

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Інститут аерокосмічних технологій  
Кафедра космічної інженерії**

«На правах рукопису»

УДК 53.082.75

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр МАРИНОШЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Магістерська дисертація**  
на здобуття ступеня магістра  
за освітньо-професійною програмою **«Інженерія авіаційних та ракетно-  
космічних систем»**  
зі спеціальності 134 **«Авіаційна та ракетно-космічна техніка»**  
на тему: **«Визначення залишкового ресурсу елементів систем ракет і  
літаків»**

Виконав:

*студент VI курсу, групи АК-91мп*

Бакун Володимир Андрійович \_\_\_\_\_

Керівник:

*Професор, д.т.н., професор кафедри КІ*

Архипов Олександр Геннадійович \_\_\_\_\_

Консультант :

Рецензент:

*Доцент кафедри СКЛА, к.т.н., доцент*

Лукомський Василь Григорович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

*Київ – 2020 року*

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Інститут Аерокосмічних Технологій  
(повна назва)

Кафедра Космічної Інженерії  
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 134 – Авіаційна та ракетно-космічна техніка  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр МАРИНОШЕНКО  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Бакуну Володимирі Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема дисертації:** Визначення залишкового ресурсу елементів систем ракет і літаків / Determination of residual operation time of rocket and aircraft system components

**науковий керівник дисертації** Архипов Олександр Геннадійович, д.т.н., професор.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р. №\_\_

**2. Термін подання студентом дисертації:** 1 грудня 2020 року

**3. Об'єкт дослідження:** Елементи систем літальних апаратів.

**4. Предмет дослідження:** Механічні та електрохімічні характеристики металів і сплавів.

**5. Перелік питань, які потрібно розробити:**

5.1. Аналітичний огляд сучасних робіт з визначення залишкового ресурсу літальних апаратів;

5.2. Методика визначення експлуатаційної деградації металу руйнівними методами і оцінка залишкового ресурсу;

5.3. Методика визначення залишкового ресурсу неруйнівними методами;

5.4. Розробка методики визначення залишкового ресурсу за зміною потенціалу метала;

5.5. Розробка методики визначення залишкового ресурсу імпульсним методом;

5.6. Розробка стартап-проєкту.

## 6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

6.1. Аналітичний огляд сучасних робіт з визначення залишкового ресурсу літальних апаратів;

6.2. Методика визначення експлуатаційної деградації металу руйнівними методами і оцінка залишкового ресурсу;

6.3 Методика визначення залишкового ресурсу неруйнівними методами;

6.4. Методика визначення залишкового ресурсу залишкового ресурсу за зміною потенціалу метала;

6.5. Методика визначення залишкового ресурсу імпульсним методом;

6.6. Презентація стартап-проєкту.

7. Дата видачі завдання: 01.10. 2019

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналітичний огляд сучасних робіт з визначення залишкового ресурсу літальних апаратів.	до 29.11.2019 р.	
2.	Методика визначення експлуатаційної деградації металу руйнівними методами і оцінка залишкового ресурсу.	до 01.02.2020 р.	
3.	Методика визначення залишкового ресурсу неруйнівними методами.	до 20.03.2020 р.	
4.	Розробка методики визначення залишкового ресурсу за зміною потенціалу метала.	до 01.07.2020 р.	
5.	Розробка методики визначення залишкового ресурсу імпульсним методом.	до 30.08.2020 р.	
6.	Розробка стартап-проєкту.	до 07.10.2020 р	
7.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.	до 01.12.2020 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Володимир БАКУН

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олександр АРХИПОВ

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Ім'я користувача:  
Сергій Поваров

Дата перевірки:  
08.12.2020 22:08:13 EET

Дата звіту:  
08.12.2020 22:14:01 EET

ID перевірки:  
1005406389

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
81336

Назва документа: Бакун Володимир

Кількість сторінок: 83 Кількість слів: 13777 Кількість символів: 104882 Розмір файлу: 1.26 MB ID файлу: 1005698209

## 7.52% Схожість

Найбільша схожість: 7.52% з Інтернет-джерелом ([https://revolution.allbest.ru/radio/01023049\\_1.html](https://revolution.allbest.ru/radio/01023049_1.html))

7.52% Джерела з Інтернету

1

Сторінка 85

5.08% Джерела з Бібліотеки

1

Сторінка 85

## 0.12% Цитат

Цитати

2

Сторінка 86

Не знайдено жодних посилань

## 10.5% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 10 слів та 5%)

8.59% Вилучення з Інтернету

222

Сторінка 87

4.46% Вилученого тексту з Бібліотеки

592

Сторінка 93

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

64

**ВІДГУК**  
**наукового керівника**  
**на магістерську дисертацію**  
**на здобуття ступеня магістра**

виконану на тему: «Визначення залишкового ресурсу елементів систем ракет і літаків / Determination of residual operation time of rocket and aircraft system components»

студентом Бакуном Володимиром Андрійовичем  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Самостійно вибрана автором тема магістерської дисертації є актуальною, що пояснюється зростаючим терміном експлуатації літаків, стійкою тенденцією до багаторазового використання ракет, підвищенням вимог до безпеки експлуатації в аерокосмічній галузі. На цей час прогнозований ресурс при проектуванні складних технічних систем переважно лише окреслює мінімальний термін експлуатації з можливістю його продовження. Отже прогнозування ресурсу треба вести на науково обґрунтованих засадах, а його вичерпування має відстежуватися. Бажано, щоб контроль вичерпування ресурсу вівся постійно, в режимі онлайн для конкретної технічної системи або агрегата, що і пропонується в роботі.

Магістерська дисертація (МД) виконана відповідно до завдання і відповідає затвердженій темі. Тема дисертації відповідає науковій тематиці кафедри КІ КПП ім. Ігоря Сікорського і присвячена проблемі визначення залишкового ресурсу.

Автором ретельно досліджено вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на метал, проведено аналіз змін структури металу протягом тривалої експлуатації, визначені механічні і електрохімічні характеристики чутливі до деградаційних змін металів і сплавів.

Студент своєчасно виконував план дисертації. Робота виконана самостійно, на високому рівні теоретичної і практичної підготовки. Всі проведені розрахунки і конструкторсько-технологічні рішення в дисертації виконані правильно. Студент має високу ерудицію, широкі знання фахової літератури, уміє застосовувати сучасні системи та інформаційні технології.

Під час проектування та моделювання використовувалося сучасне програмне забезпечення, а саме: програми Microsoft Office, Autodesk Inventor, Ansys.

До недоліків та зауважень можна віднести певну неритмічність під час виконання роботи і відносно велика частка матеріалу описового характеру. Але вказані недоліки не знижують цінності дисертації.

Результати наукових досліджень апробовані на II Міжнародній науковій конференції молодих вчених і студентів "Авіа-ракетобудування: перспективи та напрямки розвитку" (м. Київ, Україна) – 2020 рік, V International Scientific and Practical Conference "Dynamics of the Development of World Science" (Vancouver, Canada) – 2020 рік, а також впроваджені та захищені патентом на корисну модель №143431.

Вважаю, що магістерська дисертація виконана на високому рівні та відповідає вимогам освітньо-професійної програми «Інженерія авіаційних та ракетно-космічних систем», а її автор, Бакун Володимир Андрійович, заслуговує присудження ступеня магістра за спеціальністю 134 Авіаційна і ракетно-космічна техніка і присвоєння кваліфікації магістра з авіаційної та ракетно-космічної техніки.

**Науковий керівник**

Д.т.н., професор, професор кафедри КІ  
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Олександр АРХИПОВ  
(ініціали, прізвище)

**РЕЦЕНЗІЯ**  
**на магістерську дисертацію**  
**на здобуття ступеня магістра**

виконану на тему: «Визначення залишкового ресурсу елементів систем ракет і літаків / Determination of residual operation time of rocket and aircraft system components»

студентом Бакуном Володимиром Андрійовичем  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Магістерська дисертація (МД) відповідає затвердженій темі, виконана відповідно завданню. Тема дисертації відповідає науковій тематиці кафедри і присвячена проблемі визначення залишкового ресурсу. Прогнозований ресурс при проектуванні експлуатації дуже часто не відповідає реальному. Також зважаючи на те, що в даній магістерській роботі визначення залишкового ресурсу більше присвячене елементам літаків та ракет, а також, те що все більше ракетноносіїв використовується повторно, це ще раз підтверджує актуальність роботи.

Магістерська дисертація складається з шести частин:

В першому розділі студент виконав глибокий інформаційний пошук та огляд наукових робіт, що присвячені визначенню залишкового ресурсу літальних апаратів.

В другому розділі детально описана методика визначення експлуатаційної деградації металу руйнівними методами і оцінка залишкового ресурсу.

В третьому розділі проведено визначення залишкового ресурсу неруйнівними методами.

В четвертому розділі здійснено розробку методики визначення залишкового ресурсу за зміною потенціалу металу.

В п'ятому розділі проведено розробку методики визначення залишкового ресурсу імпульсним методом.

В шостому розділі проведено маркетингове дослідження можливості запуску стартап-проекту.

Дисертація виконана на високому фаховому рівні, стиль та оформлення пояснювальної записки відповідає вимогам нормативних документів НТУУ "КПІ" імені Ігоря Сікорського, графічна частина задовольняє вимогам ЄСКД.

До недоліків та зауважень можна віднести те, що в пояснювальній записці недостатньо відображене питання комп'ютерного моделювання з використанням сучасного програмного забезпечення, а також міститься значна частка описового матеріалу. Але вказане не знижує цінності дисертації.

**Вважаю, що магістерська дисертація заслуговує оцінку «ВІДМІННО», а її автор, Бакун Володимир Андрійович, присудження ступеня магістра за спеціальністю 134 Авіаційна і ракетно-космічна техніка і присвоєння кваліфікації магістра з авіаційної та ракетно-космічної техніки.**

**Рецензент**

Доцент каф. СКЛА, к.т.н., доцент  
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Василь ЛУКОМСЬКИЙ  
(підпис) (прізвище, ініціали,)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська наукова робота присвячена розробці методології визначення залишкового ресурсу елементів ракет та літаків.

Визначення залишкового ресурсу та прогнозування робото-спроможності літальних апаратів залишається однією з актуальних тем вивчення в сучасному. До вже існуючих методів визначення залишкового ресурсу можна навести низку переваг та недоліків. Одним з найбільш перспективним методом є імпульсний, сутність якого полягає у відслідковуванні частоти появи стрибків потенціалу, які в подальшому назвали імпульси руйнації. Даний метод може використовуватись на ділянках трубопроводів, що працюють в середовищі рідких електролітів, наприклад, паливної системи. В даній роботі наголошується аспект на подоланні шумів, що фіксуються під час використання імпульсного методу. Дані шуми виникають через роботу обладнання, конструкції мікросхем, електро-хімічні процеси в середині конструкцій, тощо.

Наукова робота складається з основної частини, до якої входить вступ, 6 розділів, 20 таблиць, 21 рисунок, висновки, 38 використаних наукових джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 90 сторінок.

Ключові слова: *залишковий ресурс, корозія, тріщина, імпульсний метод, корозійно-втомне руйнування.*

## ANNOTATION

The master's scientific work is devoted to the development of a methodology for determining the residual life of elements of missiles and aircrafts. One of the actual topics of study in the modern world is determining of the residual resource and forecasting the performance of aircraft remains. There are a number of advantages and disadvantages of the existing methods of determining the residual resource. One of the most promising method is impulse method, the essence of which is to track the frequency of potential jumps, which are later called impulses of destruction. This method can be used on sections of pipelines operating in a liquid electrolyte environment such as a fuel system. In this work an aspect is made on overcoming the noises which are recorded while using the impulse method. These noises occur due to the operation of equipment, chip designs, electro-chemical processes in the structures and so on.

The scientific work consists of the main part, which includes an introduction, 6 chapters, 20 tables, 21 figures, conclusions, 38 used scientific sources and appendices. The total volume of the work is 90 pages.

Key words: *residual resource, corrosion, crack, pulse method, corrosion-fatigue failure.*

	Зміст	
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....		8
ВСТУП.....		9
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ РОБІТ З ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.....		12
1.1. Фактори, що негативно впливають на залишковий ресурс літальних апаратів.....		13
1.1.1. Циклічні навантаження.....		13
1.1.2. Конструкційні і технологічні фактори. ....		14
1.2. Методи визначення залишкового ресурсу літальних апаратів.....		15
1.3. Висновки по розділу.....		22
2. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ МЕТАЛУ РУЙНІВНИМИ МЕТОДАМИ І ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ.....		23
2.1. Висновки по розділу.....		31
3. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НЕРУЙНІВНИМИ МЕТОДАМИ.....		32
3.1. Висновки по розділу.....		36
4. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЗА ЗМІНОЮ ПОТЕНЦІАЛУ МЕТАЛА.....		38
4.1. Умови використання потенціометричного методу.....		38
4.2. Потенціометричний метод.....		39
4.3. Схема експерименту і датчики вимірювання.....		43
4.4. Висновки по розділу.....		46

					AK91MP01.16.20.00.00									
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Визначення залишкового ресурсу елементів систем ракет і літаків				Літ.		Аркуш	Аркушів		
Розроб.		Бакун В. А.										6	90	
Перевір.		Архипов О. Г.												
Т. контр.														
Н. контр.		Лукомський В. Г.												
Затв.														
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КІ гр. АК-91мп									

5. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ІМПУЛЬСНИМ МЕТОДОМ.....	48
5.1. Імпульсний метод.....	48
5.2. Аналоговий метод визначення залишкового ресурсу.....	50
5.3. Математичний метод.....	53
5.4. Розробка елемента контролю технічного стану конструкції електрохімічним імпульсним методом.....	58
5.5. Висновки по розділу.....	61
6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ.....	63
6.1. Опис ідеї проекту.....	63
6.2. Технологічний аудит проекту.....	65
6.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	66
6.4. Розробка ринкової стратегії проекту.....	76
6.5. Розробка маркетингової програми стартап-проекту.....	79
6.6. Висновки по розділу.....	82
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	86

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

*ЛА* – Літальний Апарат;

*НМК* – Неруйнівні Методи Контролю;

*КО* – Контрольований Об'єктом;

*АЦП* – Аналоговий Цифровий Перетворювач;

*ЕІМ* – Електрохімічний Імпульсний Метод;

*ІМК* – Імпульсний Метод Контролю;

*ОК* – Об'єкт Контролю;

$\Delta E$  – Різниця Потенціалів;

*ПРП* – Підсилювач Різниці Потенціалів;

*ПІ* – Підсилювач Імпульсів;

*ВІ* – Випрямляч Імпульсів;

*КІ* – Компаратор Імпульсів;

*ФПНШ* – Формувач Порогу Нечутливості Шуму;

*ЗІК* – Засіб Імпульсного Контролю;

*ПЗО* – Пристрій Зв'язку з Об'єктом;

*ПК* – Персональний Комп'ютер;

*ПВАС* – Плата Вводу Аналогового Сигналу  $\Delta E$ ;

*АЦП* – Аналого - Цифровий Перетворювач;

*ПРС* – Програма Реєстрації Сигналу  $\Delta E$ ;

*ПІІ* – Програма Ідентифікації Електрохімічних Імпульсів;

*БОШ* – Блок Обробки Шумів;

*ІЦП* – Імпульсно - Цифровий Перетворювач;

*ЕОМ* – Електронно – Обчислювальна Машина.

## ВСТУП

З моменту ескізного проектування в певну конструкцію, що буде створена, визначається і закладається в технічну документацію гарантійний ресурс, тобто термін безпечної експлуатації. Проте, в переважній більшості випадків трапляється, що закладений час роботи вичерпується, а конструкція чи механізм продовжує працювати в рамках наданих їй параметрів. Постає питання чи можливо безпечно експлуатувати подалі конструкцію та як визначити подальший термін можливої роботи.

На сьогоднішній день існують певні розрахункові та статистичні методи аналізу подальшого терміну експлуатації, проте немає єдиного універсального методу за допомогою якого можна було б визначити точний час продовження експлуатації. Складність ще полягає в тому, що конструкція чи елемент не є монолітом, а складається зазвичай з інших деталей та елементів, що мають власні характеристики та параметри.

**Актуальність теми.** Питання залишкового ресурсу в авіабудуванні, як ніколи актуальне. За статистичними даними більше 65 відсотків аерофлоту світу, що використовується, це літальні апарати, які працюють за межею розрахункового часу експлуатації. Згідно реєстру цивільних суден в Україні, станом на 2019 рік, середній вік авіафлоту України становить 20 років[1], хоча закладений строк використання літальних апаратів виробником, становить в середньому 20 – 25 років експлуатації.

В галузі космічного ракетобудування питання ресурсу експлуатування до недавнього часу навіть не ставилось. Ракети були одноразові і повторно не використовувались. Проте декілька років назад це бачення та ця концепція суттєво змінилась. Приватні компанії починають приземляти без руйнації першу ступінь ракет та повторно її використовувати в наступних польотах. Більше того повторно використовуються і обтікачі ракетносіїв. У планах компаній розробляти двоступінчасті ракети, які були б повністю багаторазові.

Зважаючи на вище згадану тенденцію питання визначення залишкового ресурсу та розробка методики аналізу конструкцій та механізмів як ніколи актуальна. Складність даного питання полягає ще і в тому, що необхідно розробити методику аналізу не руйнівними методами.

**Мета і задачі магістерської роботи** – розробка методики визначення залишкового ресурсу елементів ракет та літаків неруйнівними методами. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі науково-технічні задачі:

1. Провести аналіз уже наявних методик та способів визначення залишкового ресурсу.
2. Розробити наукові підходи/методики для визначення залишкового ресурсу елементів/конструкції.
3. Розробити практичну методику очистки отриманого сигналу з імпульсного методу від шуму.
4. Розробити інструкцію використання методики/технології на підприємстві з подальшою її монетизацією.

**Об'єкт дослідження** – корозійно-механічне руйнування структури елементів систем літальних апаратів та ракет під час дії корозійного середовища та експлуатаційних навантажень.

**Предмет дослідження** – механічні та електрохімічні характеристики металів і сплавів, а також оцінювання залишкового ресурсу.

**Методи досліджень** – корозійно-втомні випробування сталей проводили для визначення стадій корозійно-механічного руйнування; для оцінювання характеру зміни вимірних даних застосовували методи статистичної обробки інформації.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Проведено аналіз методів визначення залишкового ресурсу елементів обладнання і систем руйнівними методами.

2. Проведено аналіз методів визначення залишкового ресурсу елементів обладнання і систем неруйнівними методами.
3. Запропоновано для своєчасного отримання даних про розвиток втомних і корозійно-втомних процесів і прогнозування залишкового ресурсу застосування сучасних систем моніторингу заснованих на імпульсному методі.
4. Розроблено структурна схема алгоритму ідентифікації електрохімічних імпульсів і структурні схеми ЕІМ на основі математичної ідентифікації електрохімічних імпульсів.
5. Запропоновано і захищено патентом №143431 «Імпульсний спосіб корозійного моніторингу з очисткою від шуму»[2] (див. додаток 1) спосіб втомного і корозійно-втомного моніторингу з очисткою від шуму.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у тому, що:

1. Запропоновано використання імпульсного методу для оцінки стану системи літаків та ракет, що працюють в середовищі електролітів.
2. Створена методика очистки сигналу від шумів.
3. Створено практичні рекомендації з побудови стартапу для продажу технології визначення залишкового ресурсу.

**Апробації результатів магістерської роботи.** Результати роботи доповідались на II Міжнародній науковій конференції молодих вчених і студентів "Авіа-ракетобудування: перспективи та напрямки розвитку" (м. Київ, Україна) – 2020 рік, V International Scientific and Practical Conference "Dynamics of the Development of World Science" (Vancouver, Canada) – 2020 рік.

**Публікації.** За матеріалами роботи опубліковано 3 друковані праці, у тому числі колективна монографія, отримано 1 патент на корисну модель.

## **1. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.**

Визначення залишкового ресурсу та прогнозування роботоспроможності літальних апаратів залишається однією з основних тем вивчення в сучасному світі. На момент проектування ЛА в нього закладається певний строк служби. Проте, як показує практика та зібрана на її основі статистика, закладена величина строку служби, зазвичай, суттєво відрізняється від реальної. Тому постає питання в пошуку можливих, робочих методик визначення залишкового ресурсу ЛА. В технічній літературі, що доступна на теперішній час, практично відсутня інформація, про вплив технологічних факторів на структурні характеристики металів. Це не дозволяє відслідкувати чи хоча б розробити певну методику, що дозволяє відслідковувати певні зміни металу, хоча їх може бути багато:

- зміни структури і характеристик сталей від тривалої дії підвищених температур, механічних навантажень і агресивного середовища;
- корозійно-механічні пошкодження внаслідок дії агресивного середовища;
- утворення/руйнація металу чи конструкції під дією циклічних навантажень.

Мабуть, найпростішим і логічним методом запобігання аваріям і подовженням ресурсу є комплексне обстеження обладнання на основі наукових підходів з використанням відповідного інструментарію і прогнозування на основі отриманих даних залишкового ресурсу [3]. Але задача обстеження всієї поверхні надзвичайно складна, а частіше за все і неможлива через недоступність окремих ділянок обладнання. Більше того, при великих поверхнях, процес обстеження займає багато часу і потребує ще більше матеріальних ресурсів. В роботі [4] говориться, що навіть за умови

100% контролю поверхні не гарантовано виявлення всіх дефектів. Наголошується, що застосування найсучасніших методів дефектоскопії забезпечує надійність визначення навіть великих тріщин лише близько 80%, за високої ймовірності не виявлення цих же тріщин під час другої перевірки. Якщо йде мова про авіаційну чи ракетно-космічну галузь, відсоткова величина згадана раніше, просто не допустима.

### **1.1. Фактори, що негативно впливають на залишковий ресурс літальних апаратів.**

В процесі експлуатації на конструкцію ЛА впливають безліч факторів, що в геометричній прогресії зменшують залишковий ресурс. В [5] описуються основні фактори, що впливають на конструкцію ЛА, серед них є:

- Циклічні навантаження.
- Конструкційні та технологічні фактори.
- Вплив зовнішнього середовища. Корозійні ефекти.

#### **1.1.1. Циклічні навантаження.**

Циклічні навантаження є тими, що мають характеристику повторюватись в певному часовому проміжку. Серед тих, що діють на планер літака і на конструкцію можна розділити на три основні групи[6]:

##### **1. Навантаження функціонування:**

- Зміну підйомної сили крила під час польоту.
- Зміна тиску в герметичній кабіні.
- Навантаження маневрів.

## 2. Динамічні навантаження від зовнішнього середовища:

- У результаті дії повітря.
- У випадку нерівностей поверхонь аеродромів.

## 3. Вібраційні навантаження.

### 1.1.2. Конструкційні та технологічні фактори.

На рисунку 1.1 показано гістограму розподілення пошкоджень конструкційних факторів за частотою їхньої появи.

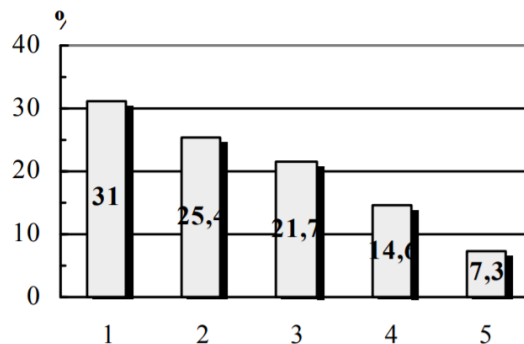


Рис. 1.1 – Гістограма розподілення пошкоджень.

*1 – тріщини від втоми, 2 – корозія, 3 – порушення з'єднань, 4 – корозійні розтріскування, 5 – ударні пошкодження.*

У разі технологічних факторів береться до уваги технологія виробництва та збирання авіаційної техніки. Головною метою технічних методів забезпечення ресурсу зводиться до зменшення діючих напружень у конструкції ЛА, а також до здібності конструкції чинити опір внутрішнім напруженням.

## 1.2. Методи визначення залишкового ресурсу літальних апаратів.

Питання визначення залишкового ресурсу виникає з моменту, коли гарантований термін експлуатації конструкції починає перевищувати реальний. У даному випадку проблематика пошуку актуального методу визначення залишкового ресурсу не тільки літальних апаратів, але і решти конструкції, залишається актуальним.

Найбільш поширена методика статистичного методу для прогнозування залишкового ресурсу, у яких для апроксимації використовується степенева функція[7]:

$$D(L) = D_0 + V_D L^a$$

де  $D_0, D(L)$  – початкове та поточні значення параметру;

$V_D$  – швидкість (інтенсивність) зміни параметру;

$L$  – пробіг з початку експлуатування або термін служби;

$a$  – показник степеня, що визначає характер зміни параметру  $D(L)$ : при  $a = 1$  – лінійна залежність, при  $a < 1$  – степенева або експоненціальна (опуклість вгору), при  $a > 1$  – степенева або експоненціальна (опуклість вниз).

Степенева функція зміни діагностичного параметру  $D(L)$  є достатньо універсальною, коефіцієнти якої мають чіткий фізичний зміст через невелику кількість невідомих коефіцієнтів та широке її застосування в теорії прогнозування.

Для визначення залишкового ресурсу при застосуванні зазначеного підходу необхідно знати початкове значення вимірювального параметру, пробіг експлуатації, значення вимірювального параметру в даний момент часу, а також граничне значення даного параметру:

$$t_{\text{зал}} = t \left[ \sqrt[a]{\frac{D_{\text{lim}} - D_0}{D - D_0}} - 1 \right]$$

де  $D_{\text{lim}}$ ,  $D_0$ ,  $D$  – граничне, початкове та фактичне значення параметру;

$t$  - термін напрацювання параметру.

Зважаючи на випадковий характер руйнування металу та утворення тріщин чи пітингів, даний метод не є точним та часто сильно перевищує реальні значення, більше того, основна умова його використання це знання початкових параметрів з моменту експлуатації, що зазвичай, є неможливим.

З розрахункових методів одним з перших для орієнтовної оцінки залишкового ресурсу авіаційної техніки було використано методику Періса[8].

Вважають, що за багато циклового навантаження швидкість розвитку втомної тріщини підкоряється закону Періса:

$$\frac{dl}{dN} = A * \Delta K^n,$$

де  $A$  і  $n$  – емпіричні коефіцієнти,  $\Delta K = K_{\text{max}} - K_{\text{min}}$  – перепад (розмах) коефіцієнта інтенсивності напружень за один цикл,  $N$  – число циклів.

Показник циклів « $n$ » для різних металів знаходиться в інтервалі (2 – 7) частіше за все використовується значення 4. Чим більш крихкий матеріал, тим більший показник ступеня.

Формула Періса описує середню (лінійну) ділянку повної діаграми втомного руйнування - кінетичної діаграми втомного руйнування (рисунок 1.2).

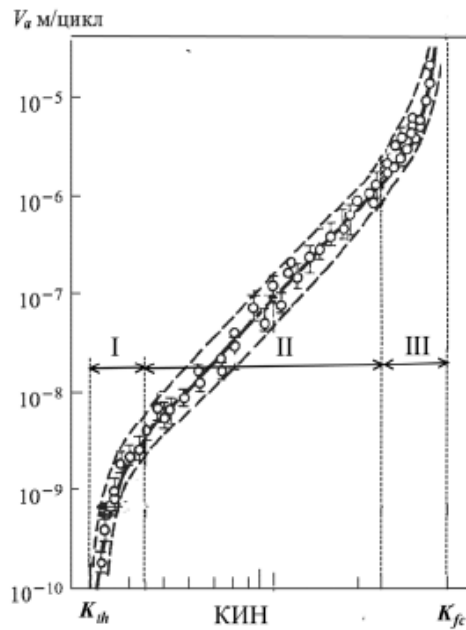


Рис. 1.2 – Схема розвитку втомної тріщини.

Перший етап відповідає низьким швидкостям росту тріщин: від  $10^{-10}$  до  $(2...20) \cdot 10^{-9}$  м/цикл. Другий етап відповідає швидкостям від  $(0,5...0,8) \cdot 10^{-8}$  до  $(1...10) \cdot 10^{-7}$  м/цикл.

Третій, як і перший нелінійний і відповідає високим швидкостям росту тріщин - більше  $10^{-6}$  м/цикл. Справа він обмежений значенням  $K_{fc}$ , при досягненні якого відбувається руйнування зразка. Використовуючи рівняння Періса і не приводячи викладки можливо орієнтовно визначити залишковий ресурс (кількість циклів навантаження) до утворення максимально можливої тріщини:

$$N_f = N_0 + \frac{(n-2)}{2A(\alpha\sqrt{\pi}\Delta\sigma)^n \left[ l_0^{-\frac{(n-2)}{2}} - l_f^{-\frac{(n-2)}{2}} \right]}$$

де  $N_f$  – напрацювання до досягнення небезпечної величини тріщини  $l_f$ ;

$N_0$  – кількість циклів, що відповідає тріщині довжиною  $l_0$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт, що враховує форму і розмір зразка, тип навантаження, форму тріщини;

$\Delta\sigma$  – розмах напружень;  $l_f$  – максимально допустима тріщина.

В якості максимально можливої тріщини використовується значення критичної довжини тріщини за Гріффітсом[9]:

$$l_f = l_{кр} = \frac{2E\gamma}{\pi\sigma^2}$$

де  $\gamma$  – питома поверхнева енергія,  $E$  – модуль пружності 1 роду,  $\sigma$  – діюче напруження в околі тріщини.

Навіть аналіз складових наведеної формули говорить про складність використання результатів для практичних випадків, але дозволяє, принаймні, оцінити порядок.

Для елементів систем літальних апаратів, що містять в своєму складі труби, або елементи схожої форми для визначення залишкового ресурсу, коли відомі напруження на момент чергового вимірювання може вестися за формулою:

$$T_{зал} = \frac{(N_0 - n)}{\dot{n}C_g}$$

де  $N_0$  – число циклів до руйнування металу в вихідному стані;  $n$  – число циклів навантаження на момент визначення  $T_{зал}$ ;  $\dot{n}$  – число циклів за один рік експлуатації;  $C_g$  – коефіцієнт старіння металу.

Останній коефіцієнт враховує умови і час експлуатації. Слід зазначити, що умови експлуатації таких елементів переважно помірковані і незначно змінюються на різних ділянках (крім ділянок прилеглих до насосів та компресорів, двигунів тощо), труба заповнена робочим середовищем зі сталими параметрами, а навантаження протягом тривалого часу коливається в незначних інтервалах. Трудність полягає в визначенні  $C_g$ .

Для досить простих конструкцій в світовій практиці добре зарекомендувала себе методика оцінювання ресурсу, відома як “Критерій B31G” із стандарту ANSI/ASME B31 G-1984[10]. Вона орієнтована саме на практичне використання і найбільш поширена в світовій практиці.

Виходячи з того, що часто основним видом руйнування є розвиток тріщин втомного або втомно-корозійного пошкодження, було запропоновано виділити найбільш типові.

Тут раховано навіть можливість водневого окрихчення металу. Передбачається, що внаслідок водневого розшарування і виходу водню на поверхню труби, можливість оцінювання залишкової несучої здатності стає адекватною визначенню залишкової несучої здатності стінки труби, яка пошкоджена виразковою корозією або механічним поверхневим дефектом типу задиру. Місця дефектів необхідно попередньо визначити методами неруйнівного контролю, наприклад, ультразвуком.

Для оцінювання ступеня небезпеки таких дефектів використовуються такі параметри як товщина стінки труби, глибина і довжина пошкодження, характер розшарування сталі (визначено 6 можливих типів). Потім в координатах “глибина дефекту ( $h$ ) – довжина дефекту ( $L$ )” будується графік, який умовно називають “ремонт потрібен – ремонт не потрібен” (рисунк 1.3).

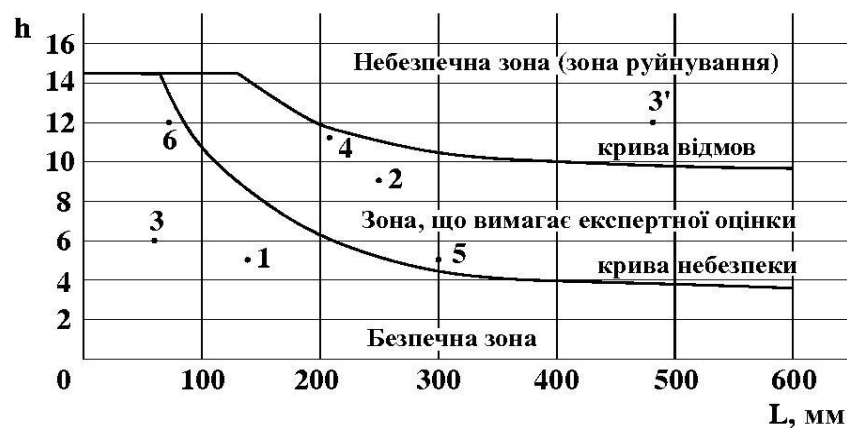


Рис. 1.3 – Графік “критерію V31G” для оцінки ступеня небезпеки локальних дефектів на поверхні за принципом “ремонт потрібен – ремонт не потрібен”.

На графіку між побудованими “кривою відмови” і “кривою небезпеки” розташовуються три зони: зона руйнування; зона, яка потребує експертного оцінювання; безпечна зона. В разі попадання дефекту в безпечну зону,

зрозуміло, що подальша експлуатація можлива, але з періодичним контролем. Коли ж дефект попадає в зону руйнування, експлуатація мусить бути негайно припинена. В разі попадання в зону, що вимагає експертного оцінювання, то залежно від додаткових умов, наприклад, місця положення точки, яка відповідає дефекту на графіку, швидкості корозії, індивідуальних вимог приймається рішення про можливий подальший період експлуатації і період контролю за розвитком корозійного дефекту.

Дана методика дозволяє оцінювати залишковий ресурс. Для цього необхідно знати з попередніх обстежень швидкість зростання тріщини (приймається апріорі, що вона не зміниться. Знаючи поточне положення точки на графіку визначається величина  $L_{\text{крит.}} - L_{\text{поточ.}}$ . Поділивши останню величину на швидкість корозії або ж швидкість росту корозійно втомної тріщини орієнтовно визначають залишковий ресурс.

Загальним недоліком описаного методу є необхідність проведення попередніх електрометричних і внутрішніх обстежень магнітними методами. Самі обстеження після виявлення дефектів проводять з інтервалом, який задається експертним шляхом і не виключена можливість руйнування в між інспекційний період. До того ж всі дефекти повинні бути зведені до певного типу, що дещо загрублює розрахункову модель.

Значно просунулась школа професора Г.М. Никифорчина в питаннях прогнозування залишкового ресурсу[11]. Згідно запропонованим підходам розглядають дві стадії експлуатаційної деградації конструкційних сталей: стадія I – деформаційне старіння, стадія II – розсіяної пошкодженості. Треба відзначити, що якщо провідним механізмом експлуатаційної деградації сталей виступає розсіяна пошкодженість, то вона може реалізуватися лише в разі тривалого терміну експлуатації (рисунок 1.4).

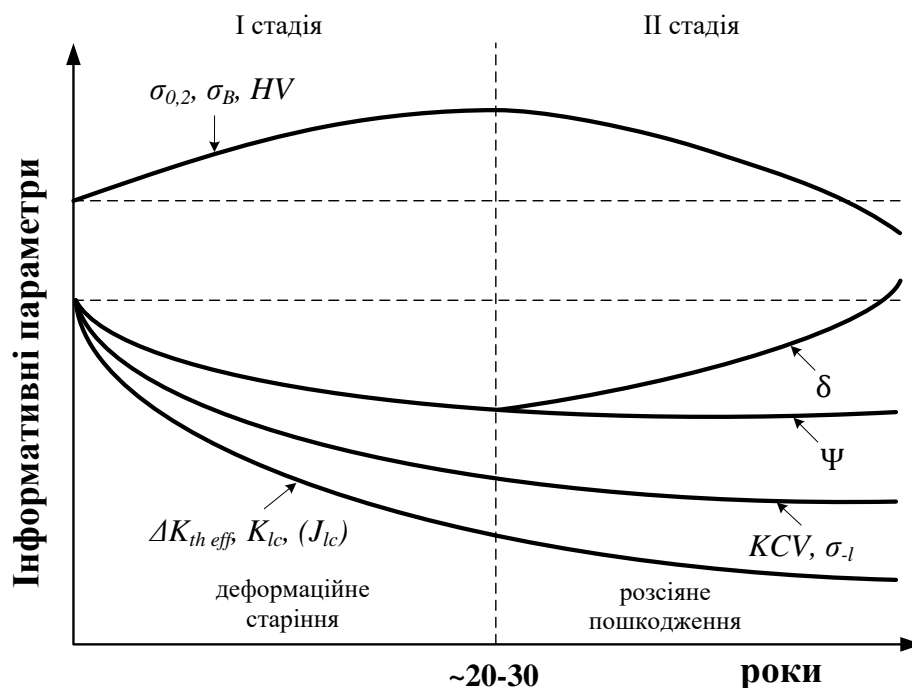


Рис. 1.4 – Узагальнена схема зміни найуживаніших механічних характеристик сталей за час тривалої експлуатації.

Феноменом особливого прояву стадії розсіяної пошкодженості є збільшення впродовж експлуатації відносного видовження  $\delta$  за одночасного зниження показників опору крихкому руйнуванню. Як критерій слугує точка мінімуму відносного звуження. При переході на цю стадію автори пропонують не враховувати як чутливу величину відносне видовження, через численні мікротріщини в об'ємі металу.

Цей феномен показує на інтенсивний розвиток пошкодженості або в процесі експлуатації, або в процесі розтягу зразка, але і одночасно на необхідність уважного використання відносного видовження як показника пластичності. Окремо необхідно відзначити неможливість використання на другій стадії такого показника як твердість металу. Це обумовлено численною розсіяною пошкодженістю в усьому об'ємі металу, що і викликає структурні зміни металу на макрорівні.

Як показав проведений аналіз сучасних підходів до визначення деградації сталей в умовах тривалої експлуатації, залежно від умов

експлуатації і використаних марок сталей, застосовуються принципово різні підходи, що ґрунтуються на відмінних чутливих величинах. Саме ж питання визначення залишкового ресурсу є на цей час актуальним і до кінця не розв'язаним. Спроби пошуку підходів до розв'язання цієї проблеми будуть показані нижче.

### **1.3. Висновки по розділу.**

В даному розділі розглянуті основні фактори, що негативно впливають на залишковий ресурс літальних апаратів, а також основні відомі методи визначення залишкового ресурсу.

В науковій літературі практично відсутні згадки про дію технологічних факторів на зміни структури металу. Зазвичай є декілька варіантів, з чим це пов'язано. Основний з них це складність аналізу металу у випадках коли він не завершив свій термін експлуатації та його і подалі планують використовувати. Також варто відзначити, що даний процес є доволі тривалий у часі, так як терміни експлуатації, зазвичай, перевищують декілька років.

Варто зазначити, що все частіше спеціалісти відмовляються від статистичних та математичних методів, в основі яких закладено збір даних та використання математичних основ, в перевагу досліджень руйнівними та неруйнівними методами з розрахунковими перевірками на міцність. Це обумовлено тим, що кожен випадок є унікальним і розглядати його необхідно окремо.

## **2. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ МЕТАЛУ РУЙНІВНИМИ МЕТОДАМИ І ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ**

Під час проектування конструкцій, постає питання проходження певного контролю та визначення терміну дії конструкції. Руйнівні методи визначення рівня деградації металу полягають в імітуванні умов в яких буде працювати майбутній виріб. Тестування відбуваються аж до моменту руйнування зразка. Методи неруйнівного контролю зазвичай використовуються задля розуміння змін в характеристиках матеріалів, дослідження кількості відмов в процесі експлуатації та підтвердження роботоспроможності кінцевого виробу.

Основні види руйнівного контролю[12]:

1. **Тестування в агресивному середовищі.** В даному дослідженні зразок розташовують в кислому, лужному чи інших агресивних середовищах.
2. **Корозійні випробування.** Здійснюється дослідження в різних корозійних середовищах. Іноді процес затяжний у часі, тому користуються прискорювачами, у вигляді кислот.
3. **Руйнування та механічні випробування.** В даний тип випробувань входять випробування на згин, стиснення, розтяг, випробування на удар по Шарпі, та решта.
4. **Випробування на втому.** Даний тип випробувань націлений на виявлення втомних тріщин в процесі експлуатації.
5. **Водневе тестування.** Випробування проходять у водневому середовищі при різних температурах та різних деформаціях.
6. **Вимірювання залишкового напруження.** Напевно одне з найважливіших випробувань, так як здійснюється дослідження на

залишкові випробування, що в майбутньому дає можливість розподілити їх по конструкції та збільшити термін її експлуатації.

Також можливий і інший варіант. У разі неможливості проведення досліджень та імітування всього процесу життєдіяльності конструкції перед, власне, її створенням, за часту, дослідження проводять після багатьох років експлуатації. Проте найбільша проблематика полягає в тому, що задля проведення досліджень необхідний тестовий зразок. Він береться з частини конструкції і дуже часто після цього конструкція вже не може виконувати свої функції.

В даній роботі, представлено як раз такий варіант, тобто досліджуваний метал був взятий з уже не робочої конструкції.

В даного метода є свої переваги та недоліки, які необхідно враховувати у процесі дослідження.

### **Переваги руйнівних методів контролю:**

1. Випробування частіше за все імітують одне або декілька робочих умов. Отже, вони безпосередньо спрямовані на виміри експлуатаційної надійності.

2. Випробування звичайно є кількісними вимірюваннями руйнуючих навантажень або терміна служби до руйнування за певних навантажень і умов.

3. Зв'язок між більшістю вимірювань руйнуючим контролем і властивостями матеріалів, що вимірюються (особливо під навантаженням, що імітує робочі умови) частіше за все, прямий. Тому виключені спори з результатів іспитів і їх значення для експлуатаційної надійності матеріалу або деталі.

### **Недоліки руйнівних методів контролю:**

1. Як правило, іспити не проводять на об'єктах, що фактично використовуються в умовах експлуатації. Отже відповідність між об'єктами,

на яких проводилися дослідження і об'єктами, що знаходяться в експлуатації (особливо у відмінних умовах), має бути доведено якимось іншим чином.

2. Іспити можуть вестися тільки на частині виробів із партії. Коли властивості змінюються від деталі до деталі, такі іспити можуть мати не дуже велику ціну.

3. Часто дослідження не можна проводити на цілій деталі. Досліди тоді обмежуються зразками, вирізаними із деталі або спеціального матеріалу, що має властивості матеріалу деталі, який буде використовуватися в робочих умовах.

4. Одиничне випробування з руйнуванням може визначити тільки одну (дуже рідко декілька) характеристику, яка може впливати на надійність виробу в робочих умовах.

5. Руйнівні методи контролю важко застосовувати до деталей в умовах експлуатації. Частіше робота припиняється і деталь забирається з робочих умов для досліджень.

6. Кумулятивні (накопичувальні) зміни, що відбуваються на деталі за певний час виміряти неможливо. Коли декілька деталей із однієї партії досліджуються протягом певного часу, то треба довести, що деталі були однаковими. Коли деталі використовуються в робочих і видаляються після різного періоду експлуатації, необхідно довести, що деталі були піддані впливу аналогічних робочих умов. Лише після цього можна стверджувати про обґрунтованість результатів.

7. В тому випадку, коли деталь виготовлена з високовартісного матеріалу, вартість заміни зламаної деталі може бути досить високою. При цьому неможливо виконати відповідну кількість руйнівних методів контролю.

8. Велика кількість руйнівних методів контролю вимагають механічної або іншої попередньої обробки зразка, що піддається дослідженням. Інколи потрібні велико-габаритні, але більш точні машини. В результаті вартість

іспитів може бути дуже високою, а кількість зразків обмеженою. Крім того, такі дослідження вимагають високої кваліфікації обслуговуючого персоналу і досить працездатні.

9. Коли руйнівні методи є основними і тривають довгий час, то виробництво деталей стає занадто дорогим, а витрати зростають додатково за рахунок зростання людино-годин для проведення іспитів.

Можна помітити, що всі руйнівні методи не відповідають на основне питання визначення залишкового ресурсу, а лише дають повну відповідь про стан структури металу на момент дослідження. Це означає, що і руйнівні та неруйнівні методи можна використовувати лише як інструменти для формування методики оцінювання і визначення залишкового ресурсу.

Грунтуючись на результатах роботи [13], зміну в часі характеристик за статичного розтягу під час деформаційного старіння можна представити у вигляді схеми (дивись рисунок 2.1):

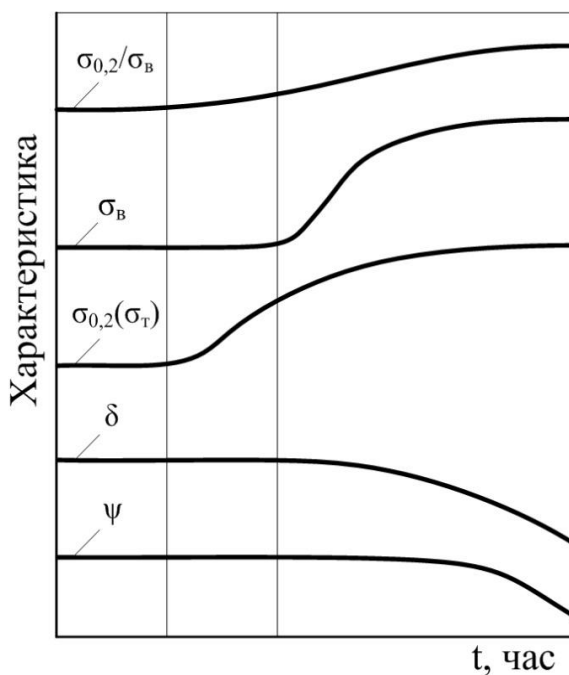


Рис. 2.1 – Динаміка змін чутливості механічних характеристик.

Аналіз кривих з рисунку 2.1 дозволяє зробити висновок, що чутливість до деформаційного старіння у  $\sigma_b$  і  $\delta$  порівняно з  $\sigma_{0,2}$  починається на більш пізніх етапах експлуатації. Отже з огляду безперервності відслідковування деградаційних процесів металу використання  $\sigma_{0,2}$  вбачається найбільш раціональним, серед характеристик пластичності це  $\delta$ . Але величини відносного видовження і відносного звуження в процесі експлуатації мають більш складний характер взаємодії з деформацією ніж напруження. Їх значення залежать як від розподілу дислокацій, так і від структури сталі. Отже за їх зміною складніше оцінити ступінь деградації сталі, що і підтверджено практикою. В разі відсутності на момент проведення досліджень металу з тієї ж партії поставки, що не була в експлуатації, методично доцільно використовувати показник  $\sigma_{0,2} / \sigma_b$ .

Високу чутливість до оцінювання ступені деградації має ударна в'язкість. Певною проблемою її використання є часто відсутність її регламентації в нормативних документах, або регламентація лише нижнього значення. Ефективну методику оцінювання ступені деградації за допомогою ударної в'язкості запропонував А.П. Гуляєв. Згідно з його методикою робота руйнування сталевих зразків ( $A$ ) з радіусом надрізу розкладається на роботу зародження тріщини ( $A_z$ ) і роботу розвитку тріщини ( $A_p$ ):

$$A = A_z + A_p$$

Для досліджень на удар було виготовлено зразки з концентраторами напружень різного радіусу і після випробувань на ударну в'язкість зразків із сталі з різними радіусами надрізу: 0,2; 0,35; 0,5; 0,75 і 1,0 мм побудовано залежність ударної в'язкості від радіусу надрізу (рисунк 2.2).

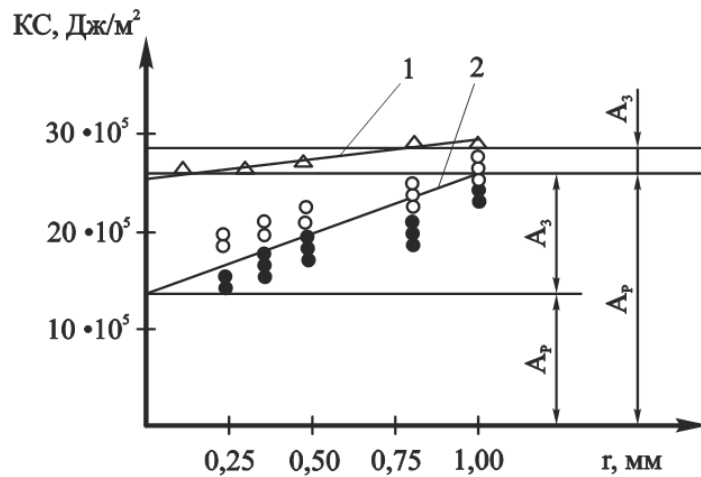


Рис. 2.2 – Залежність ударної в'язкості від радіуса надрізу сталі: 1 – вихідна сталь, 2- по тривалій експлуатації.

Аналіз отриманих даних свідчить, що при дещо більшій роботі зародження в експлуатованій сталі, руйнування відбувається швидше, ніж вихідної сталі, тобто в металі після тривалої експлуатації за наявності різного роду дефектів, руйнування експлуатованої сталі відбувається майже в 2 рази легше ніж вихідної. Запропонований підхід дозволяє певною мірою оцінити погіршення механічних характеристик. Причому, це не потребує довготривалих досліджень, наприклад, тріщиностійкості. Хоча задача визначення залишкового ресурсу Гуляєвим не ставиться, але робиться спроба оцінити ступінь деградації металу. На мою думку можна було би напрацювати, наприклад, такий показник як  $\frac{A_3}{A_p}$  в якості показника деградації і визначити допустимі значення для окремих конструкцій.

Цікавий підхід визначення переходу в окрихчення стан полягає в дослідженні точки в'язко-крихкого переходу (дивись рисунок 2.3). В цьому випадку на удар досліджуються зразки за різних температур. Далі наведено результати досліджень в діапазоні температур  $+20^{\circ}\text{C}$  -  $-60^{\circ}\text{C}$  з інтервалом  $20^{\circ}\text{C}$ .

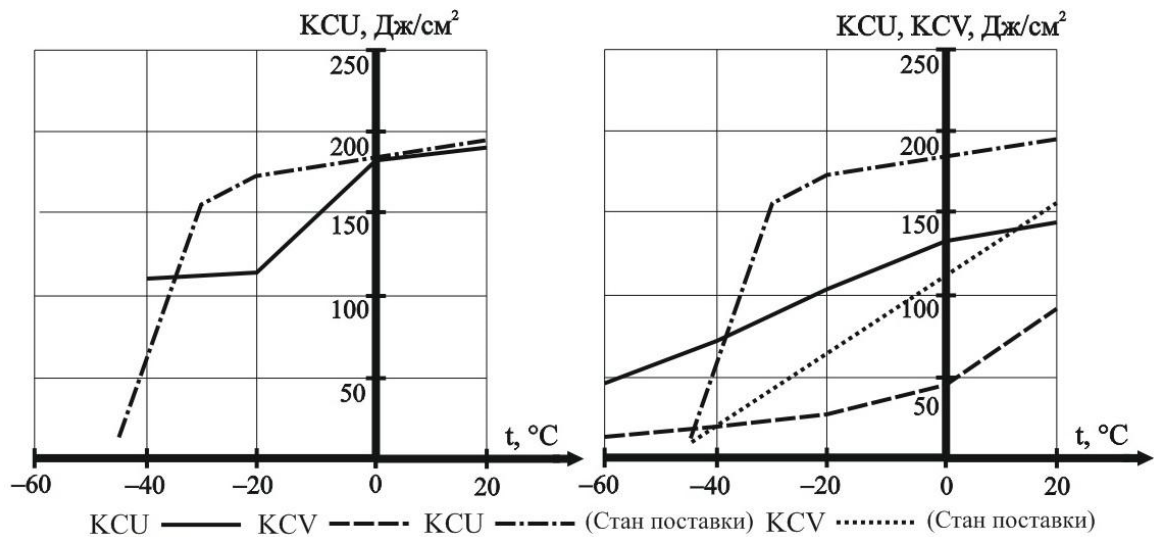


Рис. 2.3 – Ударна в'язкість зразків №1 і №2.

Досліджуються партії зразків у вихідному стані і по тривалій експлуатації. По вертикальній осі відкладається величина ударної в'язкості, а по горизонтальній температура, за якої проводяться іспити [14]. З графіків видно, що у сталей, які тривалий час були в експлуатації, перелам на графіках ударної в'язкості настає за більш високих температур. Додатково необхідно провести заміри в перерізах руйнувань частки крихкої і в'язкої зон. Для окремих марок сталей зміщення температури в'язко-крихкого переходу може бути показником деградаційних процесів. Зафіксовані випадки зміщень температур в'язко-крихкого переходу до 20<sup>0</sup> С. Причому гострі концентратори виявляються більш чутливими. Але ця методика теж не відповідає на питання ступені вичерпання ресурсу і, відповідно, про величину залишкового ресурсу.

Вище було показано, що високу чутливість до деградаційних процесів мають певні характеристики міцності, особливо  $\sigma_{0,2}$ . На рисунку 2.4 наведено дослідження на розтяг зразків по тривалій експлуатації – 270 тисяч годин з періодичним визначення характеристик за цей період. Зразки виготовлялись з орієнтацією волокон паралельно поздовжній осі і визначалась умовна границя текучості  $\sigma_{0,2}$ , границя міцності  $\sigma_b$ , на основі цих даних визначається комплексний показник  $\sigma_{0,2} / \sigma_b$ .

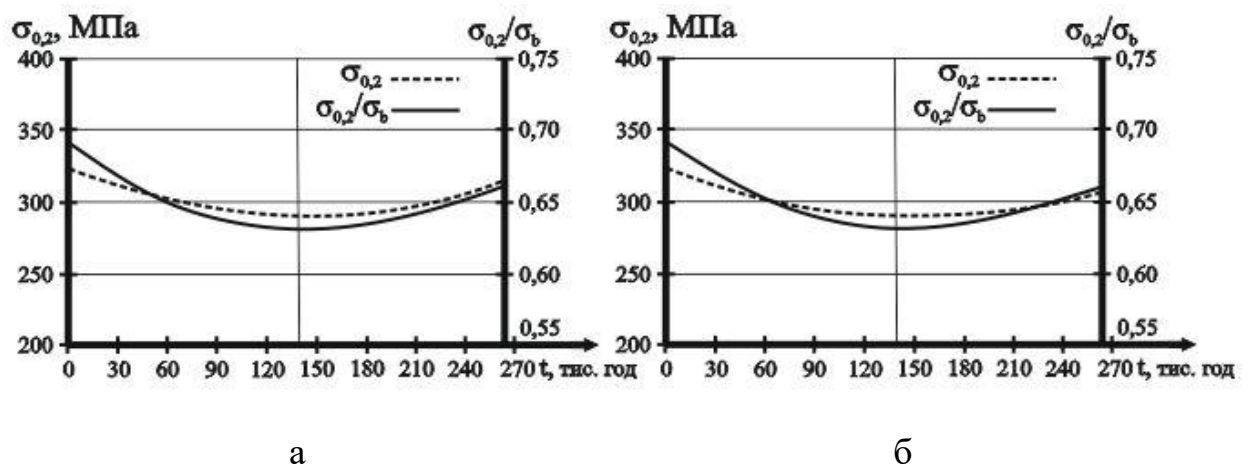


Рис. 2.4 – Характеристика зміни умовної границі текучості і комплексного показника: а - зразка №1; б - зразка №2.

Зразки виготовлялись з орієнтацією волокон паралельно поздовжній осі і визначалась умовна границя текучості  $\sigma_{0,2}$ , границя міцності  $\sigma_b$ , на основі цих даних визначається комплексний показник  $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ . Використання комплексного показника  $\sigma_{0,2}/\sigma_b$  дозволяє певною мірою усунути недолік порівняння характеристик, що пов'язаний з відсутністю зразків виготовлених зі сталі з тієї ж партії поставки, але не бувшої в експлуатації. Крім того, для окремих металів цей показник може виявитись більш чутливим щодо виявлення змін механічних характеристик.

Установлено, що згідно з характером змін в часі умовної границі текучості  $\sigma_{0,2}$ , на першому етапі експлуатації матеріал підлягав розміцненню, а другий етап навпаки характеризувався зміцненням сталі[15]. В результаті обробки експериментальних даних встановлено, що зміна в часі умовної границі текучості  $\sigma_{0,2}$  описується рівнянням:

$$\sigma_{0,2} = k - mt + nt^2,$$

де  $k, m, n$  – сталі величини;  $t$  – час, тис. год.

Таким чином, дослідження показують, що існує деяка точка, коли змінюється характер поведінки величини  $\sigma_{0,2}$ , на думку групи вчених ця точка має свідчити про перехід в стадію об'ємної пошкоджуваності, коли експлуатація вимагає пильного контролю, а для відповідальних об'єктів взагалі припинена. Отримані аналітичні залежності зміни в часі величини  $\sigma_{0,2}$ , або  $\sigma_{0,2}/\sigma_b$  дозволяє прогнозувати залишковий ресурс як відрізок між поточним значення величини  $\sigma_{0,2}$  ( $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ ) і відповідною величиною з мінімальним значенням.

## **2.1. Висновки по розділу.**

В даному розділі описувалися основні руйнівні методи, а також недоліки та плюси їх використання. Варто зазначити, що використання руйнівних методів не дає чіткої відповіді про залишковий ресурс, а є лише інструментом для визначення структурних змін.

Згадані вище методики використовують руйнівні методи для оцінки деградованості металу після експлуатації або ж її імітування. Проте жоден з них не розвиває повноцінну, робочу, універсальну методику визначення залишкового ресурсу.

### **3. МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НЕРУЙНІВНИМИ МЕТОДАМИ**

Неруйнівні методи контролю (НМК), або діагностика - це узагальнююча назва методів контролю якості матеріалів (виробів), що використовуються для виявлення порушення цілісності або однорідності макроструктури, відхилень хімічного наповнення і інших цілей, що не вимагають руйнування зразків матеріалу і/або виробу в цілому[16].

Основні вимоги, що висуваються до неруйнівних методів контролю, або діагностики:

- можливість здійснення контролю на всіх стадіях виготовлення, при експлуатації і при ремонті виробів;
- можливість контролю якості продукції по більшості заданих параметрів;
- узгодженість часу, що витрачається на контроль, з часом роботи іншого технологічного обладнання;
- висока достовірність результатів контролю;
- можливість механізації і автоматизації контролю технологічних процесів, а також управління ними з використанням сигналів, видаваних засобами контролю;
- висока надійність дефектоскопічної апаратури і можливість використання її в різних умовах;
- простота методики контролю, технічна доступність засобів контролю в умовах виробництва, ремонту і експлуатації.

Основними областями застосування НМК є діагностика особливо відповідальних деталей і пристроїв (атомні реактори, літальні апарати, підводні і надводні плавальні механізми, космічні кораблі і т.д.); діагностика

деталей і пристроїв тривалої експлуатації (портові споруди, мости, крани, атомні електростанції, котли, штучні супутники Землі); безперервна дефектоскопія особливо відповідальних агрегатів і пристроїв (котли атомних, тепло- і електростанцій), контроль підземних виробок; проведення досліджень-ний структури матеріалів і дефектів у виробках з метою удосконалення самої технології.

Залежно від принципу роботи все НМК діляться на[17]:

- акустичні (ультразвукові);
- капілярні; магнітні (або магнітопорошковий);
- оптичні (візуально оптичні);
- радіаційні;
- радіохвильові;
- теплові;
- струйний контроль;
- електричні;
- електромагнітні, або струмовихровий (методи вихрових струмів).

**Акустичні методи** засновані на реєстрації коливань, порушуваних або виникають в контрольованому об'єкті. Їх застосовують для виявлення поверхневих і внутрішніх дефектів (порушень суцільності, неоднорідності структури, міжкристалітної корозії, дефектів склеювання, пайки, зварювання тощо) в деталях і виробках, виготовлених з різних матеріалів. Вони дозволяють контролювати геометричні параметри при односторонньому доступ до виробу, а також фізико-механічні властивості металів і металовиробів без їх руйнування. У сьогоdnішній час розроблені й успішно застосовуються тіньовий, резонансний, ехо-імпульсний, емісійний, велосиметричний і метод вільних коливань. Ці методи називають також ультразвуковими.

**Капілярні методи** засновані на капілярному проникненні крапель індикаторних рідин в порожнини поверхневих дефектів. При контролі цими методами на очищену поверхню деталі наносять проникаючу рідину, яка

заповнює порожнини поверхневих дефектів. Потім рідину видаляють, а що залишилася в порожнинах дефектів частина виявляють за допомогою проявника, який утворює індикаторний малюнок. Капілярні методи використовуються в польових, цехових і лабораторних умовах, в широкому діапазоні позитивних і негативних температур. Вони дозволяють виявляти термічні і тріщини від шліфування, заходи та ін. Капілярні методи можуть бути застосовані для виявлення дефектів в деталях з металів і неметалів простої та складної форми.

**Магнітні методи** контролю засновані на реєстрації магнітних полів розсіювання, що виникають над дефектами, або на визначенні магнітних властивостей контрольованих виробів. Ці методи дозволяють виявити дефекти типу не цілісності матеріалу (тріщини, волосовини, заходи), а також визначити механічні характеристики феромагнітних сталей і чавунів зі зміни їх магнітних характеристик.

**Візуально оптичні методи** контролю засновані на взаємодії світлового випромінювання з контрольованим об'єктом (КО). За характером взаємодії розрізняють методи відбитого, розсіяного і індукованого випромінювання (під останнім мається на увазі оптичне випромінювання предмета під дією зовнішнього впливу, наприклад люмінесценцію). Інформативними параметрами цих методів є амплітуда, фаза, ступінь поляризації, частота або частотний спектр, час проходження світла через об'єкт, геометрія заломлення або відображення випромінювання. Оптичні методи широко застосовують через великого розмаїття способів отримання первинної інформації про наявність зовнішніх дефектів незалежно від матеріалу контрольованого виробу.

**Радіаційні методи** контролю засновані на реєстрації і аналізі проникаючого іонізуючого випромінювання. Використовується рентгенівське, гамма-випромінювання, потоки нейтрино і т.д. Проходячи через товщу виробу, проникаючі випромінювання по-різному ослаблюються в

дефектних і бездефектних перетинах і несуть інформацію про внутрішню будову речовини і наявність відхилень від норми всередині виробу. Ці методи використовуються для контролю зварних і паяних швів, виливків, прокату і т.д.

**Радіохвильові методи** засновані на реєстрації параметрів електромагнітних хвиль радіодіапазону. Зазвичай використовуються хвилі надвисокочастотного діапазону довжиною 1-100 мм для контролю виробів з матеріалів, де радіохвилі загасають не надто сильно: діелектрики (пластмаса, кераміка, скловолокно), магнітодіелектрики (ферити), напівпровідники, тонкостінні металеві об'єкти. Так само, як оптичні і акустичні, розрізняють методи пройшов, відбитого, розсіяного випромінювання і резонансний метод. Теплові методи засновані на реєстрації змін теплових або температурних полів КО. Вони застосовні до будь-яких матеріалами. Розрізняють пасивний (на об'єкти не впливають зовнішнім джерелом тепла) і активний (об'єкт нагрівають або охолоджують) методи. Вимірюваним інформативним параметром є температура або тепловий потік.

При пасивному методі вимірюють температурне поле робочого об'єкта. Дефект визначається появою місць підвищеної (зниженої) температури. Таким методом визначають місця витoku теплоти в будівлях; тріщини в двигунах і т.д. При контролі активним методом об'єкт нагрівають контактним і безконтактним методом і вимірюють температуру з тієї чи іншої сторони об'єкта. Це дозволяє виявляти нецілісності (тріщини, пористість, сторонні включення) в об'єктах, зміни в структурі фізико-механічні властивості матеріалу по зраді ня теплопровідності, теплоємності, коефіцієнту теплопередачі. Вимірювання температури або теплових потоків виявляють контактним або безконтактним способом. Найбільш ефективний засіб безконтактного спостереження - тепловізор. Його використовують для визначення дефектів пайки багат шарових виробів з металів і неметалів, клейових з'єднань і т.д.

**Струйні методи контролю** засновані на реєстрації індикаторних рідин і газів, що проникають в наскрізні дефекти. Їх застосовують для контролю герметичності працюючих під тиском зварних судин, балонів, трубопроводів, паливної і гідроапаратури, масляних систем силових установок та решти. До струйних методів відносять гідравлічне опресування, аміачно-індикаторний метод, контроль за допомогою гелієвого шукача протікань і т.д.

**Електричні методи** засновані на реєстрації параметрів електричного поля, що взаємодіє з КО (власне електричний метод), або поля, що виникає в КО в результаті зовнішнього впливу (термоелектричний метод). Первинними інформативними параметрами є електрична ємність або потенціал. Ємнісний метод використовується для контролю діелектричних або напівпровідникових матеріалів. За зміною провідності, зокрема її реактивної частини, контролюють хімічний склад пластмас, напівпровідників, наявність в них дефектів; вологість сипучих матеріалів та інші властивості.

**Електромагнітний метод (вихрових струмів)** заснований на реєстрації змін взаємодії електромагнітного поля котушки з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться цією котушкою в КО. Його застосовують для виявлення поверхневих дефектів в магнітних і немагнітних деталях. Метод дозволяє виявляти порушення цілісності (в основному тріщини) на різних по конфігурації деталях.

### **3.1. Висновки по розділу**

В даному розділі було наведено основні положення неруйнівних методів контролю. Так само як і руйнівні методи, вони не використовуються для прогнозування залишкового ресурсу, а лише дають певну оцінку стану структури металу чи конструкції в цілому. Варто зазначити, що основною найбільшою проблемою використання відомих неруйнівних методів це, те що

у випадку великих масштабів конструкції необхідно багато часу для локалізації деградації металу, особливо, якщо візуально її не видно. Це в свою чергу тягне за собою, певні матеріальні витрати.

#### **4. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЗА ЗМІНОЮ ПОТЕНЦІАЛУ МЕТАЛЛУ**

Використання металу в системах агрегатів літаків/ракет супроводжуються певними характерними навантаженнями. У випадку паливних систем літаків це зміна висоти та тиску, постійні вібрації тощо. Зазвичай сукупність вище наведених факторів лише підсилюють дію один одного і в кінцевому результаті призводять до руйнування металу та самої конструкції.

##### **4.1. Умови використання потенціометричного методу.**

Через складність конструкцій не завжди вдається робити повний огляд тієї ж самої для прикладу, паливної системи літака. Проте постійний контроль особливо відповідальної системи просто необхідний. Зважаючи на те, що у випадку літакобудування, важливим елементом є життя людини, постає питання пошуку та впровадження систем постійного моніторингового контролю. Згідно з існуючими гіпотезами корозійно-механічного руйнування і з численними експериментами процес руйнування тісно пов'язаний з електромеханічною взаємодією деформованого металу з середовищем [18], особливо якщо метал працює в середовищі рідких електролітів. Для точної відповіді чи являється паливо літаків середовищем рідких електролітів, необхідно провести дослідження. Тому використання методу на системах трубопроводів є доцільною. Також можна брати до уваги гідравлічні системи крила, що працюють в вологому середовищі.

## 4.2. Потенціометричний метод.

Потенціостатичний метод і корозійний моніторинг на його основі використовуються в корозійних системах з чітко вираженим пороговим значенням потенціалу[20]. Наприклад, в процесі розвитку мікротріщин або підростання магістральної тріщини відбувається значна зміна потенціалу. Цей метод найбільш привабливий і з економічної точки зору, і з точки зору відносної простоти. В тому випадку, коли відомі швидкості розчинення конструкційного матеріалу від потенціалу в реальних умовах роботи, цей метод може бути одним з найбільш перспективних. До переваг методу можна віднести те, що він дозволяє вимірювати безпосередньо потенціал обладнання, це дозволяє більш адекватно оцінювати процеси, що протікають в системі середовище – метал.

Принциповою умовою застосування цього методу є наявність електроду порівняння. Сам первинний перетворювач є єдиною конструкцією з вузлом вводу. Наприклад, штуцери вводу з фторопластовим ущільненням дозволяють використовувати їх при тиску до 15 МПа і високих температурах. Підбір електродів завжди має індивідуальний характер і мусить враховувати специфіку середовища, конструкцію обладнання, умови експлуатації тощо.

Можна відзначити, що при різних середовищах та при різних металах, зберігається певна єдина закономірність, яку в подальшому можна використовувати для визначення характеристик конструкції та подальший експлуатаційний стан.

В роботі [21] викладено сучасні теоретичні основи корозії та корозійно-втомного руйнування, що включає в себе метод визначення залишкового ресурсу за зміною потенціалу. Наприклад, для сталі 08X18H10T в 3%-му розчині NaCl електрохімічні криві представлені на рисунку 4.1.

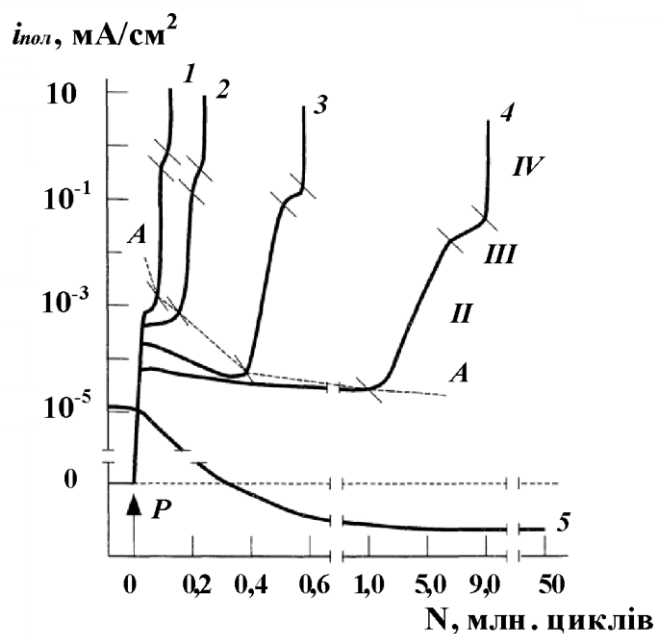


Рис. 4.1 – Характер зміни густини струму поляризації за корозійно-втомного руйнування сталі 08X18H10T при напруженнях:

1 –  $\pm \sigma = 320$  МПа; 2 –  $\pm \sigma = 280$  МПа; 3 –  $\pm \sigma = \sigma_{-1} = 240$  МПа;

4 –  $\pm \sigma = 220$  МПа; 5 –  $\pm \sigma = 210$  МПа.

Лінія А – А виділяє період зародження тріщин.

З графіка видно, що при різних циклічних напруженнях на цих кривих можна виділити наступні ділянки: I – зародження мікротріщин, II – підростання мікротріщин, III – зростання магістральної тріщини, IV – руйнування зразка.

Як видно з наведеного графіку для вибраної конкретної сталі і середовища величину  $i_{\text{пол}} = 2 \cdot 10^{-2}$  мА/см<sup>2</sup> можна взяти, як конкретне значення, що визначає допустиму границю експлуатації обладнання зі сталі 08X18H10T в умовах одночасної дії корозійного середовища і циклічних напружень. Якщо узагальнити наведені результати, то можна побудувати діаграму критичних струмів поляризації (або різниці потенціалів), що

відповідають окремим стадіям корозійно-втомного руйнування сталі 08X18H10T в 3%-му водному розчині NaCl (дивись рисунок 4.2).

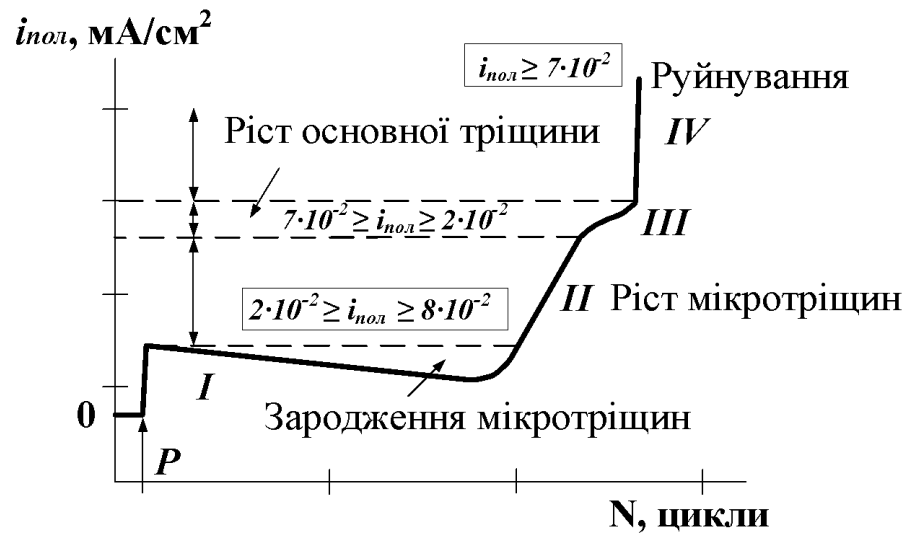


Рис. 4.2 – Критичні значення густини струму поляризації сталі 08X18H10T на різних ступенях її пошкодження. I–IV – періоди руйнування.

Отриманий графік можна представити, як схематичне зображення стадій корозійно-втомного руйнування, яке може бути використано для контролю обладнання під час його експлуатації в режимі реального часу (рисунок 4.3).

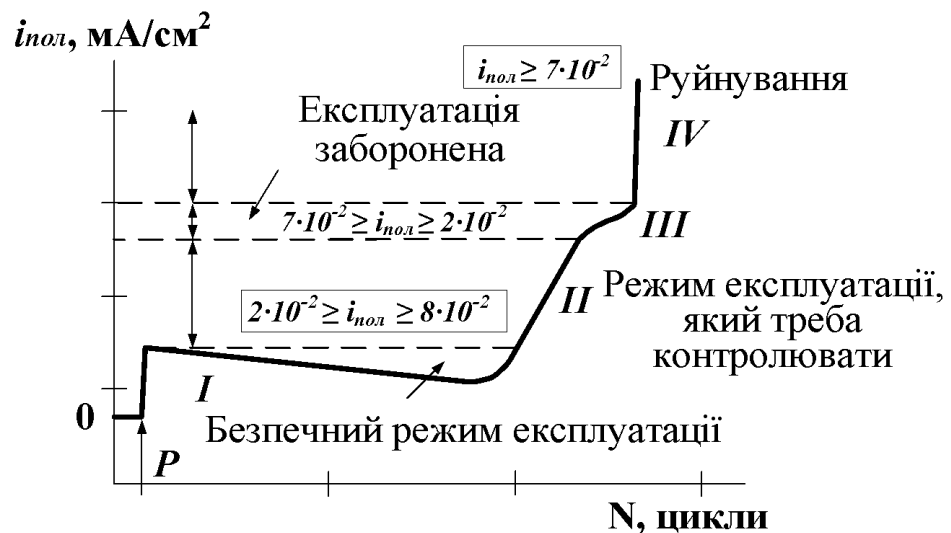


Рис. 4.3 – Стадії корозійно-втомного руйнування сталі 08X18H10T:

I–IV – періоди руйнування.

Відштовхуючись від вже відомої методики В31G, весь експлуатаційний період від початку експлуатації до моменту руйнування пропонується розбити на певні періоди: контрольований безпечний період експлуатації, режим який підлягає детальному контролю, режим, де експлуатація для більшості об'єктів заборонена і період руйнування об'єкту.

Застосовуючи такий же самий підхід для різних систем метал-середовище можна побудувати відповідні графіки в координатах «різниця потенціалу – час експлуатації» і визначити відповідні режими експлуатації і критичні величини різниці потенціалів (рисунок. 4.4).

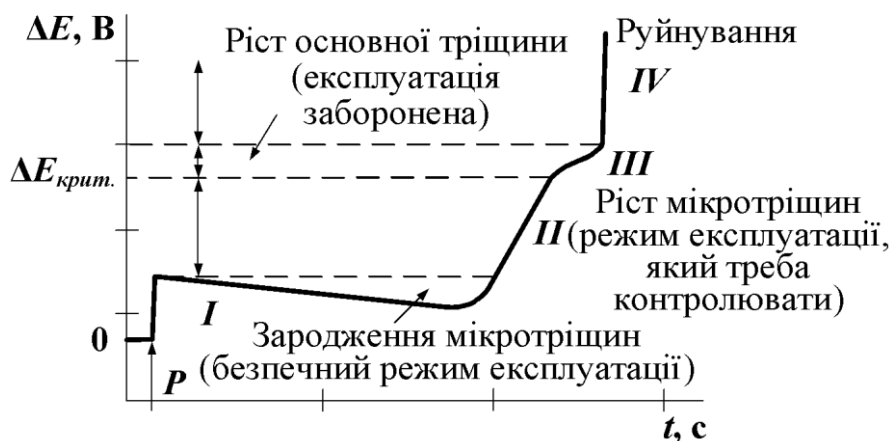


Рис. 4.4 – Крива зміни  $\Delta E$  за корозійно-втомного руйнування сталі 08X18H10T, що відповідає різним стадіям пошкодження: I–IV – періоди руйнування.

Встановивши критичну величину різниці потенціалів  $\Delta E_{крит.}$  і отримавши шляхом вимірювання поточну зміну значень різниці потенціалів  $\Delta E_{поточ.}$ , можна визначати технічний стан об'єкту контролю за умов, що  $\Delta E_{поточ.} \leq \Delta E_{крит.}$

Принциповою умовою моніторингу обладнання є наявність експериментально встановленої ресурсної кривої за певних механічних напружень. Враховуючи чутливість методу і вплив на вимірювальну систему зовнішніх факторів важливим для адекватної оцінки поточного стану є

використання системи моніторингу з самого початку експлуатації обладнання. Це забезпечує “прив’язку” ресурсної кривої до обраної системи координат. Експлуатація системи моніторингу не з початку експлуатації можлива, але це потребує додаткових досліджень для встановлення поточної точки відрахунку електрохімічних характеристик.

#### 4.3. Схема експерименту і датчики вимірювання.

В ході експериментів використовувались [21] трубні зразки з аустенітної нержавіючої сталі 08X18H10T діаметром 32мм. Для контролю стадій корозійно-механічного руйнування можуть використовуватись дво- та триелектродні схеми вимірювання. Робоче середовище 3%-й водний розчин NaCl. Для проведення досліджень з двоелектродною схемою в торцеву частину труби було встановлено одноелектродний електрохімічний первинний перетворювач. На рисунку 4.5 показана схема електрохімічного контролю.

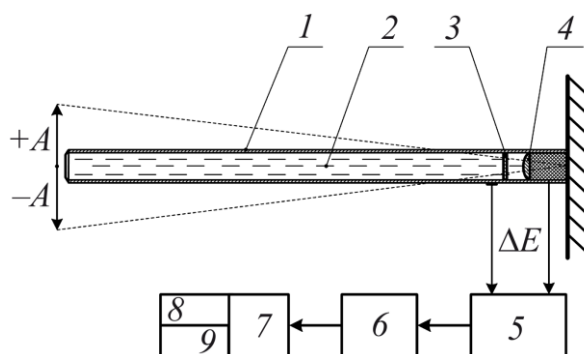


Рис. 4.5 – Схема електрохімічного контролю:

- 1 – об’єкт контролю (труба);  
 2 – 5%-й водний розчин NaCl; 3 – концентратор напружень; 4 – електрод; 5 – плата вводу аналогового сигналу; 6 – АЦП;  
 7 – персональний комп’ютер; 8 – програма реєстрації сигналу; 9 – програма ідентифікації імпульсів;  $\Delta E$  – різниця потенціалів;  
 $A$  – амплітуда коливань.

Під час використання двоелектродної схеми, оскільки початковий струм між електродом і неушкодженим корпусом обладнання дорівнює нулю (між однаковими металами в одному і тому ж електроліті), достатньо використання мілівольтметра. Задля зменшення опору розтікання електричного струму в електроліті електрод має напівсферичну поверхню.

Одноелектродний електрохімічний первинний перетворювач складається з корпусу і електроду порівняння, котрі ізольовані один від одного та виготовлені з того ж металу, що і корпус обладнання (рисунк 4.6) [22].

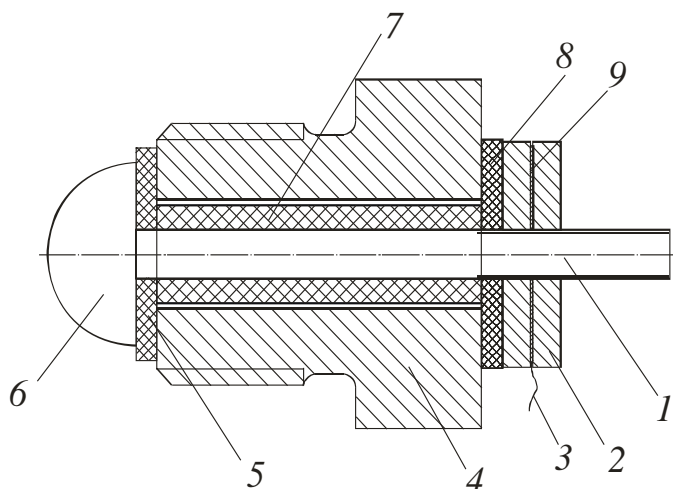


Рис. 4.6 – Одноелектродний електрохімічний первинний перетворювач:

1 – контакт електроду; 2, 9 – гайка; 3 – струмовідвід; 4 – корпус;

5, 8 – ізолююча шайба; 6 – робоча поверхня; 7 – ізолююча втулка.

При дослідженнях на корозійно-механічне руйнування для реєстрації густини струму або  $\Delta E$  можна використовувати триелектродну схему вимірювання, яка складається із двоелектродного електрохімічного первинного перетворювача, який містить електрод порівняння, допоміжний електрод і корпусу обладнання. Для підтримки потенціалу корпусу обладнання рівного потенціалу корозії використовується потенціостат. Одним з недоліків цієї схеми є складність застосування її в умовах виробництва. Так як датчик необхідно вмонтовувати в структуру самої труби, що може

пошкодити її цілісність. Конструкція двоелектродного електрохімічного первинного перетворювача наведена на рисунку 4.7 [23].

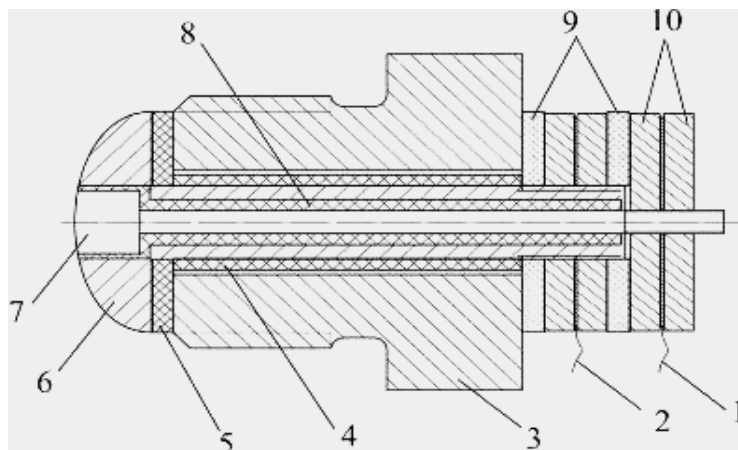


Рис. 4.7 – Двоелектродний електрохімічний первинний перетворювач:

1 – контакт внутрішнього електроду; 2 – контакт зовнішнього електроду; 3 – корпус; 4, 8 – ізолююча втулка; 5, 9 – ізолююча шайба; 6 – зовнішній електрод; 7 – внутрішній електрод; 10 – гайка.

В промисловості пропонується використовувати одноелектродний первинний перетворювач, він має дещо меншу чутливість, але схема вимірювання простіша. Двоелектродний первинний перетворювач знайшов застосування в лабораторних дослідженнях.

Перевагою *ІМК*, оснований на цифровій схемі вимірювання, є можливість реалізації багатоканального вимірювання зміни електрохімічних параметрів. Обробка сигналу здійснюється математичним методом ідентифікації імпульсів, застосування якого дає змогу при за необхідності вносити в програмі корективи параметрів під час контролю.

#### 4.4. Висновки по розділу.

В даному розділі описуються використання потенціометричного методу визначення залишкового ресурсу. Сутність якого полягає в наступному, потенціостатичний метод і корозійний моніторинг на його основі використовуються в корозійних системах з чітко вираженим пороговим значенням потенціалу. Принциповою умовою застосування цього методу є наявність електроду порівняння. Можна відзначити, що при різних середовищах та при різних металах, зберігається певна єдина закономірність, яку в подальшому можна використовувати для визначення характеристик конструкції та подальший експлуатаційний стан. Далі, відштовхуючись від вже відомої методики В31G, весь експлуатаційний період від початку експлуатації до моменту руйнування пропонується розбити на певні періоди: контрольований безпечний період експлуатації, режим який підлягає детальному контролю, режим, де експлуатація для більшості об'єктів заборонена і період руйнування об'єкту. Встановивши критичну величину різниці потенціалів  $\Delta E_{\text{крит.}}$  і отримавши шляхом вимірювання поточну зміну значень різниці потенціалів  $\Delta E_{\text{поточ.}}$ , можна визначати технічний стан об'єкту контролю за умов, що  $\Delta E_{\text{поточ.}} \leq \Delta E_{\text{крит.}}$ .

Основні переваги та недоліки використання даного методу, є те, що умовою моніторингу обладнання є наявність експериментально встановленої ресурсної кривої за певних механічних напружень. Враховуючи чутливість методу і вплив на вимірювальну систему зовнішніх факторів важливим для адекватної оцінки поточного стану є використання системи моніторингу з самого початку експлуатації обладнання. Це забезпечує “прив’язку” ресурсної кривої до обраної системи координат. Експлуатація системи моніторингу не з початку експлуатації можлива, але це потребує додаткових досліджень для встановлення поточної точки відрахунку електрохімічних характеристик.

Даний метод дозволяє в режимі реального часу відслідковувати зміни в структурі металу, що є основною його перевагою. А також, після переведення його в цифровий варіант, з'являється можливість розробки системи, яка буде сповіщати користувача про надходження до граничної зони.

## 5. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ІМПУЛЬСНИМ МЕТОДОМ

Використання потеометричного методу знайшло своє застосування в багатьох сферах, проте все ж основним недоліком його роботи є те, що початок вимірювань необхідно вести з моменту початку використання конструкції чи елементу. В інших випадках, складно точно відповісти в якому моменті ресурсної кривої знаходиться елемент. Це ставить під сумнів доцільність його використання в масштабах, коли часові рамки вимірюються в роках.

### 5.1. Імпульсний метод.

При розробці потенціометричного методу контролю залишкового ресурсу металів, було помічені наступні явища. Під час зародження тріщини чи її збільшені виникають невеликі «стрибки» потенціалу у вигляді імпульсів [24]. Деякі з них чітко визначені посеред решти «шумів». На рисунку 5.1 показана типова зміна різниці потенціалів ( $\Delta E$ ). Як і електрохімічний метод корозійного контролю за визначенням електродного потенціалу дана концепція може бути використана, як метод контролю стадій пошкодженості технологічних об'єктів.

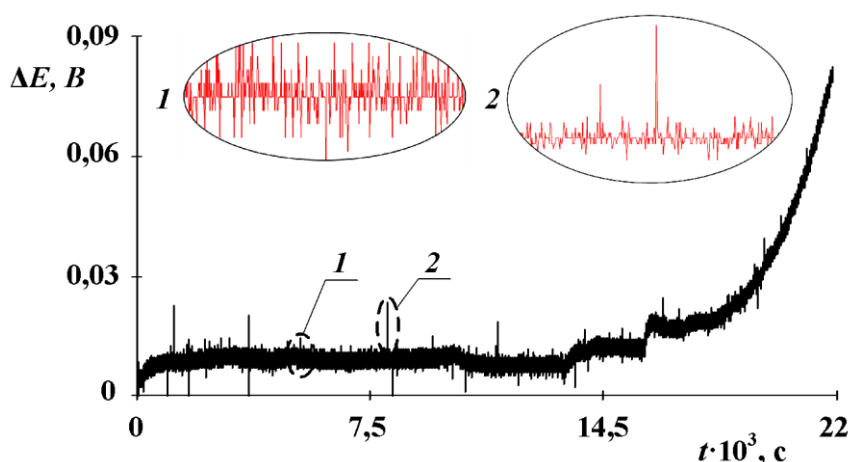


Рисунок 5.1 – Типова характеристика зміни  $\Delta E$  з імпульсами (2) на тлі шумової складової (1).

Огляд кривої показав, що кількість імпульсів збільшується з часом (в міру наближення до руйнування). Можна стверджувати, що збільшення кількості імпульсів свідчить про те, що тріщина починає розвиватись та збільшуватись більш динамічно і зі збільшенням тріщини приходить руйнація самої конструкції.

Використовуючи графіки, що були наведені в попередньому розділі можна запропонувати певно методику відслідковування руйнування за допомогою імпульсів руйнації і тим самим прогнозувати залишковий ресурс конструкції. Коли при вимірюванні зміни  $\Delta E$ , частіше за все, аналізується абсолютна величина характеристики, характер і динаміка її зміни, то при запропонованому електрохімічному імпульсному методі контроль ведеться за кількістю та інтенсивністю появи імпульсів руйнування в часі або за певну кількість циклів зовнішнього навантаження. Даний контроль буде відбуватись за зміною трьох параметрів: різниці потенціалів, амплітуди та інтенсивності появи імпульсів, тому необхідно розробити схеми для їх вимірювання. Під вимірювальним електрохімічним корозійним контролем розуміється запобігання передчасного виходу з робочого стану технічного об'єкту при досягненні наперед заданої критичної величини електрохімічного параметру. Тобто це певна система діагностування з метою попередження можливих негативних наслідків, пов'язаних з експлуатацією обладнання, і його руйнуванням від корозійно-механічних руйнувань систем літальних апаратів.

Отже, основною задачею даного методу є розробка схеми вимірювання даних імпульсів руйнації та перетворення їх в систему визначення залишкового ресурсу.

## 5.2. Аналоговий метод визначення залишкового ресурсу.

Одним з важливих аспектів сучасної промисловості під час контролю корозії, (корозійно-втомних процесів) і визначенню дефектів в обладнанні є необхідність використання аналогової вимірювальної техніки в поєднанні з мікропроцесорною. Це дозволяє з більшою швидкістю отримувати потрібну інформацію з можливістю подальшої обробки на персональному комп'ютері [25].

Нижче наведена структурна схема *EIM* контролю стадій корозійно-механічного руйнування з використанням мікропроцесору (рисунок 5.2).

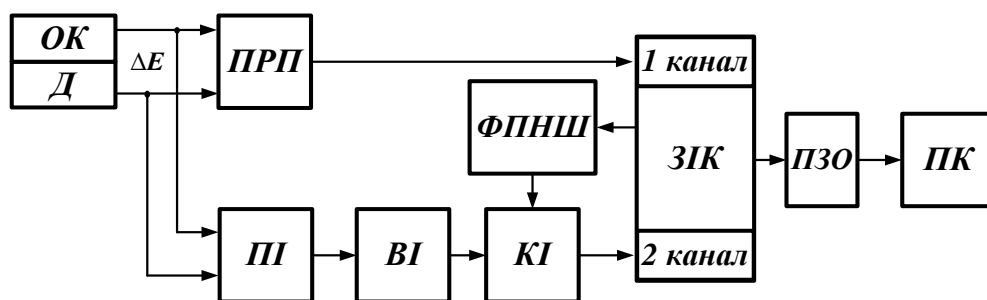


Рис. 5.2 – Структурна схема *EIM* на основі аналогової ідентифікації імпульсів руйнування:

$OK$  – об'єкт контролю;  $Д$  – одноелектродний електрохімічний первинний перетворювач;  $\Delta E$  – різниця потенціалів;  $ПРП$  – підсилювач різниці потенціалів;  $ПІ$  – підсилювач імпульсів;  $ВІ$  – випрямляч імпульсів;  $КІ$  – компаратор імпульсів;  $ФПНШ$  – формувач порогу нечутливості шуму;  $ЗІК$  – засіб імпульсного контролю;  $1 \text{ канал}$  – індикатор вимірюваних значень різниці потенціалів;  $2 \text{ канал}$  – лічильник кількості імпульсів;  $ПЗО$  – пристрій зв'язку з об'єктом;  $ПК$  – персональний комп'ютер.

Зміна електричного сигналу  $\Delta E$ , що генерується під час циклічного навантаження об'єкту контролю ( $OK$ ), вимірюється одноелектродним первинним перетворювачем ( $Д$ ) занурювального типу. Різниця потенціалів

через підсилювач різниці потенціалів (*ПРП*) надходить на реєстрацію за каналом *I* до засобу імпульсного контролю (*ЗІК*), де відбувається моніторинг цілісного стану *ОК* [26].

При вимірюваннях  $\Delta E$  зафіксовано, що під час корозійно-механічного руйнування *ОК* формуються швидкоплинні електрохімічні сигнали у вигляді імпульсів, які виникають на загальному тлі зміни  $\Delta E$ . Електрохімічний імпульс, що свідчить про корозійно-механічне руйнування, надходить до швидкодіючого підсилювача імпульсів (*ПІ*), який збільшує вхідний сигнал у 10 разів, що необхідно для його подальшої обробки. Далі підсилений сигнал передається на випрямляч імпульсів (*ВІ*), який інвертує імпульси від'ємної направленості в додатню та формує їх у прямокутний сигнал стандартної форми. Сформований сигнал з *ВІ* поступає на додатній вхід компаратору імпульсів (*КІ*). На від'ємний вхід *КІ* з формувача порогу нечутливості шуму (*ФПНШ*) надходить опорний потенціал в інтервалі від 20 мВ до 100 мВ. Опорний потенціал встановлюється в *ЗІК*, як границя подавлення електричного шуму, що виникає внаслідок зовнішнього впливу сторонніх електронних приладів. При перевищенні вхідним сигналом з *ВІ* опорного потенціалу вихід *КІ* перемикається в стан логічної одиниці і додатній зворотний зв'язок стрибком піднімає рівень вхідного сигналу та передає його до лічильника кількості імпульсів 2-го каналу *ЗІК*. В тому випадку, коли вхідний сигнал з *ВІ* стає менше опорного потенціалу, компаратор *КІ* перемикає вихід в стан логічного нуля, додатній зворотний зв'язок стрибком зменшує рівень вхідного сигналу, що не дозволяє шумовому сигналу помилково надійти до лічильника *ЗІК*. За такою побудовою аналогової схеми вимірювання виконується ідентифікація електрохімічних імпульсів (за амплітудою), що свідчать про корозійно-механічне пошкодження *ОК*.

Як відомо сучасні контрольно-вимірювальні прилади базуються на цифровому перетворенні інформації в поєднанні з математичними методами обробки сигналів. Це дає змогу підвищити швидкість реєстрації та обробки

вхідних аналогових сигналів. Запропоновано розробити структурну схему ЕІМ на основі використання багатоканального АЦП в поєднанні з математичним методом ідентифікації електрохімічних імпульсів [27]. Схема вимірювального засобу має просту за побудовою і економну за реалізацією структуру (дивись рисунок 5.3).

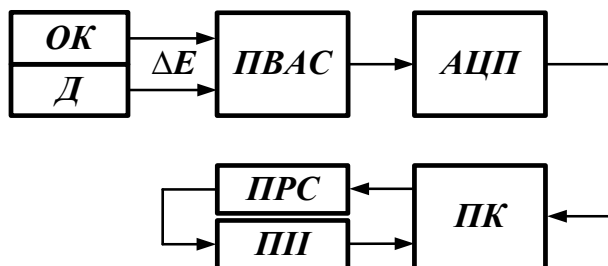


Рис. 5.3 – Структурна схема ЕІМ на основі математичної ідентифікації електрохімічних імпульсів.

*OK* – об’єкт контролю; *Д* – одноелектродний електрохімічний первинний перетворювач;  $\Delta E$  – різниця потенціалів; *ПВАС* – плата вводу аналогового сигналу  $\Delta E$ ; *АЦП* – аналого-цифровий перетворювач; *ПК* – персональний комп’ютер; *ПРС* – програма реєстрації сигналу  $\Delta E$ ; *ПІІ* – програма ідентифікації електрохімічних імпульсів;

Зміна електричного сигналу  $\Delta E$ , що генерується під час циклічного навантаження об’єкту контролю (*OK*), вимірюється одноелектродним первинним перетворювачем (*Д*) занурювального типу, який реєструє зміну  $\Delta E$  відносно *OK*. Зареєстрована різниця потенціалу  $\Delta E$ , передається через плату вводу аналогового сигналу (*ПВАС*) до *АЦП*, який перетворює аналоговий сигнал в цифрову форму, прийнятну для обробки на персональному комп’ютері (*ПК*) [28, 29]. Під час вимірювань  $\Delta E$  формується коротка за часом стрибкоподібна зміна потенціалу – імпульс, який утворюється внаслідок розвитку корозійної тріщини. З *АЦП* оцифрований сигнал зміни  $\Delta E$  разом з імпульсами надходить до *ПК*, де сигнал записують в режимі реального часу в програмі реєстрації сигналу (*ПРС*). *ПРС* представляє собою осцилограф,

zareєстрований сигнал якого відтворюються у вигляді масиву даних. Далі за допомогою програми ідентифікації імпульсів (III) відділяється імпульсна складова від шумової. Наступним кроком до реалізації контролю є оцінка амплітуди імпульсів та їх інтенсивності появи у часі [30,31].

### 5.3. Математичний метод

При фіксуванні так званих імпульсів руйнування, робочими елементами фіксуються також і додаткові «шуми», що виникають природньо в структурі металу. Постає логічне питання, як відрізнити імпульси руйнації від звичайних шумів.

Для виділення імпульсів, що свідчать про руйнування ОК, необхідно вибрати граничний критерій відмінності імпульсу від шуму [32, 32]. Найбільш показовою відмінністю між двома цими параметрами є амплітуда, для шуму  $dN$  вона становить  $\leq 3$  мВ.

Відомі апаратні і програмні методи по виділенню корисного сигналу серед шуму. З урахуванням сучасного розвитку цифрової техніки найбільш доречно використовувати програмні методи. Одержання масиву імпульсів полягає в циклічній обробці масиву даних шляхом розрахунку усереднених значень різниці потенціалів  $\Delta E_{сер}$  у  $\pm k$  в околі електрохімічного імпульсу  $p_j$  з порівнянням значення амплітуди шуму  $dN = 3$  мВ (дивись рисунок 5.4).

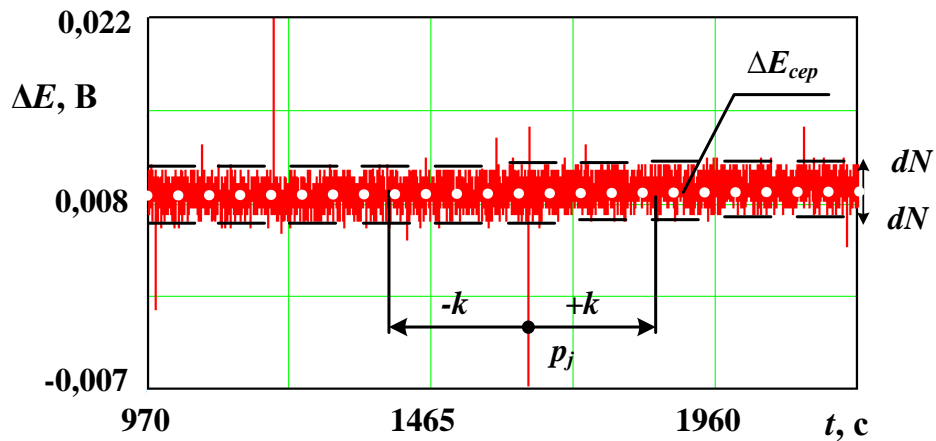


Рис. 5.4 – Фрагмент зміни  $\Delta E$  з електрохімічними імпульсами:

$p_j$  – імпульс руйнування, що підлягає ідентифікації;

$dN$  – амплітуда вирізки шуму зі складової різниці потенціалів, мВ;

$\Delta E_{\text{сер}}$  – усереднений масив значень  $\Delta E$ , що розраховується за відкладанням  $\pm k$  значень, де  $k$  дорівнює частоті реєстрації сигналу.

Обробка вхідного сигналу  $\Delta E$  та ідентифікація електрохімічних імпульсів здійснюється за таким алгоритмом (рисунок 5.5): де  $p_j$  – масив виміряних значень  $\Delta E$ , при  $i = -k \dots k$ . Кількісне значення амплітуди шуму  $dN$  визначається на основі показників середньоквадратичного відхилення амплітуди  $\Delta E$  за всією довжиною масиву даних. Порівнюючи середнє значення зміни потенціалу  $\Delta E_{\text{сер}}$  в кожній точці вимірювань з поточним значенням амплітуди імпульсу  $p_j$ , проводили його ідентифікування.

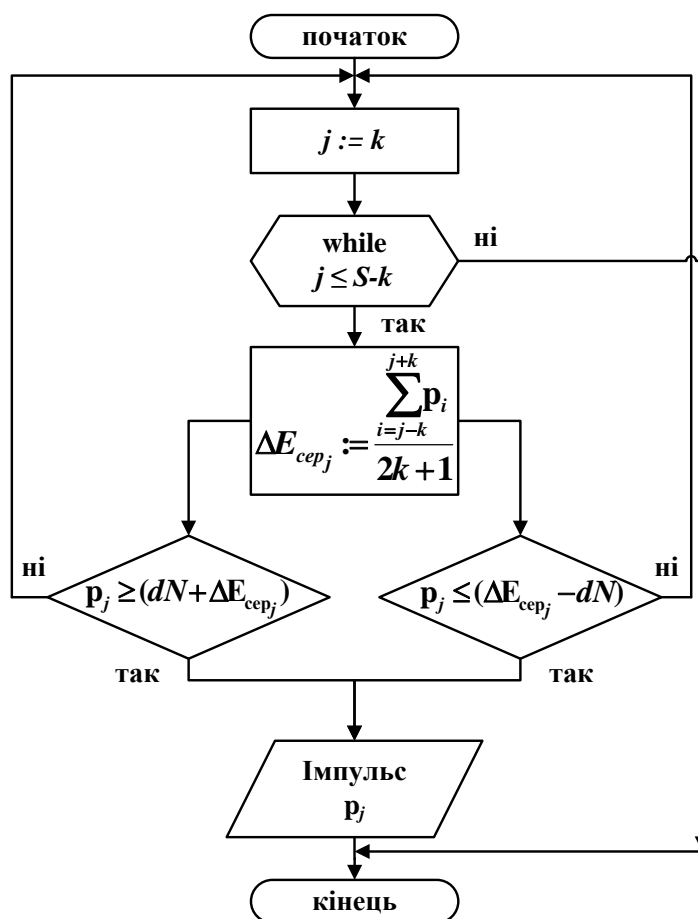


Рис. 5.5 – Структурна схема алгоритму ідентифікації електрохімічних імпульсів.

Серед загального масиву вимірних значень ідентифікували амплітуди електрохімічних імпульсів ( $p$ ) відносно їх середньостатистичної апроксимації та побудовано залежності зміни їх кількості від моменту навантаження зразка до його зламу (рисунок 5.6) [34]. За отриманими результатами визначено критичні значення: для кривої (рисунок 5.6, а)  $p_{\text{крит.}} = 24$  імпульси; для (рисунок 5.6, б)  $p_{\text{крит.}} = 44$  імпульси.

Апроксимація експериментальних кривих  $I$  проводилась з метою отримання аналітичних залежностей зміни кількості електрохімічних імпульсів від часу  $p(t)$  (рисунок 5.6, криві 2). Якщо диференціювати дані функції  $p(t)$ , то отримаємо характеристики (рисунок 5.6, криві 3) швидкості наростання електрохімічних імпульсів ( $p'(t)$  – інтенсивність появи імпульсів) і

їх критичні значення: для кривої (рис. 5.6, *a*)  $p'_{\text{крит}} = 0,0072 \text{ с}^{-1}$ ; для (рисунок 5.6, *б*)  $p'_{\text{крит}} = 0,01 \text{ с}^{-1}$ .

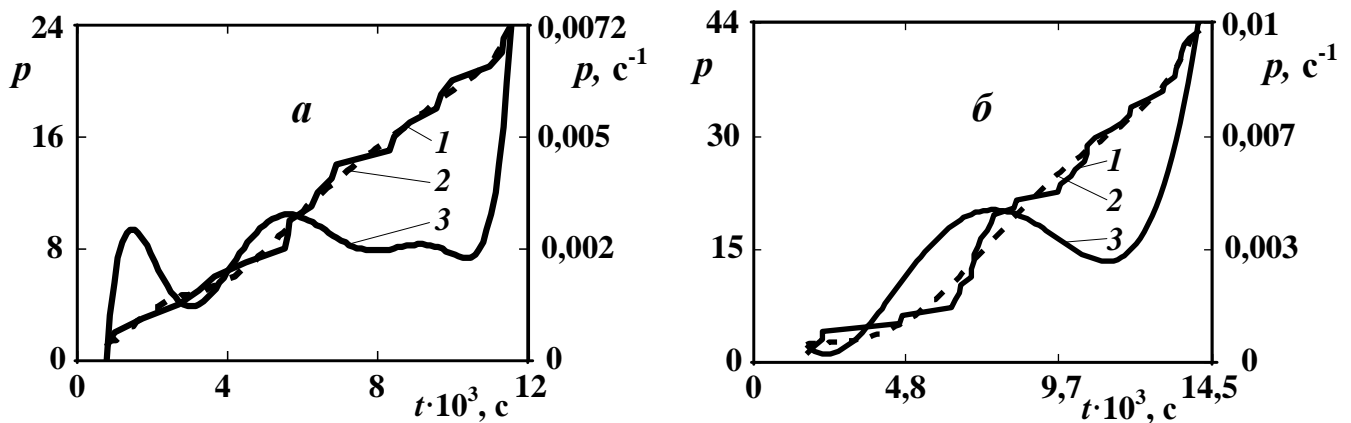


Рис. 5.6 – Експериментальні (1), апроксимовані (2) криві кількісної зміни імпульсів (*a*, *б*) та інтенсивність (3) їх появи (*a*, *б*) за корозійно-втомного руйнування сталі 12Х18Н10Т у 3%-му водному розчині NaCl:

*a* – для зразка діаметром 25 мм,  $f_{\text{навант.}} = 2 \text{ Гц}$ ;

*б* – для зразка діаметром 32 мм,  $f_{\text{навант.}} = 5 \text{ Гц}$ .

Для побудованих кривих (3) на рисунку 5.6 встановлено загальну тенденцію їх поведінки, а саме, починаючи з середини часу випробувань 6000 *s* для кривої (*a*) і 7250 *s* для кривої (*б*) відбувається зниження інтенсивності електрохімічних імпульсів, що обумовлено уповільненим ростом тріщин внаслідок їх зміцнення у вершині концентратора напружень. Наближення до руйнування супроводжується більш інтенсивною появою імпульсів руйнування.

На рисунку 5.7 показано кореляцію критеріальних параметрів зі стадіями корозійно-механічних руйнувань [35]. Як бачимо, корозійно-втомні випробування трубних зразків аустенітної сталі 12Х18Н10Т показали, що стадійність корозійно-механічного руйнування адекватно оцінюється кількісними електрохімічними показниками:  $\Delta E$  та  $p'$ .

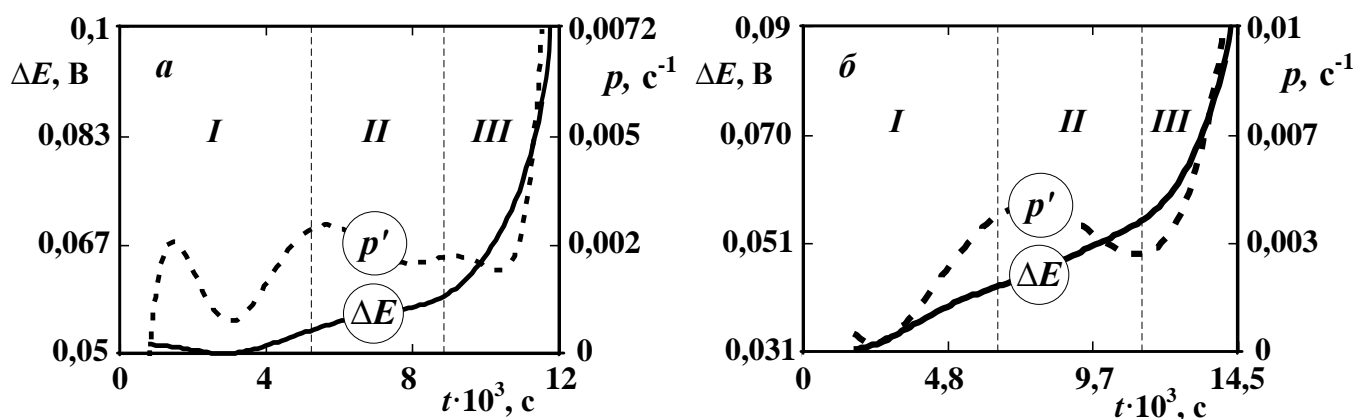


Рис. 5.7 – Зміна складових критерію ( $\Delta E, p'$ ) в часі за корозійно-механічного руйнування сталі 12X18H10T у 3%-му водному розчині NaCl:

*a* – для зразка діаметром 25 мм,  $f_{\text{навант.}} = 2$  Гц;

*б* – для зразка діаметром 32 мм,  $f_{\text{навант.}} = 5$  Гц.

Таким чином, інтервали цих показників для стадії (*I*) початкового розвитку корозійно-механічного руйнування на макрорівні такі:

- зразок діаметром 25 мм ( $50 \text{ мВ} \leq \Delta E \leq 55 \text{ мВ}$ ); ( $3 \text{ мВ} < A \leq 50 \text{ мВ}$ ); ( $0 \text{ с}^{-1} \leq p' \leq 0,003 \text{ с}^{-1}$ );
- зразок діаметром 32 мм ( $31 \text{ мВ} \leq \Delta E \leq 43 \text{ мВ}$ ); ( $2,5 \text{ мВ} < A \leq 50 \text{ мВ}$ ); ( $0 \text{ с}^{-1} \leq p' \leq 0,004 \text{ с}^{-1}$ ).

Для стадії (*II*) латентного розвитку процесу критеріальні показники лежать в інтервалах:

- зразок діаметром 25 мм ( $55 \text{ мВ} < \Delta E \leq 60 \text{ мВ}$ ); ( $3 \text{ мВ} < A \leq 50 \text{ мВ}$ ); ( $0,0022 \text{ с}^{-1} < p' \leq 0,003 \text{ с}^{-1}$ );
- зразок діаметром 32 мм ( $43 \text{ мВ} < \Delta E \leq 54 \text{ мВ}$ ); ( $2,5 \text{ мВ} < A \leq 50 \text{ мВ}$ ); ( $0,003 \text{ с}^{-1} < p' \leq 0,004 \text{ с}^{-1}$ ).

А для стадії (*III*) від активного до критичного розвитку руйнування вони будуть:

- зразок діаметром 25 мм ( $60 \text{ мВ} < \Delta E \leq 100 \text{ мВ}$ ); ( $3 \text{ мВ} < A \leq 50 \text{ мВ}$ ); ( $0,0022 \text{ с}^{-1} < p' \leq 0,0072 \text{ с}^{-1}$ );
- зразок діаметром 32 мм ( $54 \text{ мВ} < \Delta E \leq 90 \text{ мВ}$ ); ( $2,5 \text{ мВ} < A \leq 50 \text{ мВ}$ ); ( $0,003 \text{ с}^{-1} < p' \leq 0,01 \text{ с}^{-1}$ ).

Встановлено, що експлуатація аустенітної сталі 12Х18Н10Т під час корозійно-втомного навантаження можлива за передумов, що поточні значення не перевищують заданих критичних величин, які відповідають умовам:

- зразок діаметром 25 мм ( $\Delta E \leq 100 \text{ мВ}$ ); ( $A > 3 \text{ мВ}$ ); ( $p' \leq 0,0072 \text{ с}^{-1}$ );
- зразок діаметром 32 мм ( $\Delta E \leq 90 \text{ мВ}$ ); ( $A > 2,5 \text{ мВ}$ ); ( $p' \leq 0,01 \text{ с}^{-1}$ ).

Визначення стадій корозійно-механічного руйнування аустенітних нержавіючих сталей за трипараметричним критерієм реалізується як для досліджуваних зразків, так і для реального обладнання, що у свою чергу дозволяє підвищити надійність його контролю і безпеку експлуатації.

#### **5.4. Розробка елементу контролю технічного стану конструкції електрохімічним імпульсним методом з подоланням шуму.**

Моніторинг процесу корозійно-механічного руйнування може бути здійснений різними способами, одних з яких є аналіз розвитку незворотних процесів корозії з утворенням тріщин в структурі металу. Аналіз протікання таких процесів корозії металу обладнання має особливо важливу роль для запобігання аваріям і своєчасної зупинки з метою попередження руйнувань конструкцій і збереження життя людей.

Порівняно простий і миттєвий спосіб визначення корозійно-механічного пошкодження складних технічних об'єктів – це постійний контроль електрохімічних параметрів і визначення корозійного стану металу в часі за

динамікою розвитку корозійно-втомних тріщин на контрольованих ділянках обладнання. Крім того, це дозволяє автоматизувати процес, економити час для перевірок і в результаті зменшити витрати на експлуатацію.

Основна поки відома умова роботи імпульсного методу це експлуатація в середовищі рідких електролітів. Можливо припустити, що даний метод буде працювати і в інших середовищах, проте експериментальних досліджень на даний момент не було.

Розробка елементу контролю технічного стану конструкції електрохімічним імпульсним методом здійснюється за схемою, яка складається з електрохімічного первинного перетворювача, еталонної частини, блока обробки шумів, імпульсно-цифрового перетворювача і електронно-обчислювальної машини, що дозволяє проводити безперервний моніторинг технічного стану обладнання, забезпечуючи при цьому своєчасне і більш надійне виявлення стадій корозійно-механічного пошкодження. Це дозволяє підвищити рівень безпеки експлуатації, попередити руйнування обладнання і людські жертви. Контроль корозійно-механічного стану і сигналізація про небезпеку подальшої експлуатації проводиться в автоматичному режимі, при цьому не потрібне проведення додаткових обстежень стану технічних об'єктів, які виконуються сторонніми організаціями, що обумовлює додаткові економічні витрати.

На рисунку 5.8 показана загальна схема вимірювальної системи.

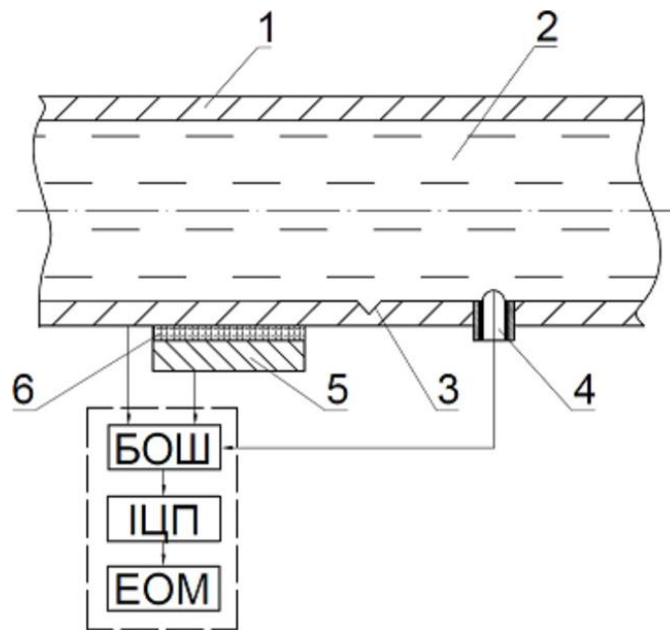


Рис. 5.8 – Загальна схема конструкції датчика.

На схемі зображено обладнання 1 з рідким електролітом 2 всередині. На ділянку обладнання, де з часом можливе утворення корозійно-втомної тріщини 3, встановлюють електрохімічний первинний перетворювач 4, а також еталонний зразок 5, що приклеюється до зовнішньої сторони обладнання термопровідним клеєм 6. Первинний перетворювач реєструє зміну всіх складових електричного потенціалу обладнання, в тому числі шуми і імпульси руйнування. Еталонний зразок у свою чергу фіксує лише зміну електричного потенціалу і шуми без імпульсів руйнування. Обидва сигнали одночасно надходять на блок обробки шумів (БОШ), де шляхом визначення різниці сигналів залишається лише складова, що містить імпульси руйнації. Потім сигнал подається на імпульсно-цифровий перетворювач (ІЦП), що перетворює сигнал в цифрову форму і передає його для подальшої обробки на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ) [36].

Принцип роботи наступний - до труби, що містить в собі робоче середовище, яке є рідким електролітом, наклеюється еталонний зразок, що виготовлений з металу тієї ж марки, що і метал об'єкту контролю. Даний еталонний зразок, має ті самі властивості і характеристики, проте він

ізолюваний від середовища рідких електролітів, отже не піддається корозії. Для фіксації сигналів використовуються два канали. Перший канал об'єднує первинний перетворювач і контрольовану ділянку трубопроводу. Другий канал об'єднує первинний перетворювач і еталон. Сигнали з обох каналів поступають на блок обробки шумів. Перший канал містить всю інформацію про електрохімічний поточний стан контрольованої ділянки, в тому числі імпульси, що виникають при рості тріщини і завади у вигляді шумів вимірювальної системи. Метал еталону не підлягає впливу середовища, але знаходиться в тому ж температурному полі і напруженому стані. Отже його сигнал не буде містити імпульсів руйнування, але мати в своєму складі тіж самі сигнали шумів. В блок обробки шумів інформація з каналів поступає у вигляді електричного потенціалу, який складається з постійної складової, яка залежить від властивостей металу, температурного поля і напруженого стану, шумів і імпульсів руйнування. Перші складові: постійна складова і шуми однакові для двох каналів. Віднявши від потенціалу першого каналу потенціал другого отримуємо інформацію у вигляді імпульсів руйнування, що свідчать про розвиток корозійно-втомної тріщини. Далі сигнал поступає на імпульсно-цифровий перетворювач для формування його в цифровій формі, а потім для подальшої обробки на електронно-обчислювальну машину для відслідковування ступеня корозійно-механічного пошкодження.

На основі даної схеми було запатентовано корисну модель №143431 «Імпульсний спосіб корозійного моніторингу з очисткою від шуму» (див. додаток 1).

## **5.5. Висновки по розділу.**

В даному розділі описується логічне продовження потенціометричного методу зі значними покращеннями. При розробці потенціометричного методу контролю залишкового ресурсу металів, було помічені наступні явища. Під

час зародження тріщини чи її збільшені виникають невеликі «стрибки» потенціалу у вигляді імпульсів. Деякі з них чітко визначені посеред решти «шумів». Огляд кривої показав, що кількість імпульсів збільшується з часом. Логічно стверджувати, що збільшення кількості імпульсів свідчить про те, що тріщина починає розвиватись та збільшуватись більш динамічно і зі збільшенням тріщини приходить руйнація самої конструкції. Дане явище використовується для визначення залишкового ресурсу металу чи конструкції в цілому.

Даний контроль відбувається за зміною трьох параметрів: різниці потенціалів, амплітуди та інтенсивності появи імпульсів.

Також в даному розділі описується використання імпульсного методу в рамках аналогової вимірювальної техніки в поєднанні з мікропроцесорною.

При фіксуванні так званих імпульсів руйнування, робочими елементами фіксуються також і додаткові «шуми», що виникають природньо в структурі металу. В даному розділі також описується методика виявлення та обмеження «шумів».

## 6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

Кожна ідея не може існувати до поки на ній не побудують певну структуру, що дозволить монетизувати її. Як було вище згадано, забезпечення оцінки залишкового ресурсу конструкції чи елемента літального апарату чи ракет, дає змогу точно сказати чи можна далі використовувати об'єкт і заробляти на ньому чи ж необхідно його замінити та понести певні витрати. Надання послуги оцінки стану залишкового ресурсу є перспективним напрямом з точки зору бізнесу.

### 6.1. Опис ідеї проєкту.

Основна ідея проєкту полягає в наступному, відбувається виробництво елементів контролю технічного стану конструкції електрохімічним імпульсним методом, а також, програмного забезпечення для автоматизації огляду обладнання/конструкції. Додаткова послуга представляється у вигляді проведення експериментів та оцінки стану залишкового ресурсу елементів чи конструкції в цілому.

Основні переваги продукту:

- *Відносна дешевизна продукту.*
- *Моніторинг стану елементів чи конструкції в режимі онлайн.*
- *Новий метод на ринку продуктів.*

Основні недоліки продукту:

- *Обмежений спектр металів для створення ресурсної кривої.*
- *Необхідність частково порушувати цілісність конструкції.*

- Часові затрати на створення методики визначення залишкового ресурсу для металів замовника.

Опис стартап-проєкту показано в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1.

### Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Зміст ідеї полягає в наданні послуги визначення залишкового ресурсу та впровадженні технології постійного використання елементу контролю технічного стану конструкції електрохімічним імпульсним методом.	1. Авіаційна техніка	Економія на постійному або ж плановому огляді літальних апаратів за рахунок автоматизації процесу.
	2. Ракетокосмічна техніка (ракети повторного використання)	Економія на огляді ракет повторного використання за рахунок автоматизації процесу.
	3. Нафто-газообладнання	Економія на огляді та попередження аварійних ситуацій на робочих ділянках.
	4. Комунальні підприємства	Економія на огляді та попередження аварійних ситуацій на робочих ділянках.

Як можна помітити з таблиці, основні напрямки роботи були обрані з урахуванням найбільших витрат замовника на аналіз, аудит та огляд конструкції чи елемента. Це в свою чергу несе великі витрати для майбутнього клієнта, а запропонована технологія їх зменшує.

## 6.2. Технологічний аудит проєкту.

Для успішного запуску стартап-проєкту необхідно провести технологічний аудит. Тобто об'єктивну оцінку потенціалу ідеї / інновації. Дані для аудиту представленні в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2.

### Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№	Ідея проєкту	Технологія її реалізації	Наявність технології
1.	Метод сприймання імпульсів руйнування	Прийом сигналу імпульсів руйнування, конвертація їх в цифровий варіант, аналіз та виділення імпульсів з поміж «шумів».	Наявні
2.	Програмне забезпечення	Створення системи розпізнавання «шумів».	Необхідна розробка
3.	Програмне забезпечення	Оцінка залишкового ресурсу елементу та попередження про наближення граничного стану.	Необхідна розробка

За результатами аналізу технологічної здійсненності ідеї проєкту, можна зробити висновок, що реалізація можлива, проте необхідно створювати програмне забезпечення та покращувати і дороблювати уже наявні елементи сприймання імпульсів руйнування.

### 6.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.

Особливе значення при запуску стартап-проєкту займає аналіз ринкових можливостей. Попередня характеристика потенційного ринку показана в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3.

#### Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	6-7
2	Загальний обсяг продаж послуг, грн/ум.од	7 млн ум. од., (2017 р)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає 18 %
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Існують правила та перевірки сертифікації
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30 – 45 %

На даний час банківський відсоток на вклад становить 13-18%, що принаймні вдвічі менше за рентабельність даного проєкту, тому можна вважати, що є сенс вкладати гроші в даний метод. Враховуючи те що динаміка ринку зростає, та невелика кількість основних гравців – ринок є привабливим для входження, навіть не зважаючи на те, що потрібні додаткові кошти на проходження та отримання сертифікації, що також впливає на часові рамки повноцінного виходу на ринок. Характеристика потенційних клієнтів для стартап-проєкту показана в таблиці 6.4.

## Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
<p>1. Розуміти наскільки довго і чи взагалі можливо в подальшому використовувати елемент чи конструкцію.</p> <p>2. Відтворювати температурний контраст та будувати термограму.</p>	<p>1. Військові</p> <p>2. Авіакомпанії.</p> <p>3. Ракетобудівні компанії.</p> <p>4. Нафто-газотранспортні компанії.</p> <p>5. Будівельні фірми.</p> <p>6. Наукові дослідження.</p>	<p>1. Доставка у будь-яку країну, співпраця з компаніями перевізниками, відправка електронної версії.</p> <p>2. Підтримка клієнта.</p> <p>3. Гнучкі ціни, система знижок.</p> <p>4. Контроль якості та гарантія на продукцію.</p>	<p><i>До продукції:</i></p> <p>1. Надійність.</p> <p>2. Обґрунтована ціна.</p> <p>3. Якість.</p> <p>4. Зручність</p> <p><i>До компанії-постачальника:</i></p> <p>1. Підтримка 24/7.</p>

Характеристика показала, що цільової аудиторію потенційних клієнтів є авіаційні та ракетокосмічні компанії, а також можливі клієнти у вигляді нафтогазових компаній. Це зв'язано з тим, що ціна на обслуговування літаків дуже часто є великою. А у випадку ракетокосмічних компаній, що використовують повторно ракетоносії, методологія та технологія до кінця не створена.

Характеристика факторів загроз для стартап-проєкту показана в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4.

**Фактори загроз**

№	Фактор	Зміст загрози	Варіант вирішення
1	Несприятлива ситуація у країні	Девальвація валюти, автоматичне підвищення ціни у національній валюті.	Зменшення попиту, необхідні додаткові стимули для покупців.
2	Важкість виходу	Складність отримати сертифікацію	Пошук інших шляхів отримання сертифікації, усунення недоліків
3	Важкість виходу на міжнародний ринок	Всі потенційні конкуренти розташовані за кордоном. Важкий вихід	Почати співпрацю, з сусідніх країн, і далі поступово розвиватися на міжнародній арені.
4	Зменшення попиту	Ринок буде насичений даним видом товару, що метод чи технологія не буде нікому не потрібна.	Зменшення попиту, зміна напрямку розвитку проєкту до більш рентабельного.
5	Зменшення клієнтської бази	Зменшення можливих потенційних клієнтів	Пропонування додаткових стимулів для клієнтів, зміна напрямку розвитку проєкту до більш рентабельного.

Аналіз ринкового середовища показав фактори загроз, що можуть перешкодити впровадженню проєкту. Найбільш загрозливими є важкість виходу та зменшення попиту на технологію чи продукт. Основними напрямками вирішення є усунення недоліків комісії сертифікації та зміна політики та курс компанію у напрямку більш прибуткового. Аналогічно до факторів загроз, у таблиці 6.5, показані фактори можливостей.

Таблиця 6.5.

**Фактори можливостей**

<b>№</b>	<b>Фактор</b>	<b>Зміст можливості</b>	<b>Варіант реакції компанії</b>
1	Вихід на міжнародний ринок.	Товар чи технологія відносно закордонних аналогів значно дешевший, що дозволяє експортувати його на міжнародний ринок.	Збільшення кількості клієнтів.
2	Вільний ринок.	Відсутність аналогів.	Можливість встановлення правил на внутрішньому ринку, формування цінової політики.
3	Прогресування.	Збільшувати функціонал, згідно потреб клієнтів та розвиток самої технології.	Збільшення клієнтів.
4	Розвиток.	Збільшення точності аналізу та прогнозування залишкового ресурсу, збільшення діапазону робочих металів.	Змога випускати більш досконалу та покращену продукцію.
5	Універсальність.	Використовувати комплектуючі різних виробників, з різними характеристиками, метод врахує всі зміни.	Збільшення кількості постачальників комплектуючих.
6	Незалежність у виробництві.	Створення чи розширення промислових потужностей.	Зменшення кількості постачальників, зменшення кількості витрат.

Як показано в таблиці 6.5. існують доволі сприятливі та перспективні фактори для компанії. Проте на теперішній момент основною задачею є зменшення вартості продукту та проходження сертифікації.

В таблиці 6.6. показаний ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

*Таблиця 6.6.*

### Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Монополістична конкуренція.	Важко вийти на міжнародний рівень.	Показати, що наш метод нічим не гірший за конкурентів, або навіть кращий.
2. Глобальний рівень конкурентної боротьби.	Наявність конкурентів у різних країнах.	Розвиток на українських підприємствах та вихід на ринок.
3. Внутрішньогалузева.	Конкуренція в галузі прогнозування залишкового ресурсу.	Розробка однонаправленої продукції (яка вирішує одну проблему але дуже добре).
4. Товарно-видова конкуренція.	Конкуренція між методами та технологіями прогнозування.	Створення кращої та якісної продукції, надання більш якісних послуг.
5. Ціновий характер.	Підвищення точності аналізу та прогнозування.	Покращення технології.
6. Марочний характер.	Споживачів цікавить перевірений та відомий товар або ж перевірена технологія.	Створення добре відомої марки, за рахунок невисокої ціни та високої якості.

Ступеневий аналіз конкуренції ринку показав, що не дивлячись на високу конкуренції з боку інших гравців, все рівно є шанси здобути першість в Україні за рахунок зменшення вартості на метод/технологію та підвищення точності і зменшення погрішності на прогнозування залишкового ресурсу [37]. Аналіз конкурентів в галузі за М. Портером показаний в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7.

### Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ООО НТП «Экор» та інші.	Затрати, ресурси та досвід	Кількість замовленої продукції	Кількість замовлень. Попит.	Ціна, лояльність споживачів
Висновки	ООО НТП «Экор» - існує напрямок системи контролю швидкості корозії та в подальшому прогнозування залишкового ресурсу, проте це не основна специфіка компанії.	Є можливість виходу на ринок.  В Україні є потенційні конкуренти, але вони більше спеціалізуються в іншому спектральному діапазоні.  Строки виходу їх на ринок становить 1-2 роки	У даній галузі постачальники не диктують умов.	Клієнти диктують свої умови на ринку. Переважно це відноситься до якості товару та точності аналізу або ж погрішності	Товари замінники обмежують встановлення високих цін на метод і кінцевий виріб в цілому

Можна зробити висновок, що основний конкурентом на території України є ООО НТП «Экор», що також має свої філії і в інших країнах світу. Спеціалізація підприємства обширна, саме тому продукт, що пропонується нами має перевагу, так як він спеціалізований. Це надає перевагу у вигляді зосередження ресурсів на одному продукті та покращення його якості. Наступним кроком є обґрунтування факторів конкурентоспроможності, що показані в таблиці 6.8.

*Таблиця 6.8.*

### **Обґрунтування факторів конкурентоспроможності**

<b>№</b>	<b>Фактор конкурентоспроможності</b>	<b>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)</b>
1	Потреби виробників	Клієнтура та постійний покупець продукції.
2	Попит внутрішнього ринку	Високий попит, легкий вихід.
3	Маркетингові пропозиції	Гарна маркетингова компанія, для популяризації наукового підходу.
4	Вартість	Не завищена, конкурентна ціна.
5	Простота в експлуатації	Всі параметри та можливості методу чітко описані в інструкції, налаштування та встановлення експертом компанії
6	Підтримка продукту	Технічна підтримка по питанням методів використання та функціональності методів, можливість зміни алгоритму для конкретного проєкту

Аналізуючи таблицю 6.8 можна відзначити, що основними факторами конкурентоспроможності даного стартап-проєкту є його вартість та підтримка продукту. На мою думку, це є основні фактори-показники. В таблиці 6.9 показаний порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проєкту.

## Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ООО НТП «Экор»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Потреби споживачів	11				+			
2	Внутрішній ринок	15						+	
3	Маркетингові пропозиції	12					+		
4	Вартість	16			+				

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін показав, що фактор конкурентоспроможності маркетингові пропозиції нашого проєкту трохи слабший ніж у ООО НТП «Экор», переважно за того, що вони все довгий час перебувають на ринку, тому необхідно ще працювати в цьому напрямку. До сильних факторів конкурентоспроможності можна віднести – ціну, маркетингову пропозицію та необхідність проєкту, але останні два фактори приблизно однакові з конкурентами.

SWOT- аналіз стартап-проєкту показаний в таблиці 6.10.

**SWOT- аналіз стартап-проекту**

<b>Сильні сторони:</b>	<b>Слабкі сторони:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ціна на 30% нижче ніж у найближчого конкуренту.</li> <li>- Надійність та технічна підтримка протягом 5 років.</li> <li>- Зручне та просте керування, що супроводжується відео інструкціями у комплекті.</li> <li>- Дистанційне керування.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Необхідне значне інвестування для старту, близько 150 – 200 тис \$.</li> <li>- Новий метод, ще не визнаний у світі, в частості і в Україні.</li> </ul>
<b>Можливості:</b>	<b>Загрози:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Вільний ринок, мала кількість аналогів на внутрішньому ринку.</li> <li>- Збільшення функціоналу методу, покращення алгоритму що збільшує швидкість розрахунків, а оптимізація зменшує кількість ітерацій.</li> <li>- Вихід на міжнародний ринок, не тільки доставка у інші країни, а й відкриття своїх філіалів.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Укріплення конкурентів, зменшення ціни на товари аналоги конкурентів.</li> <li>- Нестабільна ситуація у країні, знецінення валюти, припинення отримання інвестицій.</li> <li>- При насиченні ринку – зменшення попиту.</li> <li>- Тривалий процес отримання сертифікації.</li> </ul>

SWOT-аналіз стартап-проекту розділяє його на чотири категорії: сильні, слабкі сторони проекту та можливості, загрози пов'язані з його здійсненням. І в підсумку дає зрозуміти, що сильною стороною проекту є дешевизна, простота в експлуатації, тривалою підтримкою. Слабкою стороною проекту є те що він потребує у значному інвестуванні, невизнаність методу у світі [38]. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на

ринку та мають певну ймовірність здійснення. Тому укріплення конкурентів, збій імпорту комплектуючий, що призведе до зниження доходів потенційних підприємств є фактор загрози, а те що вільний ринок та можливе збільшення функціонування методу – можливостями.

В таблиці 6.11. показані альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту.

*Таблиця 6.11.*

**Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту**

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Повномасштабне виробництво	75%	2-3 років
2	Нестандартні методи використання технології	15%	5-7 роки
3	Співробітництво з космічними агентствами	35%	1-2 років
4	Виготовлення додаткового алгоритму обробки «шумів»	65%	2-3 років

Очевидно, що ймовірність повномасштабного виробництва та виготовлення додаткового алгоритму для обробки «шумів» та визначення імпульсів руйнації є найбільш ймовірними в майбутньому розвитку компанії.

#### 6.4. Розробка ринкової стратегії проєкту.

Розробка ринкової стратегії проєкту бере початок з вибору цільових груп потенційних споживачів. В таблиці 6.12 показані потенційні споживачі.

Таблиця 6.12.

**Вибір цільових груп потенційних споживачів**

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Авіавиробники	Готові	Високий попит	Велика конкуренція	Середньо
2	Компанії, що займаються ракетобудівництвом	Готові	Високий попит	Велика конкуренція	Середньо
3	Нафтохімічні Компанії	Готові	Середній попит	Відносно невелика конкуренція	Важко

За потенційних основних клієнтів було обрано наступні групи – авіавиробники та компанії, що займаються ракетонаосіями. Таке рішення було прийнято у зв'язку з високою вартістю обслуговування та проведення технічного аналізу стану їхніх продуктів.

В таблиці 6.13 показано визначення базової стратегії розвитку.

Таблиця 6.13.

**Визначення базової стратегії розвитку**

<b>№</b>	<b>Обрана альтернатива розвитку проєкту</b>	<b>Стратегія охоплення ринку</b>	<b>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</b>	<b>Базова стратегія розвитку</b>
1	Виготовлення елементу аналізу та технології обробки і аналізу даних.	Вибірковий розподіл.	Довіра до бренду, відповідна ціна, збільшення функціональних можливостей, покращення точності та зменшення погрешності.	Стратегія Спеціалізації.

За базову стратегію розвитку обрано стратегію спеціалізації, яка передбачає концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити весь ринок. Головне завдання тут полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти. Стратегія охоплення ринку – вибірковий розподіл, який застосовується до товарів, які користуються попитом у споживачів. Такий збут переважає для товарів попереднього (ретельного) вибору, коли покупці ретельно порівнюють ціни й товари. В таблиці 6.14 показана стратегія конкурентної поведінки.

Таблиця 6.14.

**Визначення базової стратегії конкурентної поведінки**

<b>№</b>	<b>Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?</b>	<b>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</b>	<b>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</b>	<b>Стратегія конкурентної поведінки</b>
	Ні. Існувало і існує багато подібних технологій.	Забирати існуючих у конкурентів, та при можливості шукати нових.	Ні. Буде здійснено покращення існуючих методів	Стратегія заняття конкурентної ніші.

При визначенні стратегії конкурентної поведінки було обрано стратегію заняття конкурентної ніші. Дана поведінка була обрана, тому в якості цільового ринку вибирається один або декілька ринкових сегментів. Головне завдання для компаній – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, а також доцільно врахувати те що за даним методом компанія випускатиме вузький асортимент товарів. В таблиці 6.15 показано визначення стратегії позиціонування.

*Таблиця 6.15.*

#### **Визначення стратегії позиціонування**

<b>№</b>	<b>Вимоги до товару цільової аудиторії</b>	<b>Базова стратегія розвитку</b>	<b>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту</b>	<b>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту</b>
1	Точність прогнозування, автономність та автоматизація.	Стратегія спеціалізації.	Використання нової технології, що не використовувалась на ринку.	Точність, малі габарити, автоматизація.

Було обрано за основу стратегію спеціалізації, що передбачає концентрацію компанії на основних потребах обраного цільового сегменту, без прагнення охопити весь ринок, так як у випадку даної технології це не є доцільним.

## 6.5. Розробка маркетингової програми стартап-проєкту.

У підрозділі «Розробка маркетингової програми стартап-проєкту» передбачається визначення ключових переваг перед конкурентами та описується основні характеристики майбутнього продукту.

У таблиці 6.16 показане визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

Таблиця 6.16.

### Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар/метод	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Автоматизація	Робота в автоматичному режимі.	Прилад працює автономно та сповіщає користувача в режимі «онлайн» про підхід до граничної зони.
2	Прогнозування залишкового ресурсу	Прогнозування залишкового ресурсу новою технологією та принципом.	Здійснюється аналіз конструкції або ж елементу та у висновку надається прогнозування залишкового ресурсу.
3	Простота в використанні	Доступність новим користувачам.	Наявність відео-інструкцій з усіма режимами та функціями, а також підтримка фахівців.

Формування маркетингової концепції показало, що найбільш привабливим з точки зору клієнта є пункт прогнозування залишкового ресурсу та автоматизація, які є покращеними. В свою чергу очевидною вигодою для споживача є зекономлений час та кошти.

В таблиці 6.17 показаний опис трьох рівнів моделі товару.

## Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Проектування елементу вимірювання залишкового ресурсу з автоматизованим процесом сповіщення споживача про наближення до моменту руйнування конструкції/елемента.
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Зручність;</li> <li>- Автономність.</li> </ul>
	Якість: якісний, галузевий стандарт.
III. Товар із підкріпленням	До продажу: попередній аналіз характеристик металів клієнта.
	Після продажу: підтримка клієнта, та розширення можливостей продукту.
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: <ul style="list-style-type: none"> <li>- За рахунок комерційної таємниці.</li> <li>- За рахунок патентного права.</li> </ul>	

Опис показав, що основна ідея даного стартап-проекту полягає в пропонуванні нової технології визначення залишкового продукту, підвищення точності та надання підтримки клієнту довгий час після покупки продукту. Даний метод буде захищено від копіювання комерційною таємницею та патентним правом. Визначення меж встановлення ціни показано в таблиці 6.18.

Таблиця 6.18.

**Визначення меж встановлення ціни**

№	Рівень цін на товари/послуги-замінники	Рівень цін на товари/послуги-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	22-33 тис \$	31-38 тис. \$	5-11 тис \$	10-14 тис \$

При визначанні межі встановлення цінової політики було досліджено, що рівень цін на технології/товари замітники становить - 22-33 тис \$. Тому, на мою думку, формування ціни продукту стартапу повинно бути нижче, для створення конкуренції. В таблиці 6.19. показане формування системи збуту.

Таблиця 6.19.

**Формування системи збуту**

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	В даному сегменті товарів, найчастіше, закупівля відбувається напряму з виробником.	-пошук потенційних клієнтів; -аналіз ринку потреб; -системи лояльності; -реклама.	Канал нульового рівня.	Напряму зі замовником або ж тендерні торги.

На сьогоднішній день, майже, абсолютно весь пошук необхідних послуг чи товарів здійснюється через інтернет-ресурси. Процес діджиталізації невідворотній і це напрямок в якому рухається світ. Для успішного розвитку компанії, потрібно також зайняти свою нішу в інтернет просторі.

Концепція маркетингових комунікацій показана в таблиці 6.20.

Таблиця 6.20.

### Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Клієнти дізнаються про новинки з інтернету, в особливості зі сайту компанії	Соціальні мережі, статті, інтернет мережі.	Інтернет-маркетинг	Презентація товару, його характеристик, покращення, щоб залучити більше клієнтів.	«Дізнайтеся скільки ще Ваша конструкція працювати ме на Вас»

Як було вказано раніше, основне джерело інформація на сьогоднішній час це інтернет. Саме тому маркетингову стратегію було обрано з маркетинг в соціальних та спеціалізованих мережах. Завданням рекламного повідомлення є презентація товару, його характеристик, щоб залучити більше потенційних клієнтів.

### 6.6. Висновки по розділу.

В даному розділі описується процес створення стартап проєкту на базі імпульсного методу. А саме описується технологія використання методики

визначення залишкового ресурсу в авіаційній та ракетокосмічній діяльності у вигляді елементу контролю, що встановлюється в системах та агрегатах.

**Основні переваги продукту:**

- *Відносна дешевизна продукту.*
- *Моніторинг стану елементів чи конструкції в режимі онлайн.*
- *Новий метод на ринку продуктів.*

**Основні недоліки продукту:**

- *Обмежений спектр металів для створення ресурсної кривої.*
- *Необхідність частково порушувати цілісність конструкції.*
- *Часові затрати на створення методики визначення залишкового ресурсу для металів замовника.*

SWOT-аналіз стартап-проєкту розділяє його на чотири категорії: сильні, слабкі сторони проєкту та можливості, загрози пов'язані з його здійсненням. І в підсумку дає зрозуміти, що сильною стороною проєкту є дешевизна, простота в експлуатації, тривалою підтримкою. Слабкою стороною проєкту є те що він потребує у значному інвестуванні та невизнаність методу у світі. За потенційних основних клієнтів було обрано наступні групи – авіа виробники та компанії, що займаються ракетноносіями. Таке рішення було прийнято у зв'язку з високою вартістю обслуговування та проведення технічного аналізу стану їхніх продуктів.

## ВИСНОВОК

Дана магістерська робота присвячена визначенню залишкового ресурсу елементів літаків та ракет. В ній описані сучасні методики визначення залишкового ресурсу руйнівними та неруйнівними методами складних технічних систем, розглянуто можливість моніторингу імпульсним методом і розроблено систему контролю он-лайн з подавленням шуму. Зокрема отримано наступні наукові результати:

1. Проведено аналіз методів визначення залишкового ресурсу елементів літальних апаратів шляхом математичного прогнозування розвитку втомної тріщини до критичного значення.

2. Проведено аналіз методів визначення залишкового ресурсу елементів обладнання і систем руйнівними методами.

3. Проведено аналіз методів визначення залишкового ресурсу елементів обладнання і систем неруйнівними методами

4. Запропоновано для своєчасного отримання даних про розвиток втомних і корозійно-втомних процесів і прогнозування залишкового ресурсу застосування сучасних систем моніторингу заснованих на імпульсному методі.

5. Розроблено структурна схему EIM на основі аналогової ідентифікації імпульсів руйнування.

6. Розроблено структурна схема алгоритму ідентифікації електрохімічних імпульсів і структурні схеми EIM на основі математичної ідентифікації електрохімічних імпульсів.

7. Запропонований метод подолання шумового забруднення під час використання імпульсного методу.

8. Застосовані в даній роботі теоретичні відомості використані для методології створення стартап-проєкту, де прописані всі можливі ризики, а також основні переваги продукту. Основними факторами конкурентоспроможності даного стартап-проєкту є його вартість та підтримка

продукту, а також, те що даний продукт є своєрідним новаторством на ринку. SWOT-аналіз стартап-проєкту розділяє його на чотири категорії: сильні, слабкі сторони проєкту та можливості, загрози пов'язані з його здійсненням. І в підсумку дає зрозуміти, що сильною стороною проєкту є дешевизна, простота в експлуатації, тривалою підтримкою. Слабкою стороною проєкту є те що він потребує у значному інвестуванні та недостатня популяризація методу в світовій науковій спільноті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Державний реєстр цивільних повітряних суден України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://avia.gov.ua/state-aircraft-register-of-ukraine>.
2. Патент на корисну модель UA 143431 U, G01N 27/26, G01N 3/32. Імпульсний спосіб корозійного моніторингу з очисткою від шуму / О. Г. Архипов, В. А. Бакун, Я. С. Козей, В. В. Сухов. - № u202001594; заявл. 06.03.2020; опубл. 27.07.2020 – Бюл. № 14.
3. Ресурс и долговечность авиационной техники: учеб. Пособ. / С. Р. Игнатович, М. В. Карускевич, Т. П. Маслак, С. С. Юцкевич. – К. : НАУ, 2015. – 164 с.
4. Кузюков А. Н. Обследование и защита от коррозии химического оборудования / А. Н. Кузюков, В. А. Борисенко, Л. Б. Березовский [та ін.] – К.: Техшка 1982. – С. 104.
5. Stern M., Weisert E. D. II Prod. Amer. Soc. Test. Mater. — 1959. — 59. – P. 1280–1284.
6. Rocchini G. II Proc. EUROCORR-91, (Budapest, 21-25 Oct. 1991) – Vol. 2. – Budapest, 1991. – P. 631–639.
7. Новицкий В. С., Кузуб В. С., Орищенко М. Я. VIII Междунар. НТК «Разработка мер защиты металлов от коррозии» (Варна 27-28 мая 1985): Тез. докл. – Варна, 1985. – Т. 3. – С. 262–265.
8. Roberge P. R., Halliop E., Sastri V. S. II Corrosion. – 1992. – 48, N 4. – P. 447–452.
9. Epelboin J., Gabrielli C., Keddam M., Takenouti H. II Electrochem. Corros. Testing Symp., (San Francisco, Calif., 21-23 May 1979.) – Philadelphia, Pa., 1981. – P. 150–166.
10. Orth John E. II Int.Water Conf. Offic. Proc. 55th Annu. Meet., Pittsburg, Pa, (Oct. 31-Nov. 3 1994). – Pittsburg (Pa). – 1994. – P. 71–76.

11. Захарчук В. Г. Електрохімічні та корозійні властивості наводнених сталей 45 і 12Х18Н10Т / В. Г. Захарчук, О. Т. Цирульник, Г. М. Никифорчин // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – [2005. – 41, №4. – С. 66–76.](#)
12. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
13. Архипов О. Г. Зміна базових електрохімічних параметрів сталі після експлуатації / О. Г. Архипов, О. В. Любимова-Зінченко, Д. О. Ковальов // Сб. науч. Трудов., Дн-вск, ГВУЗ «ПГАСА». – 2011. – Вып. 59. – С. 15–21.
14. Хома М. С. Вплив поверхневого пластичного деформування на електрохімічні характеристики і опір корозійно-втомному руйнуванню нержавіючих сталей / М. С. Хома // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1994. – №1. – С.125–127.
15. Цирульник О. Електрохімічні показники експлуатаційної деградації сталей нафто- і газогонів / О. Цирульник, Г. Никифорчин, З. Слободян [та ін.] // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2006. – Спец. вип. № 5. – С. 284–289.
16. Архипов О. Г. Корозійно-електрохімічні властивості аустенітних сталей 12Х18Н10Т і 03Х17Н14М3 / О. Архипов, О. Любимова-Зінченко, Д. Ковальов [та ін.] // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – Спец. вип. №9. – С. 101–104.
17. Похмурський В. І. Міцність та довговічність нафтогазового обладнання / В. І. Похмурський, Є. І. Крижанівський, В. М. Івасів [та ін.]; під ред.: В. І. Похмурський, Є. І. Крижанівський. – Львів: ФМІ; Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2006. – 1193 с.
18. Архипов О. Г. Дослідження процесу деградації сталі 12Х18Н10Т / О. Г. Архипов, О. В. Зінченко, С. О. Гусєв // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2009. – №1(15). – С. 32–35.

19. Arkhypov O. H. Degradation of 09H2S steel under the conditions of petroleum refining / O. H. Arkhypov, M. S. Khoma, V. A. Borysenko [and other] // Materials Science – MATER SCI-ENGL TR. – 2011. – vol. 46. – № 5. – P. 640– 646.
20. Архипов О. Г. Корозійно-електрохімічні властивості аустенітних сталей 12X18H10T і 03X17H14M3 / О. Архипов, О. Любимова-Зінченко, Д. Ковальов [та ін.] // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – Спец. вип. №9. – С. 101–104.
21. Архипов О. Г. Дослідження змін механічних характеристик сталей 15X5M і 12X18H10T після тривалої експлуатації / О. Г. Архипов, Р. Г. Заїка, О. В. Любимова-Зінченко [та ін.] // Вісник СНУ ім. В.Даля. – 2010. – № 6. – ч.2. – С. 161–166.
22. Назарчук З. Т. *Неруйнівний контроль і технічна діагностика* / З. Т. Назарчук, В. В. Кошовий, В. Р. Скальський [та ін.] // ред.: В. В. Панасюк; НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В.Карпенка. – Л., 2001. – 1134 с.
23. Цирюльник Т. О. Електрохімічні методи діагностування конструкційних сталей, тривало експлуатованих у корозивно-наводнювальних середовищах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.10 / О. Т. Цирюльник; НАН України, Фіз.-механ. ін-т ім. Г.В. Карпенка. – Л., 2013. – 310 с.
24. Архипов О. Г. Моніторинг корозійно-механічного руйнування обладнання імпульсно-електрохімічним методом / О. Г. Архипов, М.С. Хома, В.О. Лифар [та ін.] // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2014. – №2. – С. 104–109.
25. Архипов А. Г. Электрохимический импульсный метод мониторинга коррозионно-механических повреждений / А. Г. Архипов, О. В. Любимова-Зинченко, Д. А. Ковалёв // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 1 (4). – С. 75–80.

26. Андрейків О. Є. Механіка руйнування та довговічність металевих матеріалів у водневмісних середовищах / О. Є. Андрейків, О. В. Гембара. – Київ: Наукова думка, 2008. – 345 с.
27. Архипов А. Г. Электрохимический импульсный метод мониторинга коррозионно-механических повреждений / А. Г. Архипов, О. В. Любимова-Зинченко, Д. А. Ковалёв // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 1 (4). – С. 75–80.
28. Ковальов Д. О. Корозійно-електрохімічний контроль трубопроводів імпульсним методом / Д. О. Ковальов / I Межд. науч.-тех. конф.-выст. “Повышение надежности и долговечности оборудования нефтегазовой и химической промышленности”. – Бердянськ, 2013. – С. 92–97.
29. Ковальов Д. О. Діагностика поточного стану технологічного обладнання імпульсним методом / Д. О. Ковальов, О. Г. Боярчук // Регіон. наук.-практ. конф. “Майбутній науковець”. – Сєвєродонецьк, 2011. – Ч.1. – С. 42–44.
30. Ковалёв Д. А. Импульсный метод контроля коррозионных повреждений технологического оборудования / Д. А. Ковалёв, А. Г. Боярчук // Научные стремления. – Минск: Белорусская наука, 2012. – №1. – С. 114–121.
31. Похмурский В. И. Импульсный метод определения коррозионно-механических повреждений в среде электролитов / В. И. Похмурский, М. С. Хома, А. Г. Архипов, Д. А. Ковалев // Междунар. конф. «Фундаментальные аспекты коррозионного материаловедения и защиты металлов от коррозии». – Москва, 2011. – С. 138.
32. Архипов О. Г. Визначення залишкового ресурсу обладнання імпульсним способом шляхом приведення градієнта функції різниці потенціалів до нуля / О. Архипов, М. Хома, В. Лифар, П. Єлісеєв, Д. Ковальов // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2014. – Спец. вип. №10, т. 2. – С. 473–477.
33. Єлісеєв П. Й. Аналіз стану корозійно-механічного руйнування імпульсним методом за високочастотною складовою сигналу / П.

- Єлісєєв, О. Архипов, В. Лифар, Д. Ковальов // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2014. – Спец. вип. №10, т. 2. – С. 494-499.
34. Ковальов Д. Математична ідентифікація сигналу в імпульсному засобі контролю корозійно-механічних пошкоджень технологічного обладнання / Д. Ковальов // II-а Міжн. наук. конфер. «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах». – Вінниця, 2013. – С. 236–239.
35. Ковальов Д. О. Зміна електрохімічних характеристик, як показник деградації сталі / Д. О. Ковальов // XII Міжн. наук.-практ. конф. студ., асп. та мол. вч. “Технологія-2009”. – Сєвєродонецьк, 2009. – С. 156.
36. Архипов О. Г. Корозійний моніторинг експлуатованих сталей феритного класу / О. Г. Архипов, О. В. Любимова-Зінченко, Д. О. Ковальов [та ін.] // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2011. – №15. – ч.2. – С. 107–111.
37. Коэн, Д. Стартап в Сети : мастер-классы успешных предпринимателей / Д. Коэн, Б Фелд ; пер. с англ. М. Иутина. – 2-е изд. – Москва : Альпина Паблишер, 2013. – 337 с.
38. Маллинс, Дж. Поиск бизнес-модели : как спасти стартап, вовремя сменив план / Дж. Мал- линс, Р. Комисар ; пер. с англ. М. Пуксанти и Е. Бакушевой. – Москва : Манн, Иванов и Фер- бер, 2012. – 329 с.

# Аналітичний огляд сучасних робіт з визначення залишкового ресурсу літальних апаратів

**Актуальність теми.** Питання залишкового ресурсу в авіабудуванні, як ніколи актуальне. За статистичними даними більше 65 відсотків аерофлоту світу, що використовується, це літальні апарати, які працюють за межею розрахункового часу експлуатації. Згідно реєстру цивільних суден в Україні, станом на 2019 рік, середній вік авіафлоту України становить 20 років, хоча закладений строк використання літальних апаратів виробником, становить в середньому 20 – 25 років експлуатації.

**Мета і задачі магістерської роботи** – розробка методики визначення залишкового ресурсу елементів ракет та літаків неруйнівними методами. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі науково-технічні задачі:

1. Провести аналіз уже наявних методик та способів визначення залишкового ресурсу.
2. Розробити наукові підходи/методику для визначення залишкового ресурсу елементів/конструкції.
3. Розробити практичну методику очистки отриманого сигналу з імпульсного методу від шуму.
4. Розробити інструкцію використання методики/технології на підприємстві з подальшою її монетизацією.

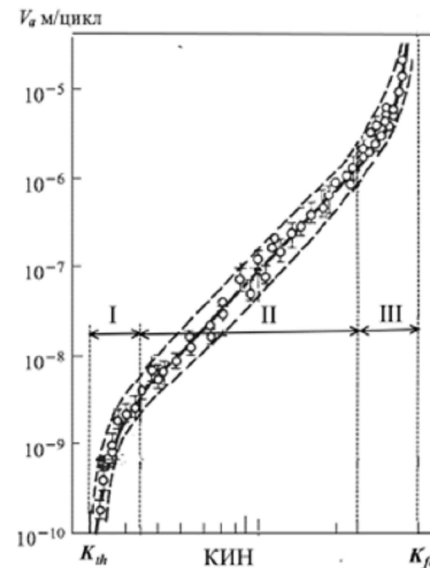
**Об'єкт дослідження** – корозійно-механічне руйнування структури елементів систем літальних апаратів та ракет під час дії корозійного середовища та експлуатаційних навантажень.

**Предмет дослідження** – механічні та електрохімічні характеристики металів і сплавів, а також оцінювання залишкового ресурсу.

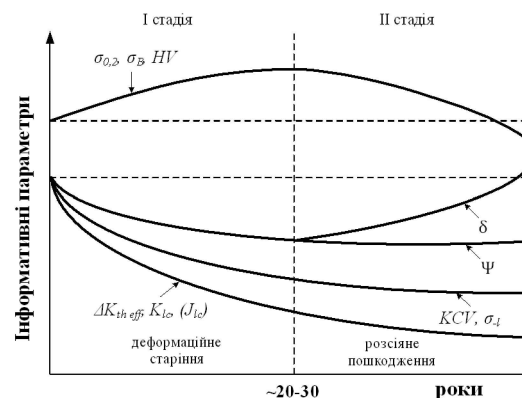
**Методи досліджень** – корозійно-втомні випробування сталей проводили для визначення стадій корозійно-механічного руйнування; для оцінювання характеру зміни виміряних даних застосовували методи статистичної обробки інформації.

$$\frac{dl}{dN} = A * \Delta K^n,$$

де  $A$  і  $n$  – емпіричні коефіцієнти,  $\Delta K = K_{max} - K_{min}$  – перепад (розмах) коефіцієнта інтенсивності напружень за один цикл,  $N$  – число циклів.



Значно просунулась школа професора Г.М. Никифорчина в питаннях прогнозування залишкового ресурсу. Згідно запропонованим підходам розглядають дві стадії експлуатаційної деградації конструкційних сталей: Стадія I – деформаційне старіння, стадія II – розсіяне пошкодження.



Перший етап відповідає низьким швидкостям росту тріщин: від  $10^{-10}$  до  $(2...20) 10^{-9}$  м/цикл. Другий етап відповідає швидкостям від  $(0,5...0,8) 10^{-8}$  до  $(1...10) 10^{-7}$  м/цикл. Третій, як і перший нелінійний і відповідає високим швидкостям росту тріщин - більше  $10^{-6}$  м/цикл. Справа він обмежений значенням  $K_{fc}$ , при досягненні якого відбувається руйнування зразка. Використовуючи рівняння Періса і не приводячи викладки можливо орієнтовно визначити залишковий ресурс (кількість циклів навантаження) до утворення максимально можливої тріщини:

$$N_f = N_0 + \frac{(n-2)}{2A(\alpha\sqrt{\pi}\Delta\sigma)^n \left[ l_0^{\frac{(n-2)}{2}} - l_f^{\frac{(n-2)}{2}} \right]}$$

де  $N_f$  – напраховання до досягнення небезпечної величини тріщини  $l_f$ ;

$N_0$  – кількість циклів, що відповідає тріщині довжиною  $l_0$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт, що враховує форму і розмір зразка, тип навантаження, форму тріщини;

$\Delta\sigma$  – розмах напружень;  $l_f$  – максимально допустима тріщина.

В якості максимально можливої тріщини використовується значення критичної довжини тріщини за Гріффітсом:

$$l_f = l_{кр} = \frac{2E\gamma}{\pi\sigma^2}$$

де  $\gamma$  – питома поверхнева енергія,  $E$  – модуль пружності I роду,  $\sigma$  – діюче напруження в околі тріщини.

$$T_{зал} = \frac{(N_0 - n)}{\dot{n}C_g}$$

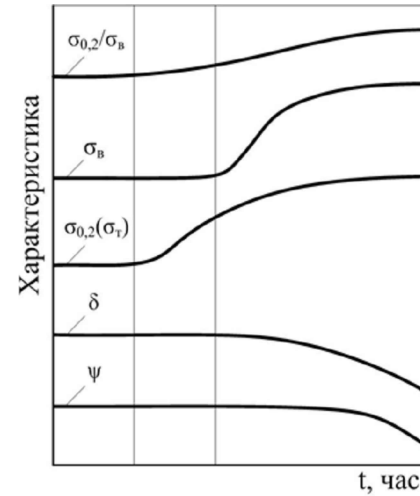
де  $N_0$  – число циклів до руйнування металу в вихідному стані;  $n$  – число циклів навантаження на момент визначення  $T_{зал}$ ;  $\dot{n}$  – число циклів за один рік експлуатації;  $C_g$  – коефіцієнт старіння металу.

AK91M01.16.20.00.00				Лит.	Маса	Масштаб
Изм	Лист	№ докум.	Попр.	Аналітичний огляд сучасних робіт з визначення залишкового ресурсу літальних апаратів		
Розроб.	Бакин В. А.					
Проб.	Арипов О.Г.					
Лист	1	Листов	6			
Наказ				КПІ ім. Іоанна Сікарського Кофедра КІ, АК-91м		
Утв.	Луканенко В. Г.					
Копіювання				Формат А1		

# Методика визначення експлуатаційної деградації металу руйнівними методами і оцінка залишкового ресурсу

- Тестування в агресивному середовищі.** В даному дослідженні зразок розташовують в кислому, лужному чи інших агресивних середовищах.
- Корозійні випробування.** Здійснюється дослідження в різних корозійних середовищах. Іноді процес затяжний у часі, тому користуються прискорювачами, у вигляді кислот.
- Руйнування та механічні випробування.** В даний тип випробувань входять випробування на згин, стиснення, розтяг, випробування на удар по Шарпі, та решта.
- Випробування на втому.** Даний тип випробувань націлений на виявлення втомних тріщин в процесі експлуатації.
- Водневе тестування.** Випробування проходять у водневому середовищі при різних температурах та різних деформаціях.
- Вимірювання залишкового напруження.** Напевно одне з найважливіших випробувань, так як здійснюється дослідження на залишкові випробування, що в майбутньому дає можливість розподілити їх по конструкції та збільшити термін її експлуатації.

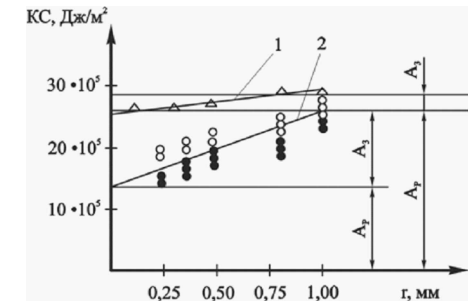
Зміну в часі характеристик за статичного розтягу під час деформаційного старіння можна представити у вигляді схеми:



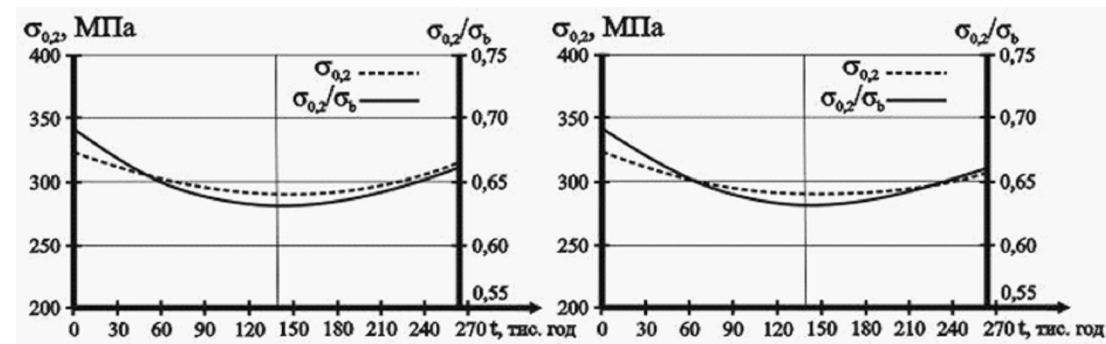
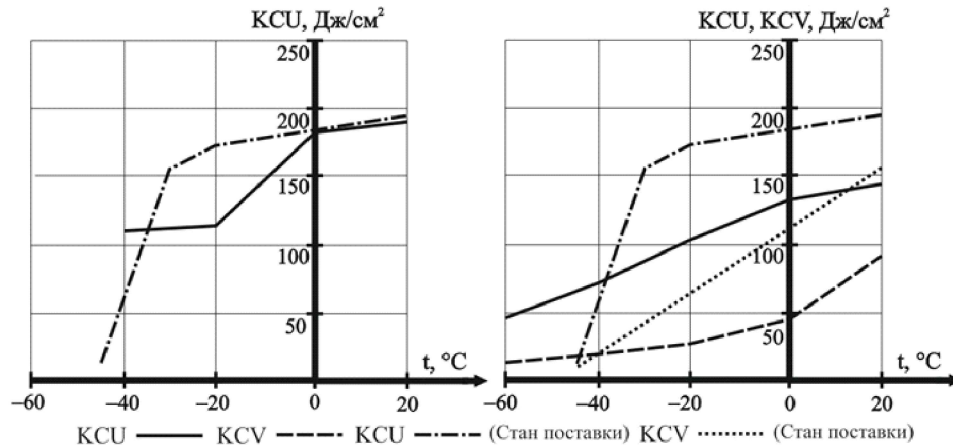
Ефективну методику оцінювання ступені деградації за допомогою ударної в'язкості запропонував А.П. Гуляев, згідно з його методикою робота руйнування сталевих зразків (А) з радіусом надрізу розкладається на роботу зародження тріщини ( $A_3$ ) і роботу розвитку тріщини ( $A_p$ ):

$$A = A_3 + A_p$$

Для досліджень на удар було виготовлено зразки з концентраторами напружень різного радіусу і після випробувань на ударну в'язкість зразків із сталі з різними радіусами надрізу: 0,2; 0,35; 0,5; 0,75 і 1,0 мм побудовано залежність ударної в'язкості від радіусу надрізу:



Цікавий підхід визначення переходу в окрихчення стан полягає в дослідженні точки в'язко-крихкого переходу. В цьому випадку на удар досліджуються зразки за різних температур. Далі наведено результати досліджень в діапазоні температур  $+20^{\circ}\text{C}$  -  $-60^{\circ}\text{C}$  з інтервалом  $20^{\circ}\text{C}$ .



AK91M01.16.20.00.00				Лит. Масса Масштаб		
Изм	Лист	№ докум.	Попр.	Дата	Лист 2 Листов 6	
Разраб.	Бакин В. А.	Методика визначення експлуатаційної деградації металу руйнівними методами і оцінка залишкового ресурсу				
Проб.	Арипов О.Г.					
Технотр.						
Начектр.						
Утв.	Дьяченко В. Г.					
Копирован				Формат А1		

# Методика визначення залишкового ресурсу неруйнівними методами

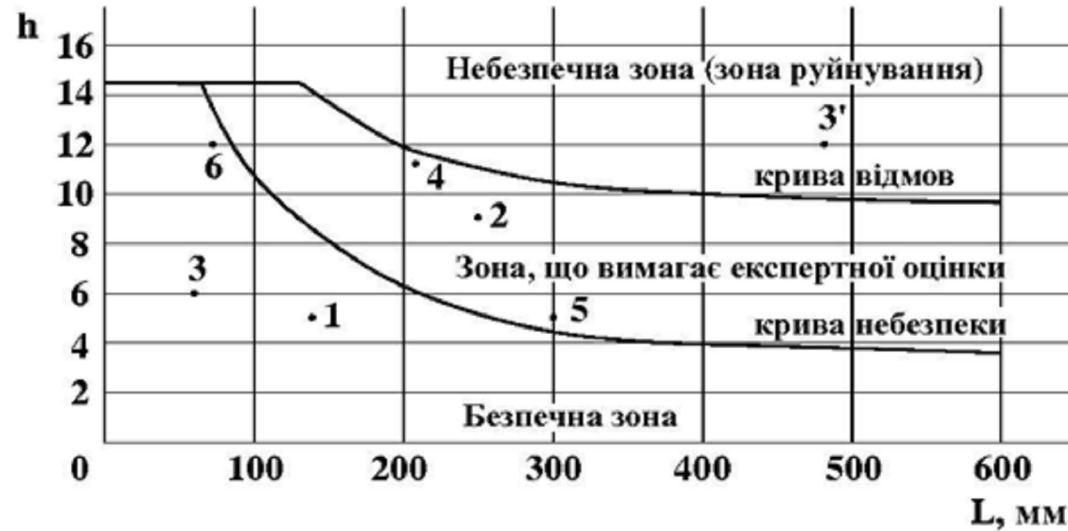
Основні вимоги, що висуваються до неруйнівних методів контролю, або діагностики:

- можливість здійснення контролю на всіх стадіях виготовлення, при експлуатації і при ремонті виробів;
- можливість контролю якості продукції по більшості заданих параметрів;
- узгодженість часу, що витрачається на контроль, з часом роботи іншого технологічного обладнання;
- висока достовірність результатів контролю;
- можливість механізації і автоматизації контролю технологічних процесів, а також управління ними з використанням сигналів, видаваних засобами контролю;
- висока надійність дефектоскопічної апаратури і можливість використання її в різних умовах;
- простота методики контролю, технічна доступність засобів контролю в умовах виробництва, ремонту і експлуатації.

Залежно від принципу роботи всі неруйнівні методи контролю діляться на:

- акустичні (ультразвукові);
- капілярні; магнітні (або магнітопорошковий);
- оптичні (візуально оптичні);
- радіаційні;
- радіохвильові;
- теплові;
- струйний контроль;
- електричні;
- електромагнітні, або струмовихровий (методи вихрових струмів).

“Критерій В31G” із стандарту ANSI/ASME B31 G-1984



$$D(L) = D_0 + V_D L^a$$

де  $D_0$ ,  $D(L)$  – початкове та поточні значення параметру;

$V_D$  – швидкість (інтенсивність) зміни параметру;

$L$  – пробіг з початку експлуатування або термін служби;

$a$  – показник степеня, що визначає характер зміни параметру  $D(L)$ : при  $a = 1$  – лінійна залежність, при  $a < 1$  – степенева або експоненціальна (опуклість вгору), при  $a > 1$  – степенева або експоненціальна (опуклість вниз).

$$t_{\text{зал}} = t \left[ \sqrt[a]{\frac{D_{\text{lim}} - D_0}{D - D_0}} - 1 \right]$$

де  $D_{\text{lim}}$ ,  $D_0$ ,  $D$  – граничне, початкове та фактичне значення параметру;

$t$  – термін напрацювання параметру.

Так само як і руйнівні методи, дані методи не використовуються для прогнозування залишкового ресурсу, а лише дають певну оцінку стану структури металу чи конструкції в цілому. Варто зазначити, що основною найбільшою проблемою використання відомих неруйнівних методів це, те що у випадку великих масштабів конструкції необхідно багато часу для локалізації деградації металу, особливо, якщо візуально її не видно. Це в свою чергу тягне за собою, певні матеріальні витрати.

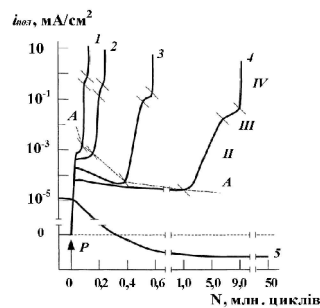
AK91MP01.16.20.00.00			
Лист	№ докум.	Порт.	Дата
Розроб.	Байун В. А.		
Проб.	Арипов О.Г.		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.	Проконья В. Г.		
Методика визначення залишкового ресурсу неруйнівними методами			
Лист	3	Листов	6
КПІ ім. Ієора Сікарського Кафедра КІ, АК-91мп			
Формат А1			

# Розробка методики визначення залишкового ресурсу за зміною потенціалу метала

Потенціостатичний метод і корозійний моніторинг на його основі використовуються в корозійних системах з чітко вираженим пороговим значенням потенціалу. Наприклад, в процесі розвитку мікротріщин або підростання магістральної тріщини відбувається значна зміна потенціалу. Цей метод найбільш привабливий і з економічної точки зору, і з точки зору відносної простоти.

В тому випадку, коли відомі швидкості розчинення конструкційного матеріалу від потенціалу в реальних умовах роботи, цей метод може бути одним з найбільш перспективних. До переваг методу можна віднести те, що він дозволяє вимірювати безпосередньо потенціал обладнання, це дозволяє більш адекватно оцінювати процеси, що протікають в системі середовище – метал.

Принциповою умовою застосування цього методу є наявність електроду порівняння. Сам первинний перетворювач є єдиною конструкцією з вузлом вводу. Наприклад, штуцери вводу з фторопластовим ущільненням дозволяють використовувати їх при тиску до 15 МПа і високих температурах. Підбір електродів завжди має індивідуальний характер і мусить враховувати специфіку середовища, конструкцію обладнання, умови експлуатації тощо.



Характер зміни густини струму поляризації за корозійно-втомного руйнування сталі 08X18H10T при напруженнях:

$$1 - \pm \sigma = 320 \text{ МПа}; 2 - \pm \sigma = 280 \text{ МПа}; 3 - \pm \sigma = 240 \text{ МПа}; \\ 4 - \pm \sigma = 220 \text{ МПа}; 5 - \pm \sigma = 210 \text{ МПа}.$$

З графіка видно, що при різних циклічних напруженнях на цих кривих можна виділити наступні ділянки: I – зародження мікротріщин, II – підростання мікротріщин, III – зростання магістральної тріщини, IV – руйнування зразка.

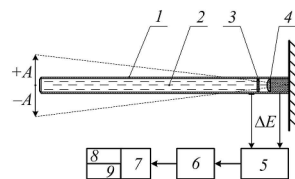
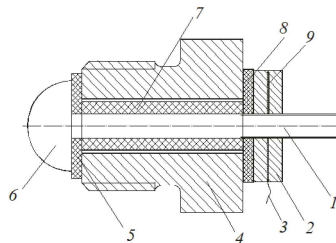


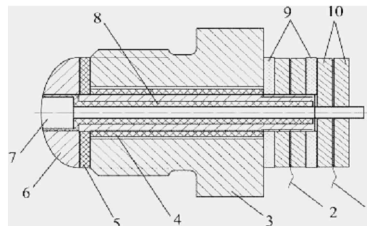
Схема електрохімічного контролю:

- 1 – об'єкт контролю (труба);  
2 – 5%-ий водний розчин NaCl; 3 – концентратор напружень; 4 – електрод; 5 – плата вводу аналогового сигналу; 6 – аналогово-цифровий перетворювач;  
7 – персональний комп'ютер; 8 – програма реєстрації сигналу; 9 – програма ідентифікації імпульсів; ΔE – різниця потенціалів;  
A – амплітуда коливань.



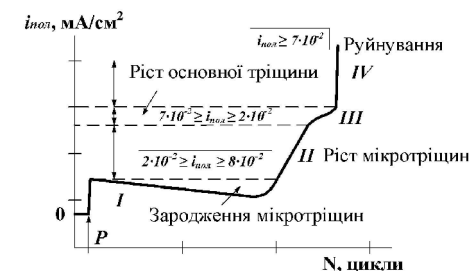
Одноелектродний електрохімічний первинний перетворювач:

- 1 – контакт електроду; 2, 9 – гайка; 3 – струмовідвід; 4 – корпус;  
5, 8 – ізолююча шайба; 6 – робоча поверхня; 7 – ізолююча втулка.

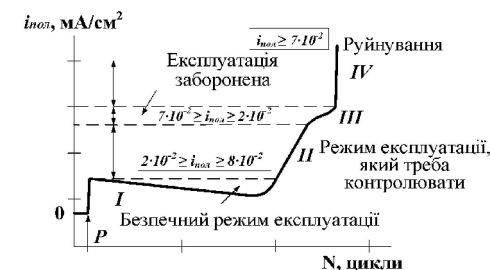


Двоелектродний електрохімічний первинний перетворювач:

- 1 – контакт внутрішнього електроду; 2 – контакт зовнішнього електроду; 3 – корпус; 4, 8 – ізолююча втулка; 5, 9 – ізолююча шайба;  
6 – зовнішній електрод; 7 – внутрішній електрод; 10 – гайка.



Критичні значення густини струму поляризації сталі 08X18H10T на різних ступенях її пошкодження. I–IV – періоди руйнування.



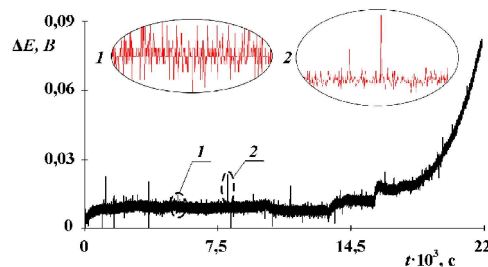
Стадії корозійно-втомного руйнування сталі 08X18H10T:

I–IV – періоди руйнування.

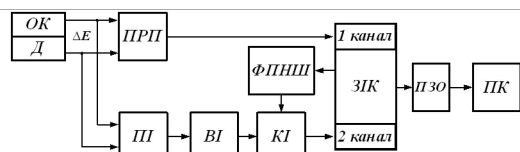
Основні переваги та недоліки використання даного методу, є те, що умовою моніторингу обладнання є наявність експериментально встановленої ресурсної кривої за певних механічних напружень. Враховуючи чутливість методу і вплив на вимірювальну систему зовнішніх факторів важливим для адекватної оцінки поточного стану є використання системи моніторингу з самого початку експлуатації обладнання. Це забезпечує “прив’язку” ресурсної кривої до обраної системи координат. Експлуатація системи моніторингу не з початку експлуатації можлива, але це потребує додаткових досліджень для встановлення поточної точки відрахунку електрохімічних характеристик.

AK91MP01.16.20.00.00			
Лист	№ докум.	Попр.	Дата
Розроб.	Байун В. А.		
Проб.	Арипов О.Г.		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.	Лисенко В. Г.		
Розробка методики визначення залишкового ресурсу за зміною потенціалу метала			
Лист	4	Листов	6
КПІ ім. Ігоря Сікорського Київ, АК-91мп			
Формат А1			

# Розробка методики визначення залишкового ресурсу імпульсним методом

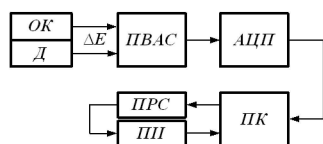


Типова характеристика зміни  $\Delta E$  з імпульсами (2) на тлі шумової складової (1).



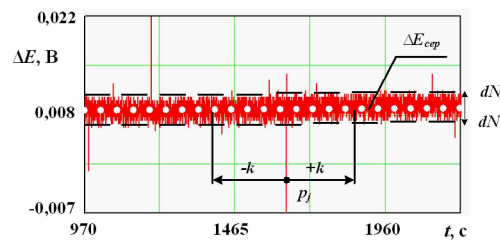
Структурна схема ЕІМ на основі аналогової ідентифікації імпульсів руйнування:

$OK$  – об'єкт контролю;  $Д$  – одноелектродний електрохімічний первинний перетворювач;  $\Delta E$  – різниця потенціалів;  $ПРП$  – підсилювач різниці потенціалів;  $ПІ$  – підсилювач імпульсів;  $ВІ$  – випрямляч імпульсів;  $КІ$  – компаратор імпульсів;  $ФПНШ$  – формувач порогу нечутливості шуму;  $ЗІК$  – засіб імпульсного контролю; 1 канал – індикатор вимірюваних значень різниці потенціалів; 2 канал – лічильник кількості імпульсів;  $ПІЗО$  – пристрій зв'язку з об'єктом;  $ПК$  – персональний комп'ютер.



Структурна схема ЕІМ на основі математичної ідентифікації електрохімічних імпульсів.

$OK$  – об'єкт контролю;  $Д$  – одноелектродний електрохімічний первинний перетворювач;  $\Delta E$  – різниця потенціалів;  $ПВАС$  – плата вводу аналогового сигналу;  $АЦП$  – аналого-цифровий перетворювач;  $ПК$  – персональний комп'ютер;  $ПРС$  – програма реєстрації сигналу  $\Delta E$ ;  $ПІ$  – програма ідентифікації електрохімічних імпульсів.



Фрагмент зміни  $\Delta E$  з електрохімічними імпульсами:

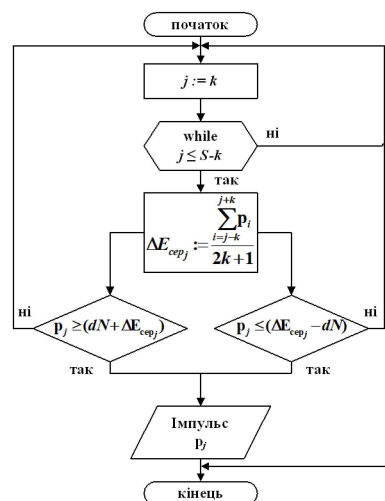
$p_j$  – імпульс руйнування, що підлягає ідентифікації;

$dN$  – амплітуда вирізки шуму зі складової різниці потенціалів, мВ;

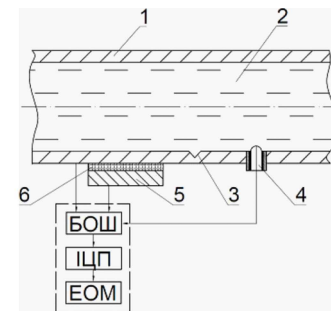
$\Delta E_{сер}$  – усереднений масив значень  $\Delta E$ , що розраховується за

відкладанням  $\pm k$  значень, де  $k$  дорівнює частоті реєстрації сигналу.

Обробка вхідного сигналу  $\Delta E$  та ідентифікація електрохімічних імпульсів здійснюється за таким алгоритмом (рисунки 5.5): де  $p_j$  – масив вимірюваних значень  $\Delta E$ , при  $i = -k \dots k$ . Кількісне значення амплітуди шуму  $dN$  визначається на основі показників середньоквадратичного відхилення амплітуди  $\Delta E$  за всією довжиною масиву даних. Порівнюючи середнє значення зміни потенціалу  $\Delta E_{сер}$  в кожній точці вимірювань з поточним значенням амплітуди імпульсу  $p_j$ , проводили його ідентифікування.



Структурна схема алгоритму ідентифікації електрохімічних імпульсів.



Загальна схема конструкції датчика.

На кресленні зображено обладнання 1 з рідким електролітом 2 всередині. На ділянці обладнання, де з часом можливе утворення корозійно-втомної тріщини 3, встановлюють електрохімічний первинний перетворювач 4, а також еталонний зразок 5, що приклеюється до зовнішньої сторони обладнання термопровідним клеєм 6. Первинний перетворювач реєструє зміну всіх складових електричного потенціалу обладнання, в тому числі шуми і імпульси руйнування. Еталонний зразок у свою чергу фіксує лише зміну електричного потенціалу і шуми без імпульсів руйнування. Обидва сигнали одночасно надходять на блок обробки шумів (БОШ), де шляхом визначення різниці сигналів залишається лише складова, що містить імпульси руйнації. Потім сигнал подається на імпульсно-цифровий перетворювач (ІЦП), що перетворює сигнал в цифрову форму і передає його для подальшої обробки на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ).

Даний контроль відбувається за зміною трьох параметрів: різниці потенціалів, амплітуди та інтенсивності появи імпульсів.

AK91MP01.16.20.00.00					
Лист	№ докум.	Попр.	Дата	Розробка методики визначення залишкового ресурсу імпульсним методом	
Розроб.	Бачин В. А.			Лист	5
Проєкт.	Арипов О.Г.			Листів	6
Ліцензія.				КПІ ім. Іоанна Сікорського	
Наказ.				Кафедра КІ, АК-91мп	
Уніф.	Донецький В. Г.			Формат А1	

## Розробка стартап-проєкту

Основні переваги продукту:

- Відносна дешевизна продукту.
- Моніторинг стану елементів чи конструкції в режимі онлайн.
- Новий метод на ринку продуктів.

Основні недоліки продукту:

- Обмежений спектр металів для створення ресурсної кривої.
- Необхідність частково порушувати цілісність конструкції.
- Часові затрати на створення методики визначення залишкового ресурсу для металів замовника.

## Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Зміст ідеї полягає в наданні послуги визначення залишкового ресурсу та впровадженні технології постійного використання елементу контролю технічного стану конструкції електрохімічним імпульсним методом.	1. Авіаційна техніка	Економія на постійному або ж плановому огляді літальних апаратів за рахунок автоматизації процесу.
	2. Ракетокосмічна техніка (ракети повторного використання)	Економія на огляді ракет повторного використання за рахунок автоматизації процесу.
	3. Нафто-газообладнання	Економія на огляді та попередження аварійних ситуацій на робочих ділянках.
	4. Комунальні підприємства	Економія на огляді та попередження аварійних ситуацій на робочих ділянках.

Як можна помітити з таблиці, основні напрямки роботи були обрані з урахуванням найбільших витрат замовника на аналіз, аудит та огляд конструкції чи елемента. Це в свою чергу несе великі витрати для майбутнього клієнта, а запропонована технологія їх зменшує.

## Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Варіант реакції компанії
1	Вихід на міжнародний ринок.	Товар чи технологія відносно закордонних аналогів значно дешевший, що дозволяє експортувати його на міжнародний ринок	Збільшення клієнтів
2	Вільний ринок.	Відсутність аналогів	Можливість встановлення правил на внутрішньому ринку, формування цінової політики
3	Прогресування.	Збільшувати функціонал, згідно потреб клієнтів та розвиток самої технології.	Збільшення клієнтів.
4	Розвиток.	Збільшення точності аналізу та прогнозування залишкового ресурсу, збільшення діапазону робочих металів.	Змога випускати більш досконалу та покращену продукцію
5	Універсальність.	Використовувати комплектуючі різних виробників, з різними характеристиками, метод врахує всі зміни.	Збільшення кількості постачальників комплектуючих.
6	Незалежність у виробництві.	Створення чи розширення промислових потужностей	Зменшення кількості постачальників, зменшення кількості витрат

## Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Варіант вирішення
1	Несприятлива ситуація у країні	Девальвація валюти, автоматичне підвищення ціни у національній валюті.	Зменшення попиту, необхідні додаткові стимули для покупців.
2	Важкість виходу	Складність отримати сертифікацію	Пошук інших шляхів отримання сертифікації, усунення недоліків
3	Важкість виходу на міжнародний ринок	Всі потенційні конкуренти розташовані за кордоном. Важкий вихід	Почати співпрацю, з сусідніх країн, і далі поступово розвиватися на міжнародні арені.
4	Зменшення попиту	Ринок буде насичений даним видом товару, що метод чи технологія не буде нікому не потрібна.	Зменшення попиту, зміна напрямку розвитку проєкту до більш рентабельного.
5	Зменшення клієнтської бази	Зменшення можливих потенційних клієнтів	Пропонування додаткових стимулів для клієнтів, зміна напрямку розвитку проєкту до більш рентабельного.

## ВИСНОВОК

Дана магістерська робота присвячена визначенню залишкового ресурсу елементів літаків та ракет. В ній описані сучасні методики визначення залишкового ресурсу руйнівними та неруйнівними методами складних технічних систем, розглянуто можливість моніторингу імпульсним методом і розроблено систему контролю он-лайн з подавленням шуму. Зокрема отримано наступні наукові результати:

1. Проведено аналіз методів визначення залишкового ресурсу елементів літальних апаратів шляхом математичного прогнозування розвитку втомної тріщини до критичного значення.

2. Проведено аналіз методів визначення залишкового ресурсу елементів обладнання і систем руйнівними методами.

3. Проведено аналіз методів визначення залишкового ресурсу елементів обладнання і систем неруйнівними методами

4. Запропоновано для своєчасного отримання даних про розвиток втомних і корозійно-втомних процесів і прогнозування залишкового ресурсу застосування сучасних систем моніторингу заснованих на імпульсному методі.

5. Розроблено структурна схему ЕІМ на основі аналогової ідентифікації імпульсів руйнування.

6. Розроблено структурна схема алгоритму ідентифікації електрохімічних імпульсів і структурні схеми ЕІМ на основі математичної ідентифікації електрохімічних імпульсів.

7. Запропонований метод подолання шумового забруднення під час використання імпульсного методу.

8. Застосовані в даній роботі теоретичні відомості використані для методології створення стартап-проєкту, де прописані всі можливі ризики, а також основні переваги продукту. Основними факторами конкурентоспроможності даного стартап-проєкту є його вартість та підтримка

				AK91MP01.16.20.00.00								
Изм	Лист	№ докум.	Попр.	Дата	Розробка стартап-проєкту				Лист	6	Листов	6
Розроб.	Бачин В. А.											
Проб.	Архипов О.Г.											
Т.контр.												
Н.контр.												
Утв.	Промислов В. Г.											
Копіював											Формат А1	

# CERTIFICATE

is awarded to

**Bakun Volodymyr**

for being an active participant in  
V International Scientific and Practical Conference

**“DYNAMICS OF THE DEVELOPMENT  
OF WORLD SCIENCE”**



**VANCOUVER**

22-24 January 2020

[sci-conf.com.ua](http://sci-conf.com.ua)



# CERTIFICATE OF PUBLICATION

---

THIS CERTIFICATE IS AWARDED TO

*Bakun V.*

IN RECOGNITION OF THE PUBLICATION OF YOUR PAPER:  
*VIBRO PROTECTIVE SYSTEMS OF QUASE ZERO RIGIDITY*

«THEORETICAL ASPECTS OF MODERN ENGINEERING»  
Boston, USA

ISBN - 978-1-64945-862-9  
DOI - 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.III



INTERNATIONAL  
SCIENCE GROUP

УКРАЇНА



# ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 143431

**ІМПУЛЬСНИЙ СПОСІБ КОРОЗІЙНОГО МОНІТОРИНГУ З  
ОЧИСТКОЮ ВІД ШУМУ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **27.07.2020.**

Заступник Міністра розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України

Д.О. Романович



(19) UA

(51) МПК

G01N 27/26 (2006.01)

G01N 3/32 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2020 01594

(22) Дата подання заявки: 06.03.2020

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.07.2020

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 27.07.2020, Бюл. № 14

(72) Винахідники:

Архипов Олександр  
Геннадійович, UA,  
Бакун Володимир  
Андрійович, UA,  
Козей Ярослав Сергійович,  
UA,  
Сухов Віталій Вікторович,  
UA

(73) Власники:

Архипов Олександр  
Геннадійович,  
вул. Ярослава Мудрого, 10/4,  
кв. 18, м. Буча, Київська обл.,  
08292, UA,  
Бакун Володимир  
Андрійович,  
вул. Академіка Янгеля, 20, кв.  
203, м. Київ, 03056, UA,  
Козей Ярослав Сергійович,  
вул. Михайла Драгоманова,  
14, кв. 135, м. Київ, 02068, UA,  
Сухов Віталій Вікторович,  
пр. Перемоги, 30, кв. 125, м.  
Київ, 03055, UA

(54) Назва корисної моделі:

**ІМПУЛЬСНИЙ СПОСІБ КОРОЗІЙНОГО МОНІТОРИНГУ З ОЧИСТКОЮ ВІД ШУМУ**

(57) Формула корисної моделі:

Імпульсний спосіб корозійного моніторингу, призначений для визначення корозійно-механічного пошкодження обладнання на основі автоматичного моніторингу, який відрізняється тим, що на об'єкт контролю наклеюють еталон, виготовлений з металу однієї марки з металом об'єкта контролю, що має ту ж саму температуру, але ізольований від впливу середовища, контрольоване обладнання, яке працює в середовищі рідких електrolітів, оснащують первинним перетворювачем, який по першому каналу реєструє зміну електричного потенціалу металу, по другому каналу реєструє зміну потенціалу металу еталона аналогічно контрольованому об'єкту, але цей канал не містить імпульсів руйнування, сигнали з обох каналів одночасно надходять на блок обробки шумів, де шляхом визначення різниці сигналів залишається лише складова, що містить імпульси, які свідчать про ступінь корозійно-механічного пошкодження, потім сигнал подають на імпульсно-цифровий перетворювач, який перетворює сигнали в цифрову форму і передає його для подальшої обробки на електронно-обчислювальній машині.

Державне підприємство  
«Український інститут інтелектуальної власності»  
(Укрпатент)

Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України.

Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 2513230720 необхідно:

1. Перейти за посиланням <https://sis.ukrpatent.org>.
2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу.
3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документа та натиснути «Завантажити».

Уповноважена особа Укрпатенту

27.07.2020



І.Є. Матусевич



УКРАЇНА

(19) UA  
(51) МПК

(11) 143431

(13) U

G01N 27/26 (2006.01)

G01N 3/32 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2020 01594  
(22) Дата подання заявки: 06.03.2020  
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.07.2020  
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.07.2020, Бюл.№ 14

(72) Винахідник(и):  
Архипов Олександр Геннадійович (UA),  
Бакун Володимир Андрійович (UA),  
Козей Ярослав Сергійович (UA),  
Сухов Віталій Вікторович (UA)

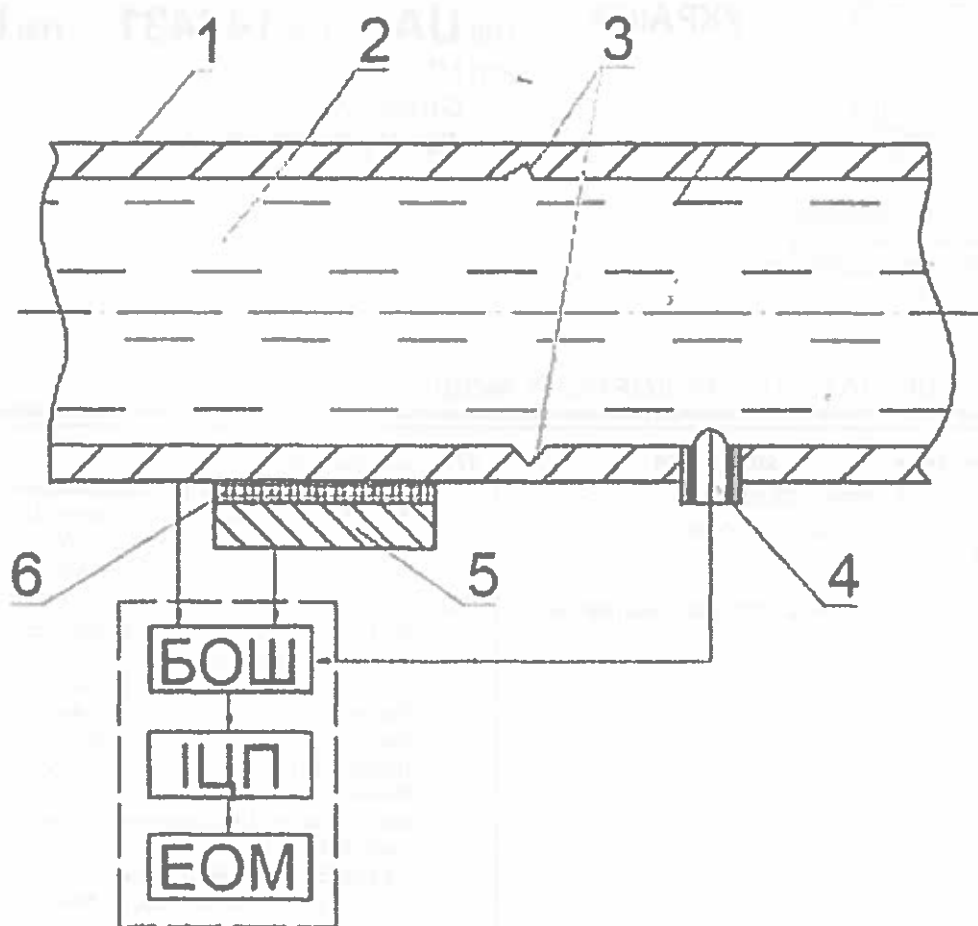
(73) Власник(и):  
Архипов Олександр Геннадійович,  
вул. Ярослава Мудрого, 10/4, кв. 18, м.  
Буча, Київська обл., 08292 (UA),  
Бакун Володимир Андрійович,  
вул. Академіка Янгеля, 20, кв. 203, м. Київ,  
03056 (UA),  
Козей Ярослав Сергійович,  
вул. Михайла Драгоманова, 14, кв. 135, м.  
Київ, 02068 (UA),  
Сухов Віталій Вікторович,  
пр. Перемоги, 30, кв. 125, м. Київ, 03055  
(UA)

## (54) ІМПУЛЬСНИЙ СПОСІБ КОРОЗІЙНОГО МОНІТОРИНГУ З ОЧИСТКОЮ ВІД ШУМУ

## (57) Реферат:

Імпульсний спосіб корозійного моніторингу, призначений для визначення корозійно-механічного пошкодження обладнання на основі автоматичного моніторингу. На об'єкт контролю наклеюється еталон, виготовлений з металу однієї марки з металом об'єкта контролю, що має ту ж саму температуру, але ізольований від впливу середовища. Контрольоване обладнання, яке працює в середовищі рідких електrolітів, оснащується первинним перетворювачем, який по першому каналу реєструє зміну електричного потенціалу металу, по другому каналу реєструє зміну потенціалу металу еталона аналогічно контрольованому об'єкту, але цей канал не містить імпульсів руйнування. Сигнали з обох каналів одночасно надходять на блок обробки шумів, де шляхом визначення різниці сигналів залишається лише складова, що містить імпульси, які свідчать про ступінь корозійно-механічного пошкодження. Потім сигнал подається на імпульсно-цифровий перетворювач, який перетворює сигнали в цифрову форму і передає його для подальшої обробки на електронно-обчислювальній машині.

UA 143431 U



Корисна модель належить до області електрохімічних досліджень, зокрема досліджень корозійно-механічних пошкоджень, і може бути використана в різних галузях, особливо в найбільш відповідальних, таких як авіаційна та космічна, де від роботоспроможності гідравлічної, паливної систем та корозійно-механічного стану обладнання залежить безпека і життя людини.

Відомий імпульсний спосіб оцінки ступеня корозійно-механічного пошкодження обладнання (Патент України № 55489, Бюл. № 23, 2010 р.), прийнятий за аналог, визначає стадію пошкодження обладнання за кількістю імпульсів руйнування, що відповідають циклам навантаження за певний інтервал часу в автоматичному режимі.

Причинами, які перешкоджають наголошеному нижче технічному результату при використанні відомого способу, є те, що запропонований спосіб не враховує забрудненість вхідного сигналу побічними шумами, які виникають у вимірювальній системі, що обумовлює похибку у вимірюванні кількості імпульсів, які виникають при розвитку тріщини, а це веде до спотворення інформації і зменшення об'єктивності визначення технічного стану обладнання.

Суть корисної моделі полягає в наступному:

Аерокосмічна галузь, є однією з найбільш важливих, і в процесі експлуатації техніки необхідно постійно вести контроль за станом агрегатів та елементів конструкції, наприклад елементів гідравлічних систем та трубопроводів. Конструкція літака побудована так, щоб був максимально забезпечений необхідний доступ до агрегатів для контролю спеціалістами. Але такий контроль може вестись лише періодично, доступ може бути обмеженим внаслідок мінімізації простору і в складних технічних системах завжди потребує врахування "людського фактору".

Безпека експлуатації технологічного обладнання або важливих транспортних засобів залежить від об'єктивності оцінювання корозійного стану металу, що знаходиться в контакт з агресивними речовинами: технологічним середовищем, паливом тощо.

Моніторинг процесу корозійно-механічного руйнування може бути здійснений різними способами, одних з яких є аналіз розвитку незворотних процесів корозії з утворенням тріщин в структурі металу. Аналіз протікання таких процесів корозії металу обладнання має особливо важливу роль для запобігання аваріям і своєчасної зупинки з метою попередження руйнувань конструкцій і збереження життя людей.

Порівняно простий і миттєвий спосіб визначення корозійно-механічного пошкодження складних технічних об'єктів - це постійний контроль електрохімічних параметрів і визначення корозійного стану металу в часі за динамікою розвитку корозійно-втомних тріщин на контрольованих ділянках обладнання. Крім того, це дозволяє автоматизувати процес, економити час для перевірок і в результаті зменшити витрати на експлуатацію.

Задача корисної моделі - забезпечити своєчасну сигналізацію про досягнення критичних корозійних пошкоджень металу обладнання.

Виходячи з цього, була поставлена технічна задача - розробити спосіб сигналізації критичних корозійних пошкоджень, використовуючи електрохімічний імпульсний спосіб очищений від завад у вигляді електромагнітного шуму.

Заявниками передбачається досягнення при реалізації здійснення корисної моделі наступного технічного результату - автоматичний контроль динаміки корозійно-механічних руйнувань і сигналізація по досягненні критичних значень корозійних пошкоджень за частотою появи імпульсів руйнування за певний інтервал часу.

Відзначений вище технічний результат досягається наступним чином, до труби, що містить робоче середовище, яке є рідким електролітом, наклеюється еталонний зразок, що виготовлений з металу тієї ж марки, що і метал об'єкта контролю. Даний еталонний зразок, має ті самі властивості і характеристики, проте він ізольований від середовища рідких електролітів, отже не піддається корозії. Для фіксації сигналів використовуються два канали. Перший канал об'єднує первинний перетворювач і контрольовану ділянку трубопроводу. Другий канал об'єднує первинний перетворювач і еталон. Сигнали з обох каналів надходять на блок обробки шумів. Перший канал містить всю інформацію про електрохімічний поточний стан контрольованої ділянки, в тому числі імпульси, що виникають при рості тріщини, і завади у вигляді шумів вимірювальної системи. Метал еталону не підлягає впливу середовища, але знаходиться в тому ж температурному полі і напруженому стані. Отже його сигнал не буде містити імпульсів руйнування, але мати в своєму складі ті ж самі сигнали шумів. В блок обробки шумів інформація з каналів надходить у вигляді електричного потенціалу, який складається з постійної складової, яка залежить від властивостей металу, температурного поля і напруженого стану, шумів і імпульсів руйнування. Перші складові: постійна складова і шуми однакові для двох каналів. Віднявши від потенціалу першого каналу потенціал другого, отримуємо

інформацію у вигляді імпульсів руйнування, що свідчать про розвиток корозійно-втомної тріщини. Далі сигнал надходить на імпульсно-цифровий перетворювач для формування його в цифровій формі, а потім для подальшої обробки на електронно-обчислювальну машину для відслідковування ступеня корозійно-механічного пошкодження.

На кресленні зображено обладнання 1 з рідким електролітом 2 всередині. На ділянку обладнання, де з часом можливе утворення корозійно-втомної тріщини 3, встановлюють електрохімічний первинний перетворювач 4, а також еталонний зразок 5, що приклеюється до зовнішньої сторони обладнання термопровідним клеєм 6. Первинний перетворювач реєструє зміну всіх складових електричного потенціалу обладнання, в тому числі шуми і імпульси руйнування. Еталонний зразок, у свою чергу, фіксує лише зміну електричного потенціалу і шуми без імпульсів руйнування. Обидва сигнали одночасно надходять на блок обробки шумів (БОШ), де шляхом визначення різниці сигналів залишається лише складова, що містить імпульси руйнації. Потім сигнал подається на імпульсно-цифровий перетворювач (ЦП), що перетворює сигнал в цифрову форму і передає його для подальшої обробки на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ).

Реалізація корисної моделі, що заявляється, здійснюється наступним чином.

Обладнання оснащується електрохімічним первинним перетворювачем, який фіксує зміну всіх складових електричного потенціалу обладнання, наприклад, електродний вузол (Патент України № 15117-2006 р.), і еталонним зразком, що фіксує лише зміни постійної складової електричного потенціалу і шуми. При появі тріщини або початку росту існуючих тріщин виникають імпульси, які реєструються каналом, утвореним первинним перетворювачем і основним металом труби. Другий канал реєструє лише постійну складову з шумами. Далі обидва сигнали надходять на блок обробки шумів, де шляхом порівняння сигналів, виокремлюється складова, що містить ділянки короточасних пікових змін потенціалу. Ця складова і буде очищеними імпульсами руйнації, що свідчать про динаміку корозійно-механічного руйнування. Далі відбувається перетворення сигналу в цифрову форму та передача його на електронно-обчислювальну машину для подальшого аналізу. За кількістю імпульсів, очищених від шумів, що надходять на обробку на ЕОМ за певний інтервал часу в автоматичному режимі, робиться висновок про поточний стан обладнання і наближення його до аварійного. Аналіз частоти появи імпульсів руйнування очищених від шумів, дозволяє точніше проаналізувати технічний стан обладнання. Коли кількість імпульсів перевищує дозволу або попередньо визначену, електронно-обчислювальна машина подає автоматичний сигнал, про зупинку обладнання або необхідність огляду контрольованої ділянки обладнання.

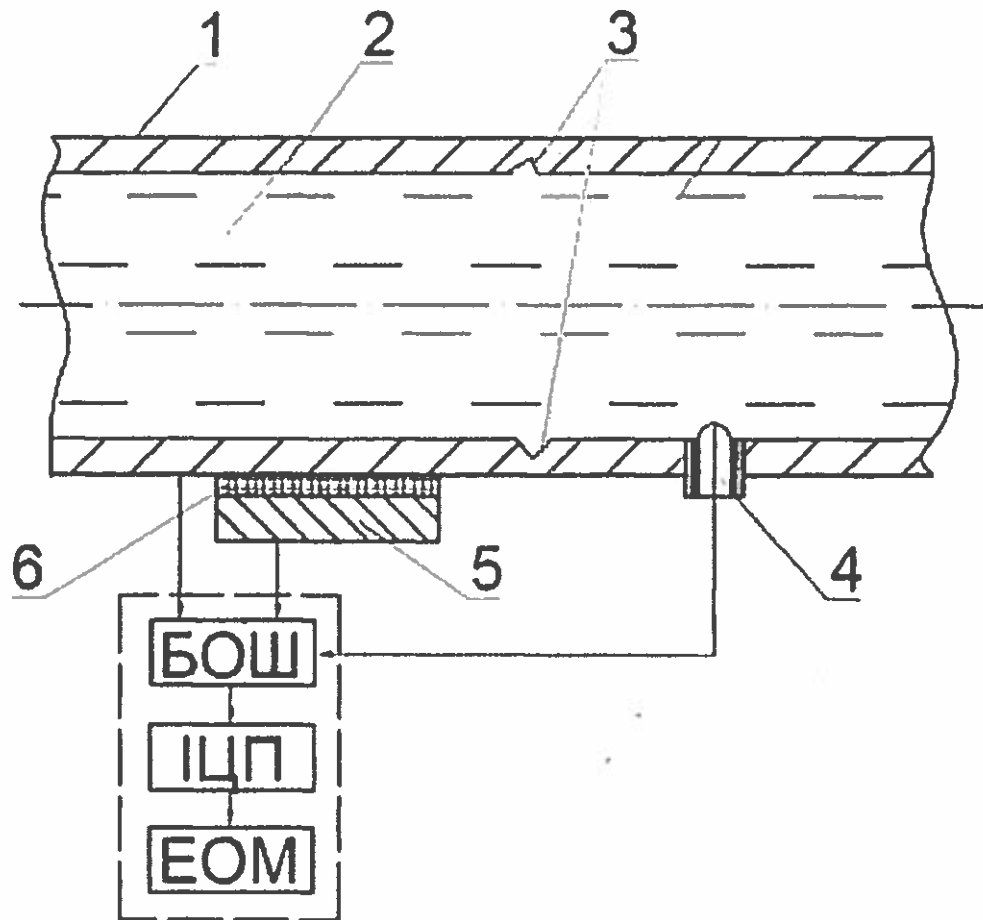
На підставі викладеного можна стверджувати, що сукупність відмінних ознак, викладених у формулі корисної моделі, необхідна і достатня для отримання потрібного технічного результату.

Реалізація корисної моделі, що заявляється, здійснюється за схемою, яка складається з електрохімічного первинного перетворювача, еталонної частини, блока обробки шумів, імпульсно-цифрового перетворювача і електронно-обчислювальної машини, що дозволяє проводити безперервний моніторинг технічного стану обладнання, забезпечуючи при цьому своєчасне і більш надійне виявлення стадій корозійно-механічного пошкодження. Це дозволяє підвищити рівень безпеки експлуатації, попередити руйнування обладнання і людські жертви. Контроль корозійно-механічного стану і сигналізація про небезпеку подальшої експлуатації проводиться в автоматичному режимі, при цьому не потрібне проведення додаткових обстежень стану технічних об'єктів, які виконуються сторонніми організаціями, що обумовлює додаткові економічні витрати.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Імпульсний спосіб корозійного моніторингу, призначений для визначення корозійно-механічного пошкодження обладнання на основі автоматичного моніторингу, який відрізняється тим, що на об'єкт контролю наклеюють еталон, виготовлений з металу однієї марки з металом об'єкта контролю, що має ту ж саму температуру, але ізольований від впливу середовища, контрольоване обладнання, яке працює в середовищі рідких електролітів, оснащують первинним перетворювачем, який по першому каналу реєструє зміну електричного потенціалу металу, по другому каналу реєструє зміну потенціалу металу еталона аналогічно контрольованому об'єкту, але цей канал не містить імпульсів руйнування, сигнали з обох каналів одночасно надходять на блок обробки шумів, де шляхом визначення різниці сигналів залишається лише складова, що містить імпульси, які свідчать про ступінь корозійно-механічного пошкодження, потім сигнал подають на імпульсно-цифровий перетворювач, який

перетворює сигнали в цифрову форму і передає його для подальшої обробки на електронно-обчислювальній машині.

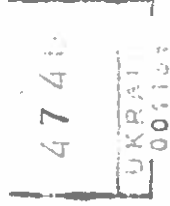


Комп'ютерна верстка І. Сковцова

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

НАКАЗОВА ПРАВОСЛУДНОСТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
(УКРІПІЛІТ)  
вул. Глазунова, 1  
м. Київ, 01601



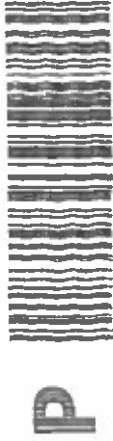
22 2-19-20-20429-A

## ПРОХАННЯ НЕ ЗГІНАТИ

Адреса одержувача:  
Бакун Володимир Андрійович

вул. Академіка Янгеля, 20, кв. 203, м. Київ, 03056

Київ 42



01042 2930797 5