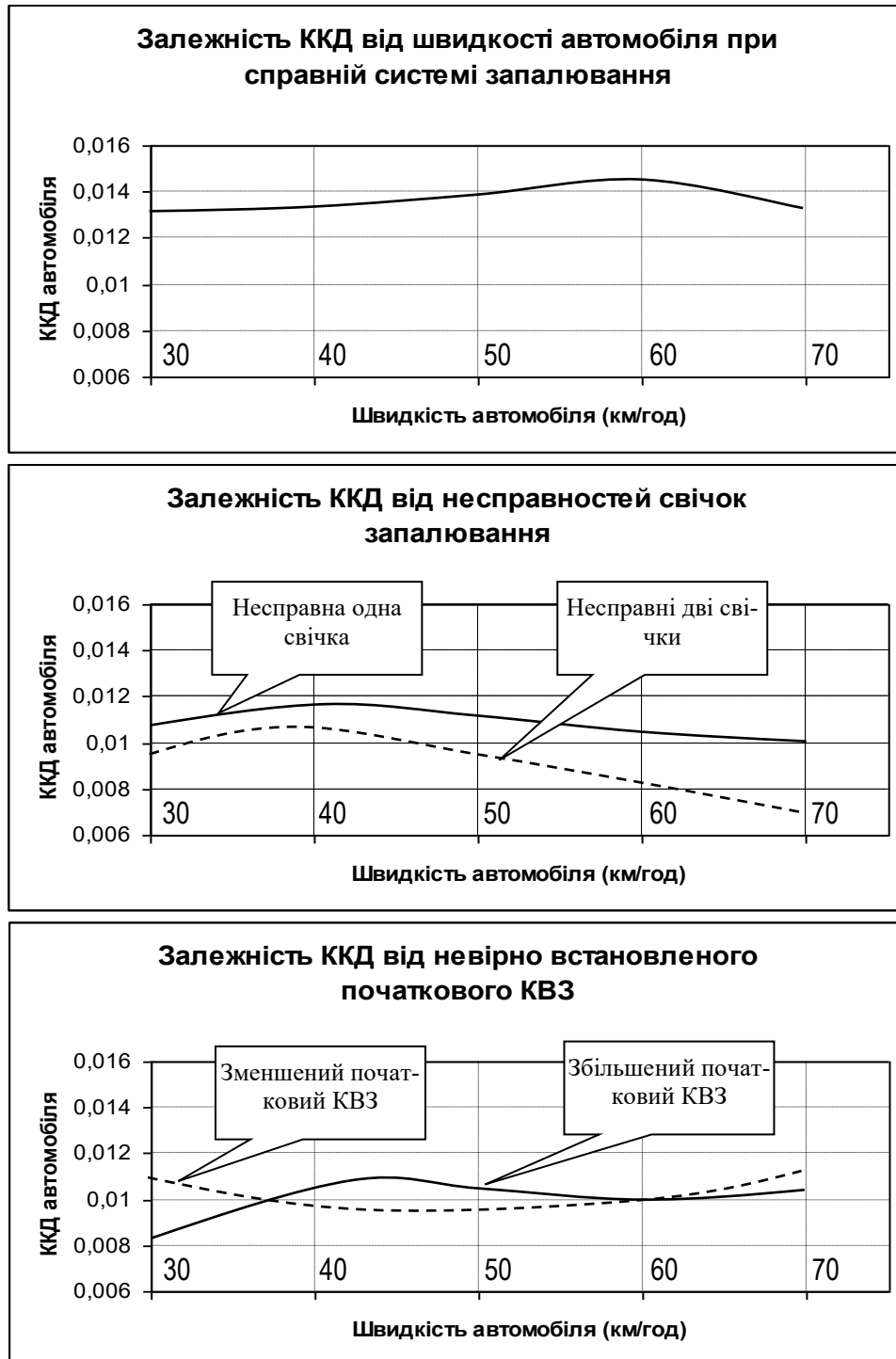


Рис. 1.4. Вплив технічного стану системи запалювання на ККД автомобіля

З наведеної класифікації можна виділити три типи систем запалювання, які, на даний час, є найбільш розповсюдженими і встановленні на переважний відсоток автомобілів, що експлуатуються (рис. 1.6):

1) Класична (контактна) [51, 107] (рис. 1.6, *a*). Досить проста в конструкції і за принципом дії. Система з накопиченням енергії в індуктивності, з механічними регуляторами випередження запалювання та механічним розподільником імпульсів високої напруги. Керування первинним колом системи запалювання (синхронізація) здійснюється механічними контактами. Відсоткова частка автомобілів, які експлуатуються з таким типом системи запалювання щорічно зменшується, але дана система складає певний інтерес у дослідженні методів її діагностування;

2) Безконтактна з датчиком Хола або індуктивним датчиком [50, 94, 102] (рис. 1.6, *a*). За принципом дії схожа до класичної, за відміною принципу керування первинним колом системи. Функцію контактів виконує транзисторний комутатор, який, в свою чергу, керується імпульсами датчика Хола або індуктивного датчика. Досить поширений тип системи запалювання. В даний час встановлюється на автомобілі ЗАЗ, ВАЗ, ГАЗ та ін. Також встановлений на багатьох моделях автомобілів закордонного виробництва, які ввезені в Україну;

3) Мікропроцесорні системи запалювання та комплексні системи керування двигуном [85, 92, 101] (рис. 1.6, *б*). Найсучасніший тип системи запалювання. Принцип іскроутворення залишається таким же як і в попередніх системах, але удосконалений процес керування котушкою запалювання. Цю функцію виконує мікропроцесор в складі електронного блоку керування. Дана система встановлюється на більшості сучасних автомобілів. Основною перевагою мікропроцесорних систем запалювання є можливість статичного розподілу високої напруги по циліндрах двигуна. Такий принцип розподілу може бути реалізованим у декількох варіантах: 1) – на кожний циліндр встановлюється одна одноіскрова котушка запалювання;

2) – на кожну пару циліндрів встановлюється одна двохісрова котушка запалювання; 3) – на чотири циліндри встановлюється одна чотирьохісрова котушка запалювання з двома послідовно з'єднаними первинними обмотками. Найбільше поширення отримали перший та другий варіанти компоновання.

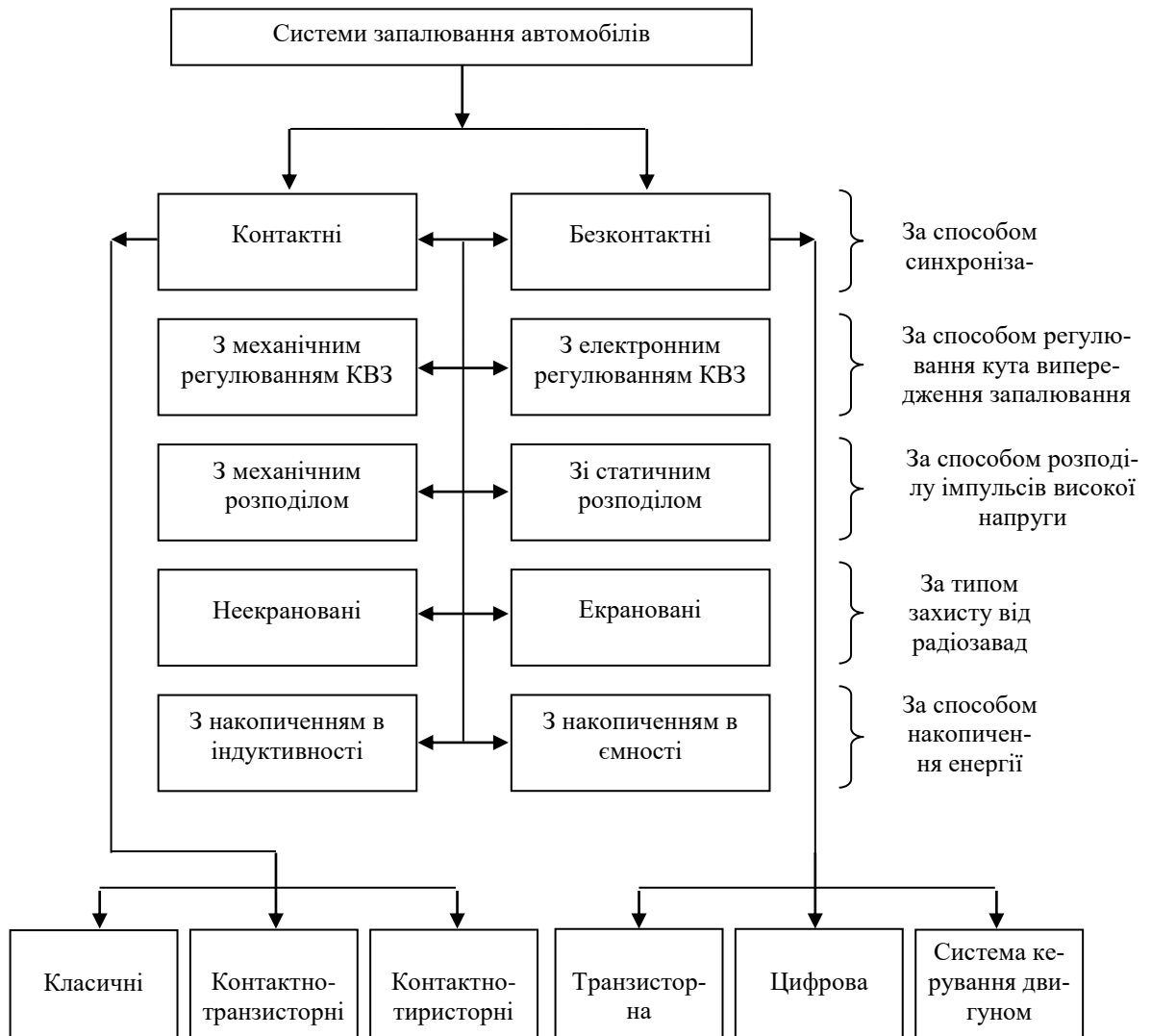


Рис. 1.5. Класифікаційна схема систем запалювання автомобільних двигунів [110, 113]

Застосування мікропроцесорних систем запалювання та систем керування двигуном дозволило суттєво покращити їх характеристики. Особли-



во у реалізації кута випередження запалювання. Завдяки відсутності розподільника та механічних регуляторів випередження запалювання, кут випередження запалювання можна досить швидко змінювати у широкому діапазоні для кожного циліндра окремо.

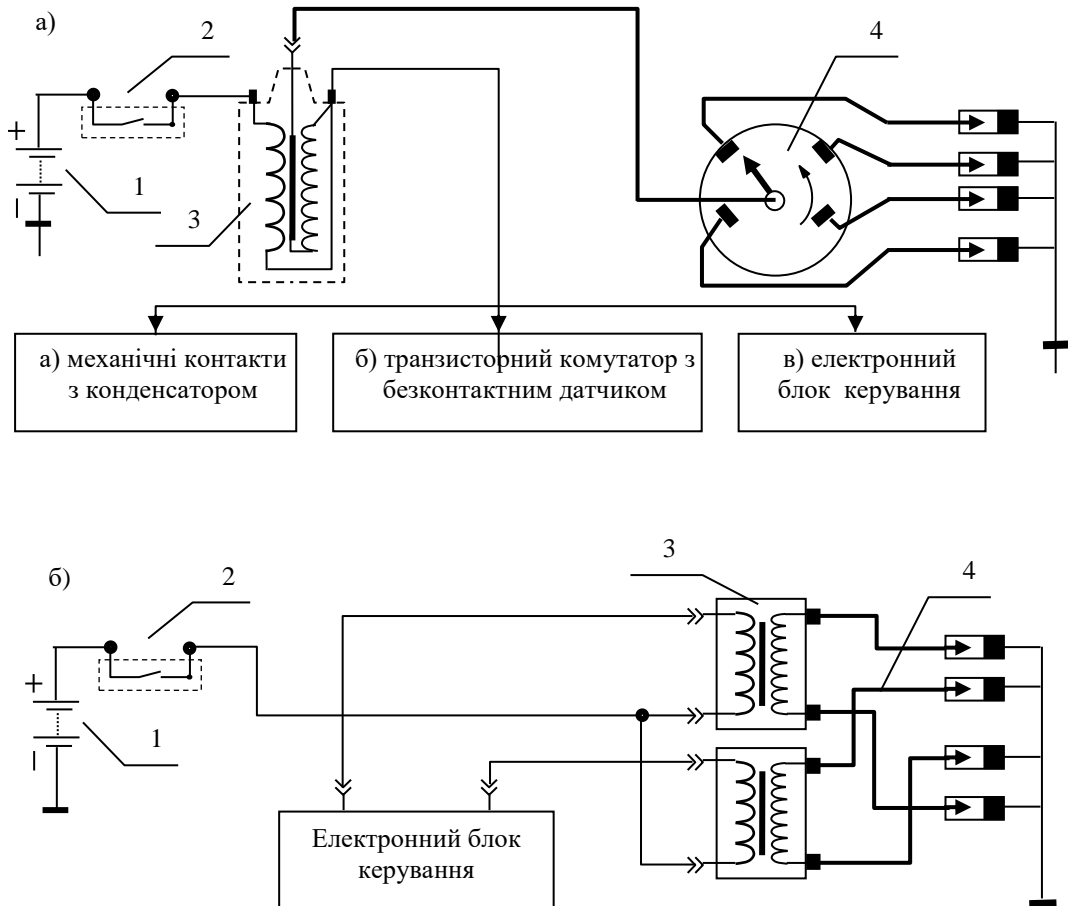


Рис. 1.6. Принципові схеми різних типів систем запалювання [107]:

- 1 – джерело живлення;
- 2 – замок запалювання;
- 3 – котушка запалювання;
- 4 – розподіл високої напруги.

Визначення технічного стану системи запалювання як об'єкта діагнозу, здійснюється з використанням контрольних-діагностичних засобів. Вза-

емодія об'єкту діагнозу і контрольно-діагностичних засобів складає систему діагностування. Згідно з [27, 65, 97] системи діагностування можуть бути:

1) Системи тестового діагнозу. Передбачають посилення на об'єкт від засобів діагнозу спеціальних тестових втручань і вимірювання та аналіз вихідних даних – діагностичних та структурних параметрів (рис.1.7). Такі системи застосовуються для пошуку несправностей і працюють тоді, коли об'єкт не використовується за призначенням;

2) Системи функціонального діагнозу. Тестові втручання в об'єкт діагнозу не проводяться. Такі системи застосовуються в процесі функціонування системи і призначені для визначення відхилень від технічних умов при різних режимах роботи системи.

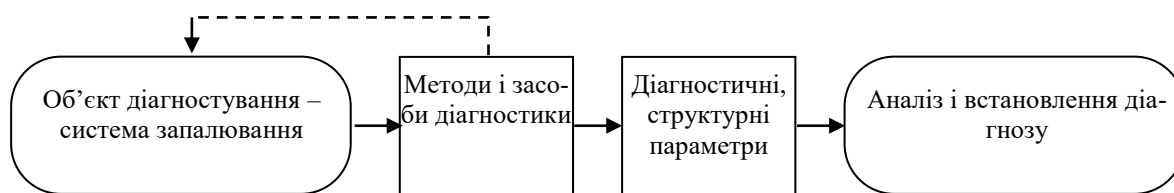


Рис. 1.7. Схема системи діагностування [65]

Стосовно системи запалювання, процес її діагностування повинен об'єднувати як тестову так і функціональну системи діагнозу. Це пояснюється необхідністю контролю технічного стану системи запалювання як під час її функціонування при різних режимах роботи двигуна, так і при визначенні технічного стану в процесі ремонту чи обслуговування.

Питанням діагностування системи запалювання автомобільного двигуна приділяється досить велика увага. Методи діагностування описані в роботах [1, 2, 4, 5, 11, 12, 21, 23, 38, 53, 54, 58, 81, 84, 93, 106, 109, 112, 113, 114]. На рис. 1.8 наведена загальна класифікація методів діагностування системи запалювання, виходячи з їх призначення та способів реалізації.

Суб'єктивні методи діагностування передбачають оцінку технічного стану без використання будь-яких засобів діагностики [53]. Процес діагностування проводиться візуально, на слух, на дотик і т. д. Стосовно системи запалювання такі методи діагностування можуть бути результативні тільки в досить простих ситуаціях (обрив проводів, погане кріплення, окислення). В такий спосіб можна визначати тільки зовнішні несправності.

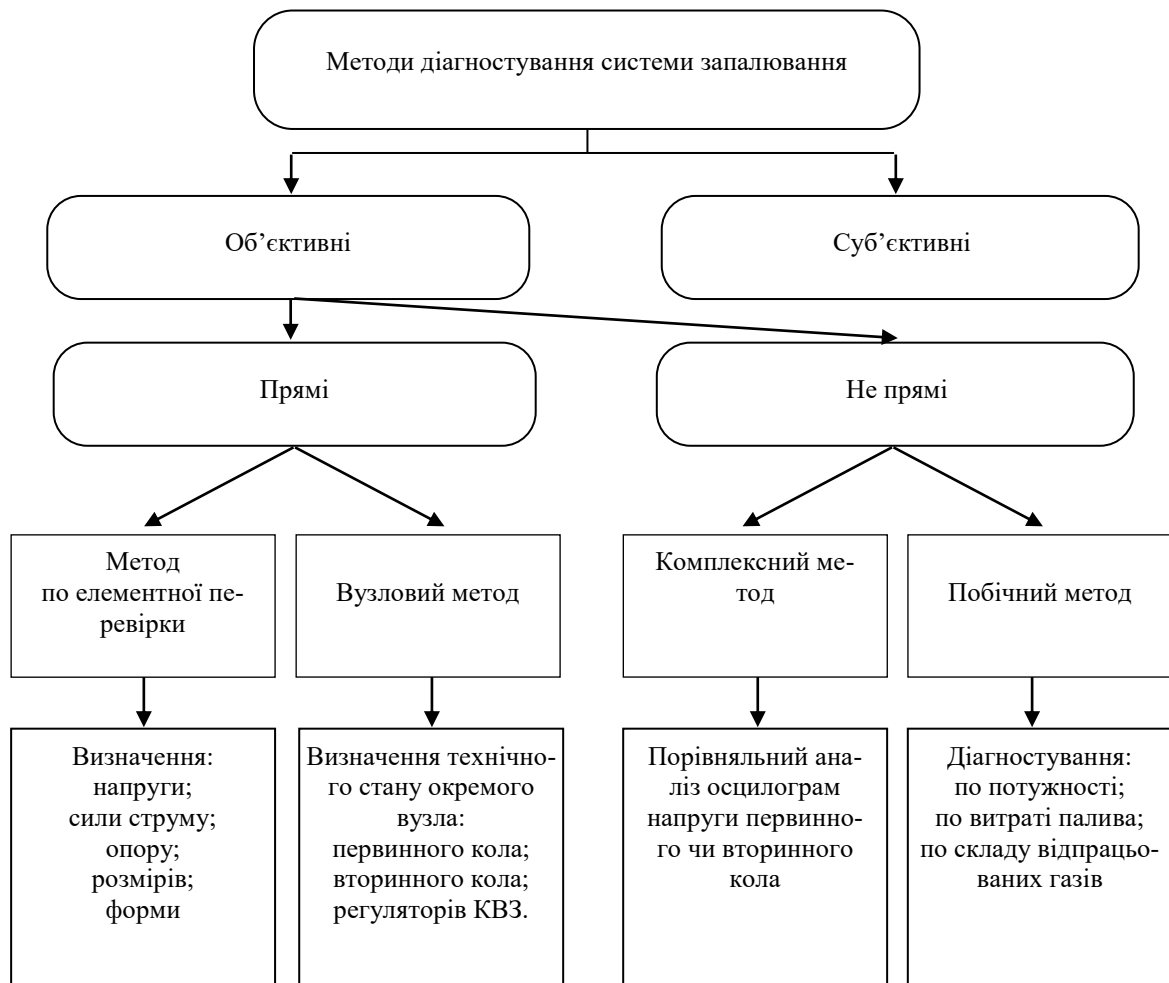


Рис. 1.8. Методи діагностування системи запалювання

Об'єктивне діагностування здійснюється з використанням діагностичного обладнання, приладів, вимірювального інструменту. Дані методи передбачають визначення геометричних параметрів робочих поверхонь, структурних параметрів, параметрів робочих процесів і т. д.

В роботі [43] наведена класифікація методів діагностування системи запалювання, де вони поділені на прямі і непрямі. Прямі методи полягають в тому, що діагностичні параметри визначаються безпосередньо в кожному елементі системи запалювання (опір, напруга, сила струму, ємність і т.д.). Такі методи, безперечно, є найбільш достовірними і точними. Саме тому такі методи в технічній діагностиці можуть використовуватись для контролю в особливо складних випадках визначення технічного стану або після виконання ремонту. Крім того, прямий метод є еталонним для оцінки точності інших методів діагностики.

Але прямі методи є досить трудомісткими і, як правило, потребують часткового розбирання елементів системи запалювання і від'єднання з'єднувальних проводів. Це насамперед значно збільшує час пошуку несправностей. Тому на практиці намагаються уникати застосування прямих методів визначення діагностичних і структурних параметрів, якщо в цьому немає крайньої потреби.

Непрямі методи передбачають визначення несправності за допомогою вимірювання деякої іншої фізичної величини. Непрямі методи менш точні. Вони поділені на побічні і на діагностування за аналізом осцилограм. При діагностуванні побічним методом технічний стан системи запалювання оцінюється по потужності, витраті палива, токсичності відпрацьованих газів та ін. [19, 23, 53, 69, 96, 97, 103]. В роботі [45] описаний принцип визначення оптимального кута випередження запалювання по зміні індикаторного моменту та спектральному аналізу зміни кутової швидкості колінчатого вала. З точки зору діагностування такий метод більш придатний для проведення регулювальних робіт.

Серед непрямих методів найбільш поширені ті, що реєструють і визначають параметри сигналів напруги у первинному і вторинному колі системи запалювання, які є функцією зміни напруги в часі [43, 116]. Способи розгляду осцилограм первинної чи вторинної напруги, серед інших непрямі

мих методів, мають найбільше методичне обґрунтування, тому що вид функціональної залежності зміни напруги в часі може бути отриманий теоретично [113].

Дослідження останніх років показують, що досить ефективним є метод поетапного діагностування [88]. На першому етапі проводиться загальна діагностика автомобіля, тобто діагностування побічним методом. Цей етап визначає технічний стан автомобіля в цілому. В якості діагностичних параметрів при загальному діагностуванні можуть виступати потужність двигуна, приємність, витрата палива, токсичність відпрацьованих газів, стійкість та рівномірність роботи у різних режимах і т. д. Завдання першого етапу – дати відповідь про наявність несправності як такої, без конкретних причин і місця несправності.

Другий етап виконується тільки при необхідності. Він включає в себе поелементну, поглиблену перевірку кожної системи. Завдання цього етапу – встановлення безпосередньої причини несправності.

Такий підхід має свої переваги і недоліки. Переваги в тому, що при проведенні загального діагностування одночасно можна оцінити декілька систем автомобіля. Недоліки в тому, що на зміну перелічених вище діагностичних параметрів в рівній мірі може впливати цілий ряд систем автомобіля. Так, наприклад, у роботі [19] визначено, що неправильний рівень палива в поплавцевій камері карбюратора збільшує витрату палива приблизно на 5 %. У той же час неправильне встановлення початкового кута випередження запалювання або несправність відцентрового регулятора випередження запалювання також збільшує витрату палива на таку ж величину.

Безперечно, що технічний стан системи запалювання безпосередньо впливає на витрату палива, але витрата палива не може бути діагностичним параметром, який достовірно визначає технічний стан системи запалювання.

У роботі [59] запропонований спосіб діагностування системи запалювання.

лювання, який передбачає одночасне визначення діагностичних параметрів та їх системний аналіз. Такий підхід має високу достовірність, але потребує визначення багатьох діагностичних параметрів.

З наведеної вище класифікації методів діагностування можна зробити деякі висновки по відношенню до сучасних систем запалювання:

- діагностування системи запалювання за побічними ознаками не дає бажаних результатів, оскільки на параметри роботи двигуна впливає не лише система запалювання;

- застосування методу поелементного діагностування (послідовного діагностування кожного елемента) для таких систем є досить трудомістким процесом, особливо для систем керування двигуном, де кількість елементів, що впливають на якість роботи системи запалювання, значно збільшена. Але, водночас, такий метод є найбільш достовірним і може вказати на безпосередню причину несправності та спосіб її усунення;

- найбільш прогресивним методом діагностування системи запалювання є комплексний підхід до визначення діагностичних і структурних параметрів системи. Суть такого підходу полягає у визначенні найбільш значимих діагностичних ознак (скороченні розмірності простору ознак). Вибір діагностичних параметрів, які є найбільш інформативними. Дослідження і проведення аналізу таких діагностичних параметрів дає інформацію про технічний стан всіх елементів системи запалювання.

### 1.3. Аналіз засобів діагностування системи запалювання

Засоби діагностування системи запалювання автомобіля можна класифікувати за ступенем складності таким чином [37, 97]:

- 1) контрольно-вимірвальні прилади, комбіновані мультиметри, аналогові авто-тестери без осцилографів;

- 2) аналогові авто-тестери і мотор-тестери з осцилографами;
- 3) цифрові мотор-тестери на базі персональних комп'ютерів (ПК).

Перша група засобів базується на вимірюванні фізичних величин діагностичних і структурних параметрів. При цьому використовуються комбіновані контрольно-вимірювальні прилади, до яких відносяться універсальні вимірювальні мультиметри, що дозволяють визначати величину напруги, силу струму, опір, ємність та ін., а також спеціалізовані авто-тестери та мотор-тестери, які можуть вимірювати кілька параметрів одночасно. Процес діагностування з застосуванням такого обладнання передбачає послідовне визначення технічного стану кожного елемента системи запалювання. Загальний висновок про придатність системи до подальшої експлуатації можна зробити тільки після перевірки всіх складових системи. Типовими прикладами такого обладнання можна назвати авто-тестери К-295, К-484 (Росія), Paltest JT-254 (Чехія) та ін. Технологія діагностування з використанням такого обладнання описана в [2, 54, 70, 72, 83, 96, 97, 98, 109].

Більшій уваги заслуговує друга група засобів діагностики. Таке діагностичне обладнання дозволяє визначати діагностичні параметри аналогічно першій групі. Крім цього, по влаштованому осцилографу, можна проводити аналіз осцилограм робочих процесів систем запалювання.

До цієї групи можна віднести стандартні осцилографи і спеціалізовані авто-тестери з влаштованими осцилографами (Э-206, Э-214, К-461, КИ-4897 (Росія); Elcon-S100A, Elcon-U (Угорщина); Paltest JT-302 (Чехія); Multitest 15 (Німеччина). Суть такої діагностики полягає в тому, що на екран осцилографа виводяться характерні криві перехідних процесів – осцилограми напруги первинного і вторинного кола системи запалювання, сили струму в первинному колі [17, 20, 21, 43, 57, 72, 98, 99, 100]. Кожна типова несправність системи запалювання характеризується специфічною формою осцилограми. Таким чином створена база даних – зразки осцилограм з типовими несправностями. Порівнюючи отриману осцилограму з еталон-

ною, можна практично виявити ряд несправностей у системі запалювання. Приклади типових осцилограм показані на рис. 1.9.

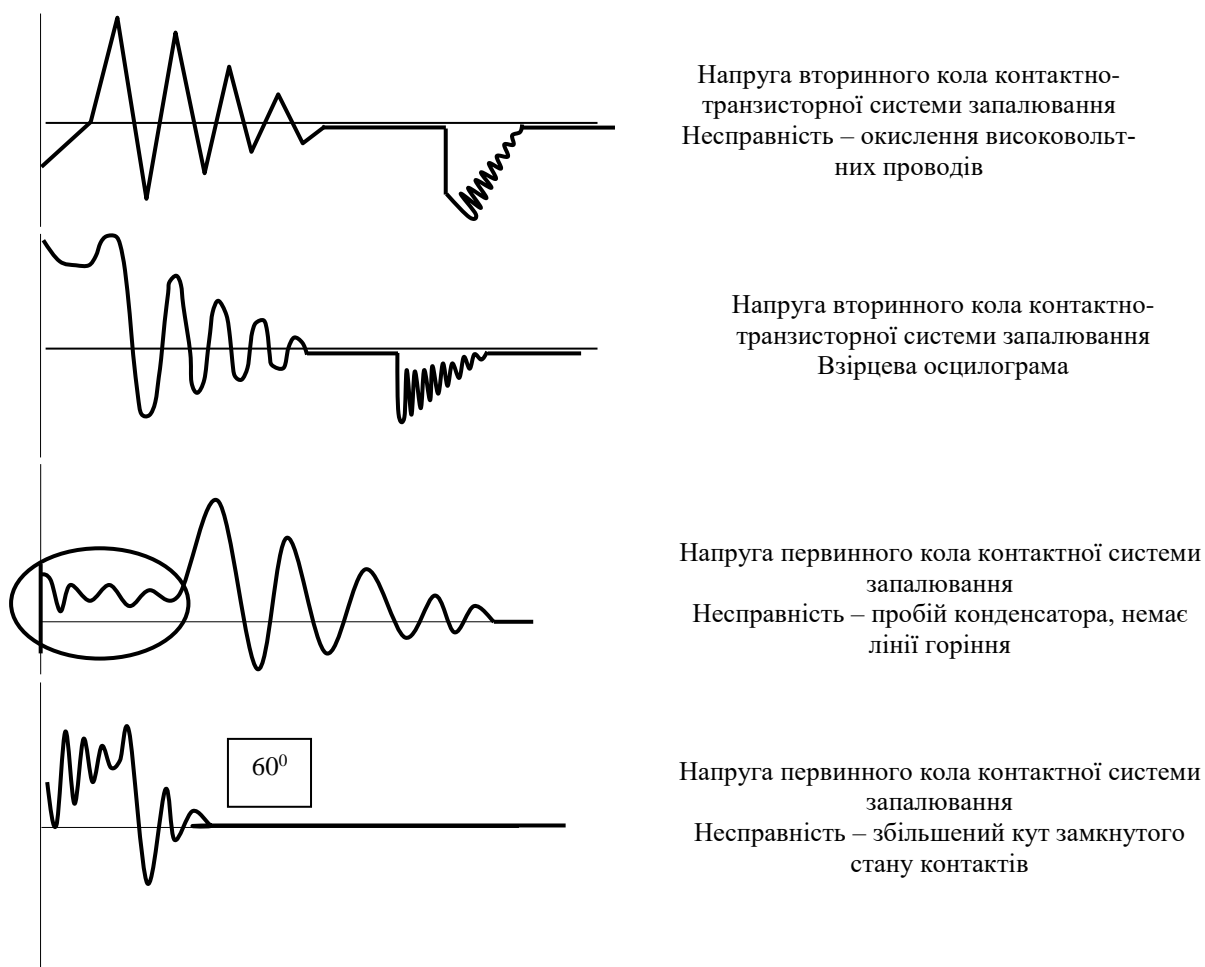


Рис. 1.9. Приклади типових осцилограм системи запалювання

Третю групу засобів діагностики можна віднести до сучасного діагностичного обладнання, яке, в основному, відповідає вимогам до визначення технічного стану автомобілів з сучасними системами запалювання та комплексними системами керування двигуном.

Сучасна закордонна та вітчизняна промисловість випускає досить широкий спектр різноманітного діагностичного обладнання, яке може бути використане для діагностування даних систем. Світовими лідерами в цьому напрямку є такі фірми як BOSCH (Німеччина) (FSA-560, KTS-500, PMS-100); SUN (Англія, США) (SMP-4000, SST-1500, PDL-1000); Zeca (Італія);



Rimbex int (США) (RACE-400) та ін.

Перелічені моделі діагностичного обладнання являють собою комплексні діагностичні стенди – мотор-тестери, призначені для визначення технічного стану двигуна та його систем. Серед їх функціональних можливостей досить вагоме місце займає діагностування систем запалювання та систем керування двигуном.

Застосування сучасних мотор-тестерів дозволяє провести діагностування не тільки автомобільної електроніки та системи запалювання, а й цілого двигуна в комплексі.

Мотор-тестер являє собою окремий діагностичний комплекс, до складу якого входить ряд діагностичних приладів, об'єднаних між собою одним програмним забезпеченням. Сучасні мотор-тестери, як правило, виконані на базі персонального комп'ютера, що дає можливість виводити діагностичну інформацію на екран монітора.

Найбільшої уваги заслуговують мотор-тестери фірми Bosch [37], серед яких провідне місце займає модель FSA-560. Це пересувний діагностичний стенд призначений для діагностування автомобілів різних моделей. Стенд обладнаний персональним комп'ютером з кольоровим 17-дюймовим монітором, 4-х компонентним газоаналізатором, принтером, вбудованим сканером кодів несправностей електронного блоку керування та комплектом сенсорів, призначенням яких є зчитування діагностичної інформації.

Досить важливим елементом є розширена база даних, яка містить нормативну інформацію з параметрами роботи різних систем автомобілів, а також інформацію про можливі типові несправності.

Фірма Bosch також пропонує мотор-тестери MOT-240, 250, переносний портативний тестер PGM-100 з рідинно-кристалічним дисплеєм та ін.

За останнє десятиліття спроектовано ряд моделей мотор-тестерів в Україні та в країнах ближнього зарубіжжя. Російським виробниками запропонований діагностичні комплекси КАД-300, МТ-800 призначені для

діагностики бензинових і дизельних двигунів автомобілів різних моделей з карбюраторними і дизельними двигунами. Заслуговує уваги мотор-тестер "Navigator" [35], розроблений у Молдові, який постійно вдосконалюється.

Описані мотор-тестери мають комплектацію схожу до Bosch FSA-560. Принципи діагностування з використанням цього обладнання мають деякі свої особливості, але по суті вони не відрізняються.

Хмельницьким ПМП "Оупен Систем" розроблений діагностичний прилад "Автосканер" [34], який дає можливість діагностувати електронні блоки керування не за принципом кодування несправностей, а методом зчитування сигналів з кожного виводу блоку керування у різних режимах роботи двигуна.

Серед вітчизняних виробників можна звернути увагу на діагностичний комплекс "Спрут-тестер" НПО "Енергія" м. Луганськ [36], який являє собою комплексний мотор-тестер, призначений для діагностування бензинових двигунів з різними типами системи живлення. Стенд комплектується 2-х або 4-х канальним осцилографом, який дозволяє оцінити робочі процеси, що проходять в системі запалювання двигуна. За результатами проведення тестів формується звіт з можливістю збереження в ньому результатів тестів у виді таблиць, графіків і діаграм. Проведені тести вказують на можливі несправності і способи їх усунення, дають оцінку допустимого періоду експлуатації і ресурсу автомобіля.

Діагностування системи запалювання з використанням мотор-тестера має свої особливості [20, 34, 35, 36, 37, 93]. До характерних місць діагностики системи запалювання приєднуються спеціальні сенсори: до клем котушки запалювання, до центрального проводу високої напруги, до проводу високої напруги першого циліндра. Таким чином зчитуються сигнали зміни напруги в первинному та вторинному колах системи запалювання, а також фіксується кут випередження запалювання. Зчитані аналогові сигнали перетворюються в цифрові і виводяться на екран монітора.

Процес визначення несправностей полягає у візуальному порівнянні графіків напруги досліджуваного та еталонного сигналів. У деякій мірі такий метод діагностування можна порівняти з методом аналізу осцилограм.

Програмне забезпечення дозволяє проводити діагностику в декількох режимах. Крім візуального зображення характеру зміни напруги в колах системи запалювання мотор-тестер дозволяє визначати ще ряд діагностичних параметрів у динаміці. Це пробивна напруга іскроутворення в кожному циліндрі, напруга горіння іскри, час горіння іскри, кут замкнутого стану контактів, кут випередження запалювання та ін.

Для визначення несправностей проводиться аналіз отриманих значень діагностичних параметрів та аналіз форми сигналу зміни напруги в первинному чи вторинному колі системи запалювання. На основі цього робиться висновок про технічний стан системи.

#### 1.4. Порівняльна характеристика методів і засобів діагностування системи запалювання

Діагностика контактних, контактнотранзисторних та безконтактних систем запалювання принципово може бути виконана з використанням простих контрольно-вимірювальних приладів. Але кількість діагностичних та структурних параметрів досить велика і для їх визначення потрібно великі затрати часу. Контрольно-вимірювальні прилади та авто-тестери, описані в п. 1.3, не дають можливості одночасно визначити деяку кількість діагностичних параметрів і, тим більше, не дають можливості проведення порівняльного аналізу декількох параметрів одночасно.

Цей недолік, у певній мірі, усувається з використанням осцилографів. Двоканальні осцилографи дають можливість одночасно слідкувати за двома діагностичними параметрами. Наприклад, сигнал імпульсів з датчика Хола та сигнал зміни напруги в первинному чи вторинному колі систе-

ми запалювання. Використання осцилографів також дає можливість комплексної діагностики системи запалювання по осцилограмах первинної і вторинної напруги [17, 20, 43]. Поряд з цим діагностика з використанням осцилографів має свої недоліки:

- *по-перше*. Визначення несправностей виконується способом візуального порівняння отриманих осцилограм з еталонними. Це досить незручно і неточно, а при появі одночасно декількох несправностей – практично неможливо;
- *по-друге*. По осцилограмі досить важко точно визначити дійсне числове значення сили струму чи величину напруги в залежності від часу чи обертів колінчатого валу;
- *по-третє*. Осцилограф не має можливості запам'ятовувати проміжкові діагностичні дані і виключає можливість проведення числової обробки отриманих сигналів.

У роботі [43] визначено основні причини, за яких відбувається спотворення досліджуваного сигналу при зображенні на екрані осцилографа:

- геометричні спотворення. Порушують пропорційність між змінною напругою і видимим зміщенням променя, особливо по краях. Тому практично для зображення використовується приблизно 80 % діаметра екрана;
- спотворення за рахунок несиметричного розподілу потенціалів відносно землі. При цьому виникає додаткова прискорювальна або гальмуюча напруга, яка відповідно призводить до зменшення або збільшення чутливості;
- спотворення при дослідженні досить швидких процесів, швидкість яких близька до швидкості пересування променя;
- спотворення за рахунок побічних паразитних наводок. Усуваються тільки якісним екрануванням проводів.

Дослідження методів діагностики систем запалювання, проведені в роботах [62, 63] показують, що для діагностування безконтактних систем

запалювання використання методу, що базується на порівнянні осцилограм з еталонними, не дає однозначного висновку про технічний стан елементів системи запалювання. Це пояснюється тим, що в конструкцію даних систем введені електронні пристрої, а процеси, що проходять в таких пристроях, не знаходять повного відображення на осцилограмах.

Для діагностики мікропроцесорних систем керування двигуном (МСКД) також можуть використовуватись авто-тестери з контрольно-вимірювальними приладами і осцилографи [101]. При цьому по чергово перевіряється правильність всіх вхідних і вихідних сигналів електронного блоку керування. Але кількість діагностичних і структурних параметрів у МСКД у порівнянні з контактною та безконтактною системами запалювання набагато більша і такий процес стає досить трудомістким.

Метод діагностики способом кодування несправностей [2, 32, 84, 86, 91, 93], який передбачений конструкцією сучасних автомобілів, менш трудомісткий, але він не дає достовірної характеристики роботи системи. Несправність визначається тільки у випадку виходу діагностичного параметра за допустимі межі. При цьому виключається можливість числового аналізу діагностичних параметрів у процесі їх зміни.

Найбільш прогресивними методами автомобільної діагностики на даний час є комп'ютерна діагностика [20] та діагностування на основі розробки діагностичних моделей [20, 118, 119], де використання ПК можливе сумісно з мотор-тестерами. Типовим прикладом можна привести діагностичний стенд BOSCH - FSA-560. Процес діагностування полягає у визначенні різних діагностичних параметрів системи і передачі їх у ПК. Програмне забезпечення дозволяє обробити і проаналізувати отриману інформацію в зручному для користувача виді – у вигляді графіків, діаграм, таблиць. Такий підхід дозволяє застосувати принцип діалогового діагностування [121], який передбачає можливість вибору необхідної діагностичної інформації в процесі діагностування. Використання інформаційних техно-

логій на базі персонального комп'ютера дає можливість застосовувати сучасні методи діагностування на основі цифрової обробки сигналів [29, 45, 117, 120].

Крім цього ПК зберігає в пам'яті результати діагностики у цифровій формі. Це дає можливість досліджувати діагностичні параметри за різних умов. Таким чином виконується аналіз сигналів напруги у системі запалювання. Ще одна перевага комп'ютерної діагностики в можливості створення баз даних, в яких можуть зберігатися діагностичні параметри при наявності типових несправностей і діагностичні параметри еталонних автомобілів.

Аналізуючи переваги та недоліки різних методів діагностики системи запалювання можна сформулювати основні вимоги до удосконалення і розробки нових підходів до визначення технічного стану системи запалювання:

- процедура діагностування повинна бути максимально простою в реалізації;
- визначення діагностичних параметрів повинно мати необхідну точність і достовірність, яка не повинна зменшуватись при різних режимах роботи двигуна;
- методи діагностики повинні забезпечувати можливість автоматизації процесу діагностування.

### 1.5. Постановка завдань дослідження

Для досягнення поставленої мети наукового дослідження необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз наукових досліджень, порівняльний аналіз методів і засобів діагностування. Вибрати методи, які б забезпечили передумови автоматизації процесу діагностування системи запалювання ав-

- томобільного двигуна;
- вибрати і обґрунтувати діагностичні параметри, які мають високу інформативність і прості в реалізації вимірювань. Проаналізувати фактори, що на них впливають;
  - обґрунтувати теоретичні передумови застосування методів цифрової обробки сигналів для діагностування системи запалювання. Розробити аналітичну основу для визначення спектральних характеристик сигналу напруги системи запалювання;
  - розробити математичну модель зняття, реєстрації та попередньої обробки вхідних даних, алгоритм розподілу сигналу напруги системи запалювання на окремі реалізації та їх усереднення при постійній та змінній частоті обертів колінчатого валу;
  - розробити математичну модель та алгоритм автоматизованого визначення несправностей системи запалювання методом порівняння параметрів досліджуваного та еталонного сигналів, розробити алгоритм поповнення інформаційної бази даних параметрів математичної моделі.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

1. Проведений аналіз літературних джерел показує, що технічний стан системи запалювання має значний вплив на експлуатаційні показники автомобільного двигуна. Досить важливим критерієм є вплив на витрату палива та вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах.
2. Постійне удосконалення конструкції системи запалювання автомобільного двигуна ускладнює процес діагностування і потребує більшої кількості діагностичних параметрів для визначення причин несправностей. Тому стоїть завдання удосконалення й розробки нових принципів і методів діагностування, їх теоретичного обґрунтування і практичної реалізації.
3. Існуючі на даний час методи діагностування системи запалювання (послідовне визначення діагностичних параметрів, візуальний аналіз осцилограм напруги, діагностування за побічними ознаками, визначення кодів несправностей) не задовольняють в достатній мірі вимоги, щодо ефективності та достовірності діагностичної інформації і не забезпечують можливість автоматизації процесу діагностування.
4. Проведений аналіз методів і засобів діагностування системи запалювання обґрунтовує актуальність і необхідність впровадження методів діагностування з використанням сучасних інформаційних технологій та моделювання. Одним з перспективних напрямів є застосування методів цифрової обробки сигналів з використанням комп'ютерних діагностичних стендів, що створює передумови автоматизації процесу діагностування.
5. Застосування методів діагностування, які базуються на цифровій обробці сигналів, потребує досить великих об'ємів математичних розрахунків, що збільшує тривалість обробки діагностичної інформації. Технічний рівень обчислювальної техніки на сучасному етапі дає можливість звести до мінімуму вплив цього критерію.



## 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ

При діагностуванні системи запалювання не завжди можливе пряме вимірювання діагностичних параметрів, а в багатьох випадках таке вимірювання займає великі затрати часу і складає труднощі при визначенні декількох параметрів одночасно. У багатьох випадках визначення діагностичних параметрів не дає прямої відповіді про причини несправностей, оскільки на зміну цих параметрів (наприклад на зміну пробивної напруги, зміну тривалості горіння іскри і т.д.) впливає багато факторів.

У даному розділі, на основі методів цифрової обробки сигналів, розроблена математична модель, параметри якої характеризують процес іскроутворення в циліндрах двигуна залежно від технічного стану системи запалювання. Порівняльний аналіз параметрів математичної моделі дозволяє автоматизувати процес визначення несправностей системи запалювання і зменшити трудомісткість діагностичних робіт.

### 2.1. Вибір і обґрунтування діагностичних параметрів системи запалювання та аналіз факторів, що на них впливають

Система запалювання, як і будь-яка інша система автомобіля, може бути охарактеризована рядом діагностичних і структурних параметрів [53, 97]. Поява несправностей системи запалювання супроводжується зміною цих параметрів. Визначення діагностичних параметрів ставить своєю метою перевірку технічного стану системи і є невід'ємною процедурою у процесі виконання діагностування чи обслуговування двигуна. В табл. 2.1 наведений типовий перелік діагностичних і структурних параметрів, що характеризують систему запалювання [2, 38, 84, 98]. Як видно з таблиці кількість параметрів, які необхідно визначити для перевірки технічного ста-

ну системи досить велика. Почергове визначення діагностичних параметрів призведе до необґрунтованого збільшення числа елементарних операцій, що є причиною збільшення трудомісткості та часу діагностування.

Отже, постає завдання скорочення кількості діагностичних параметрів і вибору тих, які мають найбільшу діагностичну цінність. Оцінити діагностичну цінність параметра можна за такими критеріями:

- максимальна інформативність і достовірність;
- простота реалізації;
- зручність для автослюсаря і мала трудомісткість.

Таблиця 2.1

#### Діагностичні та структурні параметри систем запалювання

Діагностичний параметр	Що характеризує
1	2
<u>По первинному колу:</u>	
Початковий кут випередження запалювання	Правильність встановлення початкового кута випередження запалювання
Зміна кута випередження запалювання в залежності від частоти обертів колінчатого валу	Роботу відцентрового регулятора кута випередження запалювання
Зміна кута випередження запалювання в залежності від навантажень двигуна	Роботу вакуумного регулятора кута випередження запалювання
Швидкість наростання і зникнення струму в первинному колі системи запалювання	Технічний стан елементів кола низької напруги та транзисторного комутатора
Падіння напруги на контактах переривника	Технічний стан контактів переривника
Кут замкнутого стану контактів	Зазор між контактами переривника
Опір окремих ділянок	Технічний стан проводів, з'єднань, обмоток
Напруга живлення датчика Хола	Коло живлення датчика Хола
Зміна керуючого імпульсу датчика Хола	Технічний стан датчика Хола
Відключення струму комутатором	Справність комутатора по відключенню струму
Характер зміни напруги у первинному колі	Технічний стан елементів низької та високої напруги
<u>По вторинному колу:</u>	
Характер зміни напруги у вторинному колі	Технічний стан елементів низької та високої напруги
Величина пробивної напруги	Технічний стан елементів низької та високої напруги
Тривалість горіння іскри	Технічний стан елементів низької та високої напруги
Напруга горіння іскри	Технічний стан елементів низької та високої напруги
Зазор між електродами свічок запалювання	Технічний стан свічок запалювання
Енергія і тривалість горіння іскри	Технічний стан елементів низької та високої напруги

З перелічених параметрів (табл.2.1) найбільшу діагностичну цінність

складають ті, які в комплексі характеризують робочі процеси в системі запалювання та технічний стан її елементів, тобто мають найбільшу інформативність. З наведеного переліку параметрів доцільно вибрати характер зміни напруги в первинному або вторинному колах системи запалювання. При врахуванні критеріїв простоти та зручності реалізації кращим буде визначення напруги первинного кола, оскільки ця процедура не потребує використання спеціальних сенсорів, а може бути реалізована з використанням простого сенсора типу "крокодил".

Отже, діагностичним параметром, який буде в комплексі характеризувати технічний стан елементів системи запалювання, приймемо сигнал зміни напруги в первинному колі.

Розглянемо робочий процес, що проходить в системі запалювання при іскроутворенні [20, 63, 113]. Робочий процес іскроутворення в циліндрах двигуна можна умовно поділити на три етапи (рис. 2.1).

Перший етап. Замикання первинного кола системи запалювання. На цьому етапі через первинну обмотку котушки запалювання починає проходити і наростає первинний струм. При цьому в магнітному полі котушки накопичується електромагнітна енергія.

Другий етап. Розмикання первинного кола системи запалювання. На цьому етапі первинний струм зникає внаслідок від'єднання первинної обмотки котушки запалювання від джерела струму. Накопичена електромагнітна енергія перетворюється в електростатичну. Виникає електрорушійна сила високої напруги у вторинній обмотці котушки запалювання.

Третій етап. Електрорушійна сила у вторинній обмотці зростає до значення пробивної напруги і проходить пробій іскрового проміжку свічки запалювання з послідуочим розрядним процесом.

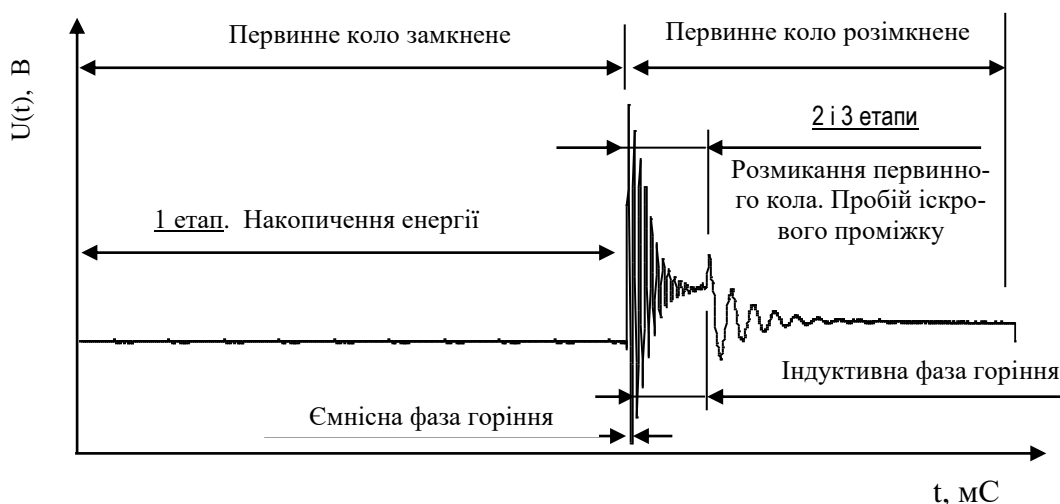


Рис. 2.1. Етапи робочого процесу системи запалювання

Третій етап процесу іскроутворення має дві складові: ємнісну та індуктивну фази. Ємнісна фаза являє собою розряд енергії, накопичений у вторинному колі за рахунок його ємності. Ємнісна фаза характеризується досить високою силою струму, яка може досягати десятків ампер. Ємнісна фаза досить коротка (близько 1–2 мкс), тому потужність іскри в цій фазі висока. Ця фаза визначає величину пробивної напруги.

Друга фаза – індуктивна. В індуктивній фазі виділяється енергія, накопичена в магнітному полі котушки запалювання. Тривалість цієї фази значно більша – (1–2,5) мс. Ця фаза визначає напругу та тривалість горіння іскри.

Такі етапи робочого процесу притаманні всім типам системи запалювання. З точки зору визначення діагностичних параметрів найбільш цікавим є другий і третій етапи, а також інтервал часу, коли первинне коло системи запалювання розімкнене.

Розглянемо фактори, які впливають на процес іскроутворення в циліндрі, а відповідно і на характер зміни діагностичного параметра – напруги первинного кола системи запалювання.

Зміна напруги у первинному і вторинному колах системи запалю-

вання є взаємозалежними сигналами [95, 96]. Тому зміна параметрів вторинного кола буде відображена в зміні напруги первинного кола.

Для вторинного кола однією з характеристик зміни напруги є пробивна напруга, при якій відбувається пробій іскрового проміжку в свічках запалювання. На величину пробивної напруги впливає багато факторів [107, 113]:

- тиск в камері згоряння в момент пробою іскрового проміжку;
- температура робочої суміші;
- величина іскрового проміжку в свічках запалювання;
- склад суміші;
- тривалість і форма прикладеної напруги;
- полярність пробивної напруги;
- матеріал електродів свічки запалювання;
- умови та режим роботи двигуна.

На рис. 2.2 показані графічні залежності величини пробивної напруги від різних факторів [113]. Як видно з графіків, величина пробивної напруги прямо пропорційна тиску в камері згоряння і обернено пропорційна температурі робочої суміші. Процес збільшення величини пробивної напруги можна спостерігати при запуску і прогріві двигуна. В такому режимі роботи стінки циліндрів двигуна холодні, а паливна суміш, що поступає в циліндри погано змішується і також має низьку температуру. Краплини палива конденсуються і погано випаровуються. Така суміш, попадаючи в між електродний простір, збільшує пробивну напругу на 15–20 % [43].

З залежності величини пробивної напруги від навантаження двигуна і частоти обертів колінчатого вала видно, що найбільша величина пробивної напруги при запуску двигуна і при роботі на мінімальних обертах холостого ходу. Із збільшенням іскрового проміжку у свічках запалювання величина пробивної напруги збільшується.

Отже, фактори, що впливають на процес іскроутворення в циліндрах двигуна можна умовно поділити на три групи (рис. 2.3). У процесі діагностування необхідно враховувати всі три групи факторів.

Перша група факторів є характерною для кожного окремого типу системи запалювання, описаного в п 1.2. Тому в процесі діагностування першим кроком повинно бути визначення типу системи запалювання і відповідно до цього вибір способу визначення діагностичного параметра.

Друга група факторів за своєю суттю визначає технічний стан елементів системи запалювання. Виходячи з цього, задачу діагностування можна звести до знаходження взаємозв'язку між діагностичним параметром (характером зміни напруги у первинному колі системи запалювання) та впливом факторів цієї групи на цей діагностичний параметр.

Третя група факторів характеризує умови, в яких на даний час функціонує система запалювання. Під час діагностування ці фактори також повинні враховуватись, але спосіб їх визначення не повинен бути таким же, як спосіб визначення факторів другої групи. Такий підхід дасть можливість незалежно проаналізувати кожну групу факторів і окремо визначити вплив кожного фактора на діагностичний параметр.

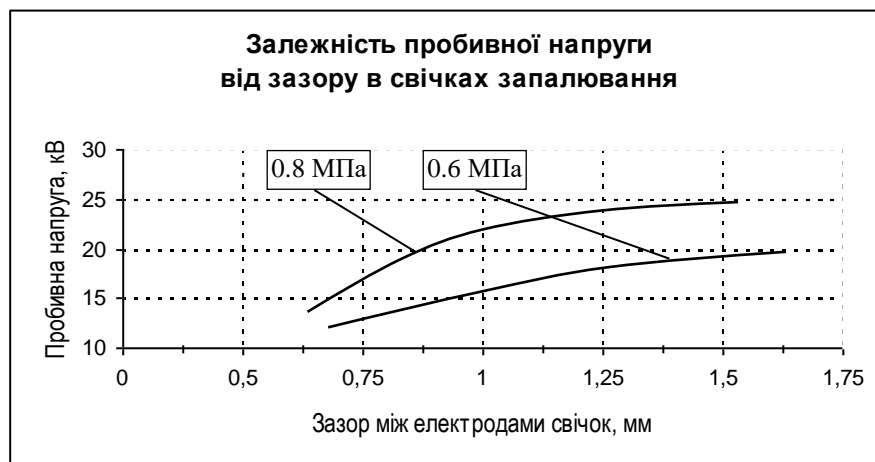
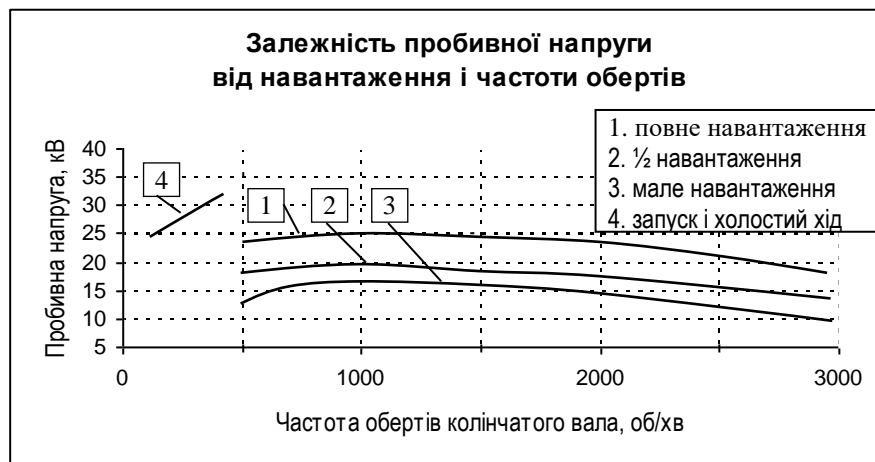
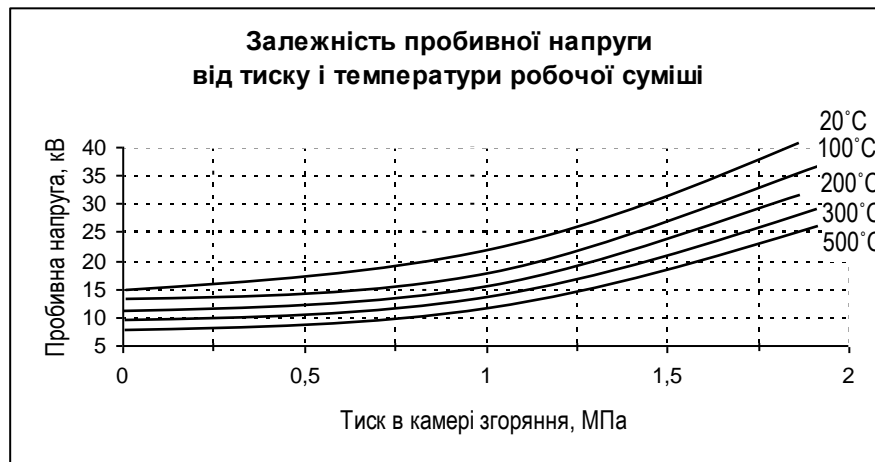


Рис. 2.2. Залежність величини пробивної напруги від різних факторів [113]



Рис.2.3. Фактори, які впливають на діагностичні параметри системи запалювання

## 2.2. Математична модель зняття, реєстрації і попередньої обробки вхідних даних

Для побудови моделі зняття, реєстрації і попередньої обробки вхідних даних приймемо попереднє припущення, що сигнал зміни напруги у первинному колі системи запалювання є неперервним (дискретизованим) і обмеженим у часі  $t \in [0, t_{\max}]$ .

Для прикладу розглянемо сигнал напруги первинного кола контактної системи запалювання автомобіля ВАЗ-2107 (рис. 2.4). Даний сигнал отримано автором за допомогою цифрового аналізатора "Автотест" описаного в розділі 4.



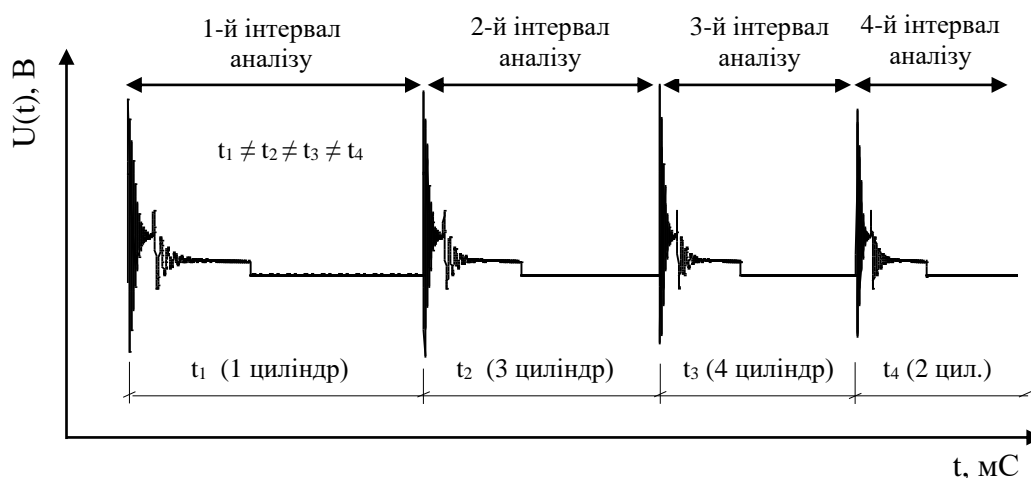


Рис. 2.4. Фрагмент сигналу напруги первинного кола системи запалювання

Сигнал напруги в системі запалювання є функцією часу  $U(t)$ . Для можливості проведення процесу аналізу даний сигнал необхідно поділити на окремі реалізації. При цьому досить важливим є вибір тривалості однієї реалізації. За одну реалізацію приймаємо частину сигналу, що відповідає часу роботи системи запалювання в одному циліндрі. Позначимо окрему реалізацію  $U_z^m(t)$ ,  $m$  – номер циліндра двигуна,  $z$  – номер реалізації сигналу іскроутворення в цьому циліндрі. Інтервал часу, що відповідає одній окремій реалізації, назовемо інтервалом аналізу –  $t_z^m$ .

Перед процедурою дослідження і аналізу сигналу системи запалювання необхідно описати його основні властивості, тобто визначити належність сигналу до одного з класів процесів відповідно блок-схемі приведеній на рис. 2.5 [7]. Це можна обґрунтувати наступним: по-перше, перевірка належності сигналу до того чи іншого класу сама по собі є процесом аналізу; по-друге, належність сигналу до визначеної класифікації суттєво впливає на вибір методів його аналізу.

Детермінованим називається процес, значення якого можна точно описати математичною залежністю в будь-який момент часу [7]. Випадковий процес змінюється в часі і не підлягає визначенню математичними залежностями.

Процеси, що проходять у системі запалювання не можна описати точними математичними залежностями, тому вони відносяться до класу випадкових. Постає завдання визначення стаціонарності сигналу системи запалювання.

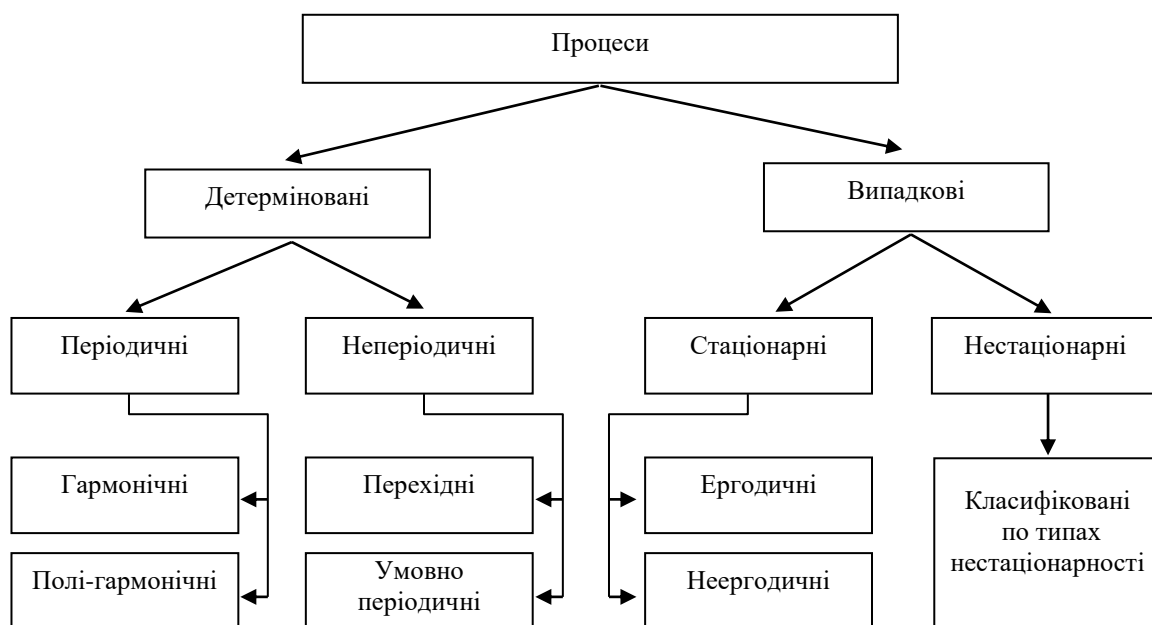


Рис. 2.5. Класифікації процесів [7]

Сигнал системи запалювання можна досліджувати в двох режимах: при постійній частоті обертів колінчатого вала і при змінній частоті обертів. Особливість визначення стаціонарності сигналу системи запалювання полягає в тому, що колінчатий вал двигуна має змінну кутову швидкість і тому даний сигнал не можна розглядати як окремі реалізації з однаковим інтервалом аналізу.

Аналізуючи рис. 2.4, можна зробити висновок, що при постійній ку-

товій швидкості колінчатого валу інтервали аналізу окремих реалізацій будуть однаковими ( $t_1 = t_2 = \dots = t_n$ ). У такому випадку досліджуваний сигнал можна вважати стаціонарним [71].

Однією з умов перевірки стаціонарності сигналу є порівняння інтервалу аналізу окремих реалізацій. Абсолютна і відносна похибки будуть рівні відповідно:

$$\Delta = |t_z^m - t_{z-1}^m|, \quad \varepsilon = \left| 100 \cdot \left( 1 - \frac{t_z^m}{t_{z-1}^m} \right) \right|. \quad (2.1)$$

Стосовно до цієї умови сигнал системи запалювання приймається як стаціонарний якщо:

$$\Delta \leq \Delta_\delta, \quad \varepsilon \leq \varepsilon_\delta, \quad (2.2)$$

де  $\Delta_\delta, \varepsilon_\delta$  - допустимі значення абсолютної і відносної похибки.

Позначимо  $U_{sum}(t)$  – сукупність реалізацій протягом деякого інтервалу часу  $t$ , який складається з визначеної кількості повних циклів двигуна. При постійній частоті обертів колінчатого валу процес вважається стаціонарним в інтервалі часу  $t$ :

$$\lim_{sum \rightarrow p} U_{sum}(t) = const, \quad (2.3)$$

де  $p$  – кількість повних циклів двигуна.

Окремі реалізації досліджуваного сигналу є періодичними і послідовними. Для розподілу сигналу на окремі реалізації необхідно описати принцип визначення часу початку довільної реалізації у довільному циліндрі. Позначимо його  $t_{mz}$ . При постійній частоті обертів колінчатого валу:

$$t_{mz} = z \cdot \overline{T_0} + \overline{t_0^m} \cdot (m-1) , \quad (2.4)$$

де  $z = (1 \dots p)$  – номер повного циклу двигуна;

$\overline{T_0}$  – усереднена тривалість одного циклу двигуна, мС;

$\overline{t_0^m}$  – усереднена тривалість однієї реалізації в  $m$  циліндрі, мС.

Принцип розподілу сигналу системи запалювання на окремі реалізації можна показати у вигляді часової діаграми (рис. 2.6).

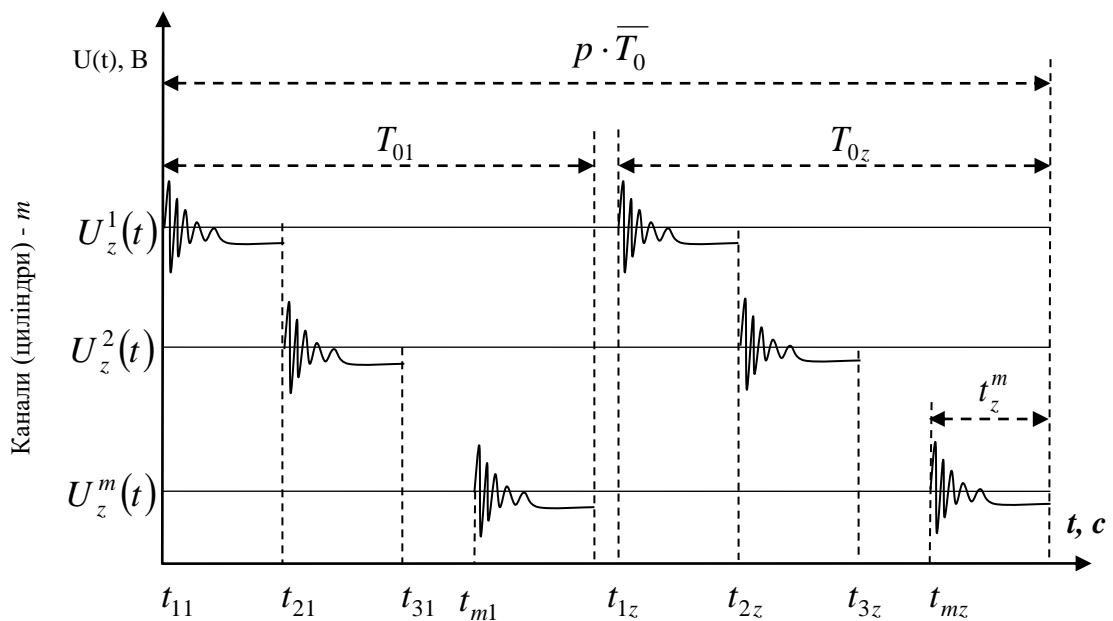


Рис. 2.6. Часові діаграми розподілу сигналу системи запалювання на окремі реалізації

Інтервал часу  $[t_{m(z-1)}, t_{mz}]$  визначає період повного циклу двигуна  $T_{0z}$ . При постійній частоті обертів колінчатого вала усереднений період повного циклу роботи двигуна може бути визначений:

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z T_{0z}. \quad (2.5)$$

Отже, розглянемо два режими послідовно-паралельної обробки сигналу системи запалювання по його реалізаціях:

а) частота обертів колінчатого вала постійна. Умова стаціонарності процесу виконується (див. 2.2) –  $(T_{01} \approx T_{02} \approx \dots \approx T_{0i} \approx \dots \approx T_{0z} \approx \bar{T}_0)$ :

$$U(t) = \begin{cases} U_z^1(t), \bar{T}_0 \cdot (z-1) \leq t < \bar{T}_0 \cdot (z-1) + \bar{t}_0^1 \\ U_z^2(t), \bar{T}_0 \cdot (z-1) + \bar{t}_0^1 \leq t < \bar{T}_0 \cdot (z-1) + \bar{t}_0^1 + \bar{t}_0^2 \\ \dots \\ U_z^m(t), \bar{T}_0 \cdot (z-1) + \sum_{j=1}^{m-1} \bar{t}_0^j \leq t < \bar{T}_0 \cdot (z-1) + \sum_{j=1}^m \bar{t}_0^j \end{cases}, \quad (2.6)$$

де  $z$  – довільна кількість періодів ( $z \rightarrow \infty$  при необмеженому часі спостереження);

б) частота обертів колінчатого вала змінна. Умова стаціонарності процесу не виконується –  $(T_{01} \neq T_{02} \neq \dots \neq T_{0i} \neq \dots \neq T_{0z} \neq \bar{T}_0)$ :

$$U(t) = \begin{cases} U_z^1(t), \sum_{i=1}^{z-1} T_{0i} \leq t < \sum_{i=1}^{z-1} T_{0i} + t_z^1 \\ U_z^2(t), \sum_{i=1}^{z-1} T_{0i} + t_z^1 \leq t < \sum_{i=1}^{z-1} T_{0i} + t_z^1 + t_z^2 \\ \dots \\ U_z^m(t), \sum_{i=1}^{z-1} T_{0i} + \sum_{j=1}^{m-1} t_z^j \leq t < \sum_{i=1}^{z-1} T_{0i} + \sum_{j=1}^m t_z^j \end{cases}. \quad (2.7)$$

Умови (2.6) і (2.7) визначають обмеження, які ставляться до процесу поканальної обробки сигналу, а саме необхідність розгляду процесу як стаціонарного в часі. У випадку не стаціонарності реалізацій сигналу про-

цес обробки буде спотвореним [7], а сама обробка може виявитися неможливою.

Для забезпечення процесу обробки сигналу в обмеженнях доцільно оперувати не рівними часовими проміжками, а прийнятими раніше інтервалами аналізу, які дорівнюють тривалості процесу іскроутворення в одному циліндрі  $t_z^m$ . У такому випадку сукупність окремих повних робочих циклів двигуна можна представити у вигляді деякої матриці з розмірністю  $m \times z$ , в якій  $z \rightarrow \infty$ :

$$F(t) = \begin{pmatrix} U_1^1(t) & U_2^1(t) & \dots & U_z^1(t) \\ U_1^2(t) & U_2^2(t) & \dots & U_z^2(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ U_1^m(t) & U_2^m(t) & \dots & U_z^m(t) \end{pmatrix}. \quad (2.8)$$

Введемо умовне позначення для функції, що описує процес іскроутворення в одному з циліндрів –  $i$ -му досліджуваному каналі, ( $i \in [1, m]$ ):

$$Q_i(t) = (U_1^i(t) \ U_2^i(t) \ \dots \ U_z^i(t)). \quad (2.9)$$

Тоді залежність (2.8) набуде вигляду:

$$F(t) = \begin{pmatrix} Q_1(t) \\ Q_2(t) \\ \dots \\ Q_m(t) \end{pmatrix}. \quad (2.10)$$

Розглянемо процес, який описується виразом (2.9). Окремі реалізації процесу  $U_{z-1}^i(t)$  і  $U_z^i(t)$  відрізняються одна від одної інтервалом аналізу  $t$ , але якщо вони адекватно описують один і той же фізичний процес в одно-

му і тому ж фізичному об'єкті, але в різні проміжки часу, то вони є подібними.

Функція, яка описує кожну реалізацію іскроутворення в циліндрах подається у вигляді графіка (див. рис. 2.4). Для аналізу характеристик цього процесу доцільно дану криву розкласти в ряд Фур'є, що зумовлено причинами неперервності сигналу та обмеженості в часі.

У загальному випадку для окремої реалізації функцію  $U_z^i(t) = U(t)$  можна записати у вигляді ряду Фур'є [111]:

$$U(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{A}_k \exp(jk\omega_0 t), \quad (2.11)$$

$$\text{де } \dot{A}_k = \frac{1}{2} A_k \exp(-j \cdot \varphi_k), \quad A_k = 2 \left| \dot{A}_k \right|, \quad \varphi_k = \arg \left( \dot{A}_k \right);$$

$\omega_0$  – кругова частота, яка відповідає періоду повторення сигналу, рад/с.

Враховуючи, що кожна із компонент виразу (2.9) є функцією, яка характеризує один і той же процес, але має різні часові тривалості, можна допустити, що спектральні характеристики різних реалізацій процесу іскроутворення в одному циліндрі подібні. Дана гіпотеза підтверджується схожістю автокореляційних функцій (рис. 2.7).

Для дослідження сигналу системи запалювання як у часовій, так і в частотній областях необхідно використовувати не одиночну реалізацію одного інтервалу аналізу, а ансамбль реалізацій з їх накладенням для кожного циліндра окремо. Збільшення кількості реалізацій дасть більш достовірну діагностичну інформацію.

Розглянемо процес усереднення декількох реалізацій сигналу іскроутворення в одному циліндрі.

При постійній частоті обертів колінчатого вала двигуна умови (2.2) виконуються. При цьому можна визначити усереднену функцію реалізації

сигналу в одному циліндрі:

$$\overline{U_0^m(t)} = \frac{1}{z} \int U_i^m(t) dt, \quad (i \in [1, z]). \quad (2.12)$$

Отже, при постійній кутовій швидкості колінчатого вала усереднення реалізацій не викликає ніяких труднощів. Але виникає інтерес дослідження системи запалювання на перехідних режимах і режимах максимального прискорення.

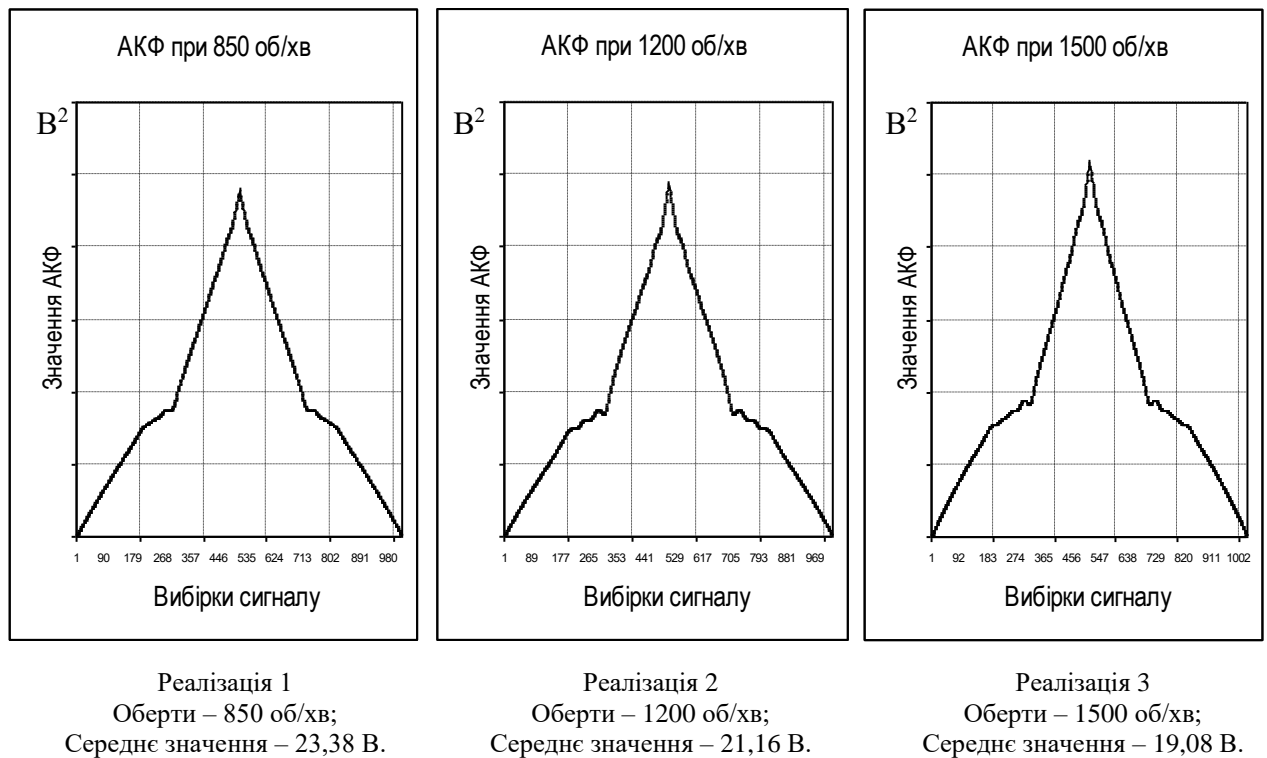


Рис. 2.7. Автокореляційні функції та середні значення окремих реалізацій при збільшенні частоти обертів колінчатого вала двигуна

На рис 2.4 показаний приклад сигналу системи запалювання при збільшенні частоти обертів колінчатого вала. Із збільшенням частоти обертів колінчатого вала інтервал аналізу відповідної реалізації сигналу зменшується. І навпаки, зі зменшенням частоти обертів колінчатого вала інтервал



аналізу збільшується. При цьому умови (2.2) не будуть виконуватися і формула (2.12) не може бути реалізована. Сигнал переходить з категорії періодичних в категорію нескінченних. Для опису спектральних характеристик такого процесу доцільно його окремі часові реалізації звести до однакового базового часового проміжку, після чого виконати усереднення реалізацій.

Нехай  $t_0^m$  і  $t_i^m$  – інтервали аналізу двох будь-яких реалізацій одного  $m$ -го циліндра ( $t_0^m \neq t_i^m$ ), які описуються функціями  $U_0^m(t)$  і  $U_i^m(t)$  відповідно. Прийmemo інтервал аналізу  $t_0^m$  як базовий ( $t_0^m = \frac{2\pi}{\omega_0}$ ). Процес масштабування сигналів можна записати у виді:

$$U_0^m(t) = U_i^m(\Theta_i \cdot t), \quad t_0^m = \Theta_i \cdot t_i^m, \quad (2.13)$$

де  $\Theta_i$  - масштабний коефіцієнт.

Якщо  $|\Theta_i| > 1$ , то сигнал стискається, а якщо  $|\Theta_i| < 1$  – розтягується.

Після перетворення виразу (2.11), він набуде виду:

$$U(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{A}_k \exp\left\{j \frac{2 \cdot \pi \cdot k}{t_0^m} t\right\} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{A}_k \exp\left\{j \frac{2 \cdot \pi \cdot k}{t_i^m \cdot \Theta_i} t\right\}. \quad (2.14)$$

Враховуючи, що приведення  $t_i^m$  до  $t_0^m$  має здійснюватися в реальному часі, то це значною мірою ускладнює реалізацію вхідної реляційної частини, оскільки вимагає паралельної обробки даних кожного з каналів. Логічна схема послідовно-паралельної обробки окремих реалізацій сигналу системи запалювання показана на рис. 2.8.

Після проходження  $z$  повних робочих циклів двигуна буде накопичено  $z$  реалізацій по кожному циліндру (каналу). Всі інтервали аналізу цих реалізацій приведені до базових. Це дасть можливість визначити усереднені реалізації в кожному циліндрі окремо, використовуючи залежність (2.12). Але до набору визначених реалізацій можуть входити реалізації, записані із значними відхиленнями, тобто аномальні реалізації, форма яких спотворена внаслідок впливу якихось зовнішніх завад. Такі реалізації не можуть адекватно характеризувати процес іскроутворення у циліндрі, тому вони не повинні бути включеними у формулу (2.12). Отже, стає завдання фільтрування і нормалізації вхідних даних, тобто вилучення аномальних реалізацій перед процедурою їх усереднення.

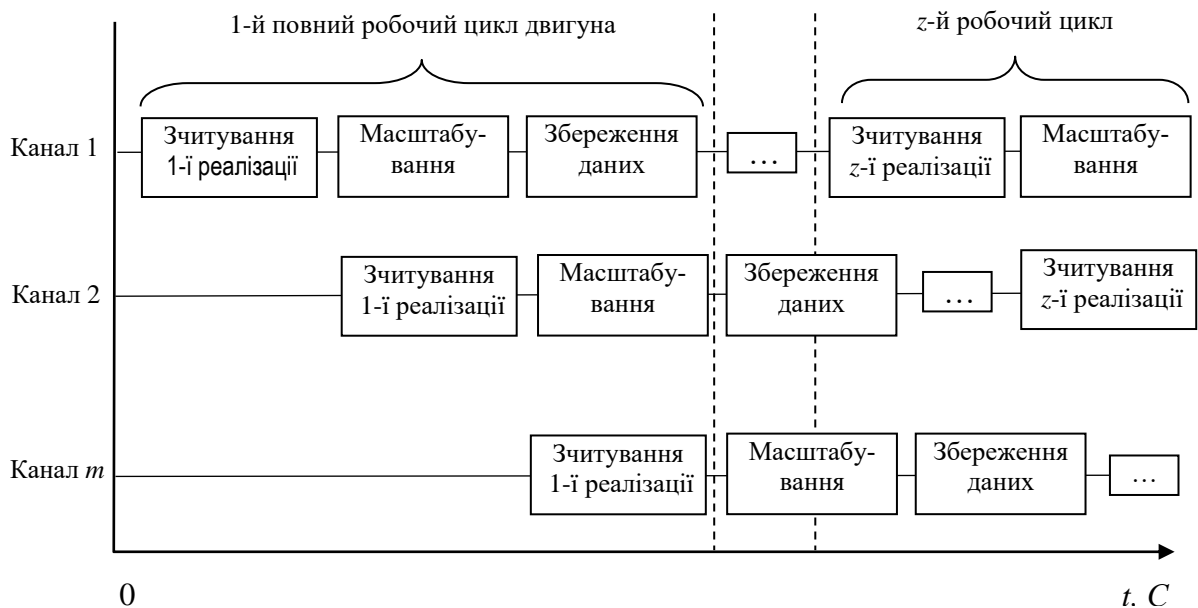


Рис. 2.8. Поетапна, послідовно-паралельна обробка даних

Розглянемо  $z$  реалізацій одного циліндра –  $[U_1(t_0) \ U_2(t_0) \ \dots \ U_z(t_0)]$ , інтервал аналізу яких приведених до однієї бази  $t_0$ . Визначимо коефіцієнти кореляції між кожною парою реалізацій за формулою:

$$r_{i,j} = \frac{1}{t_0 \cdot \sigma_i \sigma_j} \int_0^{t_0} (U_i(t) - \bar{U}_i) \cdot (U_j(t) - \bar{U}_j) dt, \quad (2.15)$$

де  $i = j = 1, 2, \dots, z$  – номер реалізації в одному циліндрі;

$\sigma_i, \sigma_j$  – стандартні відхилення реалізацій;

$\bar{U}_i, \bar{U}_j$  – середні значення реалізацій, В.

З урахуванням масштабних коефіцієнтів (2.13) можна записати загальну формулу для визначення коефіцієнтів кореляції для реалізацій не приведених до базового інтервалу аналізу:

$$r_{i,j} = \frac{1}{t_i \Theta_i \cdot \sigma_i \sigma_j} \int_0^{t_i \Theta_i} (U_i(t \cdot \Theta_i) - \bar{U}_i) \cdot (U_j(t \cdot \Theta_j) - \bar{U}_j) dt. \quad (2.16)$$

За результатами визначення коефіцієнтів кореляції будуємо кореляційну матрицю:

$$R_U = \begin{pmatrix} \times & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1z} \\ r_{21} & \times & r_{23} & \dots & r_{2z} \\ r_{31} & r_{32} & \times & \dots & r_{3z} \\ \dots & \dots & \dots & \times & \dots \\ r_{z1} & r_{z2} & r_{z3} & \dots & \times \end{pmatrix}. \quad (2.17)$$

Кожний рядок даної матриці відповідає одній реалізації і за своєю суттю показує наскільки ця реалізація корелює з іншими. Для кожної реалізації можна визначити середній коефіцієнт кореляції  $\bar{r}_i = \frac{1}{z} \sum_{k=1}^z r_{ik}$ . Реалізація з максимальним коефіцієнтом кореляції ( $\bar{r}_i = \max$ ) приймається за взірцеву. Кожна інша реалізація вважається аномальною і вилучається з ряду, якщо її коефіцієнт кореляції з взірцевою реалізацією менше допустимого

$\bar{r}_i < r_{\text{доп}}$ . Таким чином, після вилучення аномальних реалізацій з ряду кожного циліндра можна проводити їх усереднення і подальшу обробку.

### 2.3. Підхід і математична модель автоматизованого визначення несправностей системи запалювання

Процес діагностування системи запалювання здійснюється діагностичною системою керування. Функціональна схема діагностичної системи визначення технічного стану системи запалювання представлена на рис. 2.9.

Процес діагностування об'єкту діагнозу характеризується вхідними і вихідними параметрами [65]. Сукупність значень вихідних параметрів об'єкту діагнозу буде визначати його технічний стан. Ця сукупність може бути отримана шляхом здійснення елементарних перевірок. Кожна така перевірка являє собою деякий фізичний експеримент над об'єктом діагнозу і визначається зовнішньою дією на об'єкт, а також значенням відповіді об'єкту на цю дію. Елементарні перевірки, як правило, здійснюються з окремими компонентами об'єкту діагнозу, і таким чином визначаються необхідні значення вихідних параметрів системи запалювання.

Формальне описання процесів системи запалювання як об'єкту діагнозу і їх поведінки в справному і несправному стані, виражене в аналітичній, табличній або графічній формі, є математичною моделлю об'єкту діагнозу [65]. Досить важливим критерієм при побудові математичної моделі діагностування системи запалювання є зменшення кількості елементарних перевірок і визначення оптимальної кількості діагностичних параметрів, що характеризують справний та несправний стан системи.

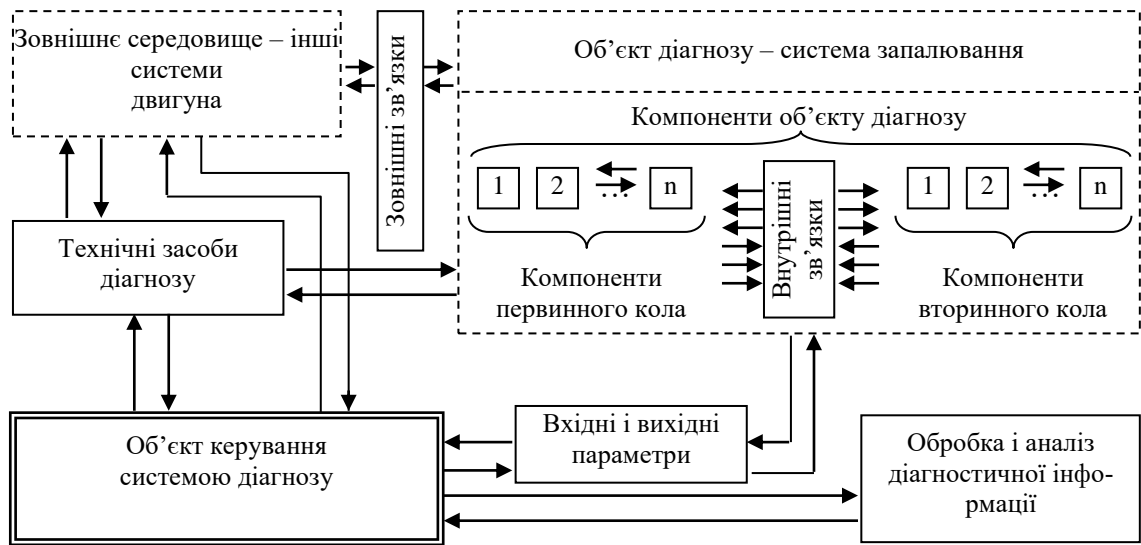


Рис. 2.9. Функціональна схема діагностичної системи визначення технічного стану системи запалювання

Математична модель діагностування системи запалювання може бути задана в явному та неявному виді [97]. Неявний вид передбачає формальне описання одного стану системи і правила отримання інших станів (фізичних несправностей). Явна модель передбачає сукупність формальних описань справного стану і всіх можливих несправних станів системи запалювання. Справний і несправний стан системи запалювання може бути представлений як динамічна система, стан якої в кожний момент часу  $t$  визначається сукупністю вихідних параметрів.

Для описання параметрів, що будуть характеризувати технічний стан системи запалювання, визначимо спектральні характеристики усереднених реалізацій сигналу напруги первинного кола системи запалювання. Це дозволить створити математичну модель процесів, що проходять в системі запалювання при різних умовах роботи.

Створення математичної моделі, яка буде описувати технічний стан системи запалювання, ставить своєю метою автоматичне порівняння сигналів, що досліджуються, з сигналами з бази даних. База даних передбачає описання взірцевих сигналів та сигналів з типовими несправностями різ-

них типів систем запалювання. Отже, модель, що пропонується, відноситься до класу явних математичних моделей і її можна представити у виді матриці параметрів:

$$M = \begin{pmatrix} X_0 \\ X_1 \\ \dots \\ X_k \end{pmatrix}. \quad (2.18)$$

Параметри  $X_0, X_1, X_2, \dots, X_k$  характеризують технічний стан системи запалювання. Параметр  $X_0$  характеризує технічно справний стан системи, параметри  $X_1, X_2, \dots, X_k$  характеризують одиночні типові несправності системи запалювання або їх комбінації.

Кожний параметр  $X_i$  можна охарактеризувати процесом зміни спектральних характеристик сигналу напруги в первинному колі системи запалювання. Для описання параметра  $X_i$  представимо його як функцію багатьох змінних – внутрішніх параметрів:

$$X_i = \varphi(F_1, F_2, \dots, F_n), \quad (2.19)$$

де  $F_1, F_2, \dots, F_n$  – за своєю суттю характеризують одну окрему несправність системи запалювання.

Отже задача створення математичної моделі зводиться до встановлення зв'язку між параметрами математичної моделі та технічним станом системи запалювання.

Опишемо попередні умови, необхідні для створення математичної моделі:

- 1) первинні дані для обробки подаються у цифровій формі;
- 2) процеси в системі іскроутворення описуються амплітудно-

частотними характеристиками (АЧХ);

3) для встановлення виду несправності використовується принцип порівняння АЧХ досліджуваного об'єкту з АЧХ аналога з бази даних.

Визначимо критерій, за яким проводиться діагностування об'єкту. Основне завдання – встановлення характерних (інформативних) точок на АЧХ, які адекватно ідентифікують вид несправності. Для цього в якості критерію доцільно використати кореляційне відношення між АЧХ досліджуваного зразка з АЧХ наявними в інформаційній базі, які ідентифікують види несправностей.

Розглянемо графік спектральної щільності потужності (СЩП), який характеризує технічний стан елементів системи запалювання з точки зору появи аномальних частот при наявності тієї чи іншої несправності (рис. 2.10). Кожна несправність системи запалювання впливає на зміну спектру потужності у визначеному діапазоні частот. Тому параметрам математичної моделі можна поставити в залежність характеристики СЩП у вибраних діапазонах частот.

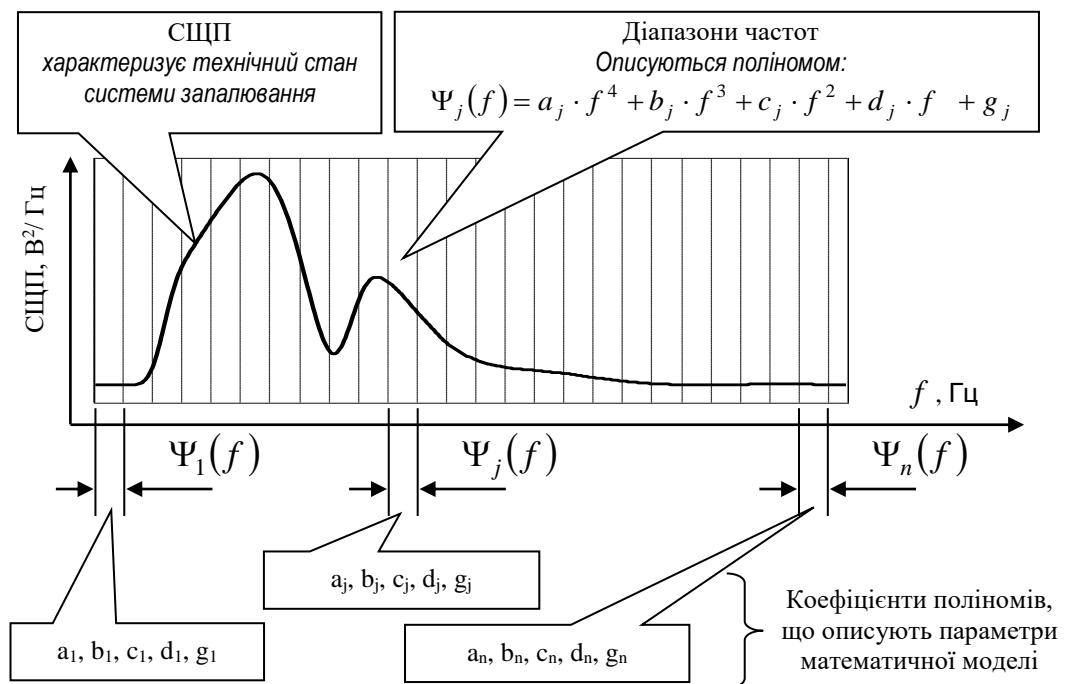


Рис. 2.10. Визначення параметрів математичної моделі

Значення СЩП являють собою одномірний масив даних, кожний елемент якого відповідає окремому значенню частоти, яка змінюється від 0 до  $f_\delta/2$  (до половини частоти дискретизації). Цей масив даних поділимо на  $n$  діапазонів як показано на рис. 2.10. Кожний діапазон можна розглядати як частину графіка СЩП, яку можна представити масивом  $\Psi_j(f)$ . Отже, параметрам  $F_1, F_2, \dots, F_n$  виразу (2.19) можна поставити у відповідність характеристики окремих діапазонів частот СЩП. Тоді вираз (2.19) набуде виду матриці:

$$X_i = \begin{pmatrix} \Psi_1(f) \\ \Psi_2(f) \\ \dots \\ \Psi_n(f) \end{pmatrix}. \quad (2.20)$$

Кожний елемент приведеної матриці, в свою чергу, являє собою одномірний масив даних, тому проведемо його інтерполяцію і визначимо коефіцієнти поліномів, які будуть описувати графік функції, що відповідає даному діапазону частот. Для інтерполяції вибираємо поліном четвертого порядку. Таким чином, кожний діапазон частот можна представити функцією:

$$\Psi_j(f) = a_j \cdot f^4 + b_j \cdot f^3 + c_j \cdot f^2 + d_j \cdot f + g_j. \quad (2.21)$$

Тоді залежність (2.20) буде представлена у виді:

$$X_i = \begin{pmatrix} \Psi_1(f) = a_1 \cdot f^4 + b_1 \cdot f^3 + c_1 \cdot f^2 + d_1 \cdot f + g_1 \\ \Psi_2(f) = a_2 \cdot f^4 + b_2 \cdot f^3 + c_2 \cdot f^2 + d_2 \cdot f + g_2 \\ \dots \\ \Psi_n(f) = a_n \cdot f^4 + b_n \cdot f^3 + c_n \cdot f^2 + d_n \cdot f + g_n \end{pmatrix}. \quad (2.22)$$



У спрощеному виді залежність (2.22) можна представити як матрицю коефіцієнтів поліномів:

$$X_i = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 & g_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 & g_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n & b_n & c_n & d_n & g_n \end{pmatrix}. \quad (2.23)$$

Таким чином, виразом (2.23) може бути описаний будь-який стан системи запалювання – справний і при наявності типових несправностей.

По описаному порядку, визначаються параметри  $X_0, X_1, X_2, \dots, X_k$  математичної моделі. Створюється відповідна інформаційна база даних.

У процесі діагностування автомобіля, відповідно виразу (2.23), визначається параметр  $X_{\text{doc}}$  системи, що досліджується. Автоматичне порівняння параметра  $X_{\text{doc}}$  з параметрами  $X_0, X_1, X_2, \dots, X_k$  з бази даних дасть можливість автоматизувати процес пошуку несправностей в системі запалювання автомобільного двигуна.

Параметру  $X_{\text{doc}}$  поставлений у відповідність графік СЦП  $\Psi_{\text{doc}}(f)$ , кожний діапазон частот якого описаний поліномом  $\Psi_{j_{\text{doc}}}(f)$  (2.22). Визначимо коефіцієнти кореляції між кожним діапазоном частот СЦП досліджуваного сигналу і відповідним діапазоном частот СЦП сигналу з бази даних:

$$r_{ij} = \frac{1}{|\Omega_j, \Omega_{j+1}| \cdot \sigma_{\text{doc}} \sigma_{\text{баз}}} \int_{\Omega_j}^{\Omega_{j+1}} (\Psi_{j_{\text{doc}}}(f) - \overline{\Psi_{j_{\text{doc}}}}) \cdot (\Psi_{j_{\text{баз}}}(f) - \overline{\Psi_{j_{\text{баз}}}}) df, \quad (2.24)$$

де  $i$  – номер параметра  $X_i$  з бази даних ( $i \in [1, k]$ );

$j$  – номер діапазону частот у графіку СЦП ( $j \in [1, n]$ );

$n$  – кількість діапазонів частот графіка СЦП;

$k$  – кількість параметрів  $X_i$  математичної моделі;

$\Omega_j$  – початок  $j$ -го діапазону частот;

$\sigma_{\text{доc}}, \sigma_{\text{баз}}$  – стандартні відхилення  $j$ -го діапазону частот;

$\overline{\Psi}_{j_{\text{доc}}}, \overline{\Psi}_{j_{\text{баз}}}$  – середні значення  $j$ -го діапазону частот.

У формулі (2.24) вважається, що графіки СЦП розглядаються в однаковому інтервалі частот від нуля до половини частоти дискретизації і цей інтервал поділений на однакове число діапазонів. Тобто виконується умова:

$$\left| \Omega_j, \Omega_{j+1} \right|_{\text{доc}} = \left| \Omega_j, \Omega_{j+1} \right|_{\text{баз}} . \quad (2.25)$$

Якщо умова (2.25) не виконується, то необхідно ввести масштабний коефіцієнт для кожного параметра  $X$  :

$$\alpha_i = \frac{\left| \Omega_j, \Omega_{j+1} \right|_{\text{доc}}}{\left| \Omega_j, \Omega_{j+1} \right|_{\text{баз}}} . \quad (2.26)$$

З урахуванням масштабного коефіцієнту умова (2.24) набуде виду:

$$r_{ij} = \frac{1}{\left| \Omega_j, \Omega_{j+1} \right| \cdot \sigma_{\text{доc}} \sigma_{\text{баз}}} \int_{\Omega_j}^{\Omega_{j+1}} (\Psi_{j_{\text{доc}}}(f \cdot \alpha_i) - \overline{\Psi}_{j_{\text{доc}}}) \cdot (\Psi_{j_{\text{баз}}}(f) - \overline{\Psi}_{j_{\text{баз}}}) df . \quad (2.27)$$

За результатами визначення коефіцієнтів кореляції будуюмо матрицю ( $k \times n$ ):

$$R_{\Psi} = \begin{pmatrix} r_{01} & r_{02} & \dots & r_{0n} \\ r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & r_{kn} \end{pmatrix}. \quad (2.28)$$

Кожний рядок даної матриці характеризує наскільки корелює параметр  $X_{doc}$  досліджуваного сигналу з одним із параметрів  $X_i$  бази даних по окремих діапазонах частот. Оскільки кожний параметр  $X_i$  бази даних описує якусь несправність системи запалювання, то на основі цього можна зробити висновок про технічний стан системи. Параметр  $X_{doc}$  досліджуваного сигналу вважається відповідним параметру  $X_i$  бази даних, якщо всі коефіцієнти кореляції  $i$ -ї стрічки матриці (2.28) більші допустимого значення  $r_{ij} \geq r_{доп}$ .

Слід зазначити, що метод автоматизованого діагностування системи запалювання є відкритим у плані поповнення бази даних. Якщо в базі даних немає значень параметрів математичної моделі, що відповідають визначеній несправності для конкретного типу системи запалювання, то на даний час метод не працює. В такому випадку несправність визначається іншими стандартними методами. Після цього визначаються значення параметрів математичної моделі при наявності цієї несправності і вони заносяться в базу даних. Отже, запропонований метод можна охарактеризувати як адаптивний і відкритий – такий, що сам навчається і поповнюється.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

1. На основі аналізу діагностичних параметрів і факторів, що на них впливають, визначено, що характер зміни напруги у первинному колі системи запалювання може бути універсальним параметром, який характеризує технічний стан елементів системи запалювання.
2. На основі теоретичних досліджень обґрунтована необхідність удосконалення методів визначення впливу різних несправностей системи запалювання на характер зміни напруги іскроутворення в циліндрах двигуна. Запропоновано використання діагностичної інформації, що міститься в спектральних характеристиках досліджуваного сигналу.
3. На основі теоретичних досліджень визначено, що процес зміни напруги в системі запалювання необхідно розглядати в межах умов стаціонарності. Запропоновано метод масштабування інтервалів реалізацій іскроутворення в окремих циліндрах, що дає можливість виконати їх усереднення при постійній та змінній частоті обертів колінчатого валу.
4. Для усереднення окремих реалізацій іскроутворення в циліндрах двигуна не можуть бути прийняті реалізації, спотворені внаслідок впливу зовнішніх завад при зчитуванні. Запропоновано фільтрування вхідних даних на основі визначення кореляційної залежності між реалізаціями іскроутворення в одному циліндрі.
5. На основі методів спектрального аналізу розроблена математична модель, параметри якої в числовій формі характеризують взаємозв'язок між несправностями системи запалювання та змінами в окремих діапазонах частот спектральної щільності потужності сигналу напруги первинного кола. Порівняння параметрів сигналу, що досліджується з параметрами інформаційної бази даних дозволяє автоматизувати процес діагностування.
6. Запропоновано підхід створення бази параметрів математи-

чної моделі, що описують типові несправності системи запалювання. Передбачена можливість поповнення інформаційної бази для різних систем запалювання, що робить запропонований метод автоматизованого діагностування адаптивним і відкритим.

### **3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ТА РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ**

З вдосконаленням обчислювальної техніки виникла можливість автоматизації процесу діагностування системи запалювання автомобільного двигуна, основною метою якої є позбавлення рутинної роботи почергового визначення діагностичних параметрів. По відношенню до системи запалювання задача автоматизації діагностики зводиться до автоматичного порівняння діагностичних параметрів системи, що досліджується з базовими параметрами.

У даному розділі описується практична реалізація запропонованого наукового підходу і методу діагностування системи запалювання. Проведений аналіз частотного спектру сигналу напруги первинного кола системи запалювання та вплив різних несправностей системи на його окремі діапазони, а також врахування побічних та супутніх факторів при діагностуванні системи запалювання.

#### **3.1. Підготовка даних і попередня обробка сигналу напруги системи запалювання**

Згідно з обґрунтуванням вибору діагностичних параметрів системи запалювання (див. п. 2.1), для визначення несправностей системи приймаємо сигнал зміни напруги первинного кола. Процес підготовки і попередньої цифрової обробки отриманих даних можна представити у вигляді блок-схеми зображеної на рис. 3.1.

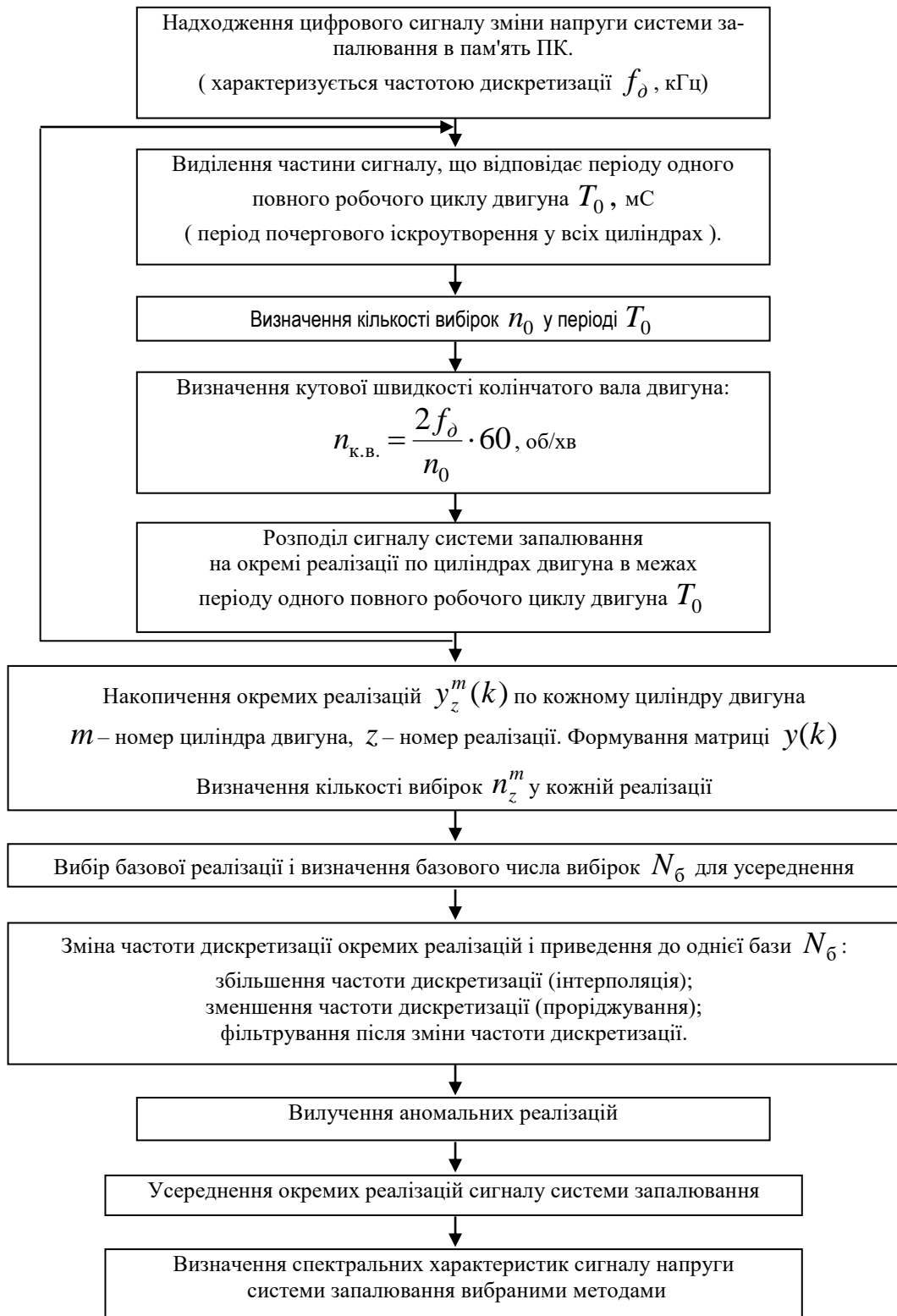


Рис. 3.1. Блок-схема цифрової обробки сигналу системи запалювання та визначення спектральних характеристик

Масив даних, що поступає в пам'ять ПК являє собою одномірний потік даних  $y(k)$  (див. рис. 2.4), які визначені через деякий інтервал часу  $T_0$

(період дискретизації). Отже, характеристикою прийнятого масиву даних є частота дискретизації  $f_\delta$ .

На першому етапі масив  $y(k)$  розділяємо на окремі частини, які відповідають періоду одного повного робочого циклу двигуна  $T_0$ . Такий розподіл може бути здійснений, якщо паралельно з сигналом зміни напруги у первинному колі в пам'ять ПК подати сигнал першого циліндра, який зчитується індуктивним сенсором з проводу високої напруги цього циліндра.

Розподіл сигналу на періоди повних робочих циклів двигуна дає можливість, перш за все, визначити частоту обертів (кутову швидкість) колінчатого вала на даний момент часу, знаючи кількість вибірок сигналу  $n_0$  за даний період і частоту дискретизації  $f_\delta$ . Із збільшенням частоти обертів колінчатого вала кількість вибірок  $n_0$  зменшується. Із зменшенням частоти обертів кількість вибірок  $n_0$  збільшується. Враховуючи те, що за один робочий цикл двигуна колінчатий вал робить два оберти, визначимо:

$$n_{\text{к.в.}} = \frac{2f_\delta}{n_0} \cdot 60, \text{ (об/хв)}. \quad (3.1)$$

Кожний період повного робочого циклу двигуна надалі поділяється на окремі реалізації по кожному циліндру двигуна (див. рис. 2.8 і (2.8)). Таким чином, масив даних  $y(k)$  можна представити у вигляді матриці:

$$y(k) = \begin{pmatrix} y_1^1(k) & y_2^1(k) & \dots & y_z^1(k) \\ y_1^2(k) & y_2^2(k) & \dots & y_z^2(k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_1^m(k) & y_2^m(k) & \dots & y_z^m(k) \end{pmatrix}, \quad (3.2)$$

де  $m$  – номер циліндра двигуна,  $z$  – номер реалізації сигналу іскроутво-



рення в цьому циліндрі.

Інтервал часу, що відповідає одній окремій реалізації (інтервал аналізу) можна визначити як:

$$t_z^m = n_z^m \cdot T_\delta, \quad (3.3)$$

де  $n_z^m$  – кількість вибірок реалізації;

$T_\delta$  – період дискретизації, мС.

Кількість вибірок  $n_z^m$  однієї реалізації визначається числом елементів відповідного масиву  $y_z^m(k)$ . Період дискретизації, згідно з [87] визначається за формулою:

$$T_\delta = \frac{1}{f_\delta}. \quad (3.4)$$

Для проведення подальшої цифрової обробки і дослідження сигналу необхідно визначити усереднені реалізації іскроутворення в кожному циліндрі двигуна (див. (2.12)).

При постійній частоті обертів колінчатого вала умови (2.2) виконуються і процес усереднення окремих реалізацій може бути здійсненим за формулою:

$$\overline{y^m(k)} = \frac{1}{z} \sum_{i=0}^{z-1} y_i^m(k). \quad (3.5)$$

Розглянемо процес усереднення при змінній частоті обертів колінчатого вала. При цьому умови (2.2) не будуть виконуватися і формула (3.5) не може бути реалізована.

На рис. 3.2 показані дві реалізації сигналу системи запалювання двигуна автомобіля ВАЗ-2107  $y_1^1(k)$  і  $y_2^1(k)$  при зміні частоти обертів колінча-

того вала. Обидві реалізації відповідають іскроутворенню в першому циліндрі.

Як видно з графіків, кількість вибірок у першій і другій реалізації різна ( $n_1 \neq n_2$ ). При однаковій частоті дискретизації інтервал аналізу також різний ( $t_1^1 \neq t_2^1$ ).

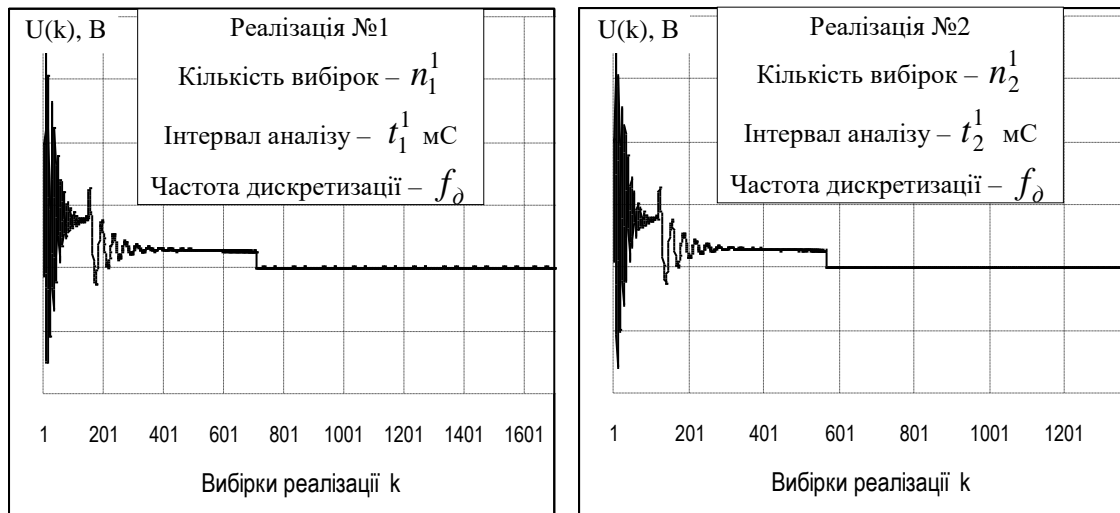


Рис. 3.2. Реалізації сигналу системи запалювання в одному циліндрі

Для можливості використання формули (3.5) необхідно, щоб кількість вибірок у першій і другій реалізації була однаковою. Для виконання цієї умови необхідно змінити частоту дискретизації цих реалізацій і привести їх до однієї базової кількості вибірок  $N_6$ . Значення величини  $N_6$  доцільно вибрати по кількості вибірок однієї з реалізацій, яка буде вважатися базовою. Подальше усереднення реалізацій буде виконуватись до цієї реалізації з її базовою частотою дискретизації  $f_0$ . На рис. 3.2 за базову прийmemo реалізацію № 1. Отже, необхідно змінити кількість вибірок другої реалізації, а відповідно змінити частоту її дискретизації.

Процес зміни частоти дискретизації виконується в два етапи. Перший етап – інтерполяція, збільшення частоти дискретизації в ціле число

разів, рівне коефіцієнту інтерполяції  $p$ . Другий етап – проріджування, зменшення частоти дискретизації в ціле число разів, рівне коефіцієнту децимації  $q$ . Для отримання необхідної кількості вибірок при новій частоті дискретизації коефіцієнту інтерполяції  $p$  надамо значення нової кількості вибірок –  $N_6$ , а коефіцієнту децимації  $q$  – значення поточної кількості вибірок  $n_z^m$  для даної реалізації. Таким чином, нова частота дискретизації для кожної окремої реалізації буде знайдена за формулою:

$$f_z^m = f_\delta \cdot \frac{N_6}{n_z^m}. \quad (3.6)$$

Згідно з [25] основними елементами систем, що змінюють частоту дискретизації є інтерполятор і дециматор. Інтерполятор це елемент, що підвищує частоту дискретизації, а дециматор – елемент, який понижує частоту дискретизації.

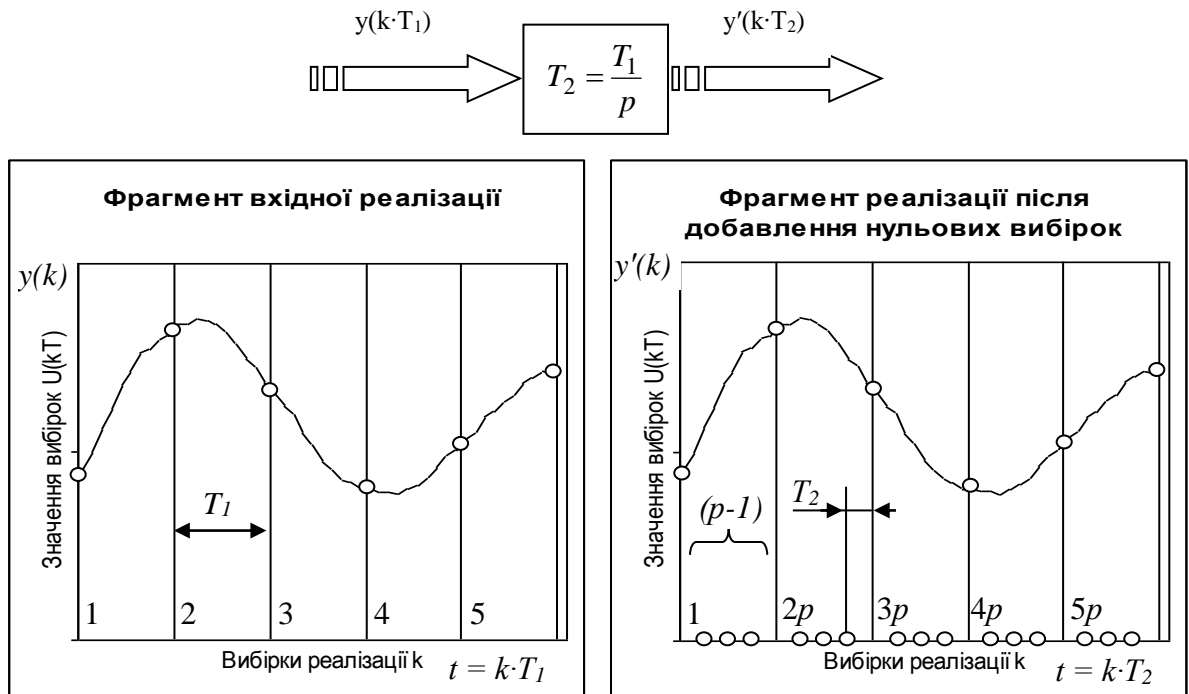
Структурну схему інтерполятора, який збільшує частоту дискретизації можна представити у виді, зображеному на рис 3.3. Рівняння функціонування інтерполятора буде мати вид:

$$y'(k) = \begin{cases} y\left(\frac{k}{p}\right), & \text{якщо } k \text{ кратне } p \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (3.7)$$

Таким чином, вихідний сигнал інтерполятора  $y'(k)$  ми отримуємо введенням між кожними двома вибірками вхідного сигналу по  $(p - 1)$  додаткових вибірок з нульовими значеннями.

Другий етап зміни частоти дискретизації сигналу – проріджування. При цьому частота дискретизації зменшується в ціле число раз, рівне значенню поточної кількості вибірок  $n_z^m$  для даної реалізації. Таким чином,

після передискретизації реалізацій, кількість вибірок першої і другої реалізації стає рівною ( $n_1^1 = n_2^1 = N_6$ ) при різному інтервалі аналізу.



$k$  – номер вибірки реалізації;

$p$  – коефіцієнт збільшення частоти дискретизації;

$T_1, T_2$  – період дискретизації до і після інтерполяції, мс.

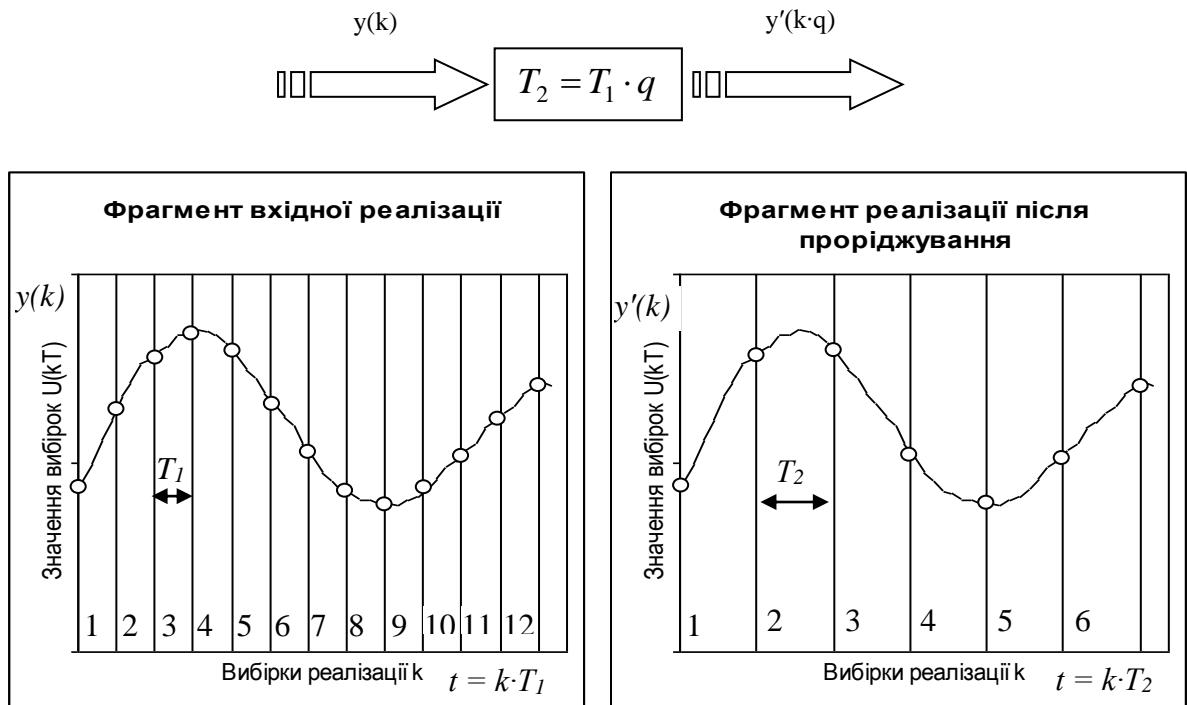
Рис. 3.3. Структурна схема інтерполятора

На рис. 3.4 показана структурна схема дециматора, який зменшує частоту дискретизації сигналу.

Рівняння функціонування дециматора буде мати вид:

$$y'(k) = y(kq) \quad (3.8)$$

Таким чином, на виході дециматора буде сформований сигнал тільки з номерами вибірок кратними  $q$ .



$k$  – номер вибірки реалізації;

$q$  – коефіцієнт зменшення частоти дискретизації;

$T_1, T_2$  – період дискретизації до і після проріджування, мС.

Рис. 3.4. Структурна схема дециматора

На рис. 3.5 показані дві реалізації зі зміненою частотою дискретизації.

Згідно з [7, 87] спектр дискретного сигналу є періодичним з періодом повторення, який рівний частоті дискретизації  $f_\delta$ .

Процес збільшення частоти дискретизації в  $N$  разів можна представити як "розтягування" сигналу і додавання між його вибірками  $N - 1$  нулів. При цьому частота дискретизації сигналу стане рівною  $Nf_\delta$ , але період повторення спектру залишиться попереднім –  $(1/f_\delta)$ . Це призведе до появи хибних частот у смузі частот від 0 до  $Nf_\delta$ . Для запобігання цьому отриманий сигнал необхідно пропустити через фільтр нижніх частот з частотою зрізу  $f_\delta/2$ . В результаті такої фільтрації ми отримаємо сигнал, у якого частота дискретизації рівна  $Nf_\delta$ , а спектр залишиться попереднім в смузі

зі частот від 0 до  $f_{\delta} / 2$ .

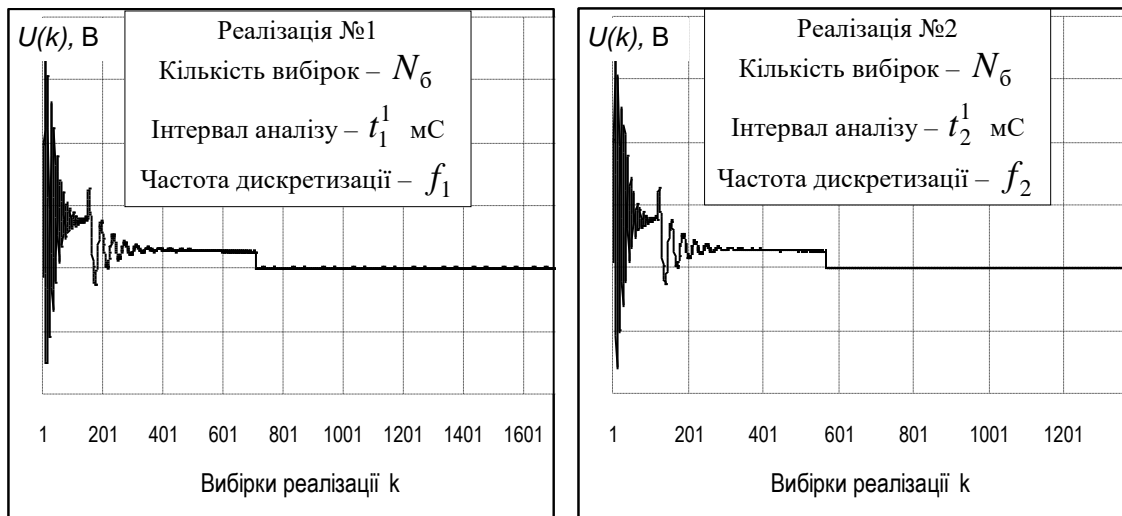


Рис. 3.5. Реалізації сигналу іскроутворення із зміненою частотою дискретизації

Для зберігання фазових співвідношень необхідно використовувати не рекурсивний фільтр з лінійною ФЧХ.

Процес проріджування дискретного сигналу можна охарактеризувати як дискретизацію дискретного сигналу [71, 87]. Тому при проріджуванні також може виникати ефект появи хибних частот. Якщо в спектрі вхідного сигналу є частоти, що перевищують половину нової частоти дискретизації (нової частоти Найквіста) [7], то це призведе до появи у вихідному сигналі хибних частот. Для усунення цього ефекту вхідний сигнал попередньо необхідно пропустити через ФНЧ з частотою зрізу рівною новій частоті Найквіста –  $\left(f_{\delta} \cdot \frac{p}{q}\right) / 2$ . Як і при збільшенні частоти дискретизації, для процесу проріджування будемо використовувати нерекурсивний ФНЧ з лінійною фазочастотною характеристикою.

З вище сказаного випливає, що при послідовному проведенні інтерполяції і проріджування необхідно виконати такі дії:

- процес інтерполяції (збільшення частоти дискретизації);

- фільтрування після інтерполяції з використанням ФНЧ з частотою зрізу  $f_\delta / 2$ ;

- фільтрування перед проріджуванням з використанням ФНЧ з частотою зрізу  $\left(f_\delta \cdot \frac{p}{q}\right) / 2$ ;

- проріджування (зменшення частоти дискретизації).

З описаної послідовності видно, що сигнал необхідно двічі пропустити через фільтр нижніх частот – перший раз у процесі інтерполяції, другий – у процесі проріджування. Для зменшення кількості операцій, після процесу додавання нульових вибірок у вхідний сигнал, необхідно вибрати фільтр, який замінить дві операції фільтрування. Очевидно, що це повинен бути фільтр з меншою частотою зрізу, так як не має сенсу пропускати сигнал спочатку через фільтр з більшою частотою зрізу, а потім через фільтр з меншою частотою зрізу.

Отже, для процесу фільтрації сигналу необхідно використати фільтр з такою частотою зрізу:

$$f_z = \begin{cases} f_\delta / 2 & - \text{при збільшенні } f_\delta \text{ (} p > q \text{)} \\ \left(f_\delta \cdot \frac{p}{q}\right) / 2 & - \text{при зменшенні } f_\delta \text{ (} p < q \text{)} \end{cases} \quad (3.9)$$

Задачу фільтрації сигналу можна сформулювати так: маємо вхідний сигнал  $y_n$ , ( $n = 1 \dots N$ ), необхідно отримати вихідний сигнал  $y'_n$  з умови:

$$y'_n = \sum_{k=-K}^K a_k \cdot y_{n-k}, \quad (3.10)$$

де  $K$  – порядок фільтра.

Процес фільтрації сигналу може бути виконаний у такій послідовно-

сті [111]:

- 1) Вибираємо порядок фільтра  $K$  та частоту зрізу ФНЧ  $-f_3$ ;
- 2) Передаточна функція ФНЧ може бути визначена як дискретне перетворення Фур'є коефіцієнтів фільтра:

$$G_d(j\omega) = \sum_{k=-K}^K a_k \cdot e^{-j\omega k T_a} ; \quad (3.11)$$

- 3) Розраховуємо коефіцієнти ФНЧ з умови методу найменших квадратів Гауса:

$$\int_{-\omega_d}^{\omega_d} (G_d(j\omega) - G_\omega(j\omega))^2 d\omega = \text{Min!} , \quad (3.12)$$

де  $G_\omega(j\omega)$  – передаточна функція ідеального ФНЧ;

- 4) Амплітудно-частотна характеристика реалізованого ФНЧ буде тим ближча до АЧХ ідеального фільтра, чим вищим прийнятий порядок фільтра  $-K$ . Але збільшення порядку фільтра не усуває явище Гібса – появу пульсацій, амплітуда яких не зменшується із збільшенням порядку фільтра. Пульсації при цьому зміщуються в бік граничної частоти фільтра;

- 5) Для усунення явища Гібса можуть бути використані функції вікна. У цьому випадку необхідно перемножити коефіцієнти реалізованого ФНЧ з коефіцієнтами вибраного вікна  $-w_k$ ;

- 6) Вихідний сигнал  $y'_n$  буде знайдений з умови:

$$y'_n = \sum_{k=-K}^K a_k \cdot w_k \cdot y_{n-k} . \quad (3.13)$$

Фільтрування сигналу і використання функцій вікна виконується процедурою лінійного звертання вибірок сигналу з коефіцієнтами фільтра [87].



По мірі надходження окремих реалізацій іскроутворення в пам'яті ПК накопичуються пакети реалізацій для кожного циліндра, для яких буде проведена зміна частоти дискретизації, і всі вони будуть приведені до однієї бази (з кількістю вибірок  $N_{\sigma}$ ).

Перед процедурою усереднення з кожного пакета реалізацій необхідно вилучити аномальні реалізації, причина появи яких пояснюється наявністю зовнішніх завад при зчитуванні сигналу. Для вилучення таких реалізацій для кожного циліндра знаходимо кореляційну матрицю (2.17). Вилучення аномальних реалізацій здійснюється за умов описаних у п. 2.2.

Кількість реалізацій, які будуть підлягати усередненню, може бути задана програмно. Практично для усереднення необхідно 5–20 реалізацій сигналу іскроутворення в одному циліндрі.

Після цього можна визначити усереднені реалізації для кожного циліндра окремо, використовуючи формулу (3.5). На рис. 3.6 показана усереднена реалізація сигналу іскроутворення, а на рис. 3.7 загальна блок-схема процедури усереднення окремих реалізацій сигналу.

### 3.2. Визначення спектральних характеристик сигналу напруги системи запалювання

Способи обробки сигналів методами спектрального аналізу описані в роботах [7, 25, 29, 55, 56, 71, 87, 111]. Дослідження сигналів із застосуванням перетворень Фур'є проводиться в часовій і частотній областях. При цьому можливий перехід з часової області в частотну і навпаки.

Однією з спектральних характеристик в частотній області, що визначає наявність аномалій у сигналі системи запалювання з появою несправності, є спектральна щільність потужності.

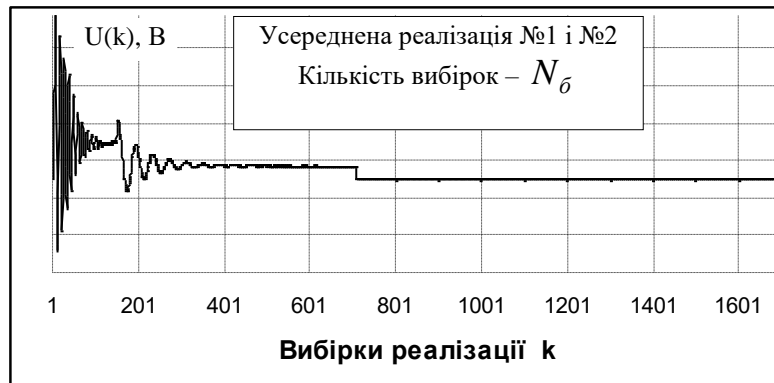


Рис 3.6. Усереднена реалізація сигналу іскроутворення в одному циліндрі

У відповідності з [56] методи оцінки спектральної щільності потужності можуть бути розділені на дві групи: непараметричні (класичні) і параметричні (авторегресійні). При використанні непараметричних методів використовується тільки інформація вибірок досліджуваного сигналу, без будь-яких додаткових припущень.

У параметричних методах мається на увазі використання математичної моделі досліджуваного сигналу, при цьому необхідно визначити параметри математичної моделі, яка найбільш близька до реального процесу.

Одним з непараметричних методів спектрального аналізу є періодограмний метод оцінки спектральної щільності потужності [87]. При використанні цього методу спектральна щільність потужності визначається по кінцевому числу вибірок однієї реалізації:

$$W(f) = \frac{1}{Nf_{\delta}} \left| \sum_{k=0}^{N-1} y(k) \cdot e^{-j2\pi f k T_{\delta}} \right|^2, \quad (3.14)$$

де  $N$  – кількість вибірок реалізації сигналу;

$f_{\delta}$  – частота дискретизації, кГц;

$y(k)$  – вибірки реалізації сигналу

$T$  – період дискретизації сигналу, мС.

При оцінці спектральної щільності потужності періодограмним методом можна використовувати вагові функції (вікна). Такий метод буде називатися модифікованим періодограмним. При цьому у формулу (3.14) необхідно додати коефіцієнти вікна  $v(k)$ :

$$W(f) = \frac{1}{f_\Delta} \cdot \frac{\left| \sum_{k=0}^{N-1} y(k) \cdot v(k) \cdot e^{-j2\pi f k T_\Delta} \right|^2}{\sum_{k=0}^{N-1} |v(k)|^2}. \quad (3.15)$$

Оцінка спектральної щільності потужності періодограмними методами не дає достовірної частотної характеристики сигналу [56]. Це пояснюється тим, що при збільшенні кількості вибірок сигналу, значення періодограми починають пульсувати і її графік стає порізаним.

Для удосконалення оцінки спектральної щільності потужності пропонується використовувати метод Уелча [56], що припускає використання вагової функції і розбивку сигналу на фрагменти, що перекриваються. Мета застосування вагових функцій (вікон) – послабити ефекти розтікання спектра через бічні пелюстки і зменшити зсув оцінок. Мета перекриття фрагментів – збільшити число сегментів, що перекриваються, і тим самим зменшити дисперсію оцінки.

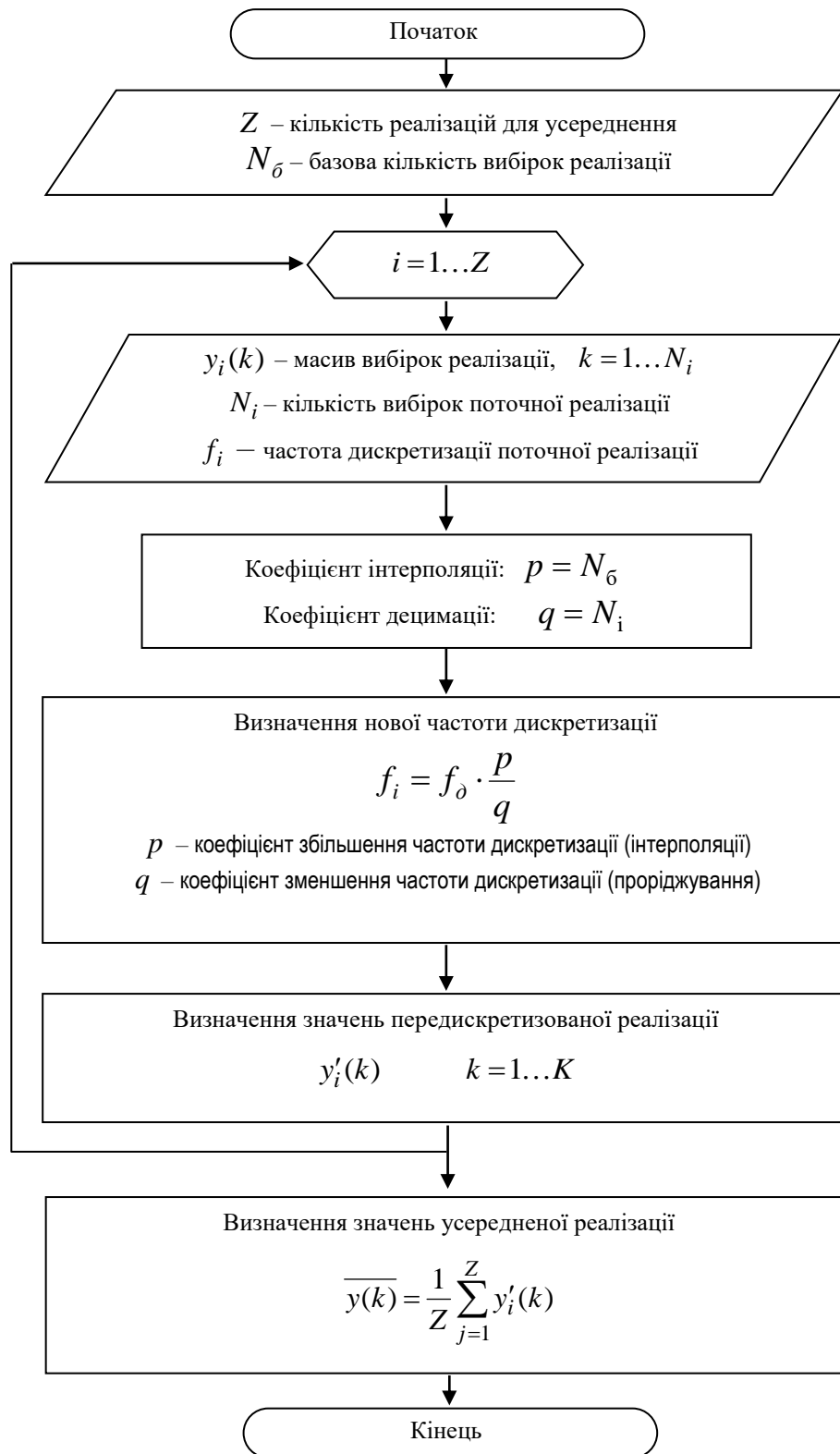


Рис. 3.7. Блок-схема процедури усереднення окремих реалізацій сигналу системи запалювання

Загальний алгоритм використання методу Уелча [56, 87] для оцінки спектральної щільності потужності сигналу системи запалювання можна описати так:

1) Усереднення окремих реалізацій сигналу іскроутворення одного циліндра. Ціль усереднення – виключити випадкові складові сигналу;

2) Виділення ділянки реалізації, що містить характеристику перехідних процесів, які відбуваються в системі. Для системи запалювання будь-якого типу такою ділянкою є зона пробою іскрового проміжку, зона горіння іскри, і зона процесів, що відбуваються після горіння іскри в період розімкнутого первинного кола. Період замкнутого первинного кола ніякої вагової інформації в собі не несе;

3) Поділ виділеної ділянки реалізації на сегменти, що перекриваються. Використовується перекриття на 50%;

4) Кожен виділений сегмент помножується на обрану вагову функцію  $v(k)$ . Ваговою функцією обране вікно Хемінга;

5) Для кожного сегмента обчислюється модифікована періодограма за формулою (3.15);

6) Всі обчислені періодограми сегментів усереднюються –

$$\overline{W}(f) = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S W_i(f).$$

За описаним вище алгоритмом визначаються спектральні щільності потужності еталонних сигналів і сигналів зі змодельованими несправностями. Як показали дослідження, кожна типова несправність системи запалювання має свою характеристику спектральної щільності потужності. Після цього можна виконати автоматичне порівняння спектрів еталонних і досліджуваних сигналів і зробити висновок про технічний стан системи запалювання. На рис. 3.8 показана спектральна щільність потужності сигналу системи запалювання визначена за методом Уелча.

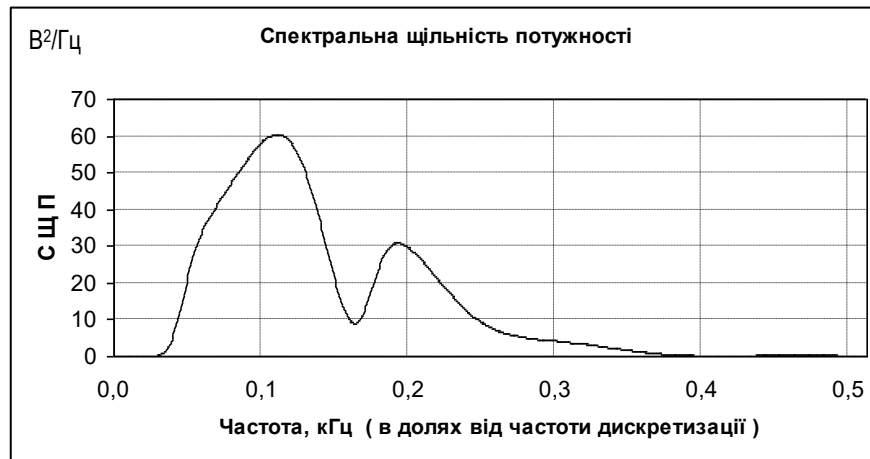


Рис. 3.8. Спектральна щільність потужності реалізації сигналу системи запалювання

### 3.3. Аналіз частотного спектру сигналу напруги системи запалювання

Для дослідження частотного спектру сигналу напруги системи запалювання, перш за все, необхідно визначити межі діапазонів частот, в яких будуть виконуватись дослідження. Це повинні бути діапазони частот, які повною мірою характеризують поведінку сигналу напруги системи запалювання, а також ступінь впливу різних несправностей системи на ці діапазони частот.

Сигнал напруги системи запалювання, який поступає в пам'ять ПК є дискретним і квантованим по рівню. Однією з характеристик такого сигналу є частота дискретизації  $f_{\Delta}$ . Згідно з [87] спектр дискретного сигналу є періодичним з періодом повторення, який рівний частоті дискретизації  $f_{\Delta}$ . Звідси випливає, що він є симетричним відносно значення частоти, рівного половині частоти дискретизації, тому, попередньо, для дослідження приймемо частину спектру в смузі частот від 0 до половини частоти дискрети-

зації  $f_0/2$ . Вісь абсцис являє собою значення частот визначені в долях від частоти дискретизації сигналу. Вісь ординат – це шкала значень спектральної щільності потужності, яка може бути виражена у лінійній чи у логарифмічній формі.

Частота дискретизації сигналу  $f_0$  вибирається з умови адекватності представлення аналогового сигналу його дискретними вибірками [7, 87]. Сигнал може бути адекватно представлений дискретними вибірками, якщо максимальна частота його гармонік не перевищує половини частоти дискретизації, названої частотою Найквіста ( $f_{\max} \leq f_0/2$ ). Але, не залежно від вибраної частоти дискретизації, не має сенсу досліджувати сигнал напруги системи запалювання на всій довжині осі частот від 0 до  $f_0/2$ . Величина вибраних діапазонів частот повинна бути оптимальною. Це можна обґрунтувати тим, що складові гармоніки сигналу напруги системи запалювання знаходяться тільки у визначених діапазонах частот, а не обґрунтоване збільшення меж цих діапазонів призведе до збільшення об'ємів розрахунків.

Отже, постає завдання визначення меж діапазонів частот, які містять складові гармоніки сигналу напруги системи запалювання. Ця процедура може бути здійснена експериментально, з використанням стандартного аналогового осцилографа С1-114, який дає можливість розгляду гармонік частотою до 100 МГц. При цьому сигнали напруги необхідно зчитувати по чергово, з різною частотою дискретизації.

У п.2.1 описана характеристика робочого процесу іскроутворення у циліндрах двигуна [20, 63, 113]. Процес горіння іскри складається з ємнісної та індуктивної фази. Ємнісна фаза триває кілька мікросекунд. Індуктивна фаза набагато триваліша (1–2 мс). Експериментально, з використанням осцилографа С1-114, визначено, що основні частотні гармоніки, які складають інтерес з точки зору діагностування, містяться в індуктивній фазі. Крім цього, для розгляду частотного спектру ємнісної фази потрібне

обладнання з високочастотним аналогово-цифровим перетворювачем, яке є досить дорогим, а для індуктивної фази надмірне збільшення частоти дискретизації призведе до значного збільшення об'ємів розрахунків.

Отже, для дослідження приймаємо діапазон частот, який містить складові гармоніки індуктивної фази іскроутворення. Межі даного діапазону частот визначені експериментально, виходячи з критерію впливу несправностей системи запалювання на зміну гармонік частотного спектру в конкретних діапазонах частот. Сигнал напруги системи запалювання зчитувався по чергово з різними частотами дискретизації (від 10 кГц до 1 МГц). Для цього використовувався цифровий аналізатор, описаний в розділі 4. Для підтвердження достовірності досліджень використовувався осцилограф С1-114. Таким чином експериментально визначено, що діапазон частот, який складає інтерес для дослідження складових гармонік індуктивної фази горіння іскри міститься в межах від 5 до 60 кГц. На рис. 3.12 показані приклади частотних спектрів сигналу напруги системи запалювання, зчитаного з різною частотою дискретизації. З наведених графіків можна зробити висновок, що найбільш оптимальною є частота дискретизації 125 кГц. При такій частоті дискретизації виконується умова адекватності представлення аналогового сигналу його дискретними вибірками [7, 87]. Це дає можливість детального дослідження спектру частот в діапазоні до 60 кГц. Збільшення частоти дискретизації призводить до необґрунтованого збільшення масивів даних, що поступають у пам'ять ПК, оскільки в діапазоні частот вище 60 кГц відсутні складові гармоніки частотного спектру. При низькій частоті дискретизації проходить переплутування низькочастотних і високочастотних складових сигналу і графік спектральної щільності потужності втрачає свою форму.

Для визначення параметрів математичної моделі (див. п. 2.3) графік спектральної щільності потужності поділяється на окремі діапазони частот (рис. 2.10). Вплив кожної окремої несправності на визначений діапазон ча-



стот можна виявити використовуючи цифровий фільтр. Для розгляду необхідного діапазону частот спектральної щільності потужності використаємо смуговий фільтр, який дає можливість розглядати поведінку графіка спектральної щільності потужності в діапазоні смуги пропускання фільтра.

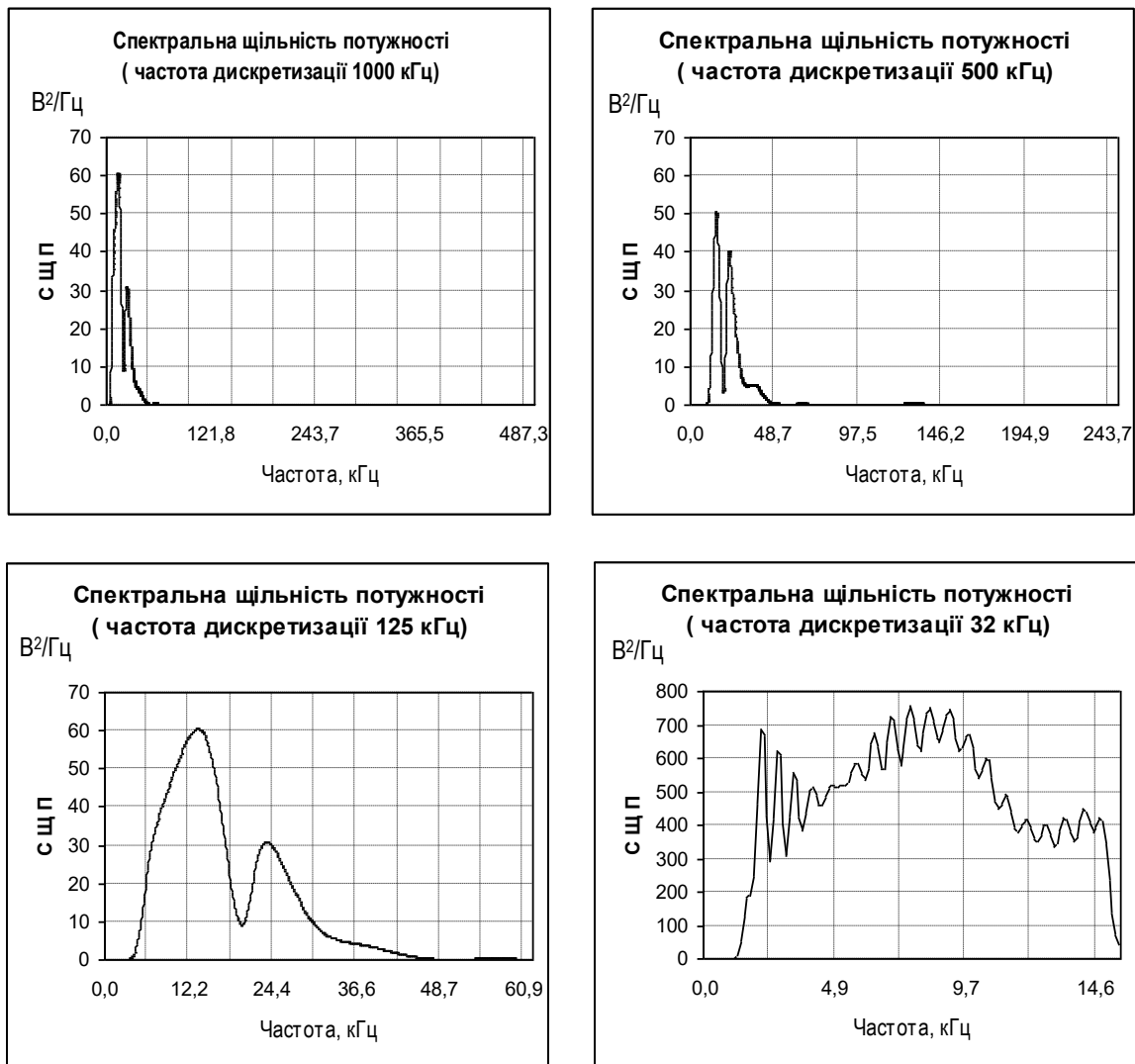


Рис. 3.9. Частотні спектри сигналу напруги системи запалювання, зчитаного з різною частотою дискретизації

Для фільтрування сигналу використовується не рекурсивний фільтр з лінійною фазочастотною характеристикою. Визначення відповідних коефіцієнтів фільтра та процес фільтрування сигналу виконується в порядку,

описаному в п. 3.1.

Як приклад, покажемо аналіз частотного спектру сигналу напруги системи запалювання при справній системі та при наявності несправності. Для цього сигнал напруги первинного кола системи запалювання по чергово пропустимо через смуговий фільтр, смуга пропускання якого визначена в долях від частоти дискретизації:

$$(0,04 f_{\delta} \dots 0,16 f_{\delta}) \leftrightarrow (5 \text{ кГц} \dots 20 \text{ кГц});$$

$$(0,16 f_{\delta} \dots 0,32 f_{\delta}) \leftrightarrow (20 \text{ кГц} \dots 40 \text{ кГц});$$

$$(0,32 f_{\delta} \dots 0,5 f_{\delta}) \leftrightarrow (40 \text{ кГц} \dots 60 \text{ кГц}).$$

Після кожного пропускання через смуговий фільтр визначимо СЦП в цьому діапазоні частот. На рис. 3.10 показані графіки спектральної щільності потужності при пропусканні сигналу напруги через відповідний смуговий фільтр. Аналіз приведених графіків підтверджує те, що несправності системи запалювання по-різному впливають на окремі діапазони частот спектральної щільності потужності.

#### 3.4. Врахування граничних умов та супутніх факторів при використанні методу

Використання запропонованого методу діагностування системи запалювання може бути здійснене при виконанні деяких граничних умов. Ці граничні умови передбачають те, що деякі параметри системи запалювання повинні бути визначені загальноприйнятими методами перед використанням запропонованого методу і ці параметри повинні знаходитись в допустимих межах.

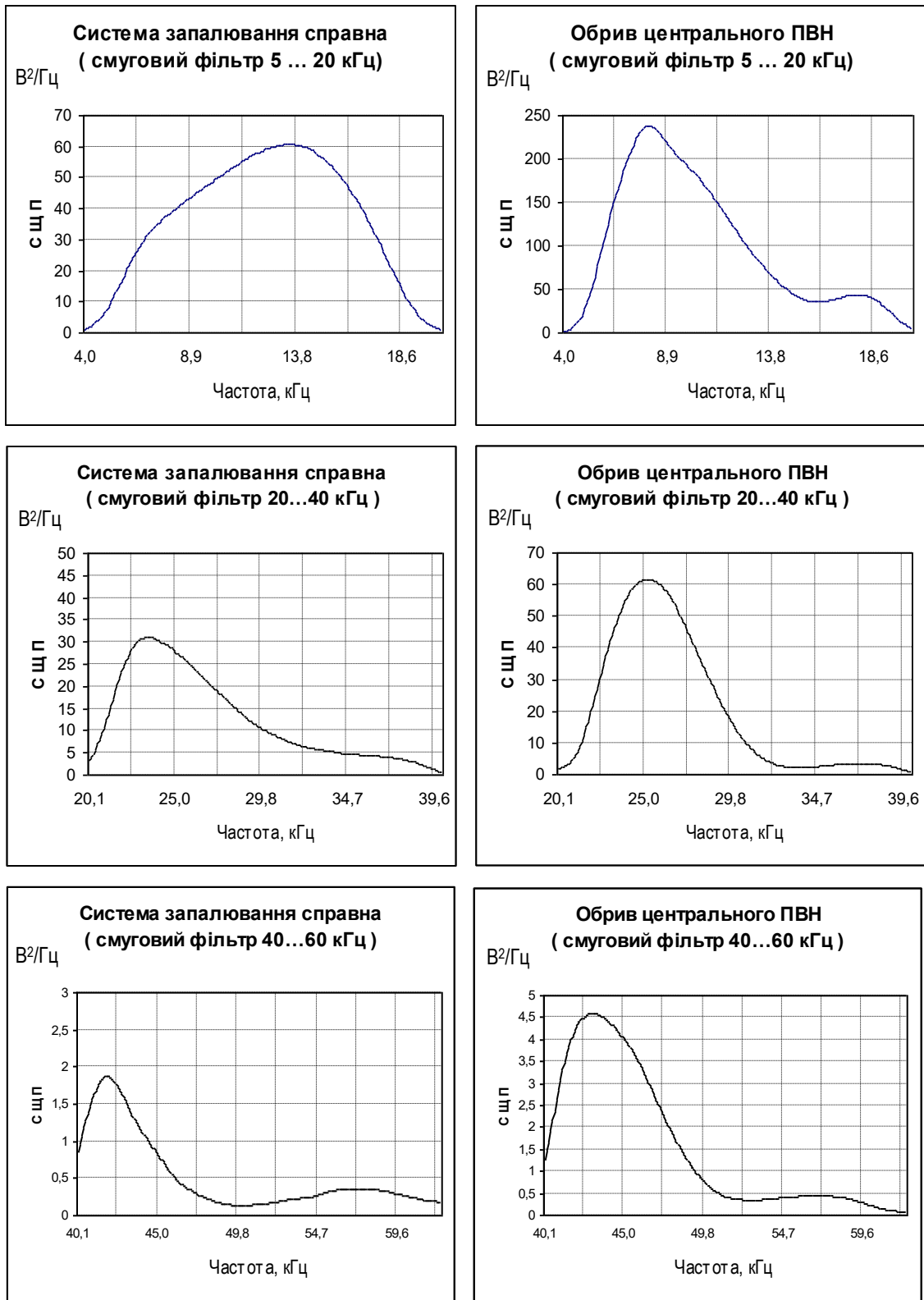


Рис. 3.10. Вплив несправностей системи запалювання на окремі діапазони частотного спектру

Врахування граничних умов передбачає визначення правильності функціонування елементів первинного кола системи запалювання. Мається на увазі правильність функціонування синхронізуючого імпульсу, який керує первинною обмоткою котушки запалювання. На даний час існує багато загальновідомих методів визначення цих параметрів. Ця процедура також може бути автоматизованою, але без застосування методів спектрального аналізу.

Отже, приведемо перелік параметрів, які будуть визначатись стандартними методами і які можна віднести до граничних умов використання запропонованого методу (в залежності від типу системи запалювання):

- кут випередження запалювання;
- кут замкнутого стану контактів переривника і асинхронізм іскроутворення;
- керуючий імпульс датчика Хола;
- синхронізуючий імпульс, який керує первинною обмоткою котушки запалювання.

Врахування граничних умов при діагностуванні системи запалювання може бути здійснене таким чином. З системи запалювання необхідно зчитати такі сигнали (в залежності від типу системи запалювання):

- сигнал верхньої мертвої точки (ВМТ) першого циліндра;
- сигнал моменту іскроутворення у першому циліндрі;
- сигнал зміни напруги у первинному колі системи запалювання;
- керуючий імпульс датчика Хола;
- осцилограму струму у первинному колі системи запалювання;

Всі вище перелічені сигнали можуть бути зчитані з застосуванням цифрового аналізатора, описаного в розділі 4, і передані в пам'ять ПК у цифровому вигляді. Наявність такої інформації дасть можливість врахувати граничні умови застосування запропонованого методу.

Розглянемо порядок врахування цих факторів.

Кут випередження запалювання. Для визначення цієї величини враховуються два сигнали: сигнал ВМТ першого циліндра та сигнал іскроутворення у першому циліндрі. Сигнал ВМТ першого циліндра може бути отриманий від сенсора ВМТ (початку відліку), яким обладнуються практично всі сучасні автомобілі. Сигнал іскроутворення у першому циліндрі зчитується за допомогою індуктивного сенсора, який приєднується до проводу високої напруги першого циліндра. Різниця в часі між цими двома сигналами і частота обертів колінчатого вала будуть визначати величину кута випередження запалювання.

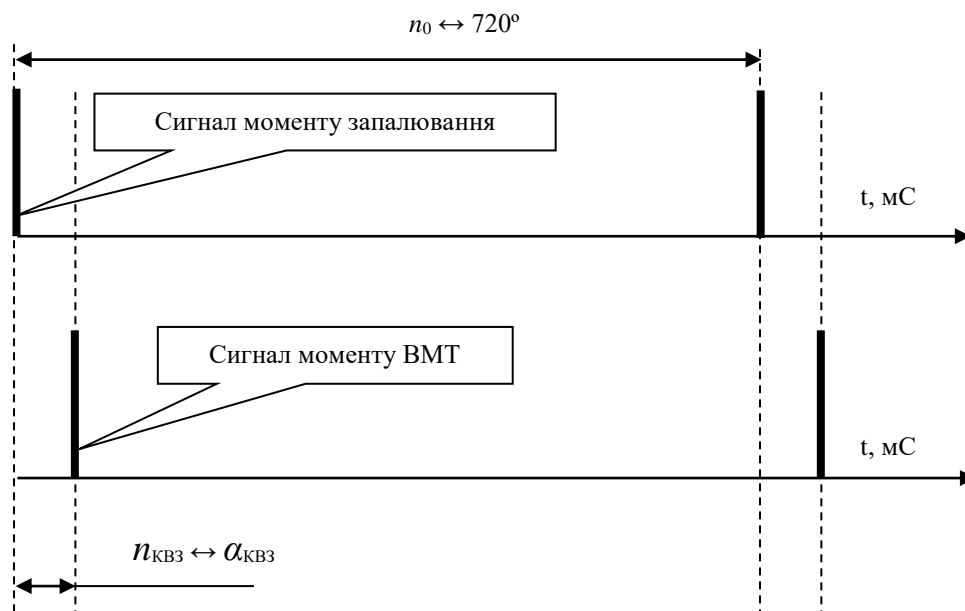


Рис. 3.11. Визначення кута випередження запалювання

Величина кута випередження запалювання в градусах  $\alpha_{KB3}$  практично може бути визначена, виходячи з кількості вибірок, які містяться в кожному цифровому сигналі при однаковій частоті дискретизації цих сигналів. Процедура визначення кута  $\alpha_{KB3}$  показана на рис. 3.11. Величину кута випередження запалювання можна визначити по співвідношенню:

$$\alpha_{KB3} = \frac{n_{KB3} \cdot 720}{n_0}, \quad (3.16)$$

де  $n_{KB3}$  – кількість вибірок сигналу моменту запалювання, яка міститься між двома піками сигналів (сигналу моменту запалювання та сигналу ВМТ);

$n_0$  – кількість вибірок між двома піками сигналу моменту запалювання, яка відповідає одному повному робочому циклу двигуна.

Якщо автомобіль не обладнаний сенсором ВМТ, то момент іскроутворення у першому циліндрі (відповідно і кут випередження запалювання) визначається за допомогою приладу стробоскоп, освічуючи установочні мітки моменту запалювання.

Кут замкнутого стану контактів переривника і асинхронізм іскроутворення. Ця величина визначається тільки для контактних систем запалювання. Кут замкнутого стану контактів переривника  $\alpha_{ЗСК}$ , як і асинхронізм іскроутворення  $\Delta\alpha$ , можна визначити для кожного циліндра окремо. Для цього необхідно розглянути цифровий сигнал зміни напруги у первинному колі системи запалювання (рис. 3.12). Величину кута замкнутого стану контактів можна визначити по співвідношенню:

$$\alpha_{ЗСК}^m = \frac{n_{ЗСК}^m \cdot (720 / M)}{n_z^m}, \quad \Delta\alpha = \alpha_{ЗСК}^{\max} - \alpha_{ЗСК}^{\min}, \quad (3.17)$$

де  $n_{ЗСК}^m$  – кількість вибірок в одній реалізації, що відповідає замкнутому стану контактів переривника;

$n_z^m$  – загальна кількість вибірок цієї реалізації;

$m$  – номер циліндра двигуна;

$M$  – кількість циліндрів двигуна.

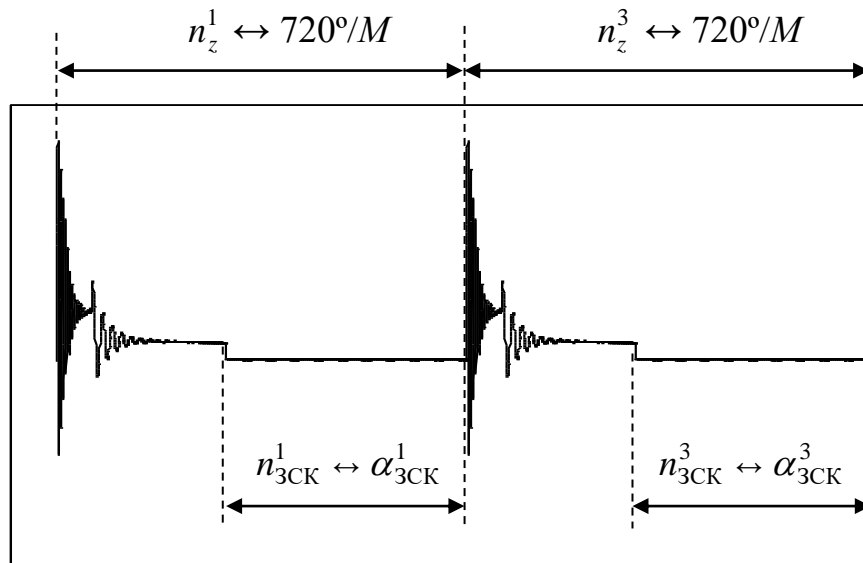


Рис. 3.12. Визначення кута замкнутого стану контактів переривника та асинхронізму іскроутворення

Керуючий імпульс датчика Хола. Правильність керуючого сигналу датчика Хола може бути визначена за такими критеріями (рис. 3.13):

а) відношення максимальної напруги керуючого імпульсу до мінімальної повинно знаходитись у допустимих межах:

$$\lambda = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} \approx \lambda_{\text{доп}} ; \quad (3.18)$$

б) скважність імпульсів при будь-якій частоті обертів колінчатого вала повинна бути постійною. Вона може бути визначена виходячи з кількості вибірок сигналу:

$$\Delta = \frac{n_z}{n_B} \approx \text{const} ; \quad (3.19)$$

в) мінімальна і максимальна напруга повинні знаходитись в допустимих межах:

$$\begin{aligned} U_{\max}^H &\leq U_{\max} \leq U_{\max}^B, \\ U_{\min}^H &\leq U_{\min} \leq U_{\min}^B, \end{aligned} \quad (3.20)$$

де  $U^H, U^B$  – нижня і верхня границя допустимих меж напруги.

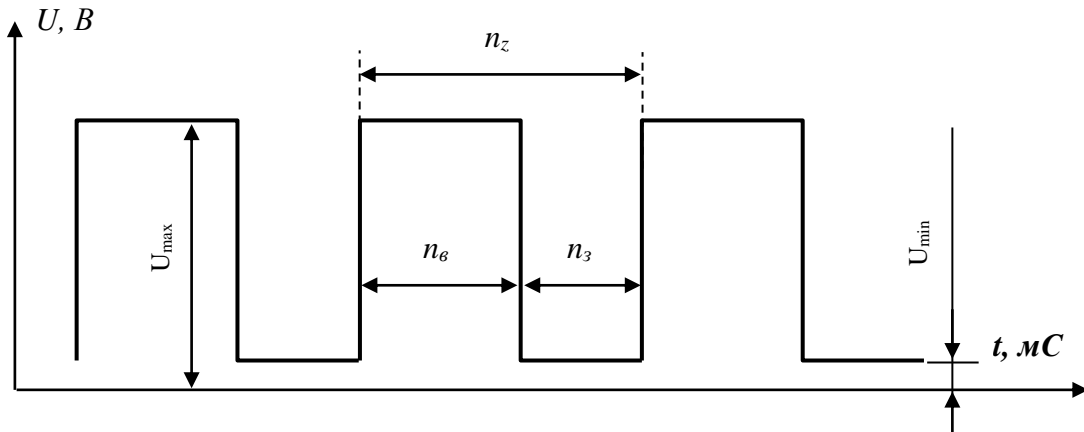


Рис. 3.13. Визначення правильності керуючого імпульсу датчика Хола

При необхідності правильність керуючого імпульсу датчика Хола може бути визначена візуально.

Синхронізуючий імпульс, який керує первинною обмоткою котушки запалювання. З точки зору визначення несправностей це основний параметр, що характеризує технічний стан елементів первинного кола системи запалювання. Відповідність цього параметра технічним умовам свідчить про те, що всі елементи первинного кола технічно справні. Цей параметр можна оцінити по швидкості наростання струму у первинному колі системи та по максимальній величині сили струму  $I_{\max}$  в момент розриву первинного кола (рис. 3.14):

$$\tau = \frac{I_{\max}}{n_i} \geq \tau_{\text{доп}}, \quad I_{\max} \approx I_{\text{доп}}, \quad (3.21)$$

де  $n_i$  – кількість вибірок в період зростання струму в первинному колі.



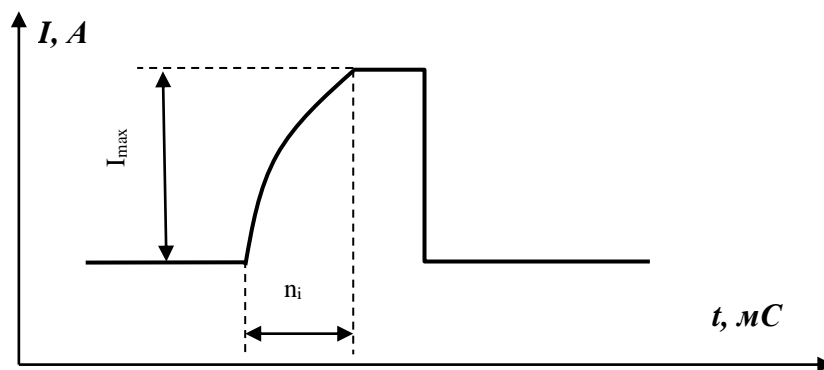


Рис. 3.14. Визначення характеристик осцилограми струму у первинному колі системи запалювання.

При діагностуванні системи запалювання також необхідно врахувати супутні фактори, які будуть впливати на характер зміни напруги первинного кола системи запалювання. Такі фактори описані в п. 2.1. До них відносяться:

- тиск в камері згоряння;
- температура робочої суміші;
- якість робочої суміші;
- режим роботи двигуна.

Тиск в камері згоряння. Ця величина безпосередньо впливає на величину пробивної напруги. Із зростанням тиску пробивна напруга збільшується (див. рис. 2.2). Отже, в будь-яких двох циліндрах при однакових параметрах системи запалювання, але з різним тиском у камері згоряння, характеристики зміни напруги в системі будуть різними. Тиск у камері згоряння залежить від величини компресії у циліндрі та температури робочої суміші. Врахувати величину тиску в камері згоряння можна таким чином:

- визначення відносної компресії в циліндрах двигуна при прокручуванні колінчатого вала стартером [36, 75]. При цьому визначається сила струму, яку споживає стартер у момент такту стискування в кожному

циліндрі. Величина сили струму визначається за допомогою сенсора приєднаного до проводу, що з'єднує акумуляторну батарею та стартер. При цьому повинна виконуватись умова:  $I_1 \approx I_2 \approx \dots \approx I_M$  ( $M$  – кількість циліндрів);

○ при необхідності може бути визначена величина абсолютної компресії в кожному циліндрі двигуна з використанням приладу компресометр.

Температура робочої суміші. Ця величина залежить від тиску в камері згоряння, температури охолоджуючої рідини і температури повітря навколишнього середовища.

Однією з умов діагностування системи запалювання є те, що двигун повинен бути прогрітим до робочої температури.

Експериментально визначено, що температура навколишнього середовища не впливає на частотні характеристики спектральної щільності потужності сигналу напруги системи запалювання.

Якість робочої суміші. Якість робочої суміші характеризує технічний стан системи живлення. Правильне співвідношення повітря і бензину на різних режимах роботи двигуна може бути визначене різними методами:

*a)* діагностування двигуна по складу відпрацьованих газів із застосуванням приладу газоаналізатор. При такому діагностуванні бажано користуватися двох або чотирьохкомпонентним газоаналізатором, який може визначати вміст CO, CH, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> у відпрацьованих газах. Технологія діагностування двигуна по складу відпрацьованих газів описана в [2, 96, 97, 99];

*b)* діагностування електромагнітних форсунок впорскування бензину. Визначення технічного стану форсунок впорскування бензину може бути виконане методами, описаними в [2, 92, 93]. Одним з параметрів діаг-

ностування форсунок є перевірка правильності керуючого імпульсу від електронного блоку керування. Цей параметр можна перевірити з застосуванням цифрового аналізатора.

Режим роботи двигуна. Діагностування системи запалювання може виконуватись в декількох режимах:

- режим холостого ходу;
- режим максимального прискорення;
- режим максимальних обертів.

Для достовірного визначення технічного стану системи запалювання процедура діагностування спочатку виконується в режимі холостого ходу, а потім у режимі максимального прискорення та максимальних обертів.

### 3.5. Розробка алгоритму діагностування системи запалювання

Для можливості автоматизованого визначення несправностей системи запалювання необхідно створити інформаційну базу даних, яка буде містити параметри математичної моделі, що відповідають типовим несправностям системи запалювання (див. (2.23)). Процедура створення такої бази даних описана блок-схемою на рис. 3.15. На рис. 3.16. зображена блок-схема автоматизованого порівняння параметрів математичної моделі досліджуваного та еталонного сигналів.

Створення описаної бази даних дозволяє удосконалити процес діагностування системи запалювання і розробити алгоритм автоматизованого пошуку несправностей у системі.

Одними з основних критеріїв удосконалення алгоритму діагностування системи запалювання є зменшення числа елементарних перевірок та оптимізація їх послідовності з метою зменшення трудомісткості процесу діагностики без зменшення критерію достовірності.

Оптимізація алгоритму діагностування системи запалювання пов'язана з великою кількістю обчислень, що є негативним критерієм трудомісткості діагностичних робіт, але сучасний рівень і темпи удосконалення обчислювальної техніки дозволяють суттєво зменшити вагу цього критерію.

У висновку про технічний стан системи запалювання обов'язково враховуються граничні умови та супутні фактори, описані в п. 3.4. Аналіз граничних умов виконується перед визначенням спектральних характеристик сигналу напруги системи запалювання. Якщо граничні умови не виконуються (синхронізуючий імпульс керування первинною обмоткою котушки запалювання не відповідає технічним вимогам), то застосування методу порівняння спектральних характеристик досліджуваного та еталонного сигналів не має смислу. У такому випадку необхідно визначити місце несправності у елементах первинного кола системи. Така несправність також може бути визначена в автоматизованому порядку, як описано в п. 3.4.

Врахування супутніх факторів виконується як перед оцінкою спектральних характеристик так і після цього. Якщо супутні фактори, які впливають на характер зміни напруги в системі запалювання, відповідають технічним вимогам, то подальше порівняння спектральних характеристик дає достовірну оцінку технічного стану системи з визначенням місця та можливої причини несправності. Якщо супутні фактори не відповідають технічним умовам, то комплексний аналіз спектральних характеристик і супутніх факторів, а також порівняльний аналіз у різних циліндрах двигуна дозволяє локалізувати місце несправності, що значно полегшує її подальший пошук.

Отже, алгоритм автоматизації оцінки діагностичних параметрів системи запалювання можна описати в порядку, представленому блок-схемою на рис. 3.17.

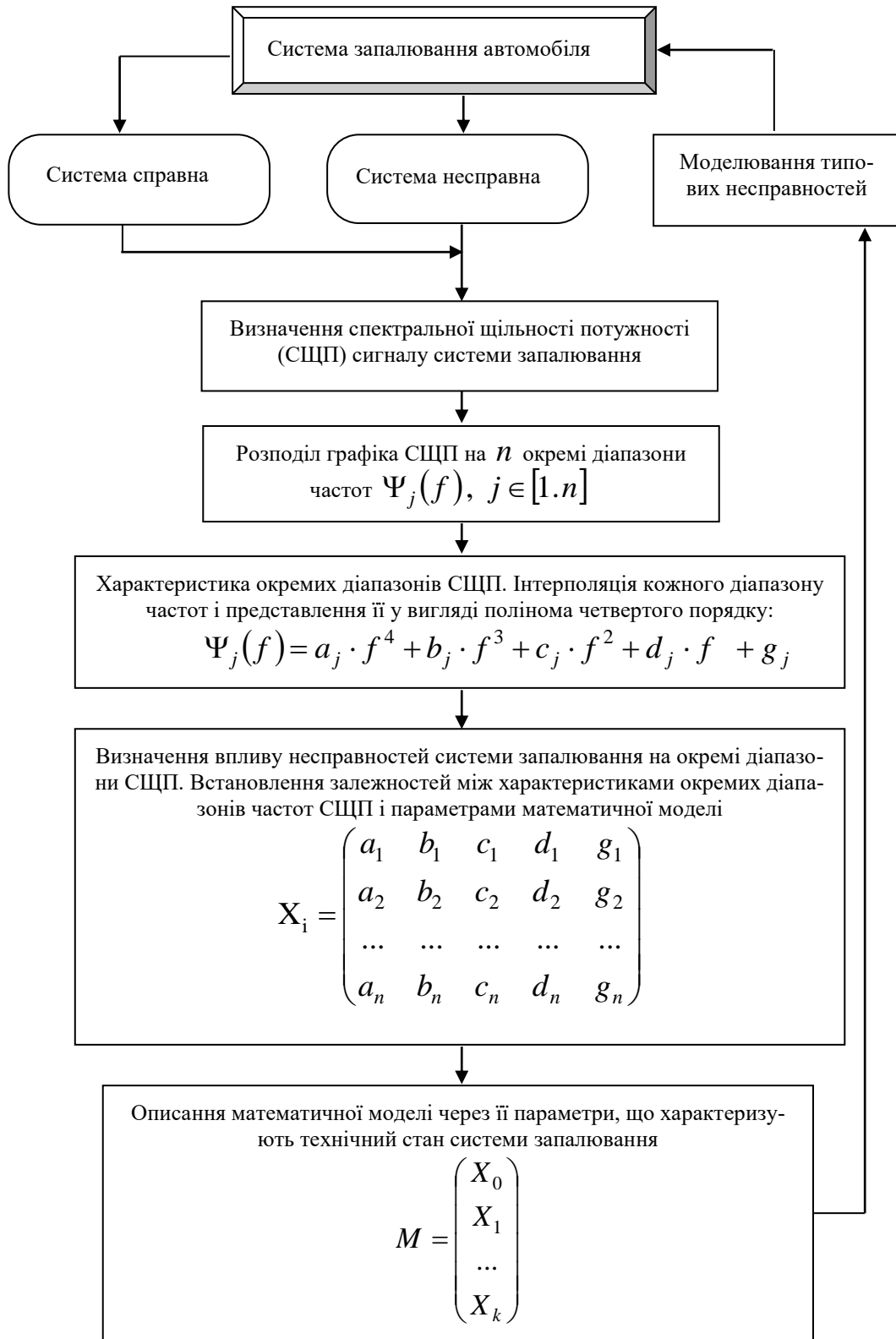


Рис. 3.15. Блок-схема створення інформаційної бази даних параметрів математичної моделі

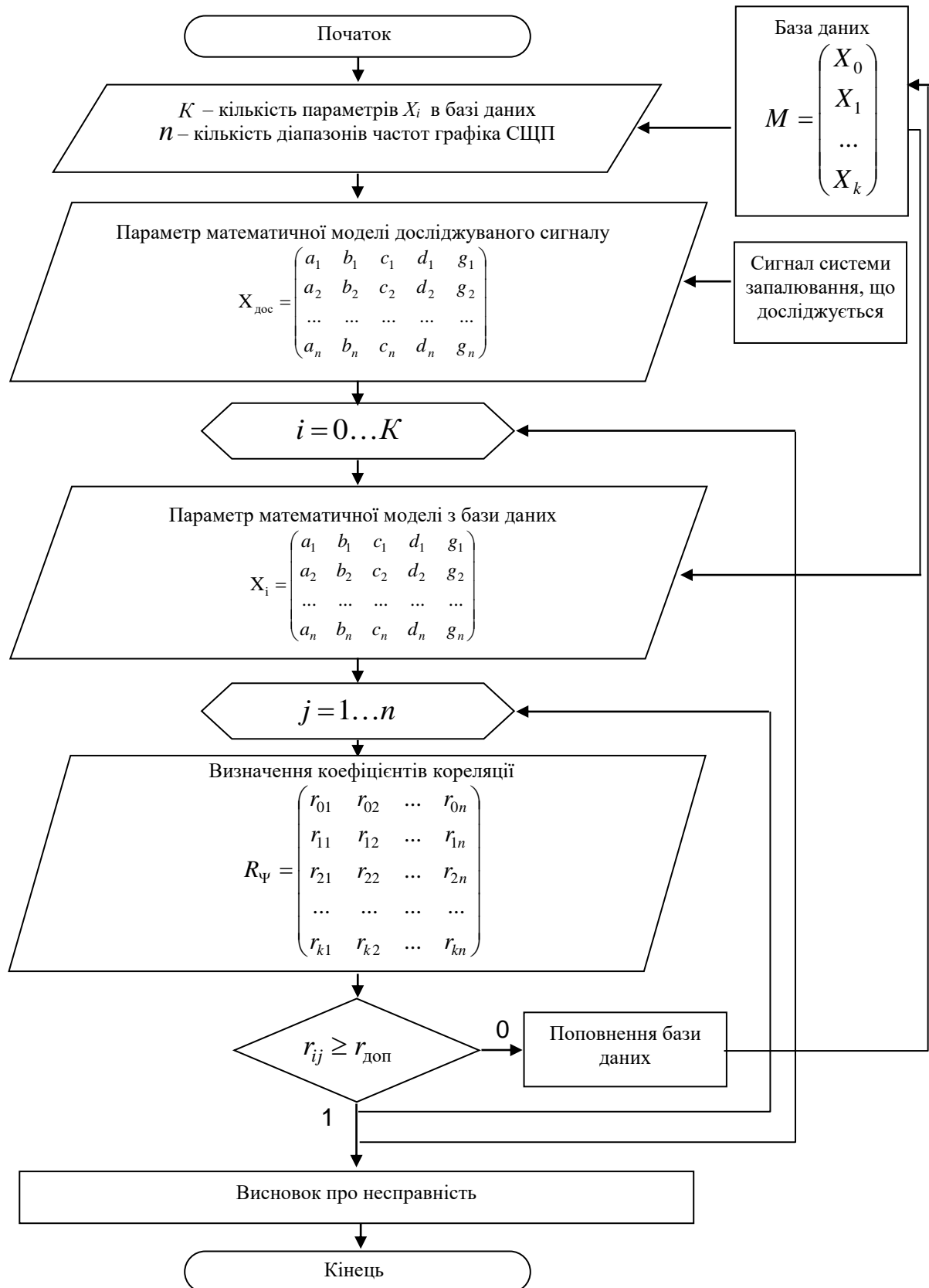


Рис. 3.16. Блок-схема автоматизованого порівняння параметрів математичної моделі та поповнення бази даних

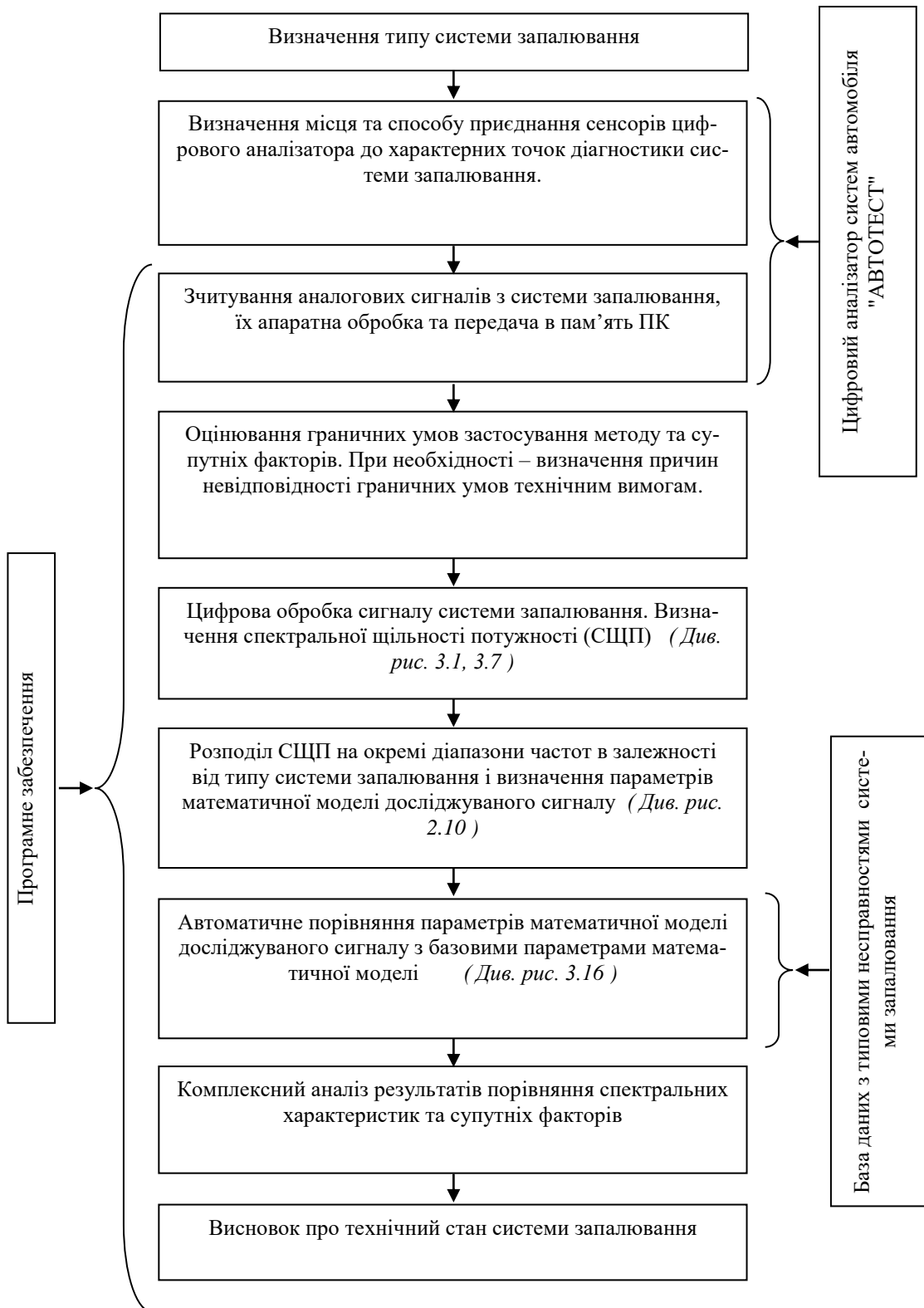


Рис. 3.17. Блок-схема алгоритму автоматизованого діагностування системи запалювання

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

1. Для підвищення достовірності діагностичної інформації виконується накопичення і усереднення окремих реалізацій іскроутворення. Для цього, при змінній частоті обертів колінчатого вала, в окремих реалізаціях змінюється частота дискретизації і кількість вибірок в цих реалізаціях приводиться до однієї – базової.
2. Для описання спектральних характеристик сигналу напруги системи запалювання вибрана спектральна щільність потужності, визначена за методом Уелча. Обчислення спектральних характеристик доцільно здійснювати з використанням швидких алгоритмів. Це дасть можливість відобразити динаміку їх зміни в реальному часі.
3. Аналіз частотного спектру сигналу іскроутворення показує, що різні несправності системи запалювання по-різному впливають на окремі діапазони частот в межах 5–60 кГц. Це дає можливість обмежити об'єм діагностичної інформації і визначити ті діапазони частот, які складають інтерес при діагностуванні системи методом порівняння спектрів сигналів.
4. Застосування методу діагностування системи запалювання порівнянням спектрів сигналів можливе при виконанні деяких граничних умов, які передбачають перевірку функціонування елементів первинного кола загальноприйнятими методами, але також в автоматизованому режимі.
5. При діагностуванні системи запалювання враховуються супутні фактори, тобто вплив на діагностичний параметр інших систем двигуна. Ці фактори оцінюються загальноприйнятими функціями мотор-тестера. Діагностування системи запалювання є складовою частиною комплексної діагностики двигуна, на основі чого робляться діагностичні висновки.



6. На базі математичної моделі автоматизованого діагностування системи запалювання розроблені алгоритми діагностичних процедур на всіх етапах процесу діагностування. Алгоритми працюють в діалоговому режимі і орієнтовані на автоматизацію визначення технічного стану системи запалювання.

## 4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Суть проведених експериментальних досліджень полягає у визначенні спектральних характеристик сигналу напруги системи запалювання у різних умовах і визначенні впливу несправностей досліджуваної системи на ці характеристики, що описуються параметрами математичної моделі.

У даному розділі описані результати діагностування систем запалювання різного типу, показані результати застосування алгоритму усереднення окремих реалізацій системи при змінній частоті обертів колінчатого вала двигуна, а також результати визначення несправностей методом автоматичного порівняння параметрів математичної моделі взірцевого і досліджуваного сигналів напруги первинного кола. Показані результати створення бази параметрів математичної моделі для різних типів систем запалювання в справному і несправному стані. Особливості конструкцій цих систем та методів їх діагностування описані в п. 1.2 та в п. 4.2.

### 4.1. Діагностування контактної системи запалювання

Діагностування контактної системи запалювання виконувалось на автомобілі ВАЗ-2107.

Контактна система запалювання характеризується відсутністю в своїй конструкції електронних компонентів і наявністю контактної переривника. Така конструкція визначає особливі вимоги до технічного стану елементів первинного кола: кут замкнутого стану контактів, технічний стан контактів, технічний стан конденсатора, додаткового опору та ін. Всі ці параметри безпосередньо впливають на характер зміни напруги у первинному колі, а відповідно і на його частотні характеристики.

Згідно з алгоритмом, описаним в п. 3.5 першим етапом діагностуван-

ня є зчитування з системи запалювання необхідних сигналів за допомогою цифрового аналізатора "Автотест", апаратної обробки цих сигналів і передачі їх в пам'ять ПК.

Для діагностування контактної системи запалювання зчитуються сигнал зміни напруги в первинному колі та імпульс моменту іскроутворення у першому циліндрі.

Для зчитування сигналу первинної напруги використовується сенсор типу "крокодил", який необхідно приєднати до первинного кола. В контактній системі запалювання вимірюється зміна напруги на плюсовому контакті переривника. Місцем приєднання сенсора є клемма первинної обмотки котушки запалювання. Схема приєднання сенсора та цифрового аналізатора при зчитуванні сигналу первинного кола системи запалювання показана на рис. 5.1.

Для зчитування сигналу моменту іскроутворення у першому циліндрі двигуна використовується індуктивний сенсор, який приєднується до проводу високої напруги першого циліндра.

На рис. 5.2. показаний цифровий сигнал напруги первинного кола системи запалювання. При зчитуванні сигналу з системи запалювання в цифровому аналізаторі програмно була встановлена частота дискретизації 125 кГц. Період дискретизації відповідно до (3.4) буде рівним:

$$T_{\delta} = \frac{1}{125} = 0,008 \text{ (мс)}.$$

Переданий в пам'ять ПК сигнал є цифровим. Тому він може бути представлений як послідовність вибірок напруги первинного кола в визначені моменти часу, рівні періоду дискретизації –  $y(k) = U(kT)$ , де  $k = 0 \dots (N - 1)$ .

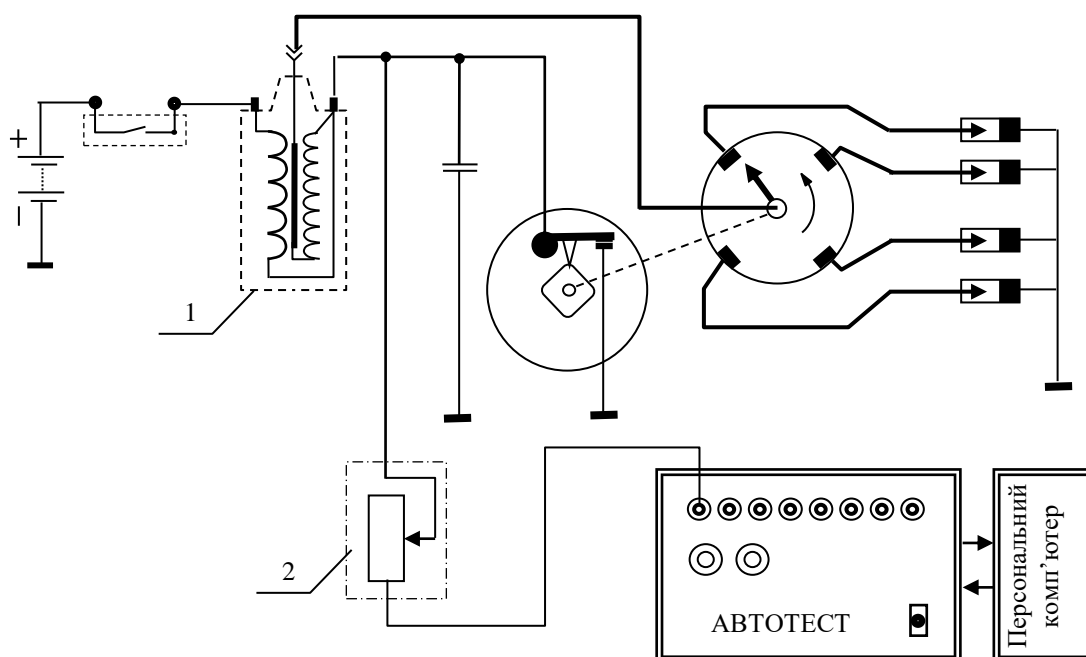


Рис. 5.1. Схема приєднань сенсора і цифрового аналізатора до первинного кола системи запалювання:

1 – котушка запалювання; 2 – дільник напруги.



Рис. 5.2. Сигнал напруги первинного кола системи запалювання

Масив даних для подальшої цифрової обробки сигналу представлений в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

## Значення вибірок сигналу первинного кола системи запалювання

Номер вибірки $k$	Час вибірки $kT$ , мс	Значення вибірки $U(kT)$ , В
0	0	0,1
1	0,008	148,6
2	0,016	204,8
...	...	...
$N-1$	$(N-1) \cdot 0,008$	0

Для проведення цифрової обробки сигнал системи запалювання необхідно поділити на окремі реалізації по кожному циліндру двигуна. Такий розподіл проводимо відповідно з матрицею (3.2). В результаті отримуємо чотири масиви відповідно до кількості циліндрів двигуна (див. рис. 5.3).

Для зменшення об'єму розрахунків, як приклад, покажемо обробку сигналів першого і четвертого циліндрів двигуна. У двох інших циліндрах порядок дій буде аналогічним.

Кількість окремих реалізацій для кожного циліндра двигуна буде залежати від загального часу накопичення інформації. Але для подальшої обробки і усереднення реалізацій по кожному циліндру необхідно вибрати кінцеве значення кількості реалізацій. Прийmemo кількість реалізацій усереднення для кожного циліндра – десять.

Результати розподілу сигналу первинного кола системи запалювання на окремі реалізації приведені в табл. 5.2.

З табл. 5.2 видно, що кількість вибірок у кожній реалізації одного циліндра різна. Це пов'язано з тим, що частота обертів колінчатого вала двигуна змінюється, а частота дискретизації аналогового сигналу залишається сталою. В даному випадку частота дискретизації рівна 125 кГц.

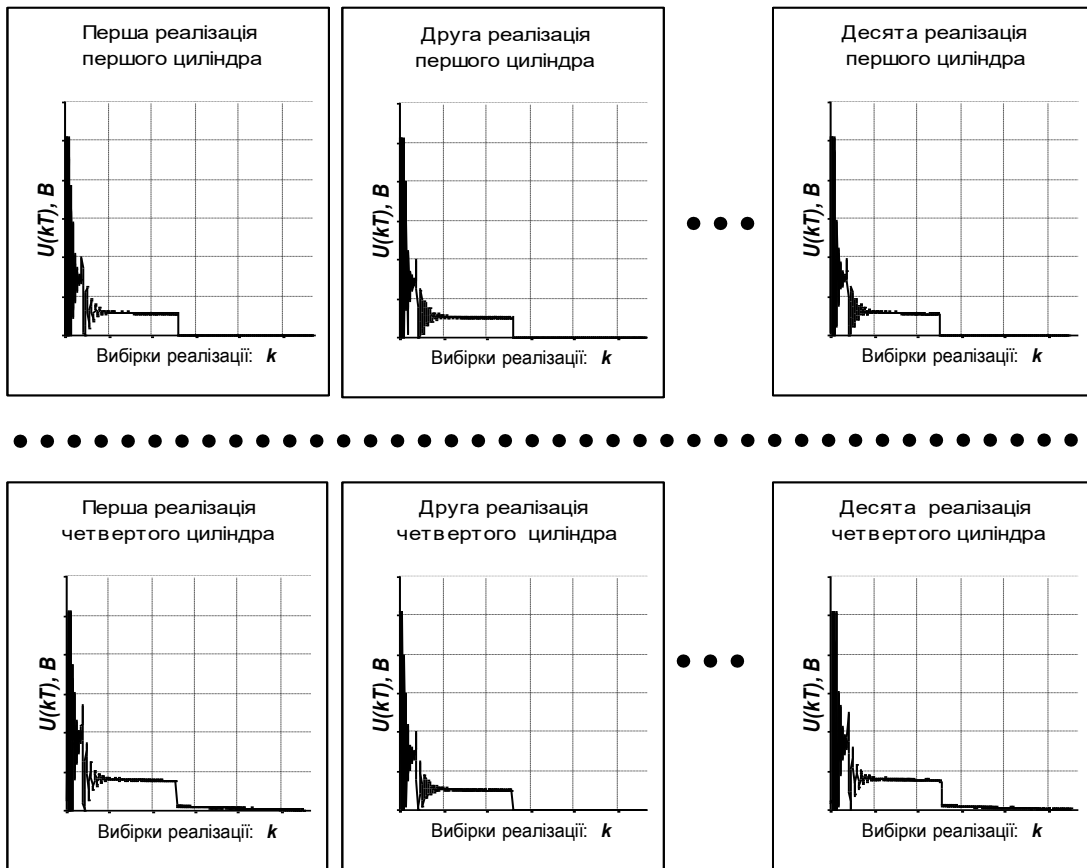


Рис. 5.3. Розподіл сигналу системи запалювання на окремі реалізації

Виходячи з цього відповідно до формули (3.2), можна визначити час, що припадає на одну реалізацію – інтервал аналізу реалізації :

Для першого циліндра:

$$t_1^1 = 1142 \cdot \frac{1}{125} = 9,136 (\text{мС}); \quad t_2^1 = 1086 \cdot \frac{1}{125} = 8,688 (\text{мС});$$

$$t_{10}^1 = 994 \cdot \frac{1}{125} = 7,952 (\text{мС});$$

Для четвертого циліндра:

$$t_1^4 = 1158 \cdot \frac{1}{125} = 9,264 (\text{мС}); \quad t_2^4 = 1092 \cdot \frac{1}{125} = 8,736 (\text{мС});$$

$$t_{10}^4 = 1008 \cdot \frac{1}{125} = 8,064 (\text{мС});$$

Таблиця 5.2

## Розподіл сигналу напруги первинного кола на окремі реалізації

	Перша реалізація		Друга реалізація		...	Десята реалізація	
	N п/п	Значення вибірки	N п/п	Значення вибірки		N п/п	Значення вибірки
1 циліндр	0	0,1	0	0,1	...	0	0,1
	1	148,6	1	138		1	145,4
	2	204,8	2	197,2		2	202,2
	...	...	...	...		...	...
	1141	0	1085	0		993	0
...	...	...	...	...	...	...	
4 циліндр	0	0,1	0	0,1	...	0	0,1
	1	125,6	1	112,5		1	98,6
	2	198,2	2	167,3		2	192,4
	...	...	...	...		...	...
	1157	0	1091	0		1007	0

Результати розрахунків інтервалів аналізу для різних реалізацій приведені в табл. 5.3.

Проведені розрахунки показують, що інтервал аналізу для кожної реалізації при однаковій частоті дискретизації різний. Для можливості усереднення окремих реалізацій необхідно привести ці реалізації до однієї бази, тобто до однакової кількості вибірок в кожній реалізації.

Таблиця 5.3

## Інтервали аналізу для окремих реалізацій сигналу первинного кола системи запалювання

	Перша реалізація		Друга реалізація		...	Десята реалізація	
	N п/п	Моменти часу вибірок, мС	N п/п	Моменти часу вибірок, мС		N п/п	Моменти часу вибірок, мС
1 циліндр	0	0	0	0	...	0	0
	1	0,008	1	0,008		1	0,008
	2	0,016	2	0,016		2	0,016
	...	...	...	...		...	...
	1141	9,136	1085	8,688		993	7,952
...	...	...	...	...	...	...	
4 циліндр	0	0	0	0	...	0	0
	1	0,008	1	0,008		1	0,008
	2	0,016	2	0,016		2	0,016
	...	...	...	...		...	...
	1157	9,264	1091	8,736		1007	8,064

Для подальшого розгляду будемо приймати тільки ту частину реалі-

зації, яка відповідає розімкненому стану контактів переривника, оскільки при замкненому стані контактів напруга в первинному колі є сталою величиною і ніякої інформації, яка б впливала на спектральні характеристики сигналу, не несе.

Перша реалізація приймається як базова з базовою кількістю вибірок  $N_6 = 698$ . Всі інші реалізації будуть приведені до цієї базової кількості вибірок, що дасть можливість їх усереднити.

Покажемо порядок приведення реалізацій до однієї бази на прикладі другої реалізації першого циліндра, яка зображена на рис. 5.4.

Завдання полягає в передискретизації даної реалізації до кількості вибірок 698. Для цього необхідно збільшити частоту дискретизації в  $p = 698$  раз, після чого провести проріджування і зменшити частоту дискретизації в  $q = 706$  раз. Таким чином кількість вибірок даної реалізації стане 698.

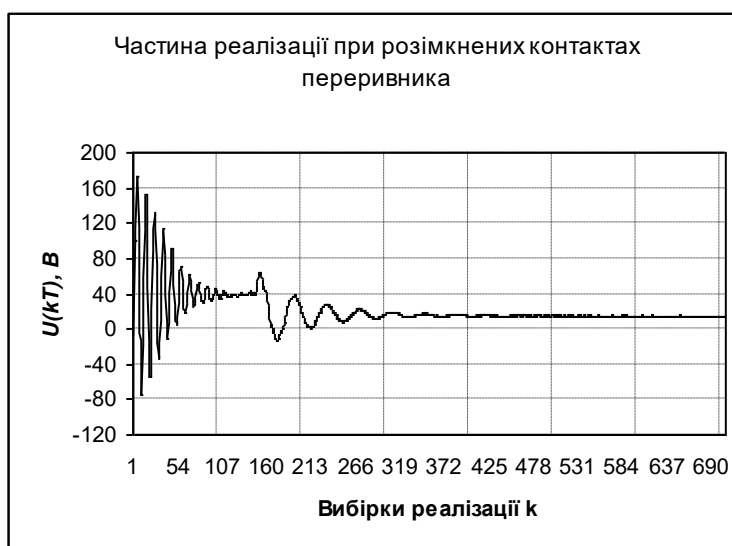


Рис. 5.4. Частина реалізації при розімкнених контактах переривника

Кількість вибірок даної реалізації:  $n = 706$



Період дискретизації:  $T = 0,008(\text{мс})$

Інтервал аналізу:  $t = 706 \cdot 0,008 = 5,648(\text{мс})$

Отже, першим етапом передискретизації є інтерполяція – збільшення частоти дискретизації. Процес інтерполяції дискретного сигналу можна представити як відновлення безперервного сигналу в дискретній області. Спектр дискретного сигналу є періодичним з періодом повторення, що дорівнює частоті дискретизації  $f_{\delta} = 125 \text{ кГц}$ . Збільшення частоти дискретизації проведемо в такому порядку:

1. Між кожними двома вибірками вхідної реалізації вставляємо по  $(p - 1)$  нулів. В нашому випадку – по 697. Таким чином, сигнал "розтягується" і частота його дискретизації стане рівною  $p \cdot f_{\delta} = 698 \cdot 125 = 87250 \text{ кГц}$ . Але при цьому період повторення спектру залишиться попереднім –  $f_{\delta} = 125 \text{ кГц}$ . На рис. 5.5 показаний фрагмент реалізації після додавання нульових вибірок;

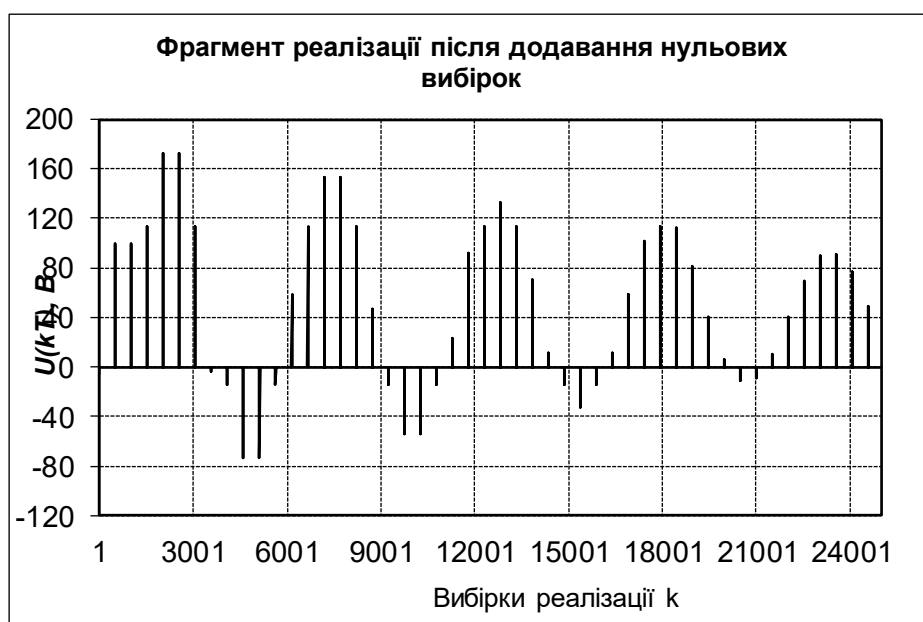


Рис. 5.5. Додавання нульових вибірок і "розтягування" реалізації

2. Оскільки коефіцієнт збільшення частоти дискретизації мен-

ше коефіцієнта зменшення, то, згідно з співвідношенням (3.9), отриманий сигнал необхідно пропустити через фільтр нижніх частот з частотою зрізу

$$f_3 = \left( f_\delta \cdot \frac{p}{q} \right) / 2 = \left( 125 \cdot \frac{698}{706} \right) / 2 = 61,79 \text{ кГц.}$$

Для проведення фільтрування сигналу необхідно підібрати параметри фільтра. Фільтрування сигналу виконуємо з використанням не рекурсивного фільтра нижніх частот. Вибираємо порядок фільтра  $K = 20$ . Розрахунок коефіцієнтів фільтра виконаємо з умови методу найменших квадратів Гауса (див. 3.12). Частота зрізу ФНЧ рівна 61,79 кГц. У табл. 5.4 наведені результати розрахунку коефіцієнтів ФНЧ, а на рис. 5.6 його імпульсна та амплітудно-частотна характеристики.

Таблиця 5.4

Коефіцієнти ФНЧ з частотою зрізу 61,79 кГц

Значення коефіцієнтів		
$a_1 = -0,02179$	$a_8 = 0,023796$	$a_{15} = -0,023638$
$a_2 = 0,0222$	$a_9 = -0,023909$	$a_{16} = 0,023436$
$a_3 = -0,022571$	$a_{10} = 0,023977$	$a_{17} = -0,02319$
$a_4 = 0,022901$	$a_{11} = 0,976$	$a_{18} = 0,022901$
$a_5 = -0,02319$	$a_{12} = 0,023977$	$a_{19} = -0,022571$
$a_6 = 0,023436$	$a_{13} = -0,023909$	$a_{20} = 0,0222$
$a_7 = -0,023638$	$a_{14} = 0,023796$	$a_{21} = -0,02179$

З рис. 5.6 видно, що в реалізованому ФНЧ присутнє явище Гібса – коливання амплітуди, які підсилюються в діапазоні частоти зрізу ФНЧ. Для усунення цього ефекту необхідно використати функцію вікна. В нашому випадку використаємо вікно Хеммінга довжиною ( $K+1 = 21$ ,  $K$  – порядок фільтра). В табл. 5.5 приведені значення елементів вікна Хеммінга, а на рис. 5.7 його графічна реалізація. На рис. 5.8 показана амплітудно-частотна характеристика реалізованого ФНЧ після застосування вікна Хеммінга;

3. В результаті процесу фільтрування отримуємо сигнал з частотою дискретизації  $f'_\delta = f_\delta \cdot \frac{698}{706} = 123,58 \text{ кГц}$ . Кількість вибірок передис-

кретизованого сигналу стане рівною – 698. Фрагмент передискретизованої реалізації показаний на рис. 5.9;

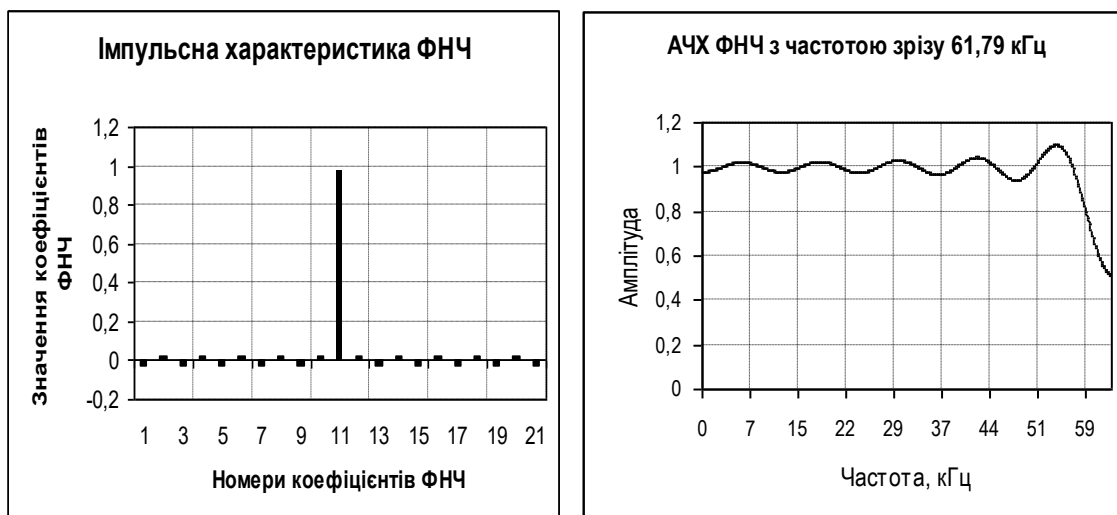


Рис. 5.6. Імпульсна та амплітудно-частотна характеристики ФНЧ з частотою зрізу 45,32 кГц.

Таблиця 5.5

#### Елементи вікна Хеммінга

Значення елементів		
$w_1 = 0.08$	$w_8 = 0.81038$	$w_{15} = 0.68215$
$w_2 = 0.10251$	$w_9 = 0.91215$	$w_{16} = 0.54$
$w_3 = 0.16785$	$w_{10} = 0.97749$	$w_{17} = 0.39785$
$w_4 = 0.26962$	$w_{11} = 1$	$w_{18} = 0.26962$
$w_5 = 0.39785$	$w_{12} = 0.97749$	$w_{19} = 0.16785$
$w_6 = 0.54$	$w_{13} = 0.91215$	$w_{20} = 0.10251$
$w_7 = 0.68215$	$w_{14} = 0.81038$	$w_{21} = 0.08$

4. Аналогічно виконуємо процес зміни частоти дискретизації для інших реалізацій першого циліндра. Таким чином отримуємо визначену кількість реалізацій з однаковою кількістю вибірок, які можуть бути усереднені. Кількість реалізацій, яка приймається для усереднення, вибирається експериментально. Усереднення окремих реалізацій дає можливість виключити з сигналу випадкові складові, які з'являються з причини різних завад, шумів і т.д.



Рис. 5.7. Вікно Хеммінга для обробки ФНЧ

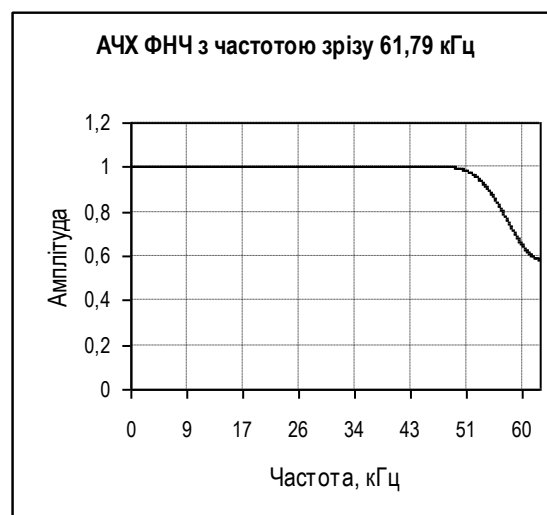


Рис. 5.8. АЧХ ФНЧ після застосування вікна Хеммінга

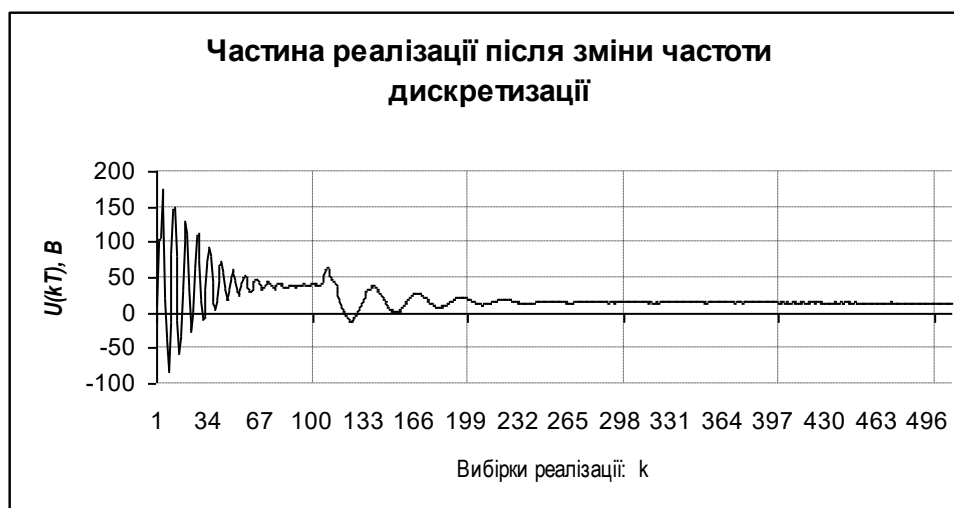


Рис. 5.9. Частина передискретизованої реалізації сигналу системи запалювання

На рис. 5.10 показані усереднені реалізації сигналу первинної напруги контактної системи запалювання. Сигнали системи запалювання зчитані з справної системи та при моделюванні деяких типових несправностей вторинного кола.

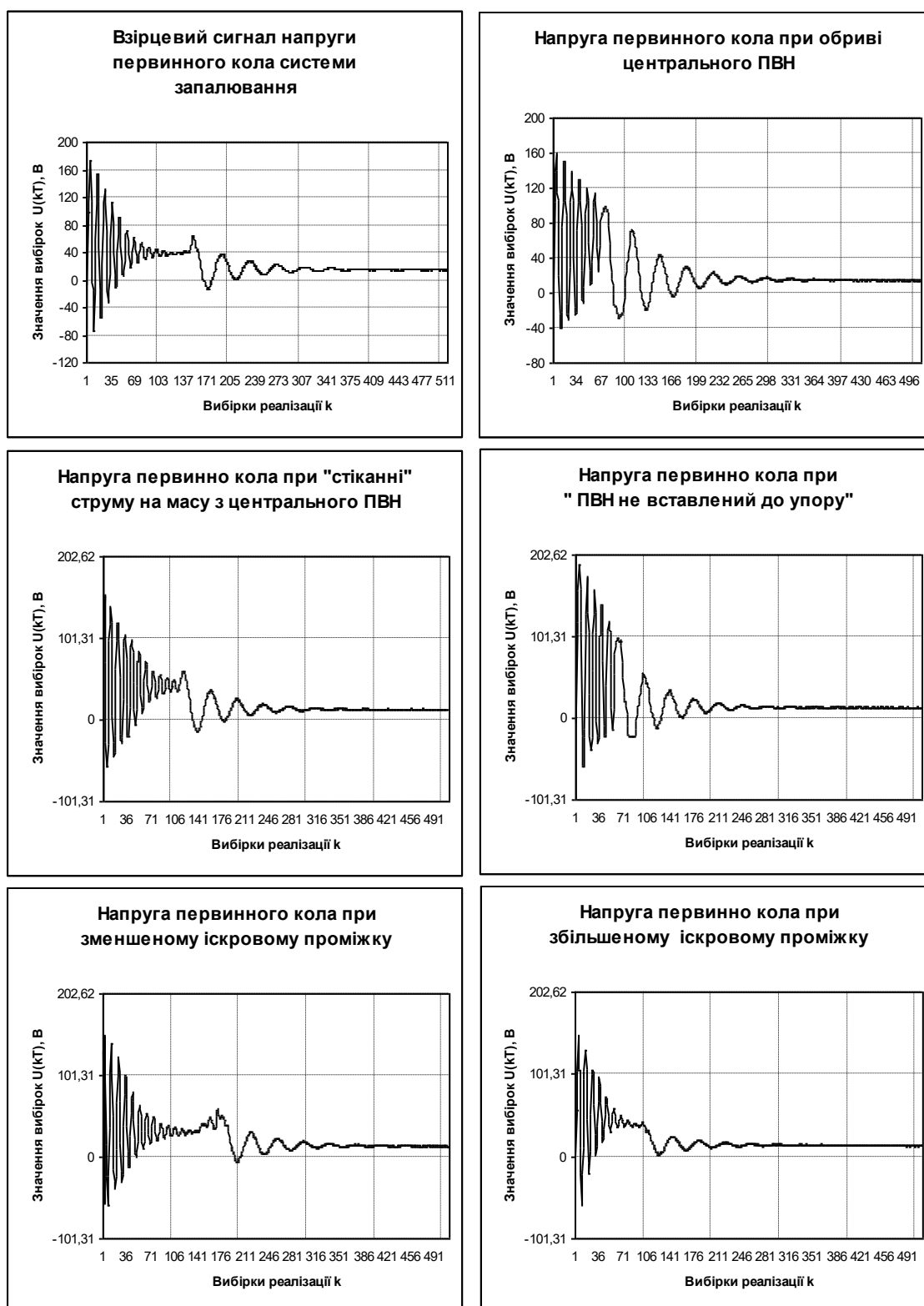


Рис. 5.10. Усереднені реалізації сигналу первинного кола контактної системи запалювання

Після визначення усереднених реалізацій сигналів визначаються їх спектральні характеристики, а саме – спектральна щільність потужності (СЩП) по методу Уелча. Для визначення впливу різних несправностей системи запалювання на спектральні характеристики сигналу використаємо цифрові фільтри, які дозволяють розглянути сигнал у визначеному діапазоні частот. Для контактної системи запалювання сигнал первинного кола доцільно розглянути окремо у двох діапазонах частот: діапазон нижніх частот (0 – 25 кГц), діапазон високих частот (25 кГц – 60 кГц). Для цього синтезуємо два нерекурсивних цифрових фільтри: фільтр нижніх частот та смуговий фільтр. Імпульсні та частотні характеристики даних фільтрів показані на рис. 5.11 і 5.12.

Для визначення спектральної щільності потужності в необхідному діапазоні частот вхідний сигнал спочатку проходить через відповідний цифровий фільтр, а потім визначається спектральна щільність потужності. Результати впливу різних несправностей системи запалювання на характеристики графіка СЩП показані на рис. 5.13 і 5.14.

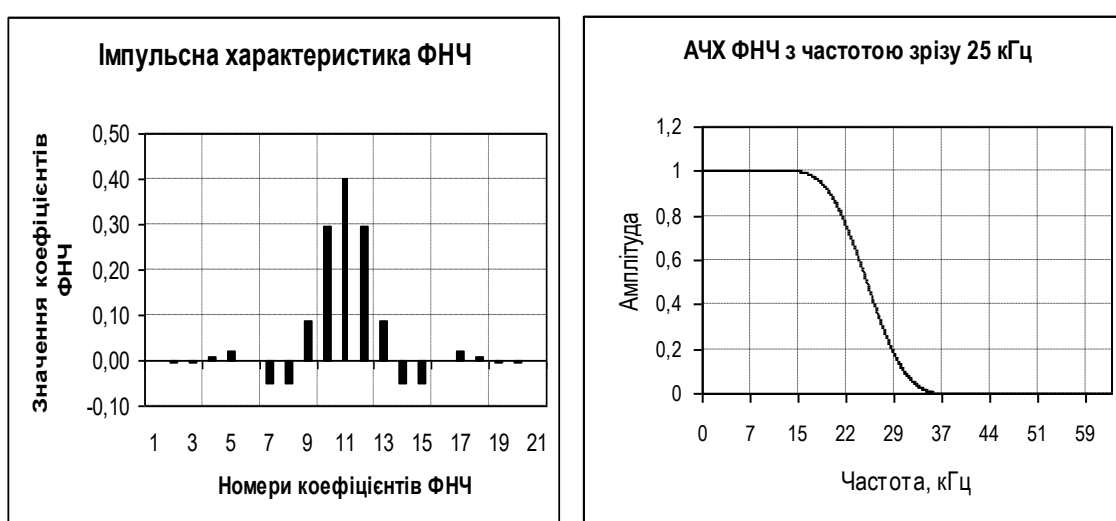


Рис. 5.11. Імпульсна та частотна характеристики фільтра нижніх частот з частотою зрізу 25 кГц

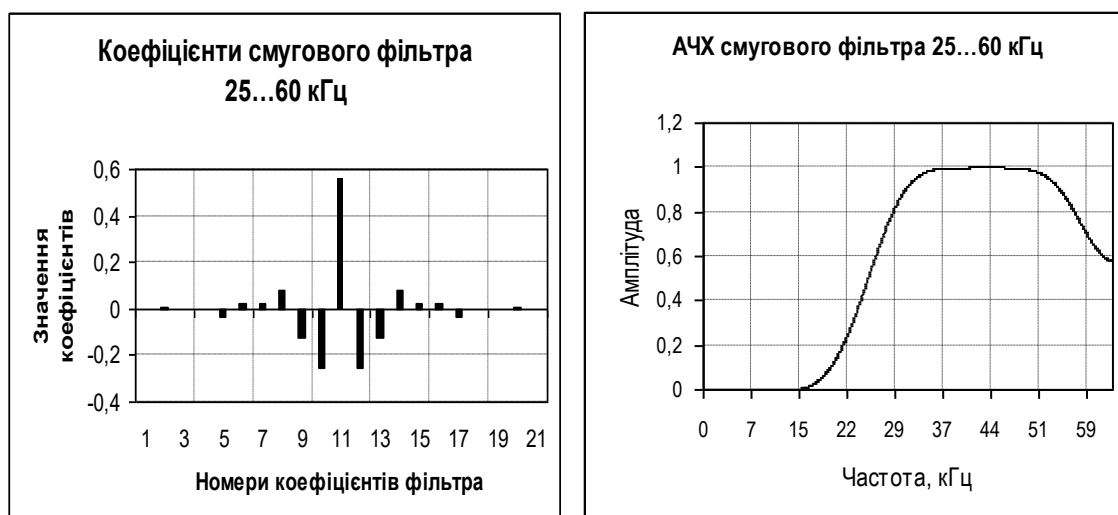


Рис. 5.12. Імпульсна та частотна характеристики смугового фільтра з частотою зрізу 25 кГц – 60 кГц

#### 4.2. Діагностування безконтактної та мікропроцесорної систем запалювання

Для діагностування безконтактної системи запалювання з датчиком Хола були використані автомобілі ВАЗ-2108, ЗАЗ-1102. Діагностування системи запалювання в комплексній системі керування двигуном типу "Bosch Motronic" виконувалось на автомобілі "Opel Senator". Ці дві системи за принципом дії та особливостями діагностування схожі. Обидві системи мають одну котушку і механічний розподільник. Безконтактна система запалювання характеризується відсутністю в своїй конструкції контактного переривника. Як в першій, так і в другій системі первинне коло переривається електронним ключем. З точки зору діагностування системи не важливо чи цей ключ в транзисторному комутаторі, чи в електронному блоку керування. Також не береться до уваги принцип керування транзистором. У першому випадку керуючим є імпульс датчика Хола, а в другому – процесом переривання первинного кола керує мікроконтролер.

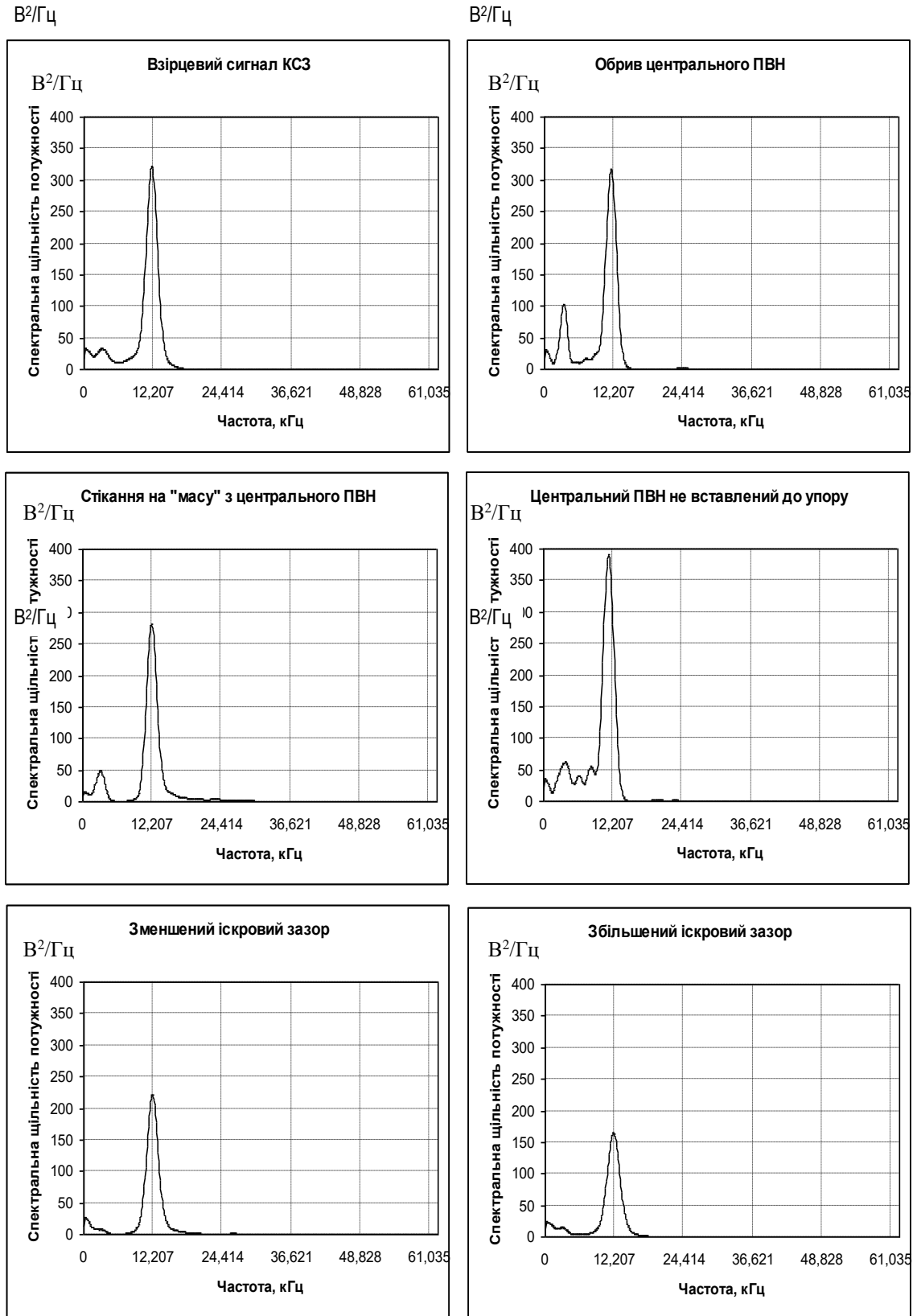


Рис. 5.13. СЦП при змодельованих типових несправностях контактної системи запалювання в діапазоні частот 0–25  $кГц$ .



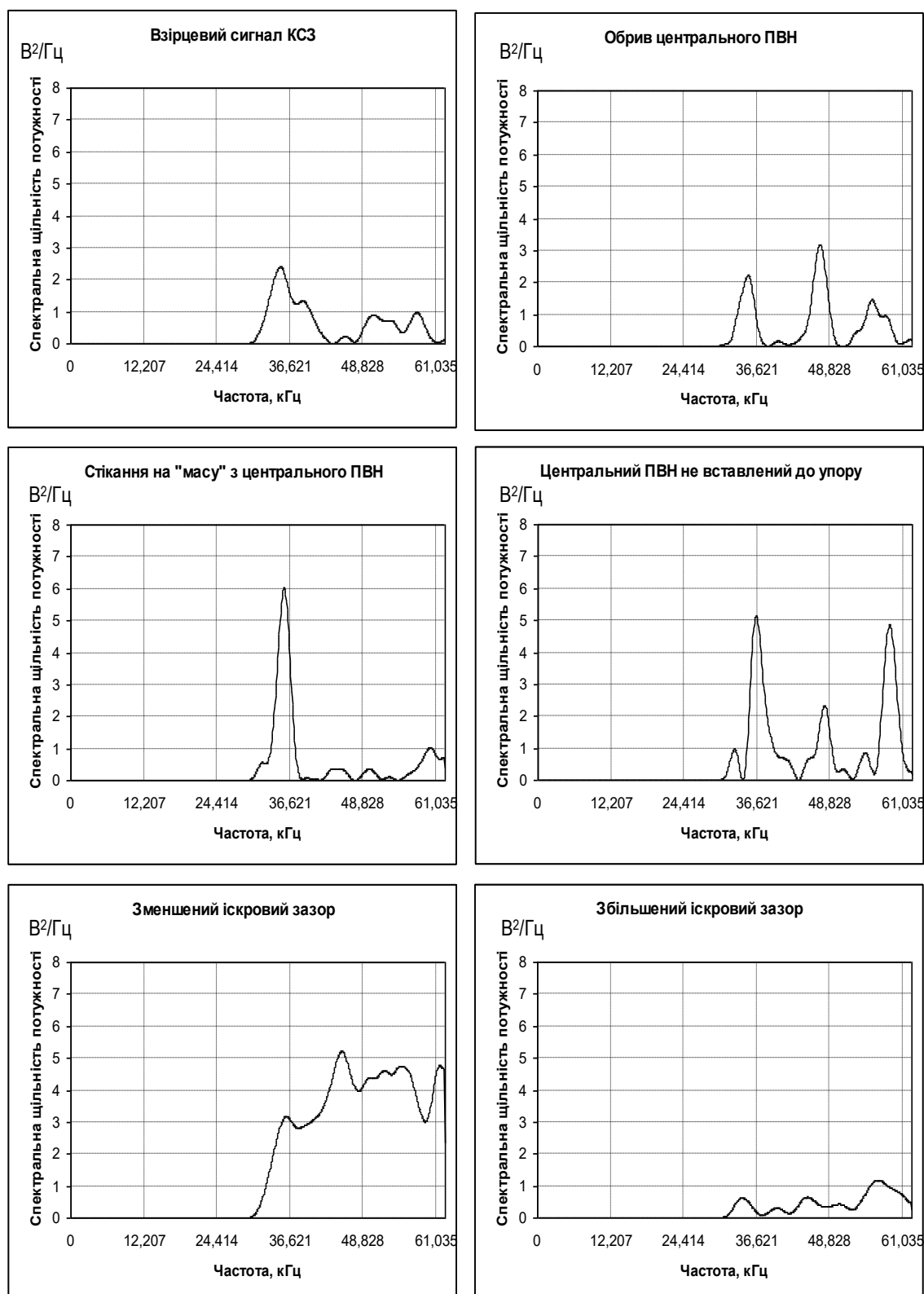


Рис. 5.14. СЦП при змодельованих типових несправностях контактної системи запалювання в діапазоні частот 25 кГц – 60 кГц

Діагностування мікропроцесорної системи запалювання з статичним розподілом високої напруги проводилось на автомобілі ГАЗ-3110. За сво-

єю суттю не відрізняється від безконтактної. Основна відмінність у принципі локалізації місця несправності. В мікропроцесорній системі запалювання процес іскроутворення проходить одночасно у двох циліндрах, тому на характеристики зміни напруги первинного кола можуть одночасно впливати два високовольтних кола. З цього можна зробити висновок, що при появі несправності її місце локалізується на два циліндри, які і будуть діагностуватись даліше.

Як приклад, покажемо результат діагностування системи запалювання з датчиком Хола. Для діагностування системи запалювання такого типу необхідно зчитати три сигнали:

- сигнал зміни напруги первинного кола;
- керуючий імпульс датчика Хола;
- імпульс верхньої мертвої точки першого циліндра.

Сигнал зміни напруги первинного кола зчитується сенсором типу "крокодил", приєднаним до клеми котушки запалювання, з'єднаної з виводом 1 комутатора. Керуючий імпульс датчика Хола зчитується з середнього виводу датчика, з'єднаного з виводом 6 комутатора. Імпульс моменту іскроутворення у першому циліндрі двигуна зчитується індуктивним сенсором, приєднаним до проводу високої напруги першого циліндра. Імпульс верхньої мертвої точки першого циліндра може зчитуватись двома способами. Якщо автомобіль обладнаний стандартним сенсором ВМТ, то сигнал зчитується з цього сенсора, якщо автомобіль не обладнаний стандартним сенсором ВМТ, то для формування сигналу ВМТ використовується стробоскоп.

Першим етапом діагностування згідно з алгоритмом описаним у п. 3.5 є врахування граничних умов використання запропонованого методу діагностування. Всі можливі несправності системи запалювання умовно поділяються на дві частини. Перша частина несправностей (їх наявність чи відсутність) визначаються стандартними методами. До цієї частини вхо-

дять несправності, які визначають граничні умови використання методу порівняння спектральних характеристик. Згідно з п. 3.4 до граничних умов використання запропонованого методу відноситься правильність функціонування імпульсу, який керує первинною обмоткою котушки запалювання. Така перевірка також виконується в автоматичному режимі, але не методами спектрального аналізу.

На рис. 5.15 показані сигнали, зчитані з частотою дискретизації 125 кГц, з автомобіля ВАЗ-2108: імпульс ВМТ першого циліндра (*a*), керуючий імпульс датчика Хола (*b*) та сигнал напруги первинного кола (*в*). Врахування граничних умов спершу включає в себе визначення правильності встановлення початкового кута випередження запалювання та правильності функціонування регуляторів випередження запалювання.

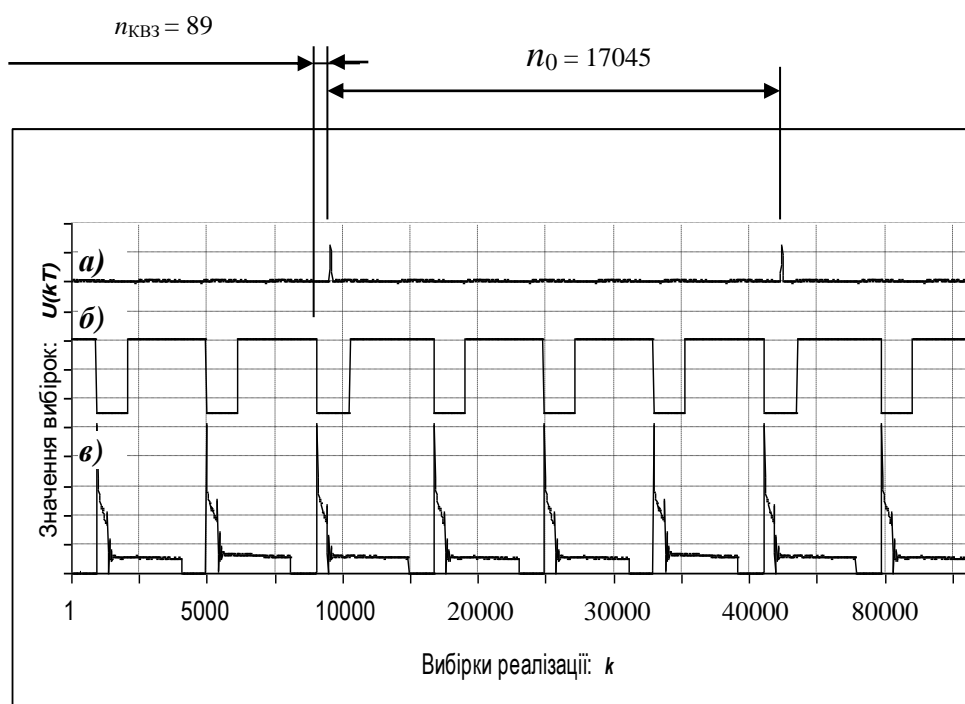


Рис. 5.15. Сигнали безконтактної системи запалювання

Кут випередження запалювання визначається за формулою (3.16), а кутова швидкість колінчатого вала за формулою (3.1):

$$\alpha_{KB3} = \frac{89 \cdot 720}{17045} = 3,76^\circ ; \quad n_{к.в.} = \frac{2 \cdot 125000}{17045} \cdot 60 = 880,02 (\text{об} / \text{хв}) .$$

Таким чином визначається величина кута випередження запалювання при будь-якій частоті обертів колінчатого вала, що дає можливість автоматично визначити залежність кута випередження запалювання від частоти обертів колінчатого вала і охарактеризувати роботу відцентрового регулятора випередження запалювання.

Правильність функціонування датчика Хола і транзисторного комутатора визначається з умов (3.18) і (3.19). Ці параметри також визначаються в автоматичному режимі. Вони характеризують технічний стан елементів первинного кола системи запалювання (крім котушки запалювання).

Якщо граничні умови не виконуються, то в системі запалювання необхідно усунути визначені несправності, після чого можна застосовувати метод діагностування порівнянням спектральних характеристик сигналів.

При діагностуванні системи запалювання також, в обов'язковому порядку, враховуються супутні фактори, що можуть впливати на процес іскроутворення. Методи врахування супутніх факторів описані в п. 3.4. До таких факторів відносяться: тиск в камері згоряння, температура робочої суміші, якість робочої суміші, режим роботи двигуна.

Врахування впливу супутніх факторів, за своєю суттю, веде до локалізації несправності в одному з циліндрів двигуна. Це можна пояснити тим, що змінена якість робочої суміші, початкова її температура, режим роботи двигуна будуть однаково впливати на всі циліндри двигуна, а аномалія іскроутворення в одному з циліндрів свідчить про несправність тільки у цьому циліндрі. Тиск у камері згоряння може бути визначений у кожному циліндрі окремо способом виміру абсолютної величини компресії у цьому циліндрі або виміром відносної величини компресії по споживанню струму стартером (див. п. 3.4).

Сигнали напруги первинного кола системи запалювання зчитуються з справного автомобіля та при моделюванні типових несправностей системи запалювання. Приклади сигналу напруги системи запалювання з деякими несправностями показані на рис. 5.16.

Після розподілу сигналу напруги первинного кола на окремі реалізації та усереднення їх по циліндрах двигуна знаходяться спектральні щільності потужності, графіки яких, у свою чергу, поділяються на окремі діапазони частот. Порядок розподілу графіка СЦП на окремі діапазони описаний у п. 2.3 та 3.3.

Загальний діапазон частот, в якому доцільно розглядати частотні характеристики сигналу напруги системи запалювання при її діагностуванні, визначений експериментально і він знаходиться в межах 5 кГц – 60 кГц .

Для розгляду цього діапазону частот синтезуємо смуговий цифровий фільтр, який дає можливість розглянути СЦП тільки в заданій смузі частот. Нижня частота зрізу смугового фільтра буде рівна 5 кГц. Верхня частота зрізу, відповідно до умови Найквіста [7, 87], не повинна перевищувати половини частоти дискретизації. В нашому випадку верхня частота зрізу смугового фільтра рівна 60 кГц. Вибираємо порядок фільтра  $K=20$ . В якості функції вікна вибираємо вікно Хеммінга довжиною 21. На рис. 5.17 показана імпульсна та частотна характеристики синтезованого смугового фільтра. На рис. 5.18 показаний характер впливу типових несправностей системи запалювання на спектральну щільність потужності в заданому діапазоні частот.

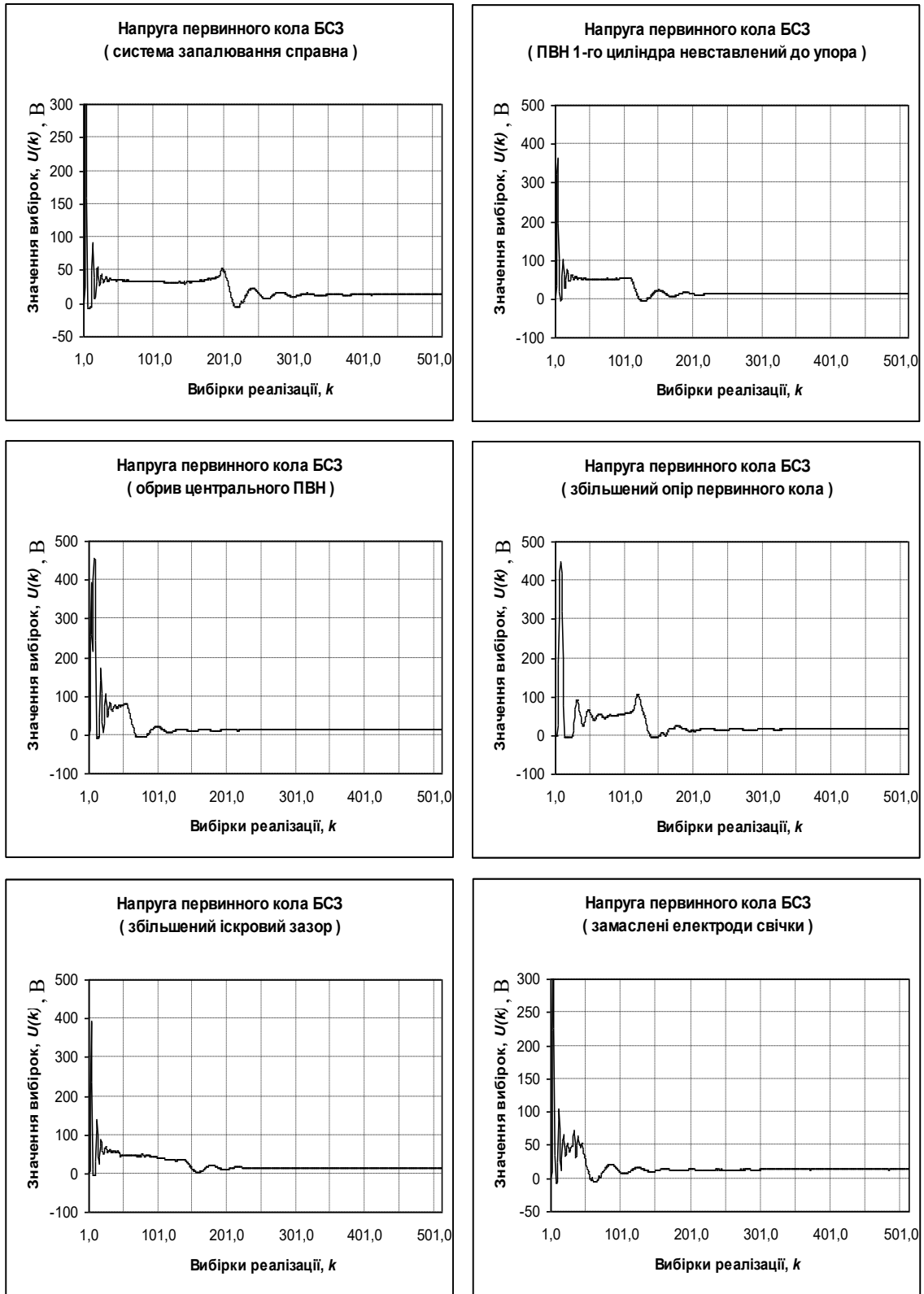


Рис. 5.16. Усереднені реалізації сигналу первинного кола безконтактної системи запалювання

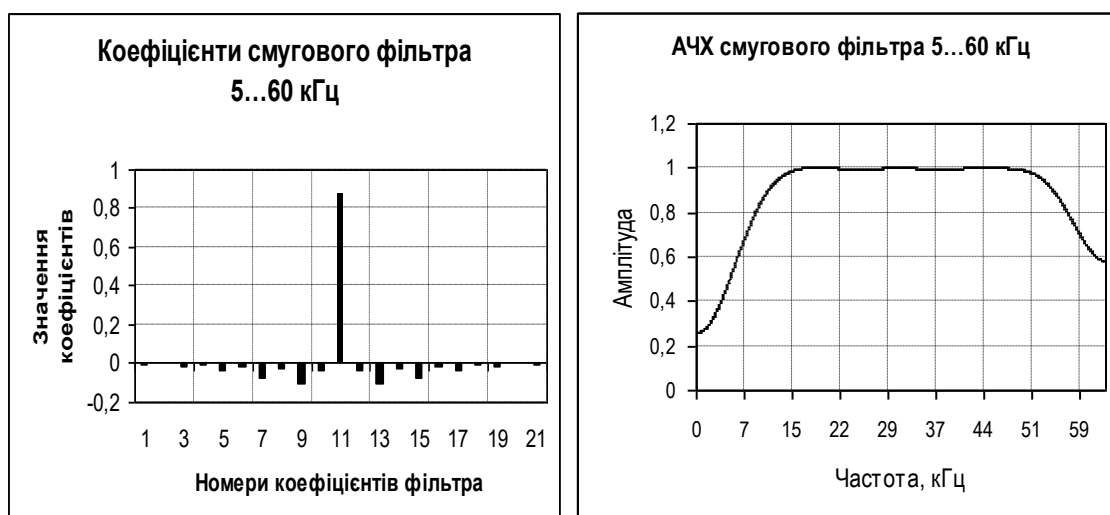


Рис. 5.17. Імпульсна та частотна характеристики смугового фільтра з частотою зрізу 5 кГц – 60 кГц

#### 4.3. Формування бази параметрів математичної моделі для автоматизованого визначення несправностей системи запалювання

Аналіз графіків спектральної щільності потужності показує, що кожна змодельована несправність по-своєму впливає на характер зміни значень СЩП у різних діапазонах частот. Однотипні несправності вносять приблизно однакові зміни в СЩП. Як в контактній системі запалювання, так і в безконтактній поява різних несправностей впливає на визначені діапазони частот. Для контактної системи запалювання досить характерними є діапазони частот в межах 12 кГц і 35 кГц, для безконтактної – діапазон частот від 5 кГц до 30 кГц.

Для забезпечення можливості автоматичного визначення несправностей системи запалювання необхідно створити базу даних, яка буде містити параметри математичної моделі різних типів систем запалювання в справному стані та при появі різних типових несправностей.

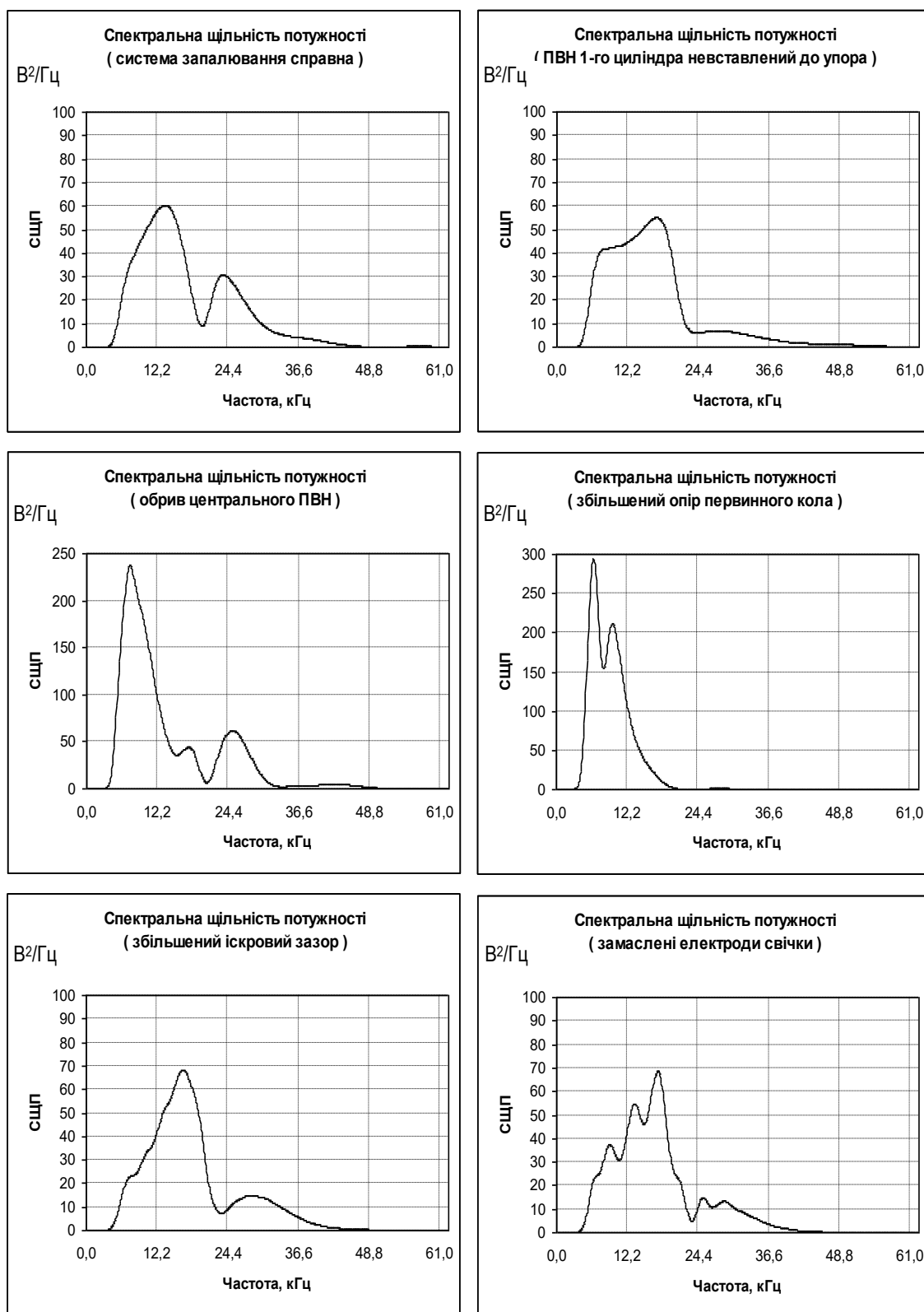


Рис. 5.18. Спектральна щільність потужності при змодельованих типових несправностях безконтактної системи запалювання



Покажемо приклад створення базових параметрів математичної моделі для безконтактної системи запалювання. Досить важливим є вибір кількості діапазонів частот  $n$ , на яку буде поділена вісь частот спектральної щільності потужності. Значенню  $n$  відповідає кількість рівнянь поліномів, що характеризують параметр математичної моделі. Збільшення  $n$  покращує точність відтворення характеристик СЦП, але водночас призводить до необґрунтованого збільшення кількості розрахунків і операцій порівняння. Експериментально визначено, що кількість діапазонів частот  $n$  доцільно вибирати в межах від 5 до 20.

Визначимо параметри  $X_i$  математичної моделі (див. 2.17), кожний з яких характеризується коефіцієнтами поліномів четвертого порядку (див. 2.22).

Визначимо матриці коефіцієнтів поліномів для параметра  $X_0$  справного технічного стану системи запалювання і параметрів  $X_i$  при типових несправностях системи, зображених на рис. 5.17, 5.18. Графіки СЦП попередньо поділяємо на десять діапазонів частот (див. рис. 2.11). Коефіцієнти поліномів визначаються методом інтерполяції [111]. Результати розрахунків наведені в табл. 5.6.

Таким чином, в базу даних заносяться значення параметрів математичної моделі при різних несправностях системи запалювання. Після визначення базових параметрів математичної моделі процес діагностування зводиться до визначення коефіцієнтів кореляції між графіками СЦП у відповідних діапазонах частот досліджуваного і базового сигналів.

Для прикладу покажемо процес діагностування системи запалювання з несправністю "обрив центрального ПВН". Для контролю ця несправність перевірена стандартними засобами шляхом визначення опору ПВН. За описаним алгоритмом визначимо матрицю коефіцієнтів поліномів, що характеризують параметр математичної моделі  $X_{\text{дос}}$  (табл. 5.7).

Таблиця 5.6

Значення параметрів математичної моделі  
при різних несправностях системи запалювання

Параметр математичної моделі	Технічний стан системи	Номер діапазону частот	Коефіцієнти поліномів				
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>g</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
$X_0$	Система справна	1	9,14E-06	-0,00028368	-0,0019162	0,08438	-0,2927
		2	-1,00E-05	0,0011953	-0,052577	1,6086	22,5
		3	1,02E-05	-0,00085455	-0,0042136	0,27824	58,783
		4	2,41E-05	-0,0038774	0,19099	-2,7108	20,374
		5	-1,06E-08	8,63E-05	-0,0041369	-0,40935	28,646
		6	2,45E-07	-5,85E-05	0,0049509	-0,21526	8,2371
		7	-2,39E-07	3,86E-05	-0,0020313	-0,014474	3,8971
		8	-2,93E-07	3,02E-05	-0,00049524	-0,038047	1,3328
		9	1,25E-07	-1,30E-05	0,00049762	-0,0041788	0,14732
		10	1,45E-07	-1,25E-05	0,00021243	-0,00064392	0,34745
$X_1$	ПВН не вставлений до упору	1	6,57E-06	0,00014029	-0,017234	0,25352	-0,709
		2	-1,48E-05	0,001979	-0,092143	1,8145	29,308
		3	-4,74E-06	0,00015098	0,0035189	0,16938	45,051
		4	-3,38E-05	0,0038539	-0,11871	-0,36529	50,405
		5	2,34E-07	-1,71E-05	-0,0011985	0,074098	6,0878
		6	4,01E-07	-4,26E-05	0,0014538	-0,074376	6,0863
		7	-2,29E-07	1,91E-05	-2,02E-05	-0,050778	3,1626
		8	1,17E-07	-1,46E-05	0,00056676	-0,015533	1,5023
		9	-1,05E-07	1,17E-05	-0,00045638	-0,0058202	1,0285
		10	-2,64E-08	3,13E-06	4,18E-06	-0,011419	0,3866
$X_2$	Обрив центрального ПВН	1	-2,47E-05	0,007163	-0,29211	3,4118	-8,6677
		2	-0,00014497	0,018306	-0,83785	12,618	173,67
		3	-5,14E-05	0,0036821	-0,0059607	-3,5514	91,073
		4	-3,48E-05	0,0012628	0,11226	-4,0518	41,066
		5	-9,08E-06	0,0016887	-0,094071	0,57838	60,559
		6	1,72E-06	-0,00037376	0,026091	-0,67687	7,9738
		7	-5,10E-07	2,39E-05	0,00052998	-0,00034884	3,4574
		8	2,43E-07	1,08E-05	-0,0023244	-0,013579	4,5547
		9	1,50E-07	-2,91E-05	0,0020201	-0,055988	0,87758
		10	2,70E-07	-2,07E-05	0,00022051	0,00019604	0,43681
$X_3$	Збільшений опір первинного кола	1	-2,80E-05	0,010785	-0,45869	5,4756	-14,122
		2	0,00025423	-0,036555	1,6943	-30,444	365,24
		3	1,43E-05	-0,0021563	0,13164	-4,8231	100,88
		4	6,35E-07	-0,00022319	0,020335	-0,68401	7,9086
		5	4,96E-07	-6,21E-05	0,001711	0,0058629	0,662
		6	9,19E-08	-1,80E-05	0,0013444	-0,043139	0,55349
		7	2,79E-07	-3,28E-05	0,0010215	-0,0032169	0,09492
		8	2,62E-08	-2,54E-06	0,0001517	-0,0064702	0,12744
		9	1,20E-07	-1,52E-05	0,0004866	0,0012115	0,03781
		10	4,85E-08	-3,59E-06	5,99E-06	-0,00025643	0,17035

Продовження таблиці 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8
$X_4$	Збільшений іскровий зазор	1	6,04E-06	-0,00019347	-0,00061393	0,043722	-0,1526
		2	-8,11E-06	0,000896	-0,028857	0,70641	17,019
		3	-3,17E-06	-0,00033742	0,021276	0,43579	45,269
		4	-4,27E-05	0,0047646	-0,13893	-0,60086	58,019
		5	2,04E-06	-0,00019269	0,0013864	0,21736	10,635
		6	8,37E-07	-6,77E-05	0,0016499	-0,18929	13,568
		7	5,79E-07	-7,31E-05	0,0042339	-0,17894	4,8952
		8	1,11E-07	-1,60E-05	0,00086948	-0,032006	0,96559
		9	7,14E-09	-9,80E-07	0,00012891	-0,0091824	0,22416
		10	-1,14E-08	1,94E-07	2,23E-05	0,00074298	0,00892
$X_5$	Замаслені електроди свічки запалювання	1	1,01E-05	-0,00039744	0,0016876	0,048933	-0,2168
		2	6,85E-05	-0,0062466	0,16669	-0,85447	23,791
		3	-0,00013013	0,012385	-0,35801	3,43	43,993
		4	6,05E-05	-0,0059307	0,2079	-3,9278	54,447
		5	3,81E-07	-0,00043531	0,032712	-0,73823	16,674
		6	-1,59E-07	2,84E-05	-0,0011682	-0,12796	9,8031
		7	8,90E-07	-7,66E-05	0,0023953	-0,082754	2,8269
		8	-6,94E-07	6,07E-05	-0,0013075	-0,010498	0,66286
		9	3,02E-07	-2,78E-05	0,00075814	-0,0079392	0,11675
		10	8,80E-08	-1,27E-05	0,00057157	-0,0074364	0,02998

Таблиця 5.7

Значення параметрів математичної моделі  
досліджуваного сигналу напруги системи запалювання

Параметр математичної моделі	Технічний стан системи	Номер діапазону частот	Коефіцієнти поліномів				
			$a$	$b$	$c$	$d$	$g$
$X_{\text{дос}}$	Сигнал системи, що діагностується	1	-2,54E-05	0,0064487	-0,2584	3,0007	-7,6052
		2	-	0,017456	-0,77681	12,093	141,44
		3	-4,70E-05	0,004529	-0,079824	-2,5594	96,08
		4	-8,07E-05	0,0078624	-0,1784	-0,62093	41,947
		5	4,01E-07	0,00037549	-0,054666	1,3118	45,123
		6	-9,21E-08	-	0,022332	-1,1765	22,394
		7	3,04E-08	-3,61E-06	0,00071799	-0,017432	1,9226
		8	6,56E-07	-6,55E-05	0,00099881	0,0039232	2,6775
		9	-2,05E-07	2,00E-05	0,00048592	-0,065321	1,2251
		10	-1,24E-07	-3,22E-05	0,0024706	0,010952	0,47755

Визначимо коефіцієнти кореляції (2.24) між відповідними діапазонами частот досліджуваного сигналу та сигналів з бази даних, описаних в табл. 5.6. За результатами розрахунків визначимо матрицю коефіцієнтів кореляції (2.28), яку покажемо у формі таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

Значення коефіцієнтів кореляції для автоматизованого визначення несправностей системи запалювання.

Параметри математичної моделі	Коефіцієнти кореляції з різними параметрами математичної моделі (з табл. 5.6)									
	Діапазони частот СЩП									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X0	0.9956	0.78725	0.54455	0.17326	0.83425	0.99228	0.89727	0.74279	0.59958	0.8865
X1	0.99823	0.42046	0.91754	0.18033	0.59027	0.92016	0.78806	0.91575	0.71599	0.98594
X2	0.99999	0.99269	0.96557	0.78578	0.89988	0.83302	0.89088	0.92209	0.95227	0.92527
X3	0.9999	0.48257	0.91519	0.4856	0.41065	0.96946	0.014575	0.60563	0.96511	0.93599
X4	0.99652	0.88398	0.95744	0.26074	0.24914	0.92617	0.76314	0.82863	0.88453	0.99979
X5	0.9944	0.54501	0.35099	0.1633	0.29437	0.93158	0.80934	0.65114	0.58178	0.956

Аналіз значень коефіцієнтів кореляції показує, що параметри досліджуваного сигналу відповідають параметру  $X_2$  бази даних, який описує несправність "обрив центрального ПВН".

Отже, інформаційна база параметрів математичної моделі дає можливість встановлення кореляційного зв'язку між параметрами досліджуваного та базового сигналів. Такий аналіз є основою автоматизованого визначення несправностей системи запалювання.

#### 5.4. Аналіз ефективності розробленого методу діагностування

Розроблений метод автоматизованого діагностування системи запалювання автомобільного двигуна має ряд переваг над методами діагностування, існуючими на даний час. Оцінку ефективності методу виконаємо за відповідними критеріями [65, 97] (табл. 5.9):

Основна перевага запропонованого методу над іншими – це можливість його автоматизації. Такий підхід дозволяє звести до мінімуму вплив

людського фактору при встановленні результатів діагностування.

Таблиця 5.9

## Аналіз ефективності методів діагностування системи запалювання

Методи діагностування	Критерії аналізу ефективності				
	Достовірність і забезпечення точності вимірювань	Складність алгоритму (число елементарних перевірок)	Вартість обладнання	Запрати часу і складність технічної реалізації	Можливість автоматизації
Почергове визначення діагностичних параметрів різними засобами	досить висока	висока	низька	високі	не можлива
Комплексне визначення і аналіз діагностичних параметрів за допомогою комп'ютерного мотор-тестера	висока	середня	висока	середні	середня
Візуальний аналіз осцилограм напруги	середня	середня	висока	середні	низька
Кодування несправностей	середня	низька	середня	низькі	середня
Автоматизований метод на основі порівняння спектрів сигналів	висока	низька	середня	низькі	висока

Експериментальними дослідженнями встановлено, що достовірність запропонованого методу становить не менше 80 %. Для цього несправності системи запалювання спочатку визначаються стандартними методами, а потім методом автоматизованого діагностування. Щонайменше у восьми випадках із десяти результат діагностування підтверджувався.

Якщо запропонованим методом не вдається встановити конкретну несправність у системі запалювання, то в такому випадку метод дозволяє з досить високою достовірністю локалізувати місце несправності. Для цього виконується порівняльний аналіз коефіцієнтів кореляції між параметрами

математичної моделі різних циліндрів двигуна. Для циліндра з несправністю коефіцієнти будуть значно нижчі. Якщо коефіцієнти кореляції однакові для всіх циліндрів і низькі по відношенню до параметрів справної системи запалювання, то це свідчить про несправність в колі низької напруги.

Запропонований метод діагностування, в порівнянні з іншими, складається з найменшої кількості елементарних перевірок. Визначається тільки один діагностичний параметр – напруга первинного кола.

Вартість обладнання, необхідного для реалізації запропонованого методу, дещо вища аналогових автотестерів, але нижча вартості комп'ютерних мотор-тестерів вітчизняного і особливо закордонного виробництва. Для забезпечення реалізації даного методу може бути використаний універсальний двох- або чотирьохканальний цифровий осцилограф, який забезпечує частоту дискретизації аналогового сигналу не менше 125 кГц. Вартість такого приладу в 3–4 рази нижча вартості діагностичних стендів вітчизняного виробництва (наприклад у порівнянні з діагностичним комплексом "Спрут-тестер" [36]). У порівнянні з діагностичними стендами провідних закордонних фірм [37], вартість необхідного обладнання нижча у 8–10 разів. Крім цього, запропонований метод діагностування може бути реалізований без спеціальних діагностичних сенсорів для зчитування діагностичної інформації.

Досить важливим критерієм є затрати часу на діагностування та складність технічної реалізації. В порівнянні з іншими методами діагностування тривалість діагностичних операцій запропонованого методу найнижча. Загальний час діагностування може бути визначений як сума його складових (без врахування часу встановлення автомобіля на пост діагностики):

$$T_{\text{заг}} = t_1 + t_2 + t_3$$

де  $t_1$  – час приєднання діагностичних сенсорів;

$t_2$  – час зчитування діагностичної інформації;

$t_3$  – час аналізу діагностичної інформації і встановлення результатів діагностування.

Тривалість всіх складових діагностичних процедур визначена експериментально і вона становить:  $t_1 = 1\text{--}2$  хв.,  $t_2 = 1\text{--}3$  хв.,  $t_3 = 3\text{--}5$  хв. Отже, загальний час діагностування становить  $T_{\text{заг}} = 4\text{--}10$  хв.

У порівнянні з методом почергового визначення діагностичних параметрів за допомогою аналогових засобів діагностування затрати часу зменшені в 3–6 разів. У порівнянні з методом комплексного аналізу діагностичних параметрів за допомогою комп'ютерного мотор-тестера затрати часу зменшені в 2–3 рази.

Отже, запропонований автоматизований метод діагностування системи запалювання автомобільного двигуна можна вважати достатньо ефективним для визначення технічного стану систем запалювання різних типів і різного ступеня складності.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

1. Експериментальні дослідження показали, що визначення несправностей системи запалювання методом порівняння спектрів сигналів є ефективним і може автоматизувати процес діагностування.

2. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що різні несправності системи запалювання впливають тільки на визначені діапазони частотного спектру. Для контактної системи запалювання досить характерними є діапазони частот в межах 12 кГц і 35 кГц, для безконтактної – діапазон частот від 5 кГц до 30 кГц.

3. Діагностування системи запалювання з використанням методу порівняння параметрів математичної моделі може однаково виконуватись при постійній і при змінній частоті обертів колінчатого валу.

4. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що накопичення і усереднення окремих реалізацій сигналу іскроутворення стабілізує спектральні характеристики і більш чітко характеризує появу несправностей у системі.

5. Розроблене програмне забезпечення цифрового аналізатора дає можливість сформувати базу даних параметрів математичної моделі при різних несправностях системи запалювання.

6. Аналіз ефективності запропонованого методу діагностування показав, що, у порівнянні з іншими існуючими методами, даний метод має достатню достовірність (не менше 80 %), у 2–3 рази зменшені затрати часу на діагностування, метод простіший у реалізації і не потребує діагностичного обладнання високої вартості.



## ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу науково-технічної літератури встановлено, що методи і засоби діагностування системи запалювання автомобільного двигуна на даний час не достатньо автоматизовані. Існуючі методи передбачають послідовне визначення загальноприйнятих діагностичних параметрів з їх подальшим системним аналізом (пробивної напруги, напруги горіння іскри, тривалості іскрового розряду, кута випередження запалювання, опору окремих ділянок та ін.). При діагностуванні методом аналізу осцилограм досить вагомим є вплив людського фактору, оскільки такий аналіз виконується візуально. У даній роботі запропоновано метод автоматизованого діагностування системи запалювання з аналізом одного діагностичного параметра – частотного спектру сигналу напруги первинного кола.
2. У роботі запропоновано новий підхід до автоматизації процесу діагностування системи запалювання. В його основі лежить автоматичне порівняння параметрів математичної моделі, які описують спектральні характеристики сигналу напруги первинного кола досліджуваної системи з параметрами, що містяться в інформаційній базі даних.
3. З метою обґрунтування вибору діагностичних параметрів та обґрунтування теоретичних передумов застосування методів цифрової обробки сигналів для діагностування системи запалювання в роботі проведений аналіз частотного спектру сигналу напруги первинного кола. Виконані дослідження показують, що різні несправності системи запалювання по-різному впливають на зміну спектральної щільності потужності в діапазоні 5–60 кГц. Аналітична основа, розроблена для визначення спектральних характеристик сигналу напруги системи запалювання, дає можливість врахувати діагностичну інформацію, що міститься в частотному спектрі досліджуваного сигналу.

4. Розроблена математична модель автоматизованого діагностування системи запалювання, яка дозволяє використовувати методи цифрової обробки сигналів на всіх етапах процесу діагностування:

- зняття, реєстрація і попередня обробка вхідних даних, усереднення окремих реалізацій при постійній і змінній частоті обертів колінчатого вала;

- визначення параметрів математичної моделі, які характеризують технічний стан системи запалювання в числовій формі – у вигляді матриці коефіцієнтів поліномів, що відповідають окремим діапазнам частот спектральної щільності потужності досліджуваного сигналу;

- автоматизоване визначення кореляційної залежності між параметрами досліджуваного та базового сигналів.

5. Метод автоматизованого діагностування системи запалювання можна вважати як адаптивну, відкриту діагностичну систему, на основі передбаченої можливості поповнення інформаційної бази даних параметрів математичної моделі, які описують різні несправності системи запалювання. Такий підхід дозволяє налаштувати діагностичну систему для різних типів систем запалювання і поповнювати інформаційну базу при появі несправностей, які в неї не занесені.

6. У роботі вирішується проблема підвищення ефективності і якості діагностування системи запалювання, спрямована на зниження трудомісткості процесу діагностування, його автоматизації і підвищення достовірності отриманої інформації. Достовірність запропонованого методу не нижче 80 %. Запропонований метод дає можливість в 2–3 рази скоротити час діагностування в порівнянні з стандартними методами комп'ютерного діагностування. Даний метод простіший в реалізації і не потребує спеціальних сенсорів для зчитування діагностичної інформації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей. – М.: Транспорт, 1985. – 215 с.
2. Автомобильные двигатели. Системы управления и впрыск топлива: Пер. с англ. – СПб.: ЗАО "Альфамер Пабблишинг", 1999. – 338 с.
3. Автомобильный справочник BOSCH: Пер. с англ. – М.: ЗАО КЖИ "За рулем", 2002. – 896 с.
4. Акимов С.В., Боровских Ю.И., Чижков Ю.П. Электрическое и электронное оборудование автомобилей. – М.: Машиностроение, 1988. – 276 с.
5. Акимов С.В., Здановский А.М. Справочник по электрооборудованию автомобилей. – М.: Машиностроение, 1994. – 541 с.
6. Асмус Т.У., Борчнакке К, Кларк С.Д. Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями: Пер. с англ. А.М. Васильева. – М.: Машиностроение, 1988. – 506 с.
7. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. – М. Мир, 1989. – 540 с.
8. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1979. – 270 с.
9. Борц А.Д., Закин Я.Х., Иванов Ю.В. Диагностика технического состояния автомобиля. – М.: Транспорт, 1979. – 158 с.
10. Бронштейн М.И. Электронное управление двигателем, трансмиссией и ходовой частью автомобиля: Учеб. пособие для студ. спец. "Электрические системы и комплексы автотранспортных средств". – Харьков: ХГАДТУ, 2001. – 150 с.
11. Брюханов А.Б., Хомич В.И. Электроника на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1984. – 126 с.

12. Буез Х.А. Критерии выбора системы зажигания газового двигателя и разработка элементов ее диагностирования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / – М., 1996. – 20 с.
13. Варфоломеев В.Н. Роль технической кибернетики в развитии методов и средств диагностирования машин. // Автомобильный транспорт. ХНАДУ. – 2003. – №13. – С. 12–15.
14. Воробьев В.А., Попов В.П. Метрология и технические измерения в инженерной практике. – М.: МАДИ ГТУ, 2001. – 174 с.
15. Воробьев В.А., Попов В.П. Системы контроля и технической диагностики в инженерной практике. – М.: МАДИ ГТУ, 2001. – 312 с.
16. Гальперин М.В. Практическая схемотехника в промышленной автоматике. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.
17. Глазырин А.В., Васильев В.А., Дуркин В.А. Применение осциллографа Э-206 для диагностирования транзисторных систем зажигания. – Харьков: ХАДИ, 1977. – 42 с.
18. Глухов В.В. Техническое диагностирование динамических систем. – М.: Транспорт, 2000. – 96 с.
19. Говорущенко Н.Я. Автомобильное топливо. Как его экономить. – Харьков: Вища шк. при Харьк. ун-те, 1979. – 144 с.
20. Говорущенко Н.Я., Варфоломеев В.Н. Техническая кибернетика транспорта / Учебное пособие. – Харьков: ХГАДТУ, 2001. – 271 с.
21. Говорущенко Н.Я. Диагностика технического состояния автомобилей. – М.: Транспорт, 1970. – 223 с.
22. Говорущенко Н.Я. Основные направления развития автомобильного транспорта в XXI веке. // Автомобильный транспорт. ХНАДУ. – 2003. – №13. – С. 7–12.
23. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. – 312 с.

24. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника транспорта (на примерах автомобильного транспорта). // в 2-х частях. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. – Т.1 – 255 с.; – Т.2 – 219 с.
25. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Справочник. – М.: Радио и Связь, 1985. – 312 с.
26. Горбатюк В.В., Набоких В.А., Регельсон А.М.. Тенденции развития электронных систем зажигания карбюраторных двигателей // Автомобильная промышленность, 1979. – №2. – С. 29–31.
27. ГОСТ 20417–75. Виды систем диагностирования.– М.: Изд-во стандартов, 1975. – 20 с.
28. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения.–М.: Изд-во стандартов, 1989. – 20 с.
29. Грень Я.В. Вимірювання та аналіз нестационарних вібрацій методами цифрової обробки сигналів: Дис. ... канд. техн. наук: 05.11.01. – Львів, 1999. – 206 с.
30. Грибенко С.М. Диагностика и обслуживание автомобилей. – Ставрополь: Ставроп. кн. из-во, 1977. – 288 с.
31. Гутцайт Л.Э., Пустельников С.Г., Чепланов В.И. Электронные системы зажигания автомобилей без высоковольтного распределителя // Двигателестроение, 1996. – № 4. – С. 24–26.
32. Данов Б.А. Системы управления зажиганием автомобильных двигателей. – М.: Горячая линия. Телеком, 2003. – 184 с.
33. Демидович Р. Системы зажигания легковых автомобилей: Пер. с пол. – Минск: РА "Автостиль", 1998. – 112 с.
34. Диагностический комплекс "Автосканер". Техническое описание. Руководство по эксплуатации. – Хмельницкий: ЧМП "Оупен Систем", 2001. – 28 с.
35. Диагностический мотор-тестер «Navigator». – Информационный лист фирмы «AFN» S. R. L., Кишинев, 2000.

36. Диагностический стенд "Спрут-Тестер". Техническое описание. Руководство по эксплуатации. – Луганск: НПО "Энергия", 2002. – 35 с.
37. Диагностическое и гаражное оборудование для станций технического обслуживания автомобилей. – Информационные листы и каталоги представительства концерна Роберт Бош Лтд в Украине. Киев, 2000.
38. Дмитренко А.В. Диагностика и ремонт электрооборудования, иностранных и отечественных автомобилей. – Николаев: ЭТОН, 1999. – 80 с.
39. ДСТУ 3649 - 97. Средства транспортные дорожные. Эксплуатационные требования безопасности к техническому состоянию и методы контроля. – К.: Госстандарт Украины, 1998. – 17 с.
40. Дунаев А.П. Организация диагностики при обслуживании автомобилей. – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.
41. Калявин В.П., Мозгалевский А.В. Технические средства диагностирования. Л.: Судостроение, 1984. – 208 с.
42. Касандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 104 с.
43. Климец Б.И. Исследование методов диагностики состояния систем зажигания двигателей с помощью электронных осциллографов: Дис. ... канд. техн. наук: ХАДИ. с Харьков, 1968. – 205 с.
44. Кривошапов С.И. Разработка методики и алгоритма общего диагностирования автомобилей по изменению коэффициента полезного действия: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Харьков, 1999. – 168 с.
45. Куверин И.Ю. Диагностирование карбюраторных ДВС по показателям спектрального анализа изменения угловой скорости коленчатого вала: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. – Саратов, 2002. — 20с.

46. Кукурудзяк Ю.Ю. Модель автоматизованого діагностування системи запалювання автомобільного двигуна // Автомобільний транспорт / Сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2004. – Вып.15. – С. 56–58.
47. Ламм А.Б. Исследование надежности и разработка методов диагностирования элементов систем зажигания автомобилей: Автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.09.03 / Моск. гос. автомоб.-дор. ин-т. – М., 1994. – 20 с.
48. Левинсон Б.В. Гернер В.С. Пособие по диагностированию технического состояния автомобилей. – К.: Техніка, 1974. – 84 с.
49. Левшина Е. С., Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи). – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
50. Литвиненко В.В. Электрооборудование автомобилей ВАЗ. – М.: Издательство «За рулем», 1998. – 240 с.
51. Литвиненко В.В. Электрооборудование автомобилей «Москвич». – М.: Издательство «За рулем», 1998. – 216 с.
52. Лихачев А.Г. Исследование и разработка метода диагностирования топливной экономичности с карбюраторным двигателем встроенными средствами: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.10 / МАДИ. – М., 1981. – 18с.
53. Лудченко А.А. Основы технического обслуживания автомобилей. –К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 400 с.
54. Лудченко А.А., Сапон Н. С. Техническая диагностика и обслуживание автомобилей в сельском хозяйстве. – К.: Урожай, 1985. – 148 с.
55. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях : в 2-х томах: Пер. с фран. – М.: Мир, 1983. – 256 с.
56. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с.

57. Методика диагностирования системы зажигания карбюраторных двигателей методом эталонных осциллограмм. – Горький, ВНИИНМАШ Горьковский ф-л. – 1976. – 19 с.
58. Мирошников Л.В., Болдин А.Г., Пал В.И. Диагностирование технического состояния автомобилей в автотранспортных предприятиях. – М.: Транспорт, 1977. – 263 с.
59. Назар Ф.А. Обґрунтування та реалізація методів автоматизованого діагностування бензинових двигунів на основі аналізу параметрів в їх системах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". – Х., 2003. – 20 с.
60. Новаченко И.В., Петухов В.М. Микросхемы для бытовой радиоаппаратуры: Справочник. – М.: Радио и связь, 1989. – 384 с.
61. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1991. – 304 с.
62. Опарин И.М. Теоретические основы разработки автомобильных бесконтактных и микропроцессорных систем зажигания: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Моск. гос. автомоб.-дор. ин-т. – М., 1995. – 41 с.
63. Опарин И.М., Купеев Ю.А. Электронные системы зажигания. – М.: Машиностроение, 1987. – 198 с.
64. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые). – 5-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 504 с.
65. Основы технической диагностики / Под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Машиностроение, 1976. – 462 с.
66. [Петренко А.М.](#), [Кувшинов В.В.](#) Основы научных исследований и техника эксперимента: Учеб. пособие / МАДИ ТУ. – М., 1999. – 92 с.



67. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранспорт України, 1998.
68. Попов О.Ю. Определение диагностических параметров электронной системы зажигания с низковольтным распределением энергии: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Моск. гос. автомоб.-дор. ин-т. – М., 1997. – 19 с.
69. Практика диагностирования автомобилей: Уч. пособие / А.Н. Юрченко, О.В. Бажинов, В.Н. Варфоломеев и др.; Под. ред. А.Н. Юрченко. – К.: НМК ВО, 1993. – 216 с.
70. Прохоров Б.В., Чванов А.И. Технология ТО и Р. Автомобили ВАЗ. Волжское объединение "АвтоВАЗ": – Л.: Машиностроение, 1987. – 273 с.
71. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов: Пер. с англ.; Под ред. Ю.И. Александрова. – М.: Мир, 1978. – 305 с.
72. Раевский М.А. Справочник по ремонту и обслуживанию автомобилей ВАЗ. Оборудование и инструмент. – К.: Высшая шк., 1989. – 175 с.
73. Ребедайло В.М., Кукурудзяк Ю.Ю. Аналіз методів і засобів діагностики електронного та електричного обладнання автомобілів. // Вісник Національного транспортного університету та Транспортної академії України. – К.: НТУ. – 2002. – №7. – С. 389–391.
74. Ребедайло В.М., Кукурудзяк Ю.Ю. Діагностика електрообладнання автомобілів та систем двигуна методами цифрової обробки сигналів // Матеріали VIII-ї наук.-техн. конф. "Вимірювальна і обчислювальна техніка в технологічних процесах". – Хмельницький, ТУП. – 2001. – С.165–168.
75. Ребедайло В.М., Кукурудзяк Ю.Ю. Діагностування автомобілів цифровим аналізатором систем автомобіля "Автотест" // Автошляховик

- України / Науково-виробничий журнал. – К.: ДержавтотрансНДІпроєкт. – 2003. – №3 (173). – С. 22–23.
76. Ребедайло В.М., Кукурудзяк Ю.Ю. Диагностирование системы зажигания двигателя непараметрическими методами спектрального анализа. // Вісник Східноукраїнського національного університету / Науковий журнал. – Луганськ: СНУ ім. Володимира Даля. – 2004. – №7(77) (Частина 1). – С. 122–126.
77. Ребедайло В.М., Кукурудзяк Ю.Ю. Диагностирование системы зажигания двигателя при изменении частоты оборотов коленчатого вала // Материалы VI-й Междунар. науч.-техн. конф. "Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы". – Севастополь, СевНТУ. – 2003. – С.21–23.
78. Ребедайло В.М., Кукурудзяк Ю.Ю. Исследование способов диагностирования систем зажигания и впрыска бензина. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета / Сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2003. – Вып.21. – С. 55–57.
79. Ребедайло В.М., Кукурудзяк Ю.Ю. Цифровая обработка сигналов системы зажигания с изменением частоты дискретизации. // Автомобильный транспорт / Сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2003. – Вып.13. – С. 21–24.
80. Ребедайло В.М., Кукурудзяк Ю.Ю. Цифровой анализатор систем автомобиля "Автотест" // Материалы V-й Междунар. науч.-техн. конф. "Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы". – Севастополь, СевНТУ. – 2002. – С. 158–161.
81. Росс Т. Системы зажигания легковых автомобилей. – М.: "За рулем", 1998. – 96 с.
82. РТМ 37.003.031 – 83 " Изделия автомобильные электронные. Общие технические требования". М., 1983. – 24 с.

83. Руководство по диагностике технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта ( РД-200-РСФСР – 15-0150-81 и РТ 200 – УССР-90-82). – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1982. –87 с.
84. Руководство по электрическому оборудованию автомобилей: Пер. с англ. – СПб.: ЗАО "Альфамер Паблишинг", 2000. – 288 с.
85. Сажко В.А. Електричне та електронне обладнання автомобілів: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. – К.: Каравела, 2004. – 304 с.
86. Самодиагностика электронных систем управления впрыском топлива и зажиганием: Справочник. – Харьков, 1995. – Т. 1 – 76 с.
87. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер., 2003. – 608 с.
88. Серов А.В. Актуальные проблемы развития диагностики в системе управления техническим состоянием машин, эффективностью и качеством их работ. // Материалы Всесоюзн. научн. конф. "Диагностика и прогнозирование технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта". – Харьков: ХАДИ, 1980. – С. 24-26.
89. Сига Х, Мидзутани С. Введение в автомобильную электронику: Пер. с япон. – М.: Мир, 1989. – 230 с.
90. Сидоров В.И. Техническая диагностика: Учеб. пособ. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: МАДИ, 1993. – 113 с.
91. Системы диагностики. Коды неисправностей автомобилей / Под ред. С. Афонина. – Батайск: ПОНЧиК, 1999. – 288 с.
92. Системы управления двигателем ВАЗ-2111 (1.5 л) с распределенным впрыском топлива. – М.: Ливр, 1998. – 144 с.
93. Системы управления двигателем. Системы впрыска и зажигания бензиновых двигателей. Том 6. Диагностика и проверка узлов автомобилей выпуска 1992 – 96 г. Autodata Limited, England.– М.: «Легион», 1998. – 832 с.

94. Соснин Д.А. Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей: Учеб. пособие специалисту по ремонту и владельцам автомобилей. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 272 с.
95. Соснин А.А., Колесниченко В.Н. Теоретические аспекты современных электронных систем зажигания для двигателей внутреннего сгорания. – М.: МАДИ, 1981. – 34 с.
96. Спичкин Г.В., Третьяков А.М., Либин В.Л. Диагностирование технического состояния автомобилей. – М.: Высш. шк., 1983. – 304 с.
97. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Ключев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др.; Под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
98. Тимофеев Ю.П. Электрооборудование автомобилей: устранение и предупреждение неисправностей. – М.: Транспорт, 1998. – 301 с.
99. ТУ 3100.25100.13010. Технические условия. Проверка диагностических параметров автомобилей ВАЗ на стенде ELSON S100A. – Тольяти: Волжское объединение "АвтоВАЗ", 1987. – 25 с.
100. ТУ 3100.25100.13019. Технические условия. Проверка узлов электрооборудования автомобилей ВАЗ на стенде ELSON- U. – Тольяти: Волжское объединение "АвтоВАЗ", 1987. – 22 с.
101. ТУ 3100.25100.13023. Технические условия. Микропроцессорная система управления двигателем (МСУД). Определение и устранение неисправностей. – Тольяти: Волжское объединение "АвтоВАЗ", 1987. – 28 с.
102. ТУ 3100.25100.41001. Технические условия. Бесконтактная система зажигания автомобилей ВАЗ. Устройство, работа и методы определения неисправностей. – Тольяти: Волжское объединение "АвтоВАЗ", 1987. – 27 с.
103. Фламиш О. Диагностика автомобилей. – М.: Транспорт, 1971. – 333 с.

104. Фламиш О. Диагностика автомобилей. Способы обнаружения скрытых неисправностей: Пер. с венг. – М.: Транспорт, 1973. – 207 с.
105. Харазов А.М. Диагностическое обеспечение технического обслуживания и ремонта автомобилей. – М.: Высшая шк., 1990. – 205 с.
106. Харазов А. М., Кривенко Е. И. Диагностирование легковых автомобилей на станциях технического обслуживания: Учеб. пособие для профессионального обучения рабочих на производстве. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 272 с.
107. Ходасевич А.Г. Справочник по устройству и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 1. – М.: Антелком, 2001. – 208 с.
108. Ходасевич А.Г. Справочник по устройству и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 2. – М.: Антелком, 2002. – 224 с.
109. Чванов А.И. Автомобили ВАЗ–2115. Технология ТО и Р. – Тольяти: АО АвтоВАЗ, 1997. – 187 с.
110. Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей. – М.: За Рулем, 1999. – 384 с.
111. Шрюфер Э. Обработка сигналов. Цифровая обработка дискретизированных сигналов. – К.: Либідь, 1995. – 320 с.
112. Шумик С. В., Савич Е.Л., Венринцев Н.В. Диагностирование и устранение неисправностей легковых автомобилей. – Минск: Беларусь, 1987. – 175 с.
113. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: Учеб. для автомоб. спец. вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2000. – 319 с.
114. Юрковский И.М. Возможные неисправности электрооборудования легкового автомобиля. – М.: Патриот, 1996. – 104 с.
115. Юрчевский А.А. Никитин А.А., Ткаченко С.Г. Системы зажигания современных бензиновых двигателей: Учеб. пособие. – М.: МАДИ 1995. – 37 с.

116. Anvar A., Kuhnell B. T. Signal processing and analysis development in condition monitoring of spark ignition internal combustion engine // Research Bulletin of the Centre for Machine Condition Monitoring. – Melbourne: Monash University J Mathew. – 1995. – №7. – P. 6.1–6.7.
117. DeBotton G., Sher E. Universal diagnostic method and system for engines / Patent Application Description. Class: 701111000 (USPTO), G01M015/00 (Intl Class). – Dallas, TX, US: Marsteller & Associates. – 2004. – 16 p.
118. Gertler J., Costin M. Model-based diagnosis of automotive engines // IFAC Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes. – Germany. – 1994. – P. 393–402.
119. Gertler J., Costin M., Fang X. Fang, Hira R. Model-based on-board fault detection and diagnosis for automotive engines // IFAC Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes. – Germany. – 1991. – P. 503–508.
120. König D., Bohme J.F. Application of cyclostationary and time-frequency signal analysis to car engine diagnosis // Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 1994. – №6. – P. 149–152.
121. Mauer G. F. On-line performance diagnostics for internal combustion engines // Int. Conf. on Ind. Electronics, Control, Instrumentation and Automation. – San Diego. – 1992. – №3. – P. 460–465.
122. Struss P. Knowledge-based Systems in Motion // Computer Science Department: Technical University of Munich, Germany. – 2002. – №2. – P. 22–28.