

Національний університет «Львівська політехніка»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СТАСИШИН Юрій Арсенович

УДК 621.317

ДИСЕРТАЦІЯ

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЗА ПАРАМЕТРАМИ
АДМІТАНСУ**

152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

15 – «Автоматизація та приладобудування»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Ю. А. Стасишин

Науковий керівник Походило Євген Володимирович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Львів – 2025

АНОТАЦІЯ

Сташишин Ю. А. Ідентифікація харчових продуктів за параметрами адмітансу. — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 — Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка. — Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2025.

З огляду на широкий спектр методичного забезпечення ідентифікації харчової продукції, в Україні існує потреба у створенні методів та засобів ідентифікації харчової продукції різного рівня якості або фальсифікованої продукції різного роду чинниками та способами, що забезпечують оперативність такої процедури. Основні завдання роботи полягають у використанні імітансного методу контролю якості, зокрема ідентифікації харчової продукції за параметрами її адмітансу, розробленні концепції ідентифікації харчової продукції за параметрами адмітансу як різного виду продукції, так і одного виду, але різного рівня якості, формуванні електричного стандартного зразка відповідно до контрольованого продукту, аналізуванні результатів експериментальних досліджень окремих зразків харчової продукції з використанням двоелектродного перетворювача «об'єкт-імітанс» за активною та реактивною складовими його адмітансу в частотному діапазоні тестового синусоїдального сигналу, виявленні ідентифікаційних ознак, за якими можна пропонувати способи ідентифікації фальсифікованої продукції.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, розкрито сутність і стан науково-технічної проблеми, що досліджується, наведено обґрунтування доцільності проведення досліджень, визначено актуальність теми дослідження, сформульовані мета і завдання роботи, наведено методи дослідження, визначена наукова новизна і практичне значення одержаних результатів та зазначено особистий внесок здобувача, наведено апробації роботи та публікації її результатів у наукових виданнях.

У **першому розділі** представлено результати аналітичного огляду нормативно-технічної документацію України та світу щодо безпечності та якості харчових продуктів.

Проаналізовані фізико-хімічні методи, які є найпоширенішими з інструментальних і застосовують для визначення кількісного вмісту поживних компонентів у продуктах, мінеральних речовин та токсичних домішок. Наведено приклади застосування таких методів. Вказані недоліки хімічних методів, зокрема їхня висока вартість аналізу через руйнування структури досліджуваних об'єктів. Також розглянуто біологічні (мікробіологічні, імунологічні, біохімічні) методи, які ґрунтуються на виявленні шкідливих живих організмів в продукті харчування. Такі методи мають перевагу в тому, що дають уявлення про реальний склад продуктів та їх потенційний вплив на організм людини. Недолік – необхідність використання великої кількості обладнання та тривалість проведення досліджень (до декількох діб).

Зазначено, що вибір методу залежить від необхідної швидкості випробувань, детальності їх результатів, виду харчового продукту, терміну проведення та вартості.

Другий розділ присвячений ідентифікації харчової продукції за її електричними параметрами, зокрема з використанням імітансного методу контролю якості. Як інформативні параметри ідентифікації використано активну та реактивну складові адмітансу контрольованого продукту. Для цього в роботі застосовується використання методу ідентифікації за електричними параметрами об'єкта контролю, зокрема імітансного методу контролю якості. Інформативними параметрами вибрано активну та реактивну складову адмітансу досліджуваного зразка харчового продукту, оскільки вони є пропорційними до його електричних параметрів таких як питома електропровідність та діелектрична проникність, що характеризують фізико-хімічні властивості.

Для реалізації ідентифікації харчової продукції використано диференційний метод оцінювання якості. За таким методом порівнюються значення складових

адмітансу з відповідними значеннями електричного стандартного зразка такої ж продукції на окремих частотах заданого частотного діапазону. Технічний засіб для реалізації зазначеного методу містить імітансний перетворювач з неізольованими двома електродами, в міжелектродний простір якого поміщено об'єкт контролю. Інформативні параметри, а саме активна та реактивна складові адмітансу, такого перетворювача вимірюються вимірювальним приладом за паралельною схемою заміщення в широкому частотному діапазоні.

Запропоновано концепцію ідентифікації харчової продукції за параметрами адмітансу як різного виду продукції, так і одного виду, але різного рівня якості. Описано алгоритм формування електричного стандартного зразка відповідно до контрольованого продукту, який подається також абсолютними значеннями активної та реактивної складової адмітансу на окремих частотах. При цьому вимірювання як для інформативних параметрів, так і параметрів зразка повинні проводитися з використанням перетворювачем з однаковими параметрами електродів (форма електродів, їхня площа, міжелектродна відстань).

Наведено варіант ідентифікації харчового продукту за активною провідністю та діелектричною проникністю, які визначаються за результатами одночасних вимірювань активної та реактивної складових адмітансу харчового продукту.

У **третьому розділі** розглянуто питання виявлення ідентифікаційних ознак харчових продуктів з різними значеннями електропровідності та діелектричної проникності. Для цього проаналізовано результати експериментальних досліджень активної та реактивної складових адмітансу низькоомних та високоомних об'єктів дослідження в частотному діапазоні тестового сигналу синусоїдного сигналу. Тобто, досліджено амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) складових адмітансу в діапазоні частот 100 Гц – 100 кГц імітансним перетворювачем «об'єкт-адмітанс» двоелектродного конструктивного виконання для різної форми електродів. За аналізом результатів експериментальних досліджень виявлені ідентифікаційні ознаки АЧХ складових адмітансу окремих видів харчової продукції.

Для виявлення загальних ознак, за якими можна ідентифікувати будь-яку харчову продукцію, проаналізовано характер складових у частотному діапазоні для двох випадків досліджень, а саме:

- вимірювання складових різних продуктів з використанням одного і того ж сенсора для низькоомних та об'єкта та високоомних об'єктів;
- вимірювання складових одного виду продукта з використанням сенсорів різного конструктивного виконання.

За аналізом результатів експериментальних досліджень виявлені ідентифікаційні ознаки АЧХ складових адмітансу окремих видів харчової продукції. За результатами аналізу виявлено, що екстремальне значення реактивної складової адмітансу спостерігається для низькоомних об'єктів, а для високоомних – мінімальним. Відповідно до цього отримуємо різні частоти, на яких є такі значення і при цьому частоти суттєво відрізняються. Пояснюється це тим, що низькоомні об'єкти мають більше значення діелектричної проникності, а високоомні – менші. Це призводить, як зазначалося вище, до пропорційної зміни ємності подвійного шару і, відповідно, до зміни частоти екстремального значення. Використання електродів з різною площею призводить також до зміни екстремального значення, а саме: для електродів меншої площі реактивна складова має мінімальне значення, а для електродів з більшою площею така складова має максимальне значення. Частота відповідає екстремальному значенню аналогічно до попереднього випадку.

Також наводяться результати аналізу удосконаленої математичної моделі за електричною схемою заміщення імітансного перетворювача з різною площею електродів. Аналіз математичної моделі показав, що реактивна складова адмітансу визначається сумою складових, які по-різному залежать від частоти, а саме: якщо перша із зростанням частоти зростає лінійно, то інша зростає нелінійно із зростанням частоти. Але таке зростання із зростанням частоти зменшується аж до максимального екстремального значення, а потім воно спадає до мінімального екстремального значення через зростання другої складової.

Після цього характер кривої вже визначається другою складовою, тобто реактивною складовою об'єкта контролю. Такий характер має узагальнена крива, якою можна описати реактивну складову за результатами експериментальних досліджень низькоомних та високоомних об'єктів дослідження у зазначеному діапазоні частот. На основі зазначеного доводиться, що результати експериментальних досліджень та математична модель реактивної складової є адекватними.

У **четвертому розділі** запропоновано узагальнений спосіб ідентифікації фальсифікації харчової продукції, який ґрунтується на порівнянні абсолютних значень реактивної складової контрольованого продукту зі значеннями такої ж складової його оригінального продукту (стандартного зразка) на вибраних частотах заданого діапазону. Наводяться способи ідентифікації на прикладі фальсифікованої горілки двома видами фальсифікації, зокрема заміною її водно-спиртовим розчином та підміною марки та структурні схеми засобів реалізації таких способів. Також розглянуто способи ідентифікації продукції, яка містить добавки, використовуючи при цьому як ідентифікаційну ознаку – наявність екстремального значення продукції з добавкою і відсутність його у продукції без добавки в певному частотному діапазоні частот. Окрім цього пропонується спосіб ідентифікації соняшникової олії, яка піддавалася термічній обробці або не оброблялася. Для цього використовують результати порівняння значень активних або реактивних складових зразків (контрольованого та базового) на відповідних частотах. Зазначені способи ідентифікації забезпечують оперативність проведення такої процедури і можуть бути реалізовані як з використанням серійних засобів вимірювання складових адмітансу лабораторного застосування, так і спеціалізованими засобами з автономним живленням.

Всі розділи роботи завершуються висновками, а дисертаційна робота завершується загальним висновком, списком використаних джерел та додатком.

Ключові слова: адмітанс, активна складова адмітансу, реактивна складова адмітансу, імпеданс, частота, ідентифікація, харчова продукція, математична модель, електрична модель, фальсифікація продукції, стандартний зразок.

ABSTRACT

Stasyshyn Yu. A. Identification of food products by admittance parameters. - Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 152 - Metrology and Information-Measuring Technology - Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2025.

Given the wide range of methodological support for the identification of food products, in Ukraine, there is a need to create methods and means of identifying food products of different quality levels or falsified products by various factors and means that ensure the efficiency of such a procedure. The main tasks of the work are to use the admittance method of quality control, in particular, to identify food products by their admittance parameters, to develop the concept of identifying food products by admittance parameters of both different types of products and one type but of different quality levels, forming an electrical standard sample in accordance with the controlled product, analyzing the results of experimental studies of individual food samples using a two-electrode "object-admittance" transducer by the active and reactive components of its admittance in the frequency range of the test sinusoidal signal, identification of identification features that can be used to suggest ways to identify counterfeit products. The dissertation consists of an introduction, 4 chapters, general conclusions, a list of references and appendices.

The **introduction** substantiates the relevance of the topic of the dissertation, reveals the essence and state of the scientific and technical problem under study, and provides a justification for the feasibility of conducting research, the relevance of the research topic is determined, the aim and objectives of the work are formulated, the research methods are presented, the scientific novelty and practical significance of the results obtained are determined, and the personal contribution of the applicant is indicated, the work is tested and its results are published in scientific journals.

The **first chapter** presents the results of an analytical review of the regulatory and technical documentation of Ukraine and the world on food safety and quality.

Physicochemical methods were analyzed, which are the most common instrumental methods used to determine the quantitative content of nutrients in foods, minerals and toxic impurities. Examples of the application of such methods are given. The disadvantages of chemical methods are indicated, in particular their high cost of analysis due to the destruction of the structure of the objects under study. Biological (microbiological, immunological, biochemical) methods based on the detection of harmful living organisms in food are also considered. Such methods have the advantage of providing insight into the actual composition of products and their potential impact on the human body. The disadvantage is the need to use a large amount of equipment and the length of time required to conduct research (up to several days).

It is noted that the choice of method depends on the required speed of testing, the detail of their results, the type of food product, the time period and the cost.

The **second chapter** is devoted to the identification of food products by their electrical parameters, in particular, using the immittance method of quality control. The active and reactive components of the admittance of the controlled product are used as informative identification parameters. For this purpose, the paper applies the method of identification by the electrical parameters of the controlled object, in particular, the immittance method of quality control. The active and reactive components of the admittance of the food sample under study were chosen as informative parameters, since they are proportional to its electrical parameters, such as specific electrical conductivity and dielectric constant, which characterize its physicochemical properties.

The differential method of quality assessment was used to implement the identification of food products. This method compares the values of the admittance components with the corresponding values of an electrical standard sample of the same product at certain frequencies of a given frequency range. The technical means for implementing this method contains an imitation transducer with non-insulated two electrodes, in the interelectrode space of which the object of control is placed. The informative parameters, namely the active and reactive components of the admittance,

of such a converter are measured by a measuring device using a parallel substitution scheme in a wide frequency range.

The concept of identification of food products by admittance parameters of both different types of products and the same type but of different quality levels is proposed. The algorithm for forming an electrical standard sample in accordance with the controlled product is described, which is also represented by the absolute values of the active and reactive components of the admittance at certain frequencies. In this case, measurements for both informative parameters and sample parameters should be performed using a transducer with the same electrode parameters (electrode shape, area, interelectrode distance).

A variant of food product identification by active conductivity and dielectric constant, which are determined by the results of simultaneous measurements of the active and reactive components of the food product admittance, is presented.

In the **third chapter** the issue of the discovery of the identification features of food products with different values of electrical conductivity and dielectric constant is considered. For this purpose, the results of experimental studies of the active and reactive components of the admittance of low-impedance and high-impedance objects of study in the frequency range of the sinusoidal test signal were analyzed. That is, the amplitude-frequency characteristics (AFC) of the admittance components in the frequency range of 100 Hz-100 kHz were investigated by an object-admittance transducer of a two-electrode design for different electrode shapes. Based on the analysis of the results of experimental studies, the identification features of the AFC of the admittance components of certain types of food products were revealed.

In order to identify common features that can be used to identify any food product, the nature of the components in the frequency range was analyzed for two cases of research, namely:

- measurement of components of different products using the same sensor for low-impedance and high-impedance objects;

- measurement of components of one type of product using sensors of different design.

Based on the analysis of the results of experimental studies, the identification features of the AFC of the admittance components of certain types of food products were revealed. The results of the analysis revealed that the extreme value of the reactive component of admittance is observed for low-impedance objects, while for high-impedance objects it is minimal. Accordingly, we obtain different frequencies at which such values are present, and the frequencies differ significantly. This is explained by the fact that low-impedance objects have a higher dielectric constant, while high-impedance objects have a lower value. This leads, as noted above, to a proportional change in the capacitance of the double layer and, accordingly, to a change in the frequency of the extreme value. The use of electrodes with different areas also leads to a change in the extreme value, namely: for electrodes with a smaller area, the reactive component has a minimum value, and for electrodes with a larger area, this component has a maximum value. The frequency corresponds to an extreme value similarly to the previous case.

The results of the analysis of the improved mathematical model based on the electrical scheme of substitution of the simulated converter with different electrode areas are also presented. The analysis of the mathematical model showed that the reactive component of admittance is determined by the sum of components that depend differently on frequency, namely: while the first one increases linearly with increasing frequency, the other increases nonlinearly with increasing frequency. However, this increase with increasing frequency decreases up to the maximum extreme value, and then it decreases to the minimum extreme value due to the growth of the second component. After that, the character of the curve is already determined by the second component, i.e., the reactive component of the object under control. This is the nature of the generalized curve that can describe the reactive component based on the results of experimental studies of low-impedance and high-impedance objects of study in the specified frequency range. Based on the above, it is proved that the results of

experimental studies and the mathematical model of the reactive component are adequate.

In the **fourth chapter**, a generalized method of identifying food falsification is proposed, based on comparing the absolute values of the reactive component of the controlled product with the values of the same component of its original product (standard sample) at selected frequencies of a given range. The author provides methods of identification of counterfeit horilka by two types of falsification, in particular, by replacing it with a water-alcohol solution and substitution of the brand, and structural diagrams of the means of implementing such methods. Methods of identifying products containing additives were analyzed, using as an identification feature the presence of an extreme value of products with an additive and its absence in products without an additive in a certain frequency range. In addition, a method of identifying sunflower oil that has been subjected to heat treatment or not is proposed. To do this, the results of comparing the values of the active or reactive components of the samples (controlled and reference) at the appropriate frequencies are used. These methods of identification ensure the efficiency of such a procedure and can be implemented both with the use of serial admittance components for laboratory use, as well as specialized means with autonomous power supply.

All chapters are concluded with conclusions, and the dissertation is concluded with a general conclusion, a list of references and an appendix.

Key words: admittance, active component of admittance, reactive component of admittance, impedance, frequency, identification, food products, mathematical model, electrical model, product falsification, standard sample.

СПИСОК ПРАЦЬ ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

В яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Походило Є. В., Куць В. Р., Стасишин Ю. А., «Виявлення фальсифікації горілки методом адмітансної спектроскопії», Вимірювальна техніка та метрологія, випуск 82, №4, ст. 5-7, 2021. *Особистий внесок: запропоновано спосіб виявлення фальсифікованої горілки за характером кривих реактивних компонент.*

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2021.04.005>

<https://science.lpnu.ua/uk/istcmtm/vsi-vypusky/vypusk-82-no4-2021/vyyavlennya-falsyfikaciyi-gorilky-metodom-admitansnoyi>

2. Походило Є. В., Стасишин Ю. А., «Засоби ідентифікації фальсифікованої горілки за реактивною компонентою адмітансу», Методи та прилади контролю якості, Випуск №1 (48), ст. 59-65, 2022. *Особистий внесок: запропоновано структурні схеми вимірювальних засобів для реалізації способу ідентифікації фальсифікованої горілки.*

[https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-1\(48\)-59-65](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-1(48)-59-65)

3. Ye. Pokhodylo, Yu. Stasyshyn, «Identification of food products with additive E621 according to admittance parameters», «Вимірювальна техніка та метрологія», Volume 83 (4), pp. 43-46, 2022. *Особистий внесок: запропоновано 4 способи виявлення харчової добавки E621 за вимірюванням активної та реактивної компонент адмітансу для картопляного пюре та соку.*

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2022.04.043>

<https://science.lpnu.ua/istcmtm/all-volumes-and-issues/volume-83-no4-2022/identification-food-products-additive-e621>

4. Походило Є. В., Стасишин Ю. А., «Ідентифікація харчової продукції за електричними параметрами», Методи та прилади контролю якості, Випуск №2 (49), ст. 36-45, 2022. *Особистий внесок: проаналізовано математичні моделі активних та реактивних компонент, за якими можна здійснювати комп'ютерне моделювання в широкому частотному діапазоні і для різних значень інформативних параметрів.*

[https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-2\(49\)-36-45](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-2(49)-36-45)

Які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Походило Є. В., Стасишин Ю. А., «Ідентифікація продукції за відносними показниками», IV-та Всеукраїнська науково-практична конференція «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку», ст. 73, 29-30 жовтня, 2020 р., Луцьк, Україна.

6. Походило Є., Стасишин Ю., Світлик І., «Контроль якості харчової продукції за електричними параметрами», V Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», ст. 172, 20-21 травня, 2021 р., Львів, Україна.

7. Походило Є., Стасишин Ю., Саф'яник В. Г., «Виявлення фальсифікації харчових продуктів за реактивною складовою адмітансу», V Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», ст. 173, 20-21 травня, 2021 р., Львів, Україна.

8. Походило Є., Стасишин Ю., Саф'яник В. Г., «Вимірювання електричних параметрів спиртових розчинів як параметрів ідентифікації», IX Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління», ст. 34-38, 2021 р., Луцьк, Україна.

9. Походило Є. В., Стасишин Ю. А., «Спосіб виявлення добавки 621 у харчових продуктах», I Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-вимірювальні технології ІВТ-2022», ст. 111-112, 9-10 листопада, 2022 р., Львів, Україна.

10. Стасишин Ю. А., «Виявлення фальсифікації харчової продукції за електричними параметрами», VI Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», ст. 262-253, 16-17 листопада, 2023 р., Львів, Україна.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	18
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ ТА МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ.....	25
1.1. Аналіз нормативно технічної документації.....	25
1.1.1. Закон про основні принципи та вимоги до безпечності якості харчових продуктів.....	26
1.1.2. Закон про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів.....	30
1.1.3. Санітарні вимоги до зберігання харчових продуктів.....	32
1.1.4. ISO 22000 «Система управління безпечністю харчових продуктів».....	34
1.2. Показники якості та безпечності харчових продуктів.....	35
1.3. Методи ідентифікації харчових продуктів.....	37
1.3.1. Органолептичні методи.....	39
1.3.2. Інструментальні методи.....	40
1.3.2.1 Фізико-хімічні методи.....	41
1.3.2.2 Хімічні методи.....	56
1.3.2.3 Біологічні методи.....	59
1.4 Постановка задачі дослідження.....	64
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	65
РОЗДІЛ 2 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЗА ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ.....	67
2.1 Загальні відомості щодо ідентифікації продукції за параметрами імітансу.....	67
2.2. Імітансний метод ідентифікації харчових продуктів	68

2.3. Концепція ідентифікації харчової продукції за параметрами адмітансу.....	71
2.4. Формування електричних стандартних зразків харчових продуктів....	75
2.5. Ідентифікація харчового продукту за провідністю і діелектричною проникністю.....	77
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	83
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ІМІТАНСНИМ МЕТОДОМ...84	
3.1. Загальні відомості.....	84
3.2 Аналіз результатів експериментальних досліджень низькоомних об'єктів.....	85
3.2.1. Аналіз результатів експериментальних досліджень води.....	85
3.2.2. Аналізування результатів експериментальних досліджень харчових продуктів.....	87
3.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень високоомних об'єктів.....	93
3.3.1. Результати експериментальних досліджень спиртових розчинів.....	93
3.3.2. Результати експериментальних досліджень горілчаних виробів.....	95
3.3.3. Результати експериментальних досліджень соняшникової олії.....	96
3.4. Ідентифікаційні ознаки амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) складових адмітансу окремих видів харчової продукції.....	98
3.4.1. Загальні відомості.....	98
3.4.2. Ідентифікаційні ознаки активної та реактивної складових.....	99
3.5. Електрична та математична моделі двоелектродного перетворювача з неізолюваними електродами.....	102

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	108
РОЗДІЛ 4 СПОСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКЦІЇ ЗА ПАРАМЕТРАМИ АДМІТАНСУ.....	109
4.1. Загальні відомості.....	109
4.2. Способи та засоби ідентифікації фальсифікованої горілки.....	110
4.2.1. Ідентифікація фальсифікованої горілки заміною водно-спиртовим розчином.....	110
4.2.2. Ідентифікація фальсифікованої горілки підміною марки.....	113
4.3. Способи ідентифікації добавок в харчових продуктах.....	116
4.4. Способи ідентифікації добавки в харчовому продукті.....	118
4.5. Виявлення олії, яка піддавалася термічному обробленню.....	124
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4.....	126
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	127
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	129
ДОДАТОК А АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....	140

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- G – активна складова адмітансу перетворювача «об’єкт-імітанс»
- B - реактивна складова адмітансу перетворювача «об’єкт-імітанс»
- $\text{Re}(Y_x)$ - активна складова адмітансу об’єкта контролю
- $\text{Im}(Y_x)$ - реактивна складова адмітансу об’єкта контролю
- $\text{Re}(Y_0)$ - активна складова адмітансу базового зразка
- $\text{Im}(Y_0)$ - реактивна складова адмітансу базового зразка
- C_p - ємність подвійного шару ємнісного сенсора
- C_x, R_x – ємність та опір схеми заміщення об’єкта контролю
- f - частота тестового сигналу
- ϵ_x - діелектрична проникність об’єкта контролю
- ϵ_0 - діелектрична проникність базового зразка
- σ – питома активна провідність
- S – площа електродів ємнісного сенсора
- d – міжелектродна відстань ємнісного сенсора
- Z_x – імпеданс об’єкта контролю
- Z_0 - імпеданс базового зразка
- Y_x - адмітанс об’єкта контролю
- Y_0 - адмітанс базового зразка
- АЧХ - амплітудно-частотна характеристика
- ЗВТ – засіб вимірювальної техніки

ВСТУП

Актуальність теми. Контроль якості в харчовій промисловості є актуальним завжди. Харчова продукція – одна з основ існування людей, а якість – основна її прерогатива. Сучасний світ наповнений різноманіттям харчових продуктів, кожен з яких має величезну кількість видів, марок, брендів. Разом з оригінальними товарами, паралельно створюється ряд дешевих їх копій, тобто підробки. Загалом, створення підробок чи продуктів нижчого сорту робиться шляхом використання неякісних складових та недотримання величезної кількості норм. З розвитком ринкових відносин кількість таких продуктів зростає. Саме тому існує таке поняття як «ідентифікація харчової продукції».

Ідентифікація відрізняє якісне від не якісного, низькосортне від вищого гатунку, оригінал від підробки. Ідентифікація може відбуватися як і всього продукту, так і його окремих компонентів. Гама методів є дуже широкою, але завжди є декілька основних, як біологічні, хімічні, фізико-хімічні, електричні. Хоча методів є багато, дослідники намагаються винаходити нові з меншою собівартістю, меншою руйнацією досліджуваних продуктів, практичнішим, швидшим і точнішим процесом визначення.

Одним з таких є імітансний метод контролю якості продукції за параметрами адмітансу. В основі роботи відтворення фізичних характеристик продуктів, перетворення їх на електричні складові адмітансу та порівняння з електричними характеристиками базового зразка.

Цей метод є актуальним для ідентифікації харчових продуктів через свою універсальність – можна перевіряти будь-який продукт, незалежно від його агрегатного стану, підібравши для цього електроди відповідної форми. Такий метод часто у харчовій промисловості, наприклад, проводились дослідження для: експресного контролю фальсифікації молока, яке полягало у виявленні аміаку в молоці; оперативної ідентифікації харчової добавки аспартаму у фруктових напоях з метою виявлення фальсифікації. На основі імпедансних технологій досліджували як змінюється електричний імпеданс по мірі зміни хімічного складу м'яса в результаті росту та метаболічної активності

мікроорганізмів. Імпедансним методом запропоновано: спосіб вимірювання твердості води за зміною частоти тестового сигналу як інформативного параметра; спосіб вимірювання для санітарно-мікробіологічного дослідження питної води; спосіб контролю якості натурального меду, оцінювання вологості арахісових горіхів за допомогою високочастотного імпедансного методу, якості фруктів тощо. Розвиток такого методу стосовно його ефективного застосування для ідентифікації харчової продукції є актуальним.

На основі вищевикладеного можна сформулювати актуальне науково-прикладне завдання, яке полягає у створенні методично-інструментального забезпечення ідентифікації харчової продукції, що забезпечить її оперативність.

Вирішення цього завдання дозволить розробляти методики та засоби ідентифікації заданих рівнів якості та виявлення фальсифікованої харчової продукції, які можуть бути також орієнтовані на масового споживача.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано здобувачем в Національному університеті «Львівська політехніка» на кафедрі Інформаційно-вимірювальних технологій. Тема роботи відповідає науковому напрямку кафедри «Оцінювання якості продукції, тестування продукції і програмного забезпечення». Робота виконана в межах науково-дослідної роботи «Науково-нормативні засади менеджменту якості продукції за результатами кваліметричних вимірювань» (№ держреєстрації 0119U101774).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є дослідження змін складових адмітансу харчової продукції від частоти для виявлення ідентифікаційних ознак їхньої фальсифікації.

Для досягнення мети даної роботи потрібно виконати наступні завдання:

- проаналізувати існуючі методи ідентифікації фальсифікованих продуктів, визначення їх переваг та недоліків;
- проаналізувати імітансний метод контролю якості щодо застосування його для ідентифікації харчової продукції;

- проаналізувати результати експериментальних досліджень зразків харчової продукції за параметрами її адмітансу в заданому частотному діапазоні;
- на основі аналізу виявлених характерних змін складових адмітансу узагальнити ідентифікаційні ознаки за результатами експериментальних досліджень окремих зразків харчової продукції;
- обґрунтувати характерні зміни реактивної складової адмітансу харчових продуктів на окремих частотах певного частотного діапазону;
- уточнити математичну модель перетворювача «об'єкт-адмітанс» з неізольованими двома електродами;
- запропонувати способи ідентифікації фальсифікованих харчових продуктів.

Об'єктом дослідження є складові адмітансу – активна та реактивна складові адмітансу.

Предметом дослідження є електричні методи ідентифікації фальсифікованої продукції.

Методи дослідження. У дисертації для виконання поставлених завдань використовувалися теоретичні основи електротехніки, кваліметрії, інформаційно-вимірювальних технологій, теорії електричних кіл та сигналів, теоретичні і експериментальні методи в області ємнісних вимірювачів фізичних величин. Теоретична частина роботи ґрунтується на аналітичних і числових методах дослідження з використанням положень математичного аналізу, теорії функцій комплексної змінної з використанням імітансного методу контролю якості щодо об'єктів кваліметрії неелектричної природи, методу імпедансної спектроскопії, диференційного методу оцінювання якості. Експериментальні дослідження проводилися за допомогою лабораторних пристроїв та сучасних вимірювальних приладів та стандартних методик.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Запропоновано ідентифікувати харчову продукцію адмітансним методом, за яким вимірюють активну та (або) реактивну складові адмітансу

контрольованого продукту та з порівнюють отримані результати з відповідними складовими електричного стандартного зразка, сформованого за результатами таких же вимірювань відповідних складових на окремих частотах тестового сигналу.

2. Виявлено за результатами аналізування експериментальних досліджень окремих зразків харчової продукції, що зміну реактивної складової адмітансу від частоти можна описати кривою з двома екстремальними значеннями (максимальне та мінімальне) в частотному діапазоні, а також доведено, що мінімальні значення реактивної складової адмітансу стосуються низькоомних об'єктів, а максимальні – високоомних.

3. Виявлено, що ємність подвійного шару, зумовлена використанням двохелектродного сенсора з неізольованими електродами для ідентифікації харчової продукції, призводить до характерних змін реактивної складової її адмітансу в певному частотному діапазоні, що можна використати як інформаційну ознаку ідентифікації.

4. Удосконалено математичні моделі активної та реактивної складових адмітансу двохелектродного первинного перетворювача «об'єкт-адмітанс» з урахуванням впливу ємності подвійного шару його електродів різної площі та доведена адекватність моделі з результатами експериментальних досліджень.

5. Запропоновано способи виявлення фальсифікованого продукту за різницею значення реактивної складової адмітансу контрольованого продукту із значенням реактивної складової стандартного зразка на вибраних для цього частотах.

Практичне значення одержаних результатів:

- запропонований метод ідентифікації за параметрами адмітансу забезпечує оперативність виявлення фальсифікації харчової продукції з використанням її електричного стандартного зразка;
- виявлена відповідність екстремальних значень низькоомних та високоомних об'єктів дасть змогу вибрати відповідний частотний діапазон досліджень харчового продукту;

- характерні зміни реактивної складової адмітансу об'єкта ідентифікації зумовлені ємністю подвійного шару двохелектродного сенсора можна використовувати як ідентифікаційні ознаки, а не як такі, що переважно усувалися використанням чотириелектродного сенсора;
- уточнена математична модель схеми заміщення перетворювача дає змогу здійснювати математичне моделювання не лише сенсорів плоско паралельної конструкції, але й коаксіальної;
- запропоновані способи виявлення фальсифікації можуть бути реалізовані простими технічними засобами, орієнтованими на масового споживача.

Документи, що підтверджують впровадження, наведено у Додатку.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем сформовано основні проблеми ідентифікації харчової продукції, проаналізовано переваги електричних методів та засобів. Основний обсяг теоретичних робіт за темою дисертації та аналіз результатів експериментальних досліджень виконано здобувачем самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належить:

- аналізування імітансного методу контролю якості щодо застосування його для ідентифікації харчової продукції;
- вимірювання електрофізичних параметрів спиртових розчинів як параметрів ідентифікації;
- виявлення ідентифікаційних ознак за результатами експериментальних досліджень окремих зразків харчової продукції;
- вдосконалення математичної моделі двоелектродного перетворювача «об'єкт-адмітанс»;
- запропоновано способи ідентифікації харчової продукції з добавкою та без добавки.

Постановка мети та завдань, обговорення результатів проведені разом з науковим керівником.

Апробація результатів досліджень. Викладені в дисертаційній роботі результати теоретичних та експериментальних досліджень доповідалися та обговорювалися на науково-практичних конференціях різного рівня: IV-та

Всеукраїнська науково-практична конференція «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку», 2020 р., Луцьк; V Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 2021 р., Львів; IX Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління» «Актуальні проблеми автоматизації та управління», 2021 р., Луцьк; I Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-вимірювальні технології ІВТ-2022», 2022 р., Львів; VI Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 2023 р., Львів.

Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень доповідались та обговорювались на наукових семінарах кафедри інформаційно-вимірювальних технологій.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано у 10 наукових працях, з яких: 4 статті у наукових фахових виданнях України та 6 наукових публікацій у збірниках матеріалів та тез конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, у яких викладені результати досліджень дисертанта, а також загальних висновків, списку використаної літератури та 1 додатку, 33 рисунків. Робота викладена на 104 сторінках (повний обсяг разом з літературою – 139 сторінок), бібліографічний список містить 78 найменувань публікацій у вітчизняних та закордонних виданнях.

РОЗДІЛ 1

НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ ТА МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

1.1 Аналіз нормативно технічної документації

Нормативні документи регламентують усі процеси виготовлення, зберігання, розповсюдження харчових продуктів задля збереження їх якості та безпечності для споживача.

Продукти харчової промисловості вважаються якісними та безпечними, якщо не включають шкідливих речовин чи їх загальний склад не перевищує законодавчі нормативи для заданого виду продукції [1].

Україна, як і інші країни, приділяє велику увагу безпеці харчової продукції. У нас прийнято ряд державних документів щодо забезпечення безпеки та якості харчових продуктів, зокрема закони про окремі види продукції; основні принципи і вимоги до органічного виробництва, обігу, маркування; державний контроль за дотриманням законодавства; порядок та процедуру ввезення іноземних продуктів або вилучення з обігу, переробку та утилізацію небезпечних і неякісних продуктів, санітарні вимоги, міжнародні документи стандартизації.

Детальніше розглянемо наступні нормативні акти:

- Закон «Про основні принципи та вимоги до безпечності якості харчових продуктів»;
- Закон «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів»;
- «Санітарні вимоги до прийому та зберігання харчових продуктів»;
- ISO 22000 «Система управління безпечністю харчових продуктів»

1.2.1. Закон про основні принципи та вимоги до безпечності якості харчових продуктів

Закон [2] має загальний характер і визначає повноваження центральних органів влади у сфері безпечності, окремих показників якості продукції, державної реєстрації виробництв, виготовлення та обігу продуктів харчування, встановлює гігієнічні вимоги до їхнього оброблення та правила міжнародної торгівлі.

Закон надає визначення деяким основним поняттям:

- безпечний харчовий продукт - продукт, який не приносить шкоди здоров'ю людини та є безпечним для споживання;
- верифікація – процес перевірки дотримання державних вимог обстеженням та наданням об'єктивних доказів;
- забруднення - наявність чи поява небезпечного фактора в харчовому продукті;
- забруднююча речовина – яка-небудь біологічна речовина (організми, мікроорганізми, хімічні речовини, сторонні домішки або інші речовини), що випадково потрапила у продукт і становить загрозу його безпечності;
- максимально допустимий рівень - максимально допустимий вміст (концентрація) речовини забруднення у продукті, що є дозволеним для такого продукту;
- параметри безпечності – параметри, які затверджуються державним органом зі сфери охорони здоров'я науково, включаючи максимальні межі залишків, допустимі добові дози, рівні включень, максимальні рівні, недотримання яких у харчових продуктах може призвести до шкідливого впливу на здоров'я людини;
- небезпечний харчовий продукт - харчовий продукт, який є шкідливим для здоров'я та/або непридатним для споживання;

- небезпечний фактор у харчовому продукті – який-небудь хімічний, фізичний, біологічний чинник харчового продукту чи його стан, що може спричинити шкідливий вплив для здоров'я людини.

Відповідно до цього закону, держава регулює безпечність і частину показників якості продукції запровадженням санітарних процесів, розробкою вимог до цих показників якості, реєстрацією суб'єктів у держорганах, що підпадають під санітарні заходи, а також через видачу, анулювання та контроль за експлуатаційними дозволами. Крім того, закон визначає вимоги до здоров'я працівників, участь у діяльності світових організацій, проведення контролю державними установами та притягнення до відповідальності операторів ринку у разі порушення законодавства.

Закон визначає повноваження Кабінету Міністрів України та центральних органів влади у сфері харчової безпеки. Зокрема, КМУ здійснює керівництво, координацію та контроль за діяльністю виконавчих органів у цій сфері, а також забезпечує реалізацію державної політики щодо безпечності та частини якісних показників продуктів харчування.

Центральний орган виконавчої влади забезпечує необхідний рівень захищеності здоров'я населення, проводить реєстрацію нових харчових продуктів, добавок, ароматизаторів та тверджень про їхню користь здоров'ю людини. Він також веде відповідні державні реєстри й забезпечує безоплатну доступність до них через офіційний веб-сайт. Крім того, орган вносить нові харчові добавки до державних реєстрів, гарантуючи контроль за їх безпечністю та відповідністю встановленим вимогам.

Розділ IV закону описує санітарні заходи і окремі показники якості продукції.

Санітарні заходи розробляються і затверджуються Верховною Радою, Кабінетом Міністрів і центральним органом виконавчої влади, що відповідає за

ведення політики сфери охорони здоров'я. Вони мають базуватися на наукових принципах, ґрунтуватися на міжнародних стандартах, а за їхньої відсутності – формуватися на основі оцінки ризиків. При цьому санітарні заходи не повинні створювати надмірних обмежень для торгівлі, які перевищують рівень обґрунтованого ризику.

Вимоги щодо окремих показників якості формуються з урахуванням міжнародних стандартів. Водночас заходи, що застосовуються в інших країнах, визнаються еквівалентними українським, якщо відповідна держава об'єктивно доведе, що вони забезпечують такий самий або вищий рівень захисту інтересів людини, ніж встановлений в Україні.

Крім того, закон зобов'язує операторів ринку проходити відповідну реєстрацію та впроваджувати процедури, засновані на постійному аналізі небезпечних факторів. Вони повинні визначати критичні точки, щоб запобігти появі небезпечних факторів, регулярно переглядати та вдосконалювати процеси, що можуть спричинити виготовлення небезпечної продукції. Також оператори ринку мають заздалегідь розробляти коригувальні заходи, вести журнали контролю та перевірок, дотримуватися гігієнічних вимог і забезпечувати простежуваність безпечності продукту на всіх етапах – від початкових складових до кінцевого продукту.

Серед інших зобов'язань операторів ринку - транспортування та зберігання продукції у відповідних умовах, подання необхідних документів до державних органів, регулярна сертифікація, реєстрація нових продуктів та добавок, надання наукових висновків щодо безпечності добавок та виробленої продукції, а також утилізація непридатних до споживання продуктів харчування як високого, так і низького ступенів ризику. Недотримання певних умов може призвести до скасування реєстрації, штрафів або закриття підприємства.

Відповідно до Розділу VI «Виробництво та обіг харчових продуктів», харчові продукти, що розповсюджуються в Україні, повинні відповідати вимогам законодавства щодо їх безпечності. Якщо, незважаючи на відповідність

законодавству про безпечність, харчовий продукт виявляється небезпечним, виробництво та розповсюдження такого харчового продукту має бути призупинено та заборонено. Сертифікація деяких продуктів є добровільною, але не поширюється на міжнародну сертифікацію у разі експорту.

У дитячому харчуванні заборонено використання таких добавок, як ванілін, етиловий ванілін, маргарин, пальмовий стеарин, бавовняна та кунжутна олія. У продуктах харчування з м'яса та риби заборонено використання механічно обваленого м'яса, свинячої шкіри, гідратованого соєвого білка, ставкової риби та донної риби.

Виробничим об'єктам заборонено розміщувати на ринку продукти харчування, які не відповідають гігієнічним вимогам, продукти харчування, які не мають ліцензії на діяльність, продукти харчування, які не зареєстровані, продукти харчування, виготовлені з генетично модифікованих організмів, м'ясо домашнього виробництва або неправильно марковані продукти.

Задля дотримання гігієнічних вимог оператор ринку має підтримувати інвентар у справному вигляді, забезпечувати необхідний рівень чистоти, боротися зі шкідниками, мати потрібної потужності вентиляцію, забезпечувати необхідною кількістю світла та питної/непитної води, використовувати обладнання з безпечних матеріалів, допускати персонал з медичним оглядом та навчати його основним вимогам і т. д.

При роботі з харчовими продуктами виробник зобов'язаний проводити дослідження наявності шкідливих речовин у продукції, транспортувати за вказаних температурних умов, розморожувати з мінімізацією розмноження патогенних речовин, маркувати, захищати їх від забруднення, здійснювати безпечне пакування.

При транспортуванні продукції закордон постачальник має мати всі документи, які вимагає сторона-отримувач, у тому числі сертифікати якості міжнародного чи державного зразка за вимогою.

1.2.2. Закон про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів

Закон [3] описує інформацію, яка має надаватися виробниками користувачам товарів задля розуміння їх безпечності та якості. Він призначений для всіх виробників, для харчових продуктів, які доходять до кінцевого споживача і компонентів з яких вони складаються.

У операторів ринку є такі обов'язки до інформації:

- забезпечення наявності і точності інформації про продукт;
- заборона змінювати інформацію, якщо це введе в оману споживача;
- передача інформації про нефасовані продукти суб'єкту, який буде в подальшому продавати продукт.

Обов'язкова інформація має бути відображена в легкодоступному місці на упаковці чи етикетці, не приховуватися графікою. Такою інформацією є:

- перелік інгредієнтів, їх відсотковий склад;
- назва продукту;
- кількість (маса);
- мінімальний термін придатності;
- назва та місцезнаходження виробника/імпортера;
- інструкція з використання;
- поживна цінність;
- номер партії;
- для алкогольних напоїв – вміст спирту;
- інгредієнти, які можуть призвести алергію.

На дитячих сумішах має вказуватися вік дитини, алергени, харчові потреби, спосіб приготування, не можна вживати слова «адаптований» і

«гуманізований», виділяти важливу інформацію словосполученням «Важлива інформація» або «Важливо».

Якщо оператор ринку отримує та торгує продукцією у нефасованому вигляді, то на вимогу споживача має надати всі необхідні документи, які підтверджують її якість та безпечність.

Окреме позначення є для генетично модифікованих організмів – ГМО. При перевищенні частки 0,9 % від складу продукту повинне бути маркування «з ГМО». У протилежному випадку – «без ГМО».

У випадку з глютенем – позначка його відсутності ставиться якщо кількість не вища 20 мг на 1 кг маси продукту. Якщо не більше 100 міліграмів на 1 кг, товар ідентифікується як дуже низьковмісним.

Закон прописує правила нанесення дати виробництва та придатності. У залежності від терміну придатності на етикетці має бути вказаний день, місяць чи рік, або комбінації цих чисел:

- якщо продукт зберігається менше 3-ох місяців, у датах буде досить вказати день і місяць;
- якщо продукт зберігається більше 3-ох місяців і менше вісімнадцяти місяців, вказується місяць і рік;
- якщо продукт харчування зберігається більше вісімнадцяти місяців, достатньо написати рік.

Поживна цінність повинна бути завжди. Вона має відображати енергетичну цінність, вміст жирів, білків, вуглеводів, цукрів та солі, поліоли, харчові волокна, вітаміни і мінеральні речовини.

Контроль додержання права щодо подання споживачеві необхідної інформації щодо харчових продуктів проводиться Центральним органом виконавчої влади сфери охорони здоров'я відповідно до Закону України «Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти,

корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин». Він же передбачає адміністративну, цивільно-правову, дисциплінарну або кримінальну відповідальність за порушення норм.

У кінці закону прикріплений додаток з речовинами, які призводять до алергічних реакцій чи непереносимості. Список деяких з них:

- злаки з глютенем – пшениця, жито, ячмінь, овес;
- ракоподібні і продукти з них;
- яйця і продукти з них;
- риба, рибні продукти, окрім риб'ячого желатину;
- арахіс;
- соєві боби, окрім повністю рафінованої соєвої олії та жиру;
- горіхи – мигдаль, лісовий горіх, волоський, бразильський, фісташка;
- гірчиця;
- кунжут і продукти з ним;
- молюски та ін.

Окрім цього, є ще 10 додатків у яких надається інформація про вигляд подачі поживної цінності, коефіцієнти для підрахунку енергетичної цінності референсні величини споживання вітамінів і поживних речовин, позначення для цілих категорій інгредієнтів, відхилення оборотів у алкогольних напоях тощо.

1.2.3. Санітарні вимоги до зберігання харчових продуктів

Санітарні вимоги [4] – обов'язкові до виконання нормативні документи, які визначають критерії безпеки та/або нешкідливості для людини факторів середовища і вимоги до забезпечення оптимальних чи допустимих умов життєдіяльності людини. Вони прописують більш детально правила зберігання, пакування, переміщування та прийому товарів, які призначені для дотримання якості та безпечності харчових продуктів. Нижче детально розглянуто санітарні вимоги щодо зберігання на складі основних видів харчування.

У закладах харчування чи торгових магазинах заборонено приймати [5]:

- м'ясо без ветеринарного підтвердження і печатки;
- сільськогосподарські птахи і курячі яйця без свідоцтва ветеринара
- консерви з герметичним порушенням;
- продукти, в яких виявлені шкідники, гнилі овочі і фрукти;
- гриби з черв'яками;
- консервовані гриби без документів, що підтверджують якість;
- швидкопсууючі продукти, термін зберігання яких підходить до кінця;
- рослинні продукти без сертифікату якості

Особливе значення для якості продуктів має їх правильне зберігання. Харчові продукти при зберіганні мають бути забезпечені від різних забруднень. Отримані на склад продукти перекладають у тару і маркують або зберігають у рідній тарі.

Готові продукти мають зберігатися окремо від сировини. Якщо вони лежать у холодильній камері, то камери також мають бути різні. Лише у невеликих закладах харчування можна зберігати продукти роздільно в одній камері.

Обов'язково треба дотримуватися термінів та умов утримування продуктів. Забороняється зберігати їх поза межами складських приміщень чи на підлозі. Приміщення для сухих продуктів має бути осушеним і мати добру вентиляцію, стабільну температуру в межах +12°C і 60-65% вологості. Кількість предметів для складування має бути достатньою, щоб продукти лежали не навалом - висота від підлоги ≥ 15 см, відстань від стіни - 20-30 см.

Стелажі м'ясних камер мають бути гігієнічно покриті або з нержавіючої сталі. Охолоджені тваринні туші зберігаються на гаках з відстанню одна від одної, не можуть торкатися підлоги або стін. Заморожене м'ясо - на стелажах.

Туша птиць зберігається у тарах виробника на стелажах штабелями; для кращого провітрювання між ящиками бажано класти рейки з дерева.

Усі молоковмісних продукти (сметана, сири, масла) зберігають в закритій кришкою тарі. Будь-яке кухонне обладнання заборонено залишати в ємностях. Маркування зберігається до повного використання продукції. Масло зберігають

у заводській тарі чи брусками в пергаменті, масло топлене у флягах. Будь-які молоковмісні продукти не можуть зберігатися разом з сильнопахнучими продуктами.

Яйця зберігаються в спеціальних упаковках окремо або поміщені в ящики в сухих приміщеннях окремо від решти продуктів, яєчний порошок - у сухих приміщеннях з температурою більше 20 С.

Хліб має складуватися в лотках на стелажі, полиці чи шафі з хорошою вентиляцією. Ще краще, якщо він лежатиме в окремому приміщенні. Різні сорти хліба зберігаються відокремлено. Прибирати полиці шаф треба не рідше, ніж один раз в тиждень з використанням спеціальних засобів дезінфекції.

Неочищена картопля та овочі зберігаються в магазинах у вільних від вологи приміщеннях не більше 2-5 днів. Якщо на торговій точці встановлюється факт масового псування продукту, він перевіряється комісією і тоді з дозволу комітету ветеринарного нагляду може бути зданий як їжа для тварин. В іншому разі продукт треба знищити.

Гігієнічно важливим є дотримання умов і дат споживання товарів, які швидко псуються. Їх зберігання прописане у діючих санітарних правилах «Умови, терміни зберігання особливо швидкопсувних продуктів», а саме в охолоджуваних камерах, холодоагентом де є фреон, з вентиляцією припливно-витяжного типу. Камери будують як замкнуте приміщення з необхідною кількістю гаків, стелажів, полиць із встановленням термометрів та психрометрів. Чистота камери підтримується миттям лужними розчинами з милом, а дезінфекція розчином хлорного вапна 2%.

1.2.4. ISO 22000 «Система управління безпечністю харчових продуктів»

Основним міжнародним стандартом в сфері безпеки та якості харчових продуктів є ISO 22000 [6]. Його розробила Міжнародна організація зі стандартизації. Документ поширюється на агробізнес України теж.

Цей стандарт призначений для перевірки всіх етапів виробництва, постачання і реалізації задля виявлення некоректних процесів чи дій, які виходять за межі норм стандарту і можуть призвести до появи неякісної або навіть небезпечної продукції. Цей стандарт є одним з основних для продукції, яка виробляється на експорт.

У стандарті вживається словосполучення «food chain» - це сукупність послідовних стадій, що включають виготовлення, обробку, продаж, зберігання й переробку засобів для харчування і харчових продуктів, тобто весь процес від початку виробництва до кінцевого споживача. Важливо розглядати цей виробничий ланцюг як єдиний процес, під час якого необхідно враховувати всі можливі аспекти, що можуть призвести до виробництва низькоякісних чи небезпечних для здоров'я продуктів. Під час виробництва, обробки та реалізації продуктів харчування важливо дотримуватися високих стандартів якості та безпеки, щоб запобігти можливим загрозам для здоров'я споживачів.

1.3. Показники якості та безпечності харчових продуктів

Показники якості та безпечності – це ті показники, які підтверджують, що склад продукту харчування є якісним і не становить для споживача небезпеки.

За безпечністю та придатністю до вживання продукти умовно ділять групами [7]:

- дозволені до харчування – продукти, що мають позитивні органолептичні властивості, не шкідливі здоров'ю та відповідають вимогам ДСН;
- дозволені, але зі зниженою якістю – продукти харчування, що мають якийсь-небудь недолік чи ті, які не мають відповідності нормативним документам за частиною показників, проте вони не роблять його небезпечним здоров'ю людини; наприклад, менший, порівняно зі стандартним, вміст жиру у молоковмісних продуктах, завищений рівень вологості у сирах, т. д., такі продукти доступні для обігу при умові попередження споживача про занижену харчову цінність;

- умовно придатний продукт з недоліками, що не дозволяють використовувати його в обігу, тобто погіршені органолептичні ознаки, забруднення шкідливими мікроорганізмами, пестицидами, тощо; ці продукти повинні перероблятися чи знищуватися в залежності від рішення відповідних осіб чи органів;
- фальсифікований продукт – природні властивості змінені з метою обманути споживача; продукти цієї групи не входять у обіг та переробляються для технічних потреб після узгодження з відповідними особами/органами;
- продукти-сурогати - призначені замінювати природні; такі продукти за органолептичними показниками не відрізняються від натуральних, але їх харчова цінність занижена - білкова ікра, кава зі злакових тощо; вони надходять у обіг після рішення про їх нешкідливість здоров'ю людини.

Частіше показники якості класифікують на такі дві групи: якісні та кількісні.

До якісних відносять зовнішній вигляд, смак, колір, запах, консистенція, харчова цінність, засвоюваність та екологічність. Смак, колір, зовнішній вигляд, запах можна визначити неозброєним оком. Для підтвердження харчової цінності, засвоюваності та екологічності на виробництвах проводяться експерименти з допомогою методів ідентифікації, які розглянуті детальніше у підрозділі 1.3.

До кількісних показників якості відносяться [8]:

- рівень якості - відносна характеристика якості продукції, що ґрунтується на порівнянні значень оцінюваних показників якості продукції з базовими значеннями;
- індекс якості - комплексний показник якості різномірної продукції, котрий дорівнює середньому зваженому відносних значень показників якості продукції за переглянутий період.

- коефіцієнт сортності - відношення сумарної вартості продукції, виготовленої за певний час, до сумарної вартості тієї ж продукції в перерахунку на найвищий гатунок.
- коефіцієнт дефектності продукції - середня зважена кількість дефектів, котра припадає на одиницю продукції.
- індекс дефектності - комплексний показник якості продукції, виготовленої за переглянутий інтервал, рівний середньому зваженому коефіцієнту дефектності тієї ж продукції.
- допустиме відхилення показника якості - відхилення фактичного значення показника якості від номінального, котре знаходиться в межах, встановлених нормативною документацією.

1.3. Методи ідентифікації харчових продуктів

Ідентифікація [9] – процедура визначення відповідності товару наданій інформації про нього у маркуваннях, товарно-супровідних, державних чи інших документах, задля визначення відсутності фальсифікації.

Основна мета – захист споживачів від придбання товарів з потенційно неякісними характеристиками, захист від недобросовісних виробників або постачальників, забезпечення безпеки продуктів для середовища та споживачів..

Ідентифікація розпочинається з визначення мети та формулювання критеріїв ідентифікації конкретних товарів.

Критерії ідентифікації – характеристики продуктів, за якими визначається відповідність еталонному взірцю, та інформації на маркуваннях, товарно-супровідних чи державних документах. Найточніший результат реалізується кількома об'єктивними і незалежними від суб'єктивних даних товарознавця критеріями ідентифікації, а щоб у разі підробки фальсифікація не була підтверджена необхідністю.

Наступний етап - вибір засобів ідентифікації товарів, якими є нормативна документація, маркування, товарно-супровідні документи або інші засоби інформації. Після цього визначають показники ідентифікації та сам метод.

Методи ідентифікації товарів [10] – методи експертизи, котрі застосовуються для ідентифікації відповідності товару встановленим критеріям за визначеними показниками.

Розроблення оперативних, достатньо точних й низько вартісних методів оцінки продукції – одне з завдань та проблем харчової сфери. Найбільш відповідальною дією при визначенні якості харчових продуктів, є вибір аналізуючого методу - залежить від поставлених задач при дослідженні якості і безпеки харчової продукції.

Є дослідницькі завдання, такі як аналіз вмісту амінокислот продуктів або ступеня залишковості вітамінів при зберіганні та переробці продовольчої сировини. І є набагато масштабніші практичні роботи: визначення цукрів у плодах чи оцінка жирності м'ясних або молочних продуктів. Поміж ними знаходяться вибіркові контрольні дослідження на наявність шкідливих добавок/мікроорганізмів при закупівлі значних продуктових партій під час митного контролю.

У першому випадку при підборі аналітичних методів можуть бути використані нові та амбітні методи дослідження продуктів. У другому випадку існуючі стандартизовані методи контролю якості харчових продуктів порівнюють з методами для конкретних видів харчових продуктів, визначаючи, наскільки обмежені концентрація, консистенція, дисперсність, фізико-хімічні властивості (щільність, в'язкість, вологість тощо) поживних речовин і добавок у продукті, а також наявність домішок, які можуть ускладнити процес аналізу. Далі обирають найбільш підходящий метод аналізу харчового продукту з числа існуючих аналітичних методів. Якщо таких методів аналізу декілька, слід провести їх порівняльний аналіз, використовуючи зразки з відомим композиційним складом.

Однак у всіх випадках метод, обраний для аналізу харчових інгредієнтів, напівфабрикатів і продуктів харчування, повинен гарантувати точність і відтворюваність результатів, швидкість і безперервність аналізу. Іншими

словами, повинні бути дотримані всі вимоги національних органів стандартизації щодо контролю якості та безпеки харчових продуктів.

Виділяють два основні методи ідентифікації якості та безпечності харчової продукції: органолептичний (сенсорний) (рис.1.1) та інструментальний (лабораторний).

1.3.1 Органолептичні методи



Рисунок 1.1- Органолептичні показники якості продуктів

Органолептичний (сенсорний) метод [11] – це визначення якості продукції за допомогою органів чуття людини: зору, слуху, нюху, дотику та смаку. Відповідно 4 методи:

- візуальний (зовнішній вигляд, колір);
- смаковий (смак);
- нюховий (запах);
- дотиковий (консистенція, ступінь подрібнення).

Перевагами методів органолептичного тестування [12] - простота, швидкість здійснення. Широко використовується для оцінки якості

споживчих товарів, у які входять харчові продукти. Для деяких продуктів це єдиний доступний метод, наприклад, у парфумерії та косметології.

Точність і достовірність результатів залежать від компетентності, кваліфікованості та здібностей особи, яка виконує перевірку, наявності спеціальних технічних засобів, що підвищують можливості людського організму.

Якісні показники, визначені сенсорними методами, не завжди виражаються в конкретних одиницях, що ускладнює порівняння одного продукту з іншим на аналогічній основі.

1.3.2. Інструментальні методи

Інструментальні (вимірювальні) методи [13] аналізу є дуже важливими при оцінці показників якості харчових продуктів, поряд з органічними методами аналізу. Інструментальні методи аналізу не тільки дозволяють досліджувати споживчі характеристики харчових продуктів, але й надають інформацію про зміни компонентів, які не можуть бути виявлені сенсорними методами аналізу. Інструментальні методи дозволяють здійснювати більш ретельний контроль харчових продуктів та їх інгредієнтів, ніж сенсорні методи. Вони забезпечують більш точні вимірювання складу, харчової цінності та фізико-хімічних показників якості та безпечності продукції. Вони також використовуються в професійних інспекціях і сертифікаційних випробуваннях і можуть точно визначати кількість макро- і мікроелементів, включаючи токсичні елементи.

Лабораторні методи дозволяють безпосередньо прогнозувати зміни якості під час переробки та зберігання харчових продуктів і визначати термін придатності. Забезпечити системи контролю якості продукції пристроями для дистанційного вимірювання температури, вологості, освітленості, складу повітря та інших експлуатаційних параметрів.

До обладнання, що використовується в наукових дослідженнях, висуваються жорсткі вимоги. Частина досліджуваної продукції містить хімічно активні речовини, і матеріали обладнання, що контактують з ними, повинні мати високу корозійну та ерозійну стійкість. Також варто уникнути взаємодію цих речовин з досліджуваним продуктом, що призводить до погіршення смаку і кольору, втрати поживної цінності і появи невластивих запахів.

Суть більшості інструментальних методів аналізу полягає у використанні характеристик харчових продуктів або їх внутрішніх процесів для перетворення їх в аналітичний сигнал і його реєстрації. Сучасні вимірювальні методи аналізу важко ізолювати під час тестування зразків харчових продуктів. У багатьох випадках хімічні та фізико-хімічні або біологічні методи поєднуються для підвищення точності результатів. Тому єдиного бачення щодо класифікації інструментальних методів нема, але виділяють 3 основних групи – *фізико-хімічні* (у т. ч. *фізичні*), *хімічні*, *біологічні*. Ці методи у свою чергу теж поділяються на декілька різновидів кожен.

1.3.2.1. Фізико-хімічні методи

Фізико-хімічні методи дослідження застосовуються в контролі процесів виробництва харчових продуктів, науково-дослідних роботах, визначенні якості готових харчових продуктів, сертифікаційних випробуваннях і різних спеціальних тестах. У їх основі лежить вивчення фізичних явищ, створюваних при хімічних реакціях. При аналізі вимірюють специфічні властивості продукту або його розчину, так званий аналітичний сигнал, величина якого залежить від природи і концентрації компонентів у продукті.

Фізико-хімічні методи використовуються для визначення поживного кількісного складу речовин (вуглеводів, жирів, білків і вітамінів) у продуктах

харчування, а також для визначення наявності мінеральних речовин, небажаних і токсичних домішок.

Найпоширенішими фізико-хімічними методами дослідження є [14] :

- люмінесцентний;
- спектрофотометричний;
- фотоколориметричний;
- рефрактометричний;
- потенціометричний;
- кондуктометричний;
- хроматографічний.

Люмінесцентний метод

Люмінесцентні методи [15] засновані на спостереженні явищ люмінесценції, які виникають при переході атомів, іонів, молекул та інших більш складних частинок харчового продукту в нормальний стан зі збудженого.

Щоб речовина почала випромінювати світло, до неї має надійти певна кількість енергії ззовні. Поглинувши цю енергію, частинки переходять у збуджений стан, залишаючись на деякий час у ньому. Повернувшись до стану спокою, випромінюють частину цієї енергії люмінесцентними квантами – цей процес називають «холодним світлом», бо тут відсутня теплова енергія.

Люмінесцентні методи контролю якості та безпечності харчових продуктів мають багато переваг. Чутливість цього методу надзвичайно висока. Він може виявити 10^{-10} грам флуорофорів у 1 грамі досліджуваної речовини в розчині. Це значення є вищим, ніж рівень чутливості в будь-якому з інших абсорбційних методів. Люмінесцентний аналіз виявляє дуже малі кількості домішок (до 1.. .2 відсотків), а чисті речовини можна розрізнити. Цей метод дозволяє виявити псування харчових продуктів на ранній стадії, коли воно ще не виявляється органічними методами.

Люмінесцентний аналіз має дуже широкий спектр застосування. Наприклад, він використовується для визначення пестицидів, які виявляють первинну флуоресценцію в харчових інгредієнтах, фруктах і овочах, таких як варфарин, потсон, індолілоцтова кислота і нафтилацетат. Його використовують, навіть якщо досліджувана сполука не флуоресціює. Для цього можна знайти реагент, який при взаємодії з цією сполукою утворює люмінесцентний продукт. Цей метод заснований на взаємодії дегідроаскорбінової кислоти з зофенілендіаміном з подальшим виникненням флуоресцентної сполуки, у якій рівень інтенсивності флуоресценції пропорційний концентрації вітаміну С розчину; ряд нефлуоресцентних пестицидів, включаючи ДДТ, метоксихлор, альдрин, хлордан і гептахлор, хімічно легко хімічно легко перетворюються на флуоресцентні сполуки. Тому люмінесцентні методи можна використовувати для вимірювання практично будь-якого елемента. Люміноскоп є одним з інструментів, що використовуються в дослідженнях. На рис. 1.2 зображено один з таких.



Рисунок 1.2 - Люминоскоп «Експерт»

Широко використовується для визначення якості та безпечності харчових продуктів у санітарно-епідеміологічному нагляді, в гігієнічних,

харчових і технологічних лабораторіях підприємств харчової промисловості та в закладах громадського харчування - широкомасштабні дослідження м'яса, рибних продуктів, сиру, картоплі, фруктів, грибів, круп, рослинної олії тощо.

Спектрофотометричний метод

Спектрофотометрія [16] - це метод вимірювання кількісних властивостей монохроматичного випромінювання. Спектрофотометрія дозволяє отримати спектри випромінювання, відбиття, пропускання, поглинання і розсіювання. Спектрофотометрія виражається у вигляді графічної залежності розподілу відповідних величин по довжині хвилі або частоті. Спектрофотометричні методи широко використовуються для вивчення структури і складу різних сполук.

Метод заснований на розкладанні випромінювання в спектр за допомогою призми або дифракційної решітки. Вузький монохроматичний пучок відокремлюється від спектра за допомогою щілинної діафрагми і направляється у приймач. Тоді будують графік залежності для охарактеризування спектру випромінювання, орієнтуючись на зворотній зв'язок та потужність випромінювання..

Для визначення спектрів поглинання або пропускання вимірюваний зразок розміщується перед приймачем. Спектр відбиття отримується порівнянням з еталонним властивостей монохроматичного випромінювання, яке відбивається від поверхні зразка.

Основні прилади спектрофотометрії — спектрофотометри.

Спектрофотометр [17] - це прилад, призначений для вимірювання співвідношення двох потоків світлового випромінювання, основним завданням якого є обчислення колірних координат об'єкта, що вимірюється, і побудова спектральної кривої. Прилад може вимірювати світлове випромінювання на різних довжинах хвиль, а результатом вимірювання є спектр відношень

світлових потоків. Його використовують при вимірюванні спектрів пропускання або відбивання.

Головна відмінність між спектрофотометром та оптичним колориметром полягає в тому, що через зразок, який вимірюється, пропускається світловий потік необхідної довжини хвилі, що дозволяє проводити фотометрію при скануванні (спостереженні) видимого світлового спектра – (380-750) нм і ближчого ультрафіолетового спектра – (200-380) нм, тобто весь діапазон довжин хвиль.



Рисунок 1.3 - Спектрофотометр ПЕ-5400УФ

Фотоколориметричний метод

Оптичний фотоколориметричний метод [18] – один з фізико-хімічних методів аналізу. Він широко використовується для визначення концентрації забарвлених розчинів, фармацевтичних препаратів, харчових інгредієнтів і продуктів харчування.

Ґрунтується на визначенні концентрації розчину на основі порівняння поглинання або пропускання світла стандартним і досліджуваним розчинами. Ступінь поглинання світла, або оптичну густину, досліджуваного розчину вимірюють за допомогою фотометра порівняно зі стандартним розчином. Стандартний розчин - це зазвичай аліквота досліджуваного розчину, у кий входять всі додані компоненти, крім аналізованої речовини і реагенту, який

призводить до утворення забарвленої сполуки. У випадку, коли всі компоненти стандартного розчину без кольору (не поглинають світло у видимому спектрі), як стандартний розчин використовують дистильовану воду.

Дослідження відбуваються з використанням фотоколориметрів.

Фотоколориметр [19] - це оптичний прилад для вимірювання концентрації речовини в розчині. Його робота заснована на властивості забарвлених розчинів: чим вища концентрація барвника, тим більше світла він поглинає при проходженні через нього. На відміну від спектрофотометрів, вимірювання проводяться з поліхроматичним, вузькоспектральним пучком світла, а не з монохроматичним світлом, сформованим оптичними фільтрами. Використання різних оптичних фільтрів з вузьким спектральним діапазоном світла, що пропускається, дозволяє вимірювати концентрацію різних компонентів в одному розчині окремо. Фотоколориметри простіші і дешевші від спектрофотометрів, хоча точність є достатньою для більшості застосувань, і саме це є їх перевагою. Огляд фотоколориметра КФС-2 показано на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Фотоколориметр КФС-2

Рефрактометричний метод

Рефрактометричний метод [20] заснований на вивченні явища заломлення (показника заломлення) світла при проходженні крізь лінію розділу прозорого однорідного середовища. Переваги: висока швидкість вимірювань, дуже низька втрата матеріалу (0,01-0,1 грам), висока точність - 0,1 %. У поєднанні з визначенням таких фізичних величин, як густина і в'язкість, та хімічним визначенням компонентів, метод рефрактометрії дозволяє аналізувати потрібні суміші і навіть більш складні суміші, включаючи харчові продукти.

Показник заломлення - це константа, яка змінюється від речовини до речовини. Значення залежить від властивостей речовини, довжини хвилі світла, що падає на об'єкт, і температури. Чим більшою стає довжина хвилі, тим меншим стає показник заломлення. З підвищенням температури показник заломлення зменшується, тому його вимірюють при постійній температурі.

Показник заломлення вимірюється спеціальною призмою. Кут, при якому світло не заломлюється, називається граничним кутом. Коли він перевищує 40° , відбувається повне відбиття. Це фізичне явище лежить в основі роботи рефрактометрів.

Кожна речовина, яка входить у суміш, зберігає здатність заломлювати світло, тому показник заломлення можна вважати адитивною одиницею. Показник, котрий виміряли, зазвичай перетворюють у одиницю концентрації спеціальними таблицями чи емпірично виведеними формулами. Результатом є значення шкали концентрації. Найважливіші з них, як визначення вмісту цукрів та солей, затверджені світовими угодами і використовуються в дослідженнях харчових продуктів.

В даний час рефрактометрія використовується в харчовій промисловості для визначення жирів, вуглеводів (наприклад, глюкози,

сахарози, лактози), харчових кислот (наприклад, оцтової, нікотинової), солей неорганічних і органічних кислот (бромід, хлорид, йодид, глюконат, ацетат, бікарбонат, цитрат, бензоат, саліцилат тощо). Найточнішими є результати, коли вміст досліджуваної речовини перевищує 5 відсотків. При аналізі сумішей з багатьма компонентами та частини харчових продуктів рефрактометрію поєднують з титруванням.

Потенціометричні методи

Потенціометричний метод [21] - це стандартизований метод вимірювання кислотності, вмісту нітратів і нітритів та деяких важких металів у харчових продуктах. Методом також можна виміряти вміст білка в молоці, крохмалю в ковбасах, складних ефірів в алкоголі, іонів кальцію і магнію в молочних і м'ясних продуктах, а також калію в зернових культурах.

Потенціометричні методи характеризуються швидкістю і простотою вимірювання значень електродного потенціалу. Час, необхідний для встановлення рівноважного потенціалу індикаторного електрода, мінімальний, зручний для автоматичного контролю технологічного процесу, а при використанні мікроелектродів можлива робота з пробами об'ємом менше 1 мл. Потенціометричні методи титрування дозволяють проводити дослідження каламутних або забарвлених розчинів, в'язких паст і навіть твердих продуктів без необхідності проведення операцій екстракції, фільтрації або фракціонування. Потенціометричні методи є неруйнівними і досліджувану систему можна використовувати для подальшого аналізу.

Розрізняють два види потенціометричних досліджень.

Прямий потенціометричний метод (іонометрія) [22] - це метод вимірювання електродних потенціалів і визначення активності (концентрації) іонів за вимірним потенціалом індикаторного електрода. Для багатокомпонентних розчинів і рідких харчових продуктів, де відсутній метод вимірювання, а точність визначення концентрації необхідно

підвищити, використовується метод стандартних (відомих) добавок. Методом можна аналізувати досить розбавлені розчини і значно розширює діапазон застосування прямого потенціометричного методу.

Потенціометричне титрування [23] базується на вимірюванні електрорушійної сили для визначення еквівалентної точки під час електродної реакції. Його використовують для визначення концентрації сильних кислот і основ, а також слабких кислот і їхніх солей, коли немає кольорового індикатора.

Потенціометричні схеми повинні включати індикаторний електрод, електрод порівняння і пристрій для вимірювання електродного потенціалу (потенціометр, рН-метр, іонометр).

У багатьох випадках ідентифікація продуктів потенціометричними методами здійснюється за допомогою електродів. Деякі спеціальні типи вимірюють рН певних продуктів, таких як м'ясні продукти, молочні продукти, алкогольні напої та безалкогольні напої (наприклад, сік, мінеральна вода). На рис.1.5 наведено загальний вигляд іонометрів.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд: а) іонометра AI-125 та б) електрода FC200

Кондуктометричний метод

Кондуктометрія [24] базується на вимірюванні електропровідності розчину електроліту, де провідність лінійно залежить від концентрації іонів у розчині.

Різноманітні розчини солі, кислот і лугів широко використовуються у виробництві продуктів харчування. Розсіл використовується для засолювання м'яса, кислоти - для консервування, а луги – в засобах для миття. Всі ці середовища зазвичай поведуться як хороші електроліти (розчини з високим рівнем електропровідності), і їх зручно використовувати для вимірювання провідності, оскільки їхні значення залежать від концентрації. Вони також використовуються для вимірювання концентрації харчових біополімерів, фарбувальних добавок, дубильних речовин, напоїв, таких як питна вода, мінеральна вода і соки, молочних продуктів, зернових, овочів і фруктів, контролю якості.

Перевагами кондуктометричного методу є:

- достатньо висока чутливість для аналізування розчинів з концентрацією електролітів до 10^{-5} моль/л;
- високу точність з відносною похибкою не більше 1 відсотка);
- здатність досліджувати різного (від найменшого до найбільшого) рівня полярні та неполярні розчини;
- здатність проводити дослідження за присутності окисників та відновників;
- аналіз проводиться без прямого контакту електродів з розчином, це дає змогу проводити дослідження у будь-яких середовищах;
- нема обов'язкової потреби підготовлювати проби;
- два варіанти проведення дослідження – автоматичний та дистанційний.

Недоліком електропровідності є, що вона є адитивною величиною, тобто на її значення впливають всі іони, присутні в розчині. Пряме

вимірювання електропровідності (пряма електрокондуктометрія) дає інформує про загальну концентрацію іонів розчину. Досить близька рухливість іонів значно знижує селективність методу, обмежуючи його використання при дослідженні продуктів в рецептурах, що містять кілька мінералів в багатокомпонентних системах. Присутність небажаних мінеральних домішок повністю спотворює результати аналізу.

Методи вимірювання провідності також можуть вирішувати більш складні дослідницькі завдання. До них відносяться визначення констант дисоціації, продуктів розчинності, коефіцієнтів дифузії і констант рівноваги слабких електролітів, дослідження рухливості хімічних реакцій і аналіз кислотних сумішей, електролітів, включаючи багатокомпонентні продукти харчування.

Існує 2 основних види кондуктометрії: пряма кондуктометрія та кондуктометричне титрування.

Метод прямої кондуктометрії [25] ґрунтується на тому, що електропровідність розбавленого розчину є на пряму пропорційної до концентрації. У практичному виконанні при вимірюванні концентрації розчину цим методом будується графік залежності значення електропровідності розчину до електролітичної концентрації. Ця калібрувальна крива і вимірювання електропровідності розчину використовуються для визначення концентрації розчину.

Пряму кондуктометрію використовуються для:

- вимірювання вмісту електролітів у воді;
- контроль якості дистильованої води;
- аналізування рідких продуктів харчування (соки, алкоголь);
- аналіз рівня якості технічної води у харчовій фармацевтиці теплотехнічній та водоочисній сфері;
- визначення вологості сировини різного рівня якості.

Пряма кондуктометрія використовується в цукровій промисловості для автоматизованого контролю рівня концентрацій розчинів цукру. Цукровий сироп концентрують шляхом випаровування у вакуумній системі. Коли вміст сухих речовин у сиропі збільшується до 80%, електропровідність падає в чотири рази через збільшення в'язкості.

Кондуктометричне титрування [26] полягає в додаванні фіксованої кількості титранту до розчину електроліту і подальшому вимірюванні його провідності. Крива титрування будується в системі координат W-V (V - об'єм титранту, використаний при титруванні). Точка еквівалентності визначається за різкою зміною кривої, пов'язаною з різницею в рухливості іонів, що беруть участь у хімічній реакції. Крива титрування залежить від походження взаємодіючих електролітів і рухливості іонів у розчині, але точка перегину повинна бути присутня. Перевага кондуктометричного титрування полягає в тому, що воно вимірює відносну провідність розчину, яка не змінюється під час аналізу, а це означає, що не потрібно визначати клітинну константу.

Кондуктометричне титрування в основному використовується для визначення титрованої кислотності рідких продуктів темного кольору (вино, фруктові соки, ягідні соки). До моменту повної нейтралізації харчових кислот в соку електропровідність швидко падає або практично зникає, що значно полегшує вимірювання еквівалентної точки.

Прилади для вимірювання електропровідності електролітів називаються кондуктометрами і є чутливими, простими, надійними. Поділяються на промислові, лабораторні, портативні та кишенькові. На рис.1.6 зображено загальний вигляд кондуктометра-солеміра PAL- FM1.



Рисунок 1.6 - Кондуктометр-солемір PAL- FM1

Хроматографія

Хроматографія [27] - метод розділення та визначення речовин, ґрунтується на поділі компонентів на дві фази – нерухома і рухома. Нерухома фаза - це твердий сорбент або плівка рідини, котра наноситься на поверхню. Рухома - рідина або інертний газ, що протікає через нерухому фазу. Хроматографічні методи використовують для поділу сушей з багатьох компонентів, ідентифікації та аналізу кількісного і якісного вмісту цих компонентів.

Хроматографічні методи є одними з найновіших і найефективніших методів розділення речовин у складних дисперсних системах та вимірювання їх вмісту. Він дозволяє вимірювати кількісний вміст токсинів у середовищі та харчових продуктах у межах концентрацій від 10^{-10} відсотка. Якщо порівнювати хроматографію з іншими методами, вона має перевагу в універсальності, ефективності, аналізі складних багатокомпонентних сумішей, таких як харчові продукти.

Види хроматографії розрізняють за механізмом розділення компонентів: адсорбційна, розподільча, тонкошарова та осаджувальна хроматографія.

Адсорбційна хроматографія [27] заснована на селективній адсорбції (поглинанні) окремих компонентів аналітичної суміші відповідним адсорбентом. У цьому методі аналізований розчин пропускають через колонку, наповнену дрібними частинками адсорбенту. Адсорбційна хроматографія в основному використовується для розділення неелектролітів і газів.

Розподільча хроматографія [28] використовує різницю в коефіцієнтах поділу компонентів аналізованої багатокомпонентної суміші між двома незмішуваними рідинними розчинами. Нерозчинна рідина розподілена по пористому матеріалі (носії), а рухова рідина являється розчинником, який не розміщується з нерозчинною. Розчинник проходить через колонку з низькою швидкістю.

Іншим видом хроматографії є тонкошарова хроматографія (ТШХ) [29]. Це один з найпростіших експрес-методів препаративної хроматографії, який поєднує високу селективність з універсальністю, чутливістю і швидкістю аналізу. Поділ речовин відбувається на пластинках, які покриваються тонким шаром носія (діатоміт або силікагель), котрий затримується фіксованим розчинником.

ТШХ має багато переваг: відносно короткий час проявлення пластин (5-ть - 30-ть хв), чіткість і точність розподілення матеріалу, тобто поява відносно невеликих, але добре помітних плям під час аналізу. Надійність ідентифікації компонентів у суміші, використання простої апаратурної конструкції, недороге обладнання і можливість аналізувати кілька зразків на одній пластині роблять ТШХ одним з найважливіших експрес-аналітичних методів для контролю якості та безпеки харчових продуктів.

Метод ТШХ використовується для визначення наявності токсинів (наприклад, афлатоксинів, мікотоксинів, патулінів) в арахісі, зернових, овочах, фруктах і напоях, кількості пестицидів (ДДТ, хлорофосу) в продуктах

тваринного і рослинного походження, гістаміну як індикатора псування риби, стандартизованих токсичних компонентів в алкогольних напоях (альдегідів, вищих спиртів тощо). Стандартизовані токсичні компоненти (наприклад, альдегіди, вищі спирти) в алкогольних напоях, виділення та ідентифікація каротиноїдів у фруктах і овочах.

Осадова хроматографія [30] заснована на різниці в розчинності осаду, що утворюється при нанесенні на порошок спеціальних реагентів, компонентами досліджуваної суміші. Розчин проходить через колонку, заповнену пористим матеріалом (носієм). Носії просочені осадовими реагентами, які утворюють осади з іонами розчину різної розчинності. Осаджувач наноситься на носій просоченням чи натиранням розчину осаджувача. Утворені осади розташовують в певному порядку по висоті колонки в залежності від розчинності досліджуваної речовини.

Хроматографічні методи використовують для контролю безпеки багатьох видів харчових продуктів. Можлива якісна і кількісна ідентифікація та кількісне визначення цукрів, у тому числі тих, що не піддаються ферментації. В якості носія для стаціонарної фази використовується фільтрувальний папір, що містить іонні групи, або спеціальний хроматографічний папір. Після виділення цукрів із взірця фільтрат переганяють тричі протягом 12 годин. Папір обробляють дифеніламіном, який надає кожній плямі цукру характерний колір. Після поділу вуглеводи розміщуються на поверхні хроматографічного паперу в наступному порядку від лінії старту: рафіноза, мелібіоза, лактоза, мальтоза, сахароза, галактоза, глюкоза, фруктоза, ксилоза і арабіноза.

Хроматографія також використовується в хлібопекарській промисловості. У хлібопеченні кисле тісто утворюється біохімічним шляхом. Хлібне тісто і м'якушка містять харчові кислоти, такі як молочна, яблучна, винна, лимонна, щавлева і бурштинова кислоти. Дефіцит або надлишок цих кислот негативно впливає на смак хліба. Тому вміст нелетких органічних

кислот вимірюють і аналізують елюати при приготуванні хлібного тіста та оцінці якості готових хлібобулочних виробів.

Хроматографія використовується для виявлення замаскованих м'ясних продуктів. Вона допомагає виявити наявність у досліджуваному продукті продуктів з м'яса птиці, субпродуктів і соєвого білка. Асортиментне маскування м'ясних продуктів здійснюється повним або частковим замінюванням одного виду м'ясного інгредієнта іншим видом замітника зі збереженням схожості за однією або кількома характеристиками. Тому для визначення якісного складу білків і тестування сировини чи готової продукції для визначення конкретних видів білка знадобиться:

- відділити білки з нативних м'ясних продуктів і тих, що пройшли термічну обробку;
- провести процес гідролізу ля білків, які виділилися, до певного виду продукції з м'яса;
- визначити весь спектр амінокислот, які виділились.

1.3.2.2. Хімічні методи

Необхідність хімічного аналізу для контролю якості харчових продуктів добре відома. Проведені в лабораторіях аналізи визначення відповідності харчових продуктів вимогам національних стандартів, повинні гарантувати безпеку та високу якість для споживачів. Одна з першочергових тенденцій - знизити витрати і спростити аналітичні процедури шляхом розробки експрес-методів і засобів контролю. В даний час використовуються різні реагенти і різні способи, такі як готові ампульні розчини, реагенти порошкового, гранульного та таблеткового типу, індикаторні смужки з паперу тощо. Недоліком хімічних методів є висока вартість аналізу через руйнацію структури досліджуваних об'єктів.

Як і будь-які інші методи хімічні поділяються на види, серед яких найбільш поширеними є краплинний, титриметричний та гравіметричний.

Краплинний аналіз

Краплинний аналіз [31] - це якісний або напівкількісний метод хімічного аналізу, що характеризується використанням декількох крапель досліджуваного розчину або реагенту. Цей аналіз використовується для ідентифікації та контролювання рівня чистоти речовин, проведення експрес-аналізів для питної води та продуктів харчування на місці, а також у наукових дослідженнях.

Виявлення речовин ґрунтується на характерній кольоровій реакції, яка відбувається на поверхні фільтрувального паперу чи годинникового скла, краплинних планшетах, мікротитрованих планшетах або пробірках. Крапельний аналіз використовує високочутливі та селективні реагенти. В результаті, досліджувана речовина може бути виявлена в присутності інших компонентів. Крапельний аналіз швидкий і простий у виконанні. Межа виявлення досліджуваної речовини в крапельному аналізі зазвичай виражається як маса (мкг) досліджуваної речовини в одній краплі (0,05 мл) зразка. Мінімальна кількість речовини, яку можна виміряти за допомогою крапельного аналізу, становить 0,01. .1 мкг.

Титриметричний аналіз

Титриметричний аналіз (титрування) [32] - це кількісний метод аналізу в аналітичній та фармацевтичній хімії, який також застосовується при перевірці якості та безпечності харчових продуктів. Він ґрунтується на вимірюванні об'єму розчину реагенту відомої концентрації, який витрачається в реакції з речовиною, що цікавить дослідника.

Титриметричний аналіз ґрунтується на кількісному визначенні компонентів зразка шляхом точного вимірювання об'єму розчину однієї або двох речовин, що реагують між собою, одна з яких має відому концентрацію. При об'ємних вимірюваннях розчин реагенту з відомою концентрацією додають в точно рівних об'ємах до розчину іона, що цікавить. Вимірюють

об'єм розчину реагенту і розраховують об'єм вимірюваного іона за хімічним рівнянням. Титрування дуже слабких основ відбувається оцтовою кислотою, а слабких кислот – етилендіаміном. Метанол і етанол також широко використовуються в кислотно-основному титруванні. Це нейтральні розчинники, як і вода, але мають нижчі константи самозахисту. Їх використовують для титрування монодикарбонових кислот, амінів, діамінів, мінеральних кислот і солей органічних кислот. Розрізняють типи титрування:

- пряме - до розчину визначуваної речовини (титруючого) додають невеликими порціям розчин титрант (робочий);
- зворотне титрування - до розчину визначуваної речовини додають явний надлишок спеціального реагенту і титрують його залишок, що не вступив в реакцію;
- титрування замісника - до титруючого розчину добавляють явний надлишок спеціального реагенту і титрують один з продуктів реакції між аналізованою речовиною і доданим реагентом.

Методи титрування в першу чергу вимірюють ряд показників якості води, а саме лужність або кислотність розчину, загальну жорсткість зразка води і вміст хлоридів у зразку води.

Гравіметричний аналіз

Гравіметричний (ваговий) аналіз [33] - метод кількісного хімічного аналізу, заснований на точному вимірюванні маси виділеної речовини або її складових у хімічно чистому стані або у вигляді відомої сполуки певного складу.

Відіграє важливе значення у встановленні інваріантності хімічного складу, коефіцієнтів кратності і закону періодичної системи елементів. Гравіметричний аналіз також широко використовується як довільний аналітичний метод, коли інші аналітичні методи дають сумнівні результати. У харчовій промисловості його використовують, наприклад у визначенні

вмісту сульфатів у питній воді. Цей метод є менш точним, ніж метод за електричними параметрами [34].

Гравіметричний метод ґрунтується на законах збереження маси та композиційної інваріантності. У нього дуже висока точність до (0,01-0,005) % та відмінною відтворюваністю. Основна операція гравіметричного методу проводиться зважуванням аналітичними терезами (вагах). Ці методи ділять наступним чином:

- хіміогравіметричний - вимірювання маси отриманого продукту внаслідок хімічної реакції;
- електрогравіметричний - вимірювання маси продукту, одержаного при електролізі;
- термогравіметричний – вимірювання маси в процесі його термічної обробці.

Серйозним недоліком гравіметричного аналізу є тривалий час вимірювання, який значно перевищує, наприклад, час, необхідний для методу титрування. З цієї причини гравіметричний аналіз втратив своє колишнє значення і фактично витісняється іншими хімічними методами.

Суть та методологія гравіметричного і титриметричного аналізів значно відрізняються. У той час як гравіметричний аналіз вимірює масу продукту реакції, титрувальний аналіз вимірює об'єм розчину реагенту відомої концентрації, який витрачається на взаємодію аналізованої речовини з розчином. Гравіметричний аналіз є одним з найточніших методів хімічного аналізу. Однак він також має серйозний недолік - тривалий час проведення аналізу. У цьому відношенні аналіз титрування є швидким.

1.3.2.3. Біологічні методи

Якісні та кількісні методи аналізу небезпечних речовин - це біологічні методи, які використовують живі організми як аналітичні індикатори. Основне застосування цих методів полягає у визначенні умов навколишнього

середовища певного хімічного складу, необхідного для життєдіяльності живих організмів, але з розвитком промисловості їх застосування розширюється, особливо в харчовій промисловості. Хоча хімічні та фізико-хімічні методи дослідження мають всі переваги, вони не дають інформації про реальний вплив негативних факторів на організм людини або про гігієнічний та санітарний стан продукції та харчових виробництв, що має велике значення при оцінці безпечності харчових продуктів з епідеміологічної точки зору. Біологічні методи тестування можна розділити на мікробіологічні, фізіологічні (імунологічні) та біохімічні.

Мікробіологічний метод

Мікробіологічними методами [35] визначають рівень епідемічної безпеки продуктів, а саме забруднення мікроорганізмами, які викликають отруєння та захворювання у людей (сальмонела, кишкова паличка, дріжджі, стафілокок тощо), а також видовий і кількісний склад мікроорганізмів у продуктах. Основним недоліком, як і у хімічних методах, є руйнація досліджуваного об'єкта, що збільшує вартість аналізу.

Згідно з Положенням про сертифікаційні випробування та гігієнічну експертизу харчових продуктів та інгредієнтів, кожна товарна група має перелік мікробіологічних показників, які підлягають перевірці.

Існує 4 групи показників мікробіологічних критеріїв безпеки харчових продуктів.

- I група (санітарно-показові) – мікроорганізми, які використовують індикаторами виконання санітарних нормативів – мезофільно та факультативно анаеробні мікроскопічні організми, бактерії групи кишкової палички;
- II група (умовно патогенні мікроорганізми) - коагулазопозитивні стафілококи;

- III група (патогенні мікроскопічні організми) – збудники харчових отруєнь та інфекцій - шигела, сальмонела;
- IV група (показники мікроскопічної біологічної стабільності продукту) – дріжджі та мікроскопічні гриби.

Недоліком мікробіологічного методу є потреба великої кількості лабораторного устаткування, поживного середовища для проведення досліджень, дотримання високого рівня стерильності при проведенні експериментів та засобів для розведення мікроорганізмів.

Для визначення КМАФАнМ (кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів) потрібно три дні, а для перевірки на присутність псууючих мікроорганізмів (мікрогрибів та дріжджів) - сім днів. Тести для кількісного визначення мікробіологічних показників зображено на рис.1.7.

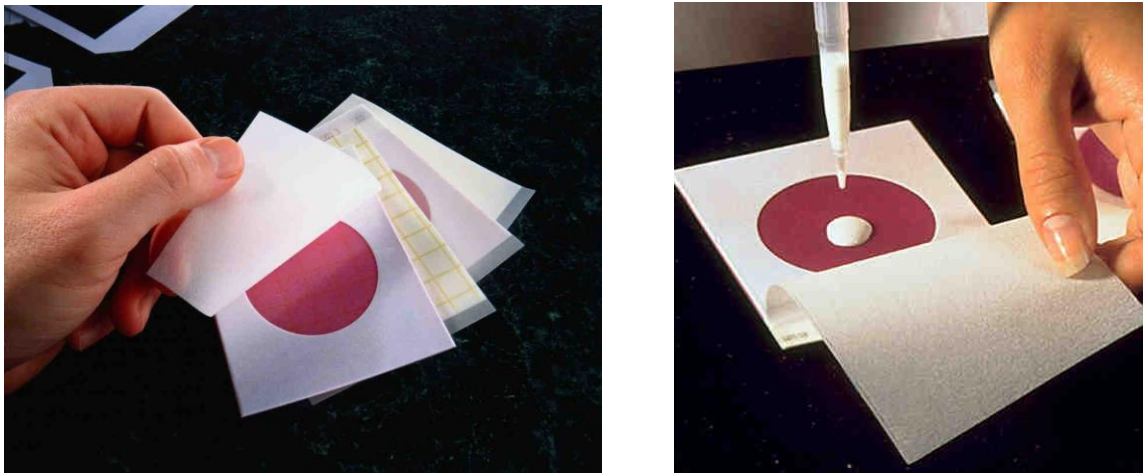


Рисунок 1.7 – Тести Petrifilm™ для кількісного визначення мікробіологічних показників

Фізіологічні методи

Фізіологічні (імунологічні) методи [36] використовуються для визначення фізіологічної цінності та нешкідливості продуктів харчування. Під фізіологічною цінністю харчового продукту розуміють його вплив системи організму, такі як нервова, серцево-судинна, травна тощо, загальну опірність людського організму до різноманітних інфекцій. Методи фізіологічного контролю застосовуються при розробці нових видів продуктів

харчування, використанні нетрадиційних видів харчових інгредієнтів і застосуванні нових харчових добавок (наприклад, барвників, загусників, емульгаторів). Ці методи використовуються для вивчення радіозахисних властивостей, терапевтичних ефектів, ступеня засвоєння поживних речовин, енергетичної цінності та безпечності нових продуктів харчування. Незважаючи на високу вартість досліджень, вони широко використовуються медичними дослідницькими центрами та інститутами для розробки продуктів харчування спеціального призначення.

Продукти харчування, особливо тваринного походження, можуть містити залишки гормонів, сульфаніламідів, мікрогрибів та антибіотиків, які при потрапленні в організм можуть пригнічувати мікрофлору кишечника, викликати бактеріальні порушення, алергічні реакції та грибкові інфекції, погіршувати роботу нирок та кровотворної системи, порушувати гормональний баланс організму та викликати автоімунні захворювання. Саме для їх ідентифікації застосовують фізіологічний метод.

Імунологічні методи характеризуються високою чутливістю і специфічністю, високою продуктивністю і швидкістю, а також відносно недорогим обладнанням і витратними матеріалами. Вони також мають перевагу в тому, що їх можна проводити вручну або автоматично..

Імунологічні методи засновані на реакціях антиген-антитіло, в яких антитіла використовуються як аналітичні реагенти. Антитіла - це специфічні білки, які фізично зв'язуються лише з субстратом, відповідальним за їх утворення, являються інструментом для знаходження кількості антигенів складних сумішей.

Біохімічний метод

Біохімічні методи [37] використовуються для визначення харчової та біологічної цінності харчових інгредієнтів і готових продуктів, для контролю якості та безпеки під час виробництва і зберігання, а також для досліджень і

розробок. Вони базуються на використанні ферментів та імунної системи. Методи засновані на вивченні біохімічних процесів і характеризуються тим, що для їх застосування потрібні ферменти або мікроорганізми, які виробляють ці ферменти. У біохімічному аналізі речовина, що аналізується, бере участь у ферментній реакції як субстрат, активатор або інгібітор. У деяких випадках власні ферменти харчових продуктів слугують тест-системою для контролю за дотриманням процедур виробництва та зберігання. Ензими (біокаталізатори) мають багато відмінностей від стандартних хімічних речовин. Ферменти відрізняються великою, а іноді й унікальною селективністю, оскільки вони проявляють каталітичну активність лише щодо невеликої кількості процесів і речовин. Через надзвичайно високу каталітичну активність ферментів для аналітичних цілей використовують дуже малі та мізерні кількості. Однак активність ферменту залежить від багатьох факторів. А саме: джерела виділення препарату, тривалості та умов зберігання, ступеня очищення та умов користування. Природні ферменти, котрі виділяються (значною мірою саме іммобілізовані), отримують властивості хімічного реагента, тому ферментативні методи можна сприймати і як хімічні. Для проведення досліджень використовують різні засоби, найпростішим з яких є індикаторний тест, зображений на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Індикаторний біохімічний тест

1.4 Постановка задачі дослідження

Аналітичний огляд законодавчо-нормативних документів та методично-інструментального забезпечення показав актуальність проблеми контролю якості харчової продукції. Особливим є залучення інформаційно-вимірювальних технологій до ідентифікації заданого рівня якості харчової продукції, виявлення фальсифікованої продукції тощо. Це дає змогу усунути суб'єктивні похибки, оперативно здійснювати вимірювальну процедуру та зберігати результати контролю. Одним з таких методів є імітансний метод контролю якості, інформативними параметрами якого є параметри імпедансу та адмітансу. За зміною таких параметрів можна судити про зміни фізико-хімічних властивостей об'єкта контролю. Характеризуються вони електрофізичними параметрами, зокрема питомим опором (провідністю) та діелектричною проникністю. Тому доцільним вибрати як інформативні параметри активну та реактивну складові адмітансу об'єкта дослідження, оскільки саме зазначені параметри є пропорційними до електрофізичних параметрів об'єкта. З урахуванням вищезазначеного можливо сформулювати задачі досліджень дисертації, вирішення яких спрямоване на покращення методично-інструментального забезпечення під час вирішення завдань ідентифікації харчової продукції.

Проаналізувати імітансний метод контролю якості щодо застосування його для ідентифікації харчової продукції, використовуючи для цього приклади аналогічного його застосування.

Доцільно проаналізувати результати експериментальних досліджень зразків харчової продукції за параметрами її адмітансу в заданому частотному діапазоні та на основі зробленого аналізу виявити характерні зміни складових адмітансу.

Узагальнити ідентифікаційні ознаки за результатами експериментальних досліджень окремих зразків харчової продукції та описати результати електричною та математичною моделями та запропонувати способи ідентифікації фальсифікованих харчових продуктів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Проаналізовано:

- нормативно-технічну документацію України та світу щодо безпеки та якості харчової продукції:

- Закон «Про основні принципи та вимоги до безпечності якості харчових продуктів»;
- Закон «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів»;
- «Санітарні вимоги до прийому та зберігання харчових продуктів»;
- ISO 22000 «Система управління безпечністю харчових продуктів».

2. Проаналізовано:

- Закон «Про основні принципи та вимоги до безпечності якості харчових продуктів» - узагальнений закон, що описує повноваження центральних органів влади у сфері безпеки харчової продукції. У ньому надано основні визначення понять, таких як безпечний харчовий продукт, параметр безпечності, небезпечний харчовий продукт та ін.; надає повноваження регламентування в сфері харчування КМУ. У його розділах описується загальний порядок дотримання санітарних норм, документальні правила транспортування продукції, окремі показники якості.
- Закон «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів» регламентує інформацію, яку повинні надавати виробники кінцевому споживачеві – склад продукту, походження, маса, термін придатності та ін. Встановлює правила нанесення інформації на етикетки, умови для вказання позначок «з ГМО» та «без ГМО» і наводить список алергічних речовин.
- «Санітарні вимоги до прийому та зберігання харчових продуктів» - основний документ, який визначає критерії безпеки та нешкідливості для людини факторів виробництва. Більш детально прописані правила зберігання, пакування, переміщування та прийому харчової продукції.

- ISO 22000 «Система управління безпечністю харчових продуктів» - основний міжнародний стандарт якості в сфері безпеки харчових продуктів. Описує етапи виробництва, постачання та реалізації продукції та є одним з основних до дотримання при виготовленні продуктів на експорт.

3. Фізико-хімічні є найпоширенішими з інструментальних і застосовують для кількісного визначення кількісного вмісту поживних компонентів у продуктах, мінеральних речовин та токсичних домішок. Поділяють на люмінесцентний, спектрофотометричний, фотоколориметричний, рефрактометричний, потенціометричний, кондуктометричний, хроматографічний.

4. Хімічні методи проводять контроль якості з допомогою хімічних реагентів. Діляться на краплинний, титриметричний, гравіметричний. Недоліком їх є висока вартість аналізу через руйнування структури досліджуваних об'єктів.

5. Біологічні методи ґрунтуються на виявленні шкідливих живих організмів (шигели, сальмонели, мікроскопічних грибів ін.) в продукті харчування. Поділяються на мікробіологічні, імунологічні, біохімічні. Ці методи мають перевагу в тому, що дають уявлення про реальний склад продуктів та їх потенційний вплив на організм людини. Недолік – необхідність використання великої кількості обладнання та тривалість проведення досліджень (до декількох діб).

6. Вибір методу залежить від необхідної швидкості випробувань, детальності їх результатів, виду харчового продукту, терміну проведення та вартості.

РОЗДІЛ 2

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЗА ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

2.1 Загальні відомості щодо ідентифікації продукції за параметрами імітансу.

Багато останніх досліджень та публікацій щодо контролю якості та безпечності харчових продуктів стосується як нормативного [6], так і методично-технічного забезпечення. Серед електричних методів технічного забезпечення одним із найпоширенішим є метод імпедансної [38] або адмітансної [39] спектроскопії, що справедливим є узагальнений термін «імітансної спектроскопії». Відомий імітансний метод контролю якості [40], суть якого полягає в тому що аналізуються параметри імпедансу чи адмітансу об'єктів неелектричної природи в широкому частотному діапазоні. Запропоновано метод, за яким вимірюється твердість води за її параметрами імітансу, а також його метрологічне технічне забезпечення [41]. Відомий експрес-метод визначення кількісного складу етилового спирту у водно-спиртових розчинах. [42], а також розроблено аналізатор імпедансу для визначення марок водно-спиртових напоїв [43]. Використовується електричний метод ідентифікації м'ясної продукції, зокрема досліджено залежність імпедансу від електропровідності м'яса [44] та спосіб ідентифікації свіжого та розмороженого м'яса методом імпедансної спектроскопії [45]. Електроімпедансна спектрометрія використовується для контролю процесу виробництва подрібнених м'ясних продуктів [46]. Також електричний метод використовується для контролю якості та дозрівання деяких фруктів, зокрема спектроскопії електричного імпедансу мандарина під час дозрівання [47], дозрівання та розвитку охолодження у плодах хурми [48].

Останнім часом набув широкого застосування для оцінювання якості продукції та безпечності харчових продуктів метод імпедансної спектроскопії. Такий метод нині застосовується в різних галузях: для оцінювання якості плодів

і ягід [47, 48, 49], оливкової олії [50], оцінювання якості та безпечності м'ясних продуктів [44, 45], оцінювання якості води [41], безпечності молока [51], ідентифікації свіжої риби [52] тощо. Як показали експериментальні дослідження окремих видів харчової продукції, його можна використати також і для ідентифікації продукції з добавкою Е621 [53].

Розглянемо імітансний метод контролю якості як один з електричних методів ідентифікації харчової продукції.

2.2 Імітансний метод ідентифікації харчових продуктів

Одним з електричних методів контролю є метод імпедансної чи адмітансної спектроскопії (тобто імітансної спектроскопії або імітансний метод). Такий метод контролю якості продукції [40] ґрунтується на тому, що вона подається багатоелементним двополюсником, параметри якого відображають її фізико-хімічні властивості. Тобто, за зміною електричних параметрів можна судити і про зміну показників якості продукції.

Одним із практичних реалізацій такого методу є вимірювання параметрів моделі об'єкта контролю і базового зразка (поданих двополюсниками) у певних умовах та порівняння параметрів цих двох двополюсників. Такими параметрами є активна та реактивна компоненти імітансу двополюсника на різних частотах або окремі параметри елементів.

На основі теорії електричних кіл можна сказати, що еквівалентними є двополюсники, в яких комплексні опори (імпеданси) або комплексні провідності (адмітанси) є рівними $Z_{x1}=Z_{z2}$ або $Y_{x1}=Y_{z2}$. Відповідно, вони можуть замінювати один одного, не змінюючи характеристик кола, з яким вони сполучені. Еквівалентність може мати місце на одній частоті, в певному діапазоні частот або в всьому діапазоні від нуля до нескінченості. Можна вважати, що стосується це і двополюсників, якими подається у нашому випадку харчова продукція. У цьому і полягає суть застосування імітансного методу ідентифікації харчової

продукції, за допомогою якого можна встановити електричні параметри як контрольованого, так і базового зразків продукту у вигляді окремих електричних параметрів багатоелементного двополюсника, яким їх подають.

Якщо схема заміщення (електрична модель) об'єкта відома, то такими параметрами будуть елементи схеми. Для невідомої моделі (у більшості випадків) інформативними параметрами будуть активні та реактивні компоненти імпедансу та адмітансу на окремих частотах тестового сигналу. Окрім цього інформативними параметрами також можуть бути модулі та фазові кути або еквівалентні ємності та опори схеми, поданими паралельною чи послідовною схемами заміщення. Тобто, імпеданс та адмітанс можна зобразити у вигляді векторів на комплексній площині для будь-якої частоти тестового сигналу. На рис. 2.1 показано вектори імпедансів Z_x , Z_0 (рис. 2.1а) та адмітансів Y_x , Y_0 (рис.2.1б) зразка, який піддається контролю, і відповідно базового, їхні модулі та фазові кути, активні та реактивні складові.

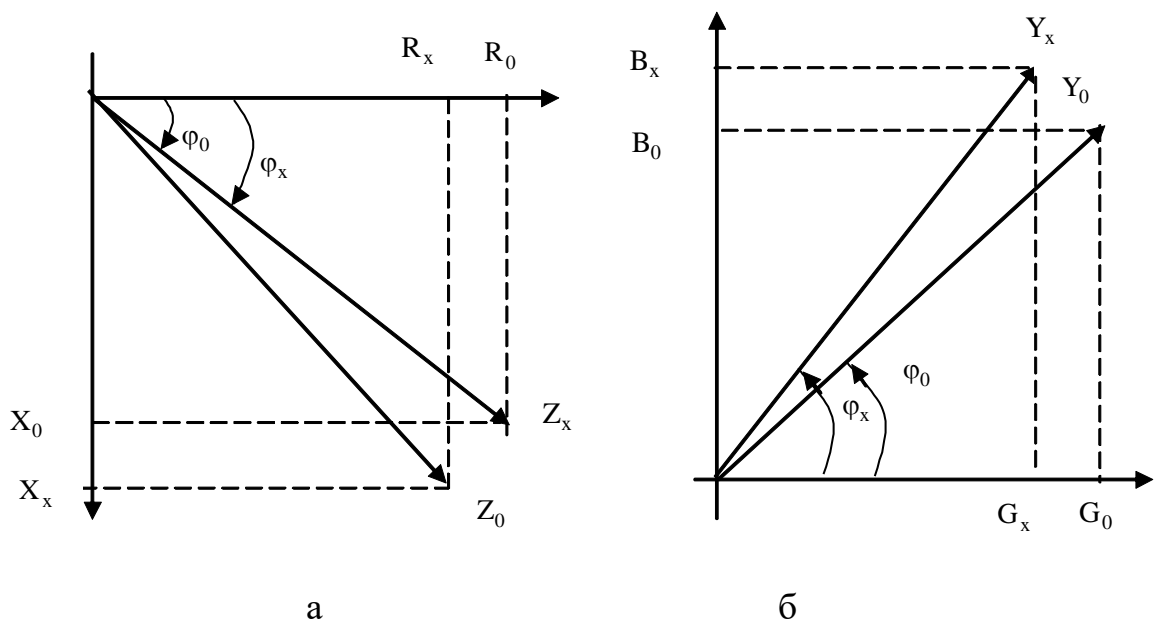


Рисунок 2.1 - Вектори імпедансів (а) та адмітансів (б) об'єктів з однією частотою, які порівнюються.

Не співпадіння векторів імітансу, як показано на рис. 1, контрольованого і базового продукту показує, що внутрішня структура є різною, а отже і якісні показники. Кількісна оцінка ґрунтується на вимірюванні та порівнянні

параметрів, що характеризують ці вектори, тобто модулів і фаз, активних і неактивних компонентів або інших комбінацій перерахованих параметрів. [40].

Концепція диференційного імітансного методу [40, 54] ідентифікації харчової продукції за складовими адмітансу ґрунтується на вимірюванні параметрів електричної моделі, якою подається об'єкт контролю. У такому разі для складових адмітансу, як інформативних параметрів, відносні показники відповідно до складової адмітансу описуються виразами

$$\left(\frac{\operatorname{Re}(Y_x)}{\operatorname{Re}(Y_0)}\right)_{f_1} = A_1, \left(\frac{\operatorname{Re}(Y_x)}{\operatorname{Re}(Y_0)}\right)_{f_2} = A_2, \left(\frac{\operatorname{Re}(Y_x)}{\operatorname{Re}(Y_0)}\right)_{f_3} = A_3, \dots, \left(\frac{\operatorname{Re}(Y_x)}{\operatorname{Re}(Y_0)}\right)_{f_n} = A_n, \quad (2.1)$$

$$\left(\frac{\operatorname{Im}(Y_x)}{\operatorname{Im}(Y_0)}\right)_{f_1} = P_1, \left(\frac{\operatorname{Im}(Y_x)}{\operatorname{Im}(Y_0)}\right)_{f_2} = P_2, \left(\frac{\operatorname{Im}(Y_x)}{\operatorname{Im}(Y_0)}\right)_{f_3} = P_3, \dots, \left(\frac{\operatorname{Im}(Y_x)}{\operatorname{Im}(Y_0)}\right)_{f_n} = P_n, \quad (2.2)$$

де Y_x, Y_0 - адмітанси досліджуваних зразків контрольованого та базового об'єктів;

$\operatorname{Im}(Y_x), \operatorname{Re}(Y_x), \operatorname{Im}(Y_0), \operatorname{Re}(Y_0)$ - реактивна та активна складові досліджуваних зразків контрольованого та базового об'єктів;

$f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ - частоти, на яких вимірюються складові;

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ - відношення активних складових;

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ - відношення реактивних складових;

Застосування імітансного методу [40] для здійснення диференційного методу якісного контролю [55] дає можливість отримати узагальнений показник відносності якості електропровідного продукту за електричними параметрами, зокрема параметрами імпедансу чи адмітансу. Цими параметрами є ємність і адмітансна провідність багатоелементного двополюсника, які є еквівалентними, яким подаються контрольований та стандартний зразки.

2.3. Концепція ідентифікації харчової продукції за параметрами адмітансу

За результатами вимірювань одержані значення інформативних параметрів адмітансу повинні міститися в заданих межах для конкретного об'єкта контролю. На основі цього можна ідентифікувати продукцію як таку, що відповідає або не відповідає заданому рівні якості. Тобто, загалом вимірювальна процедура зводиться до визначення відмінності між електричними параметрами адмітансу досліджуваного та базового зразків.

Ідентифікація харчової продукції за заданими нормативними документами межами може відбуватися трьома способами:

- діапазоном зміни значення показника якості (нижнє та верхнє значення показника);
- обмеження показника якості зверху (значення не повинно перевищувати заданий рівень);
- обмеження показника якості знизу (значення не повинно бути меншим заданого рівня) .

Для кожного випадку формуються відповідні електричні стандартні (базові) зразки.

Тобто, для першого випадку отримаємо 2 базових взірця для кожного з продуктів з нижнім та верхнім внормованими рівнями якості. Для двох інших випадків – зразки нижнього та верхнього рівнів якості, відповідно.

Формуються такі зразки відповідно до результатів вимірювань з використанням ЗВТ реактивної та активної складових адмітансу. Тобто, здійснюємо вимірювання електричних параметрів, а саме реактивної та активної складових адмітансу ємнісного перетворювача з базовими взірцями продукту на фіксованих частотах. В результаті отримаємо зразки з визначеними реактивною і активною складовими їх адмітансів на фіксованих частотах, що відображають відповідні фізико-хімічні параметри, які можна вважати базовими. Так само вимірюються знову ті ж параметри для продукту, який під контролем.

Диференційним методом оцінювання якості [40, 55] порівнюємо отримані результати параметрів базових та контрольованих продуктів. При цьому необхідно зазначити, що можуть використовуватися і інші параметри, зокрема ємність та провідність або модуль та фазовий кут, що описують адмітанс (імпеданс) базового зразка та контрольованого об'єкта.

Практична реалізація такої ідентифікації забезпечується вимірюванням складових адмітансів базових та контрольованих продуктів тими ж ЗВТ. Також кліматичні умови мають бути однаковими, бо інформативні параметри залежні від зміни температури. Відштовхуючись від відомих залежностей між температурою та вимірюваними параметрами, похибка значень може бути скоригована під час дослідження. Зобразивши інформативні величини (в нашому випадку – адмітанси об'єктів порівняння ємнісного характеру) векторами на комплексній площині, отримуємо ілюстрацію обмеженої області можливих допустимих значень складових адмітансів. Варіанти порівняння об'єкту контролю та базового зразка можна показати рисунками у вигляді виділених прямокутників та при цьому математичних виразів зображені діапазони змін інформативних електричних параметрів досліджуваних об'єктів, які можуть виникнути в процесі вимірювання.

Рисунок 2.2 ілюструє суттєво звужений (обмежений зверху і знизу) діапазон змін параметрів. Стосується показників якості продукту, допустимі значення яких знаходяться в заданому діапазоні.

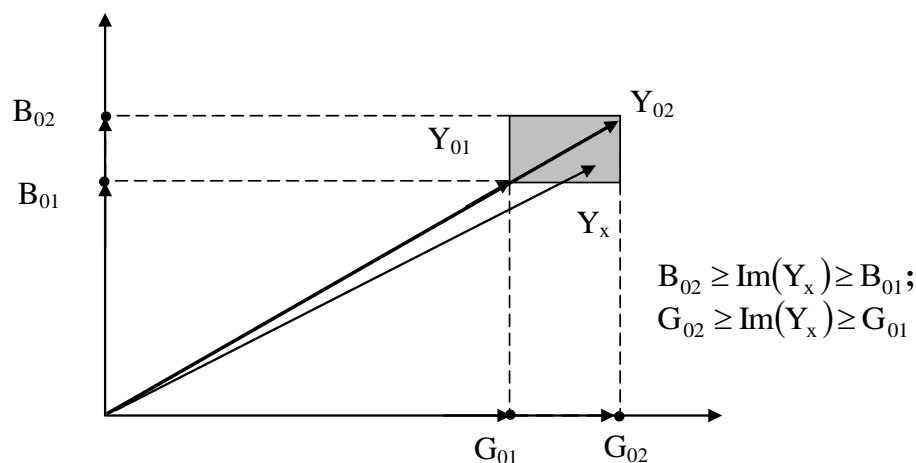


Рисунок 2.2. Обмежений знизу та зверху діапазон змін значень показника якості стандартного зразка

На рис.2.3 ілюструється нижня межа значення показника якості (значення повинно бути не меншим від заданого).

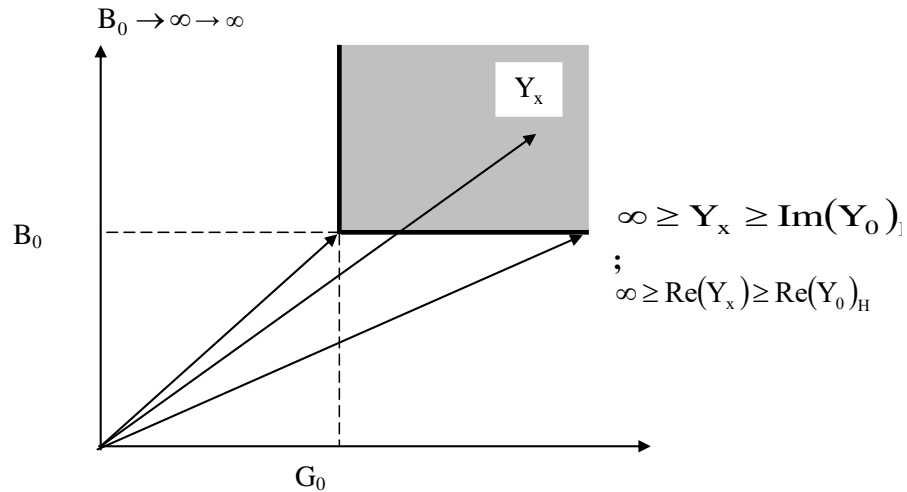


Рисунок 2.3 - Обмежений зверху діапазон змін значення показника якості стандартного зразка

На рисунку 2.4 ілюструється верхня межа значення показника якості (значення повинно бути не більшим від заданого).

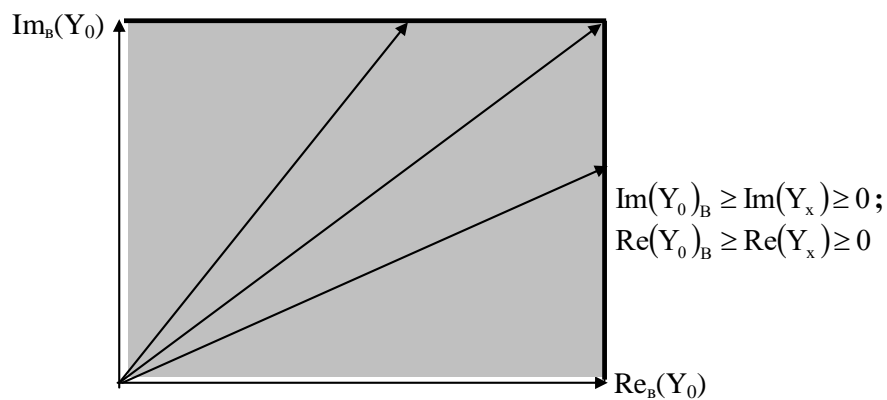


Рисунок 2.4 - Обмежений знизу діапазон змін значення показника якості стандартного зразка

Наведені приклади стосуються різних видів харчової продукції, якість якої оцінюється. Звідси можна зробити висновок, що діапазон змін інформативних електричних параметрів може бути досить широким, причому співвідношення між складовими може знаходитися у деяких випадках від значень близьких до нуля (рис.2.3) або до безмежно великих значень (рис.2.4).

Розглянемо варіант ідентифікації харчового продукту одного виду з різним рівнем якості (сорт, марки, виробника тощо).

Тобто, параметри контрольованого продукту певного рівня якості повинні знаходитися у встановлених нормативними документами межах. Межі відображені граничними значеннями електричних стандартних зразків, а саме:

$$Im(Y_{01}^{A_1})_{f_i} < Im(Y_x)_{f_i} < Im(Y_{02}^{A_1})_{f_i}; Re(Y_{01}^{A_1})_{f_i} < Re(Y_x)_{f_i} < Re(Y_{02}^{A_1})_{f_i}$$

$$Im(Y_{01}^{A_2})_{f_i} < Im(Y_x)_{f_i} < Im(Y_{02}^{A_2})_{f_i}; Re(Y_{01}^{A_2})_{f_i} < Re(Y_x)_{f_i} < Re(Y_{02}^{A_2})_{f_i} \quad (2.3)$$

.....

$$Im(Y_{01}^{A_n})_{f_i} < Im(Y_x)_{f_i} < Im(Y_{02}^{A_n})_{f_i}; Re(Y_{01}^{A_n})_{f_i} < Re(Y_x)_{f_i} < Re(Y_{02}^{A_n})_{f_i},$$

де $Im(Y_{01}^{A_1})_{f_i}$, $Im(Y_{02}^{A_1})_{f_i}$, $Im(Y_{01}^{A_2})_{f_i}$, $Im(Y_{02}^{A_2})_{f_i}$, $Im(Y_{01}^{A_n})_{f_i}$, $Im(Y_{02}^{A_n})_{f_i}$ та $Re(Y_{01}^{A_2})_{f_i}$, $Re(Y_{02}^{A_2})_{f_i}$, $Re(Y_{01}^{A_n})_{f_i}$, $Re(Y_{02}^{A_n})_{f_i}$ - реактивні та активні складові адмітансу різних продуктів, що потрапляють у межі нормування базових показників якості кожної марки на фіксованій частоті f_i ($i=1,2,3,\dots,j$); A_1, A_2, \dots, A_n - сорт (марка) одного виду продукту.

На рис. 2.5 графічно зображено ідентифікацію харчового продукту за складовими адмітансу, де $B_{01}^{A_1}$, $B_{02}^{A_1}$, $B_{01}^{A_2}$, $B_{02}^{A_2}$ та $G_{01}^{A_1}$, $G_{02}^{A_1}$, $G_{01}^{A_2}$, $G_{02}^{A_2}$ - реактивні і активні складові адмітансу базових зразків двох рівнів якості продукту; Y_{A_1} ,

Y_{A2} , Y_X - вектор адмітансів харчового продукту відомого рівня якості та контрольований, відповідно.

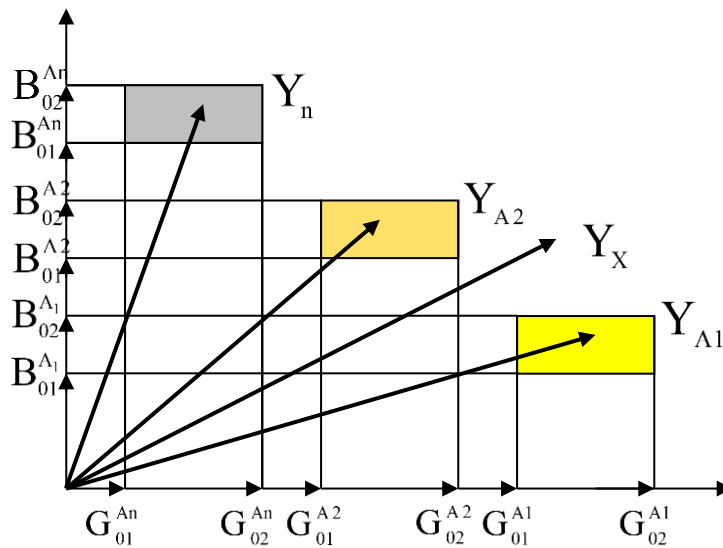


Рисунок 2.5 - Графічна інтерпретація ідентифікації харчового продукту одного виду різного рівня якості (сорт, марки, виробника тощо) за параметрами адмітансу

У випадку, коли на обраній фіксованій частоті виміряні значення активної та реактивної складових імітансу продукту, який контролюється, знаходяться у одній із зазначених меж, то цей продукт відноситься до рівня з нормованим значенням якості, який визначається цими межами. У випадку, коли отримані значення складових не потрапляють у межі, контрольований продукт ідентифікується як з неприйнятним рівнем якості або фальсифікований.

2.4 Формування електричних стандартних зразків харчових продуктів

Оцінювання якості будь-якої продукції здійснюється за результатами порівняння її показників з аналогічними показниками відповідного стандартного зразка, тобто реалізується відомий диференційний метод [55]. Переважно стандартним зразком харчової продукції є її порційна частина у якій є нормовані показники, які відповідають заданим рівням якості або безпеки.

Окремі показники якості таких продуктів мають різні властивості, тому для їх вимірювання необхідно використовувати різні типи вимірювальних приладів. На основі результатів вимірювань та їх обробки розраховується відносний показник. Цей показник використовується для оцінки рівня якості шляхом порівняння окремих показників і за допомогою розрахованого комплексного показника. Проблема контролю показника відносності: наявність традиційного стандартного зразка продукту під час проведення вимірювань. Створюється вона нестабільністю стандартного зразка продукції через обмежені терміни його зберігання, псування тощо. Вирішується проблема нестабільності стандартного зразка застосуванням імітансного методу [56] для реалізації диференційного методу якісного контролю, і це робить можливим отримання узагальненого відносного показника якості електропровідної продукції за електричними параметрами, зокрема параметрами імпедансу чи адмітансу. Досягається це в процесі вимірювання параметри традиційного стандартного зразка контрольованої продукції через вимірювання активної та реактивної складових його адмітансу.

При реалізації диференційного методу [40, 55] відносні показники на обраних частотах описуються пропорційними відношеннями параметрів, які зазначаються на фіксованих частотах [57], а саме:

$$\left(\frac{C_{x1}}{C_{01}}\right)_{f_1}, \left(\frac{C_{x2}}{C_{02}}\right)_{f_2}, \left(\frac{C_{x3}}{C_{03}}\right)_{f_3}, \dots, \left(\frac{C_{xn}}{C_{0n}}\right)_{f_n}, \quad (2.4)$$

$$\left(\frac{G_{x1}}{G_{01}}\right)_{f_1}, \left(\frac{G_{x2}}{G_{02}}\right)_{f_2}, \left(\frac{G_{x3}}{G_{03}}\right)_{f_3}, \dots, \left(\frac{G_{xn}}{G_{0n}}\right)_{f_n}, \quad (2.5)$$

де $C_{x1}, C_{x2}, C_{x3}, C_{xn}$ та $C_{01}, C_{02}, C_{03}, C_{0n}$ - ємності об'єкта контролю контрольованого об'єкта і електричного базового зразка (міри), які є еквівалентними, відповідно на частотах f_1, f_2, f_3, f_n .

Еквівалентними такі параметри є тому, що реактивні та активна складові адмітансу такого двополюсника залежать від частоти тестового сигналу. Оскільки вимірювання здійснюється за двоелементною схемою заміщення з еквівалентними параметрами, то результати вимірювань на різних частотах будуть відрізнятися між собою. У цьому разі звичайні стандартні зразки можуть бути замінені електричними мірами з відповідними параметрами, що ґрунтуються на результатах вимірювань. Тому електричні вимірювання електричного зразку повинні точно відтворювати ці значення еквівалентної ємності і провідності на фіксованій частоті.

Отже, відтворити адмітансний електричний стандартний зразок можна магазинами ємностей та провідності чи окремими конденсаторами та мірами опору [58]. Для таких вимірювань використовується вимірювальний засіб одного типу та ємнісний сенсор однакового конструктивного виконання.

Формування електричного стандартного зразка забезпечує його стабільність у порівнянні з традиційним стандартним зразком та спрощує процес ідентифікації продукції неелектричної природи, зокрема харчової продукції.

2.5 Ідентифікація харчового продукту за провідністю і діелектричною проникністю

Розглянемо ідентифікацію харчової продукції за питомою провідністю та діелектричною проникністю на прикладі міцних спиртних напоїв. Вимірювання цих електрофізичних параметрів є одним зі способів для виробників ідентифікації міцних спиртних напоїв [59]. У даному разі ідентифікують спирт і воду, котрі є одними з основних складових міцних спиртних напоїв. Діелектрична проникність та питома провідність являються комплексними параметрами при визначенні якості продукції та використаних при виробництві компонентів. Значення таких параметрів відображаються на продукті у вигляді мітки і вказується на сайті виробника.

Одержувач партії горілки здійснює контроль проникності та провідності отриманої партії горілки з приведенням до температури обліку. Отримані результати вимірювань перевіряються за інформацією на сайті, усувається можливість фальсифікацій при підміні партій, використання неякісної сировини при виробничих розкрадання тощо.

Питому провідність і діелектричну проникність визначають активними та реактивними складовими адмітансу як на окремих частотах, так і в діапазоні частот, тому варто оглянути способи, якими їх можна виміряти. Серійним вимірювачам імітансу не завжди вдається це зробити, оскільки, їх робочі режими не завжди є відповідними до способів вимірювань. Теж такі ЗВТ не є завжди доступними споживачам чи зовсім відсутні, тому доречним є проаналізувати різні варіанти вимірювань параметрів адмітансу, використовуючи серійні засоби різноманітного призначення [60] та побудову вузьконаправлених ЗВТ.

Визначити проникність та провідність можна, як зазначалося вище, за результатами вимірювання реактивних і активних параметрів адмітансу контрольованого об'єкта, які подаються у виді багатоелементних двополіусників. Вимірювання цих параметрів може здійснюватися як за допомогою простих спеціалізованих технічних засобів, так і за допомогою серійних широкодіапазонних вимірювачів складних параметрів опору і провідності (імітансу). Для цього необхідний первинний перетворювач, який конвертує діелектричну проникність і питому провідність контрольованого об'єкта у вимірювальні параметри використовуваного приладу.

У цьому разі діелектрична проникність і питома провідність визначаються за відомими формулами під час використання контактної-ємнісної первинних перетворювачів із плоскопаралельною структурою. [61]:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_x S}{d}, \quad (2.6)$$

$$G = \sigma \frac{d}{S}, \quad (2.7)$$

з яких отримаємо:

$$\varepsilon_x = C \cdot \frac{d}{S} \cdot \frac{1}{\varepsilon_0} = \frac{A}{\varepsilon_0} \cdot C, \quad (2.8)$$

$$\sigma_x = G \frac{S}{d} = \frac{1}{A} \cdot G, \quad (2.9)$$

де $A = d/S$ – стала первинного перетворювача (S та d – площа електродів та відстань між ними); ε_0 – діелектрична проникність вакууму.

Враховуючи отримані результати вимірювань параметра C та G відповідно (2.6) та (2.7) за виразами (2.8) та (2.9) розраховуються електрофізичні параметри ε та σ .

Електрофізичні параметри залежні лінійно від ємності (2.8) і провідності (2.9), для зазначених вимірів слід використовувати відповідний режим вимірювання приладу, тобто режим, у якому комплексний параметр провідності вимірюється окремо паралельно з реактивною провідністю ωC і активною провідністю G . Слід зазначити, що для забезпечення адекватного результату між вимірними значеннями параметрів і відповідними реальними параметрами контрольованого об'єкта (спиртового розчину) необхідно, щоб схема заміщення об'єкта була однаковою на заданій частоті тестового сигналу приладу. Якщо ці схеми не підходять, то, як відомо, під час вимірювання інформаційних параметрів об'єкта виникають методичні похибки.

Загальновідомо, адмітанс, як векторна величина, подається, через активну $Re(Y) = G$ та реактивну $Im(Y) = G$ складові адмітансу. В цьому випадку адмітанси об'єкта, який піддається контролю Y_x і його стандартного (базового) Y_0 зразка можуть бути подані наступними формулами:

$$Y_x = G_x + jB_x \quad (2.10)$$

$$Y_0 = G_0 + jB_0, \quad (2.11)$$

де G_x , G_0 та B_x , B_0 – активні та реактивні складові адмітансу об'єкта, який контролюється, і стандартного взірців продукту.

У такому випадку обидва двополюсника, які описують контрольний і стандартний об'єкти, є еквівалентними при вимірюванні активного $Re(Y_x)$, $Re(Y_0)$ та реактивного параметрів адмітансу $Im(Y_x)$, $Im(Y_0)$. За результатами вимірювань знаходять їхні відповідні пропорційні відношення на зафіксованих точках обраного діапазону частот.

Тож, визначення водно-спиртового розчину за складовими адмітансу переходить до порівняння параметрів адмітансів еталонного і об'єкта контролю.

На основі загального аналізу способів вимірювання параметрів імітансу, а саме складових адмітансу автором пропонується узагальнена структурна схема вимірювального засобу, яким можуть реалізуватися вимірювання реактивної і активної складових адмітансу контрольованого об'єкта. За отриманими результатами можна отримати значення питомої провідності та діелектричної проникності водно-спиртових розчинів. Схема такого засобу зображена на рис.2.6 [61].

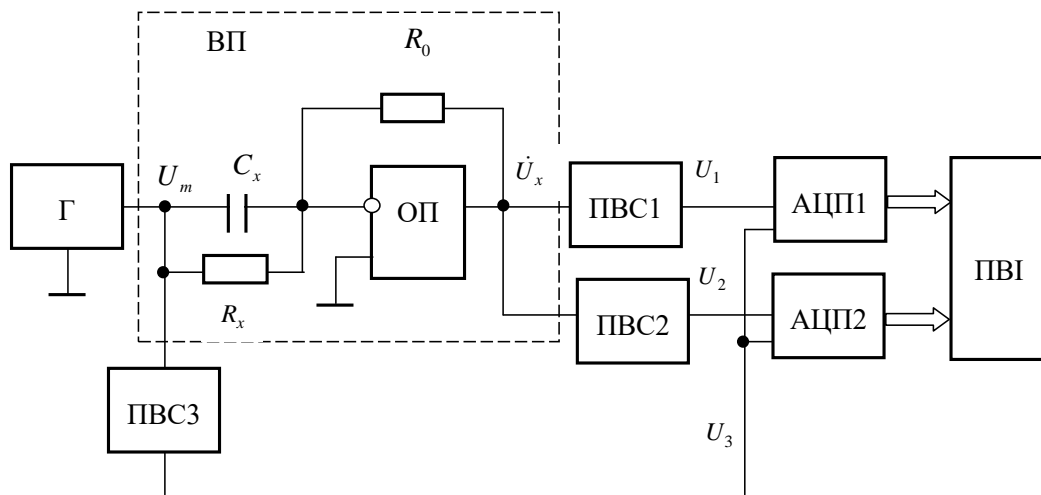


Рисунок 2.6 - Структурна схема вимірювача провідності та діелектричної проникності спиртових розчинів

Наведена структурна схема вимірювача містить генератор синусоїдальних коливань Γ , векторний перетворювач електрофізичних параметрів в напругу ВП, у який входять контактний ємнісний сенсор C_x , активний зразковий резистор заданого опору R_0 та операційний підсилювач ОП. До векторного перетворювача

під'єднано два перетворювачі векторної величини у скалярні, а саме: перетворювач активної складової ПВС1 та реактивної – ПВС2. Напруги постійного струму U_2 та U_3 перетворюються аналого-цифровими перетворювачами АЦП1, АЦП2 в цифрові коди та виводяться на пристрій відображення інформації ПВІ. З метою вилучення впливу напруги генератора на результат вимірювання опорні напруги АЦП формуються з вихідної напруги генератора аналогічним до ПВС1 пристроєм ПВС3. Первинний перетворювач (сенсор) може бути як плоско паралельної, так і коаксіальної конструкції. Розглянемо роботу вимірювача з використанням сенсора плоско паралельної конструкції.

В цьому випадку на виході ВП для частоти тестового сигналу ω та з врахуванням характеристик сенсора отримуємо комплексну напругу з активною G_x та реактивною B_x складовими:

$$\dot{U}_x = U_m R_0 (G_x + jB) = U_m R_0 (G_x + j\omega C_x), \quad (2.12)$$

а з урахуванням (2.6) та (2.7), вираз (2.12) матиме вигляд

$$\dot{U}_x = U_m R_0 \left(\sigma \frac{d}{S} + j\omega \frac{\epsilon_0 \epsilon_x S}{d} \right), \quad (2.13)$$

де σ - питома провідність контрольованої рідини; ϵ_0, ϵ_x - діелектричні проникності вакууму та контрольованого об'єкта відповідно; d - між електродна відстань; S - площа електродів.

З комплексної напруги (2.13) перетворювачами ПВС1, ПВС2 виділяються її активна $Re(U_x)$ та реактивна $Im(U_x)$ складові [61]:

$$U_1 = Re(\dot{U}_1) = U_m k_1 R_0 \sigma \frac{d}{S}, \quad (2.14)$$

$$U_2 = Im(\dot{U}_1) = U_m k_2 R_0 \omega \frac{\epsilon_0 \epsilon_x S}{d}, \quad (2.15)$$

а перетворювачем ПВС3 формується опорна напруга АЦП пропорційна напрузі генератора, а саме:

$$U_3 = U_m k_3, \quad (2.16)$$

де k_1 , k_2 та k_3 - коефіцієнти перетворення перетворювачів ПВС1, ПВС2 та ПВС3 відповідно.

З допомогою АЦП здійснюється ділення виразів (2.14) та (2.15) на (2.16), в результаті чого отримуємо

$$N_1 = \frac{k_1}{k_3} \cdot \frac{d}{S} R_0 \cdot \sigma = A_1 \sigma \quad (2.17)$$

$$N_2 = \frac{k_2}{k_3} \cdot \frac{S}{d} \omega \cdot R_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_x = A_2 \varepsilon_x, \quad (2.18)$$

де $A_1 = \frac{k_1 d}{k_3 S} R_0$, $A_2 = \frac{k_2 S}{k_3 d} \omega R_0 \varepsilon_0$ і є для фіксованої частоти сталими.

З метою збільшення кількості параметрів ідентифікації, що заодно призводить до унеможливлення фальсифікації такої продукції, вимірювання необхідно здійснювати на декількох частотах заданого частотного діапазону.

Схема дає змогу також використати чотириелектродний ємнісний сенсор для зменшення впливу приелектродного імпедансу, зокрема ємності подвійного шару [62]. Для зменшення впливу неінформативного імпедансу, зумовленого схемою під'єднання ємнісного сенсора використовують екранування всіх елементів. Екран необхідно під'єднувати до спільної точки генератора та ОП.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Запроповано концепцію ідентифікації імітансним методом за заданими межами для продуктів різних видів. Наводяться три способи реалізації такої ідентифікації, а саме:

- діапазоном зміни значення показника якості (нижнє та верхнє значення показника);
- обмеження показника якості зверху (значення не повинно перевищувати заданий рівень);
- обмеження показника якості знизу (значення не повинно бути меншим заданого рівня) .

2. Наведено спосіб формування електричних базових зразків шляхом вимірювання реактивної та активної складових на фіксованих частотах базового об'єкта для зазначених способів ідентифікації.

3. Запропоновано електричний стандартний зразок харчового продукту, який формують вимірюванням параметрів адмітансу традиційного стандартного зразка з перетворенням у електричні параметри. Цими параметрами можна обрати ємність та провідність адмітансу багатоелементного двополюсника, які є еквівалентними, що дає змогу створити електричну міру стандартного зразка.

4. Розглянуто приклад ідентифікації харчової продукції за діелектричною проникністю та питомою провідністю. Запропоновано структурну схему засобу одночасного вимірювання таких параметрів.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ІМІТАНСНИМ МЕТОДОМ

3.1. Загальні відомості

Імітансний метод (метод імпедансної чи адмітансної спектроскопії) – це один з електричних методів визначення фальсифікованого харчового продукту, як зазначалося у розділі 2, є імітансний метод [40]. Сучасна наукова література наводить величезну кількість досліджень методів та засобів виявлення фальсифікації різноманітної харчової продукції. У цьому розділі аналізу підлягають результати експериментальних досліджень харчової продукції, які проводилися саме імітансним методом. Інформативними параметрами вибрано активну та реактивну складові адмітансу харчового продукту. Для досліджень використано двохелектродний первинний перетворювач різного конструктивного виконання неізольованих електродів, а саме: коаксіальної конструкції для досліджень рідин, плоско паралельної конструкції різної форми електродів – для інших об'єктів. Вимірювання складових адмітансу здійснювалися в частотах 50 Гц – 100 кГц при тестовому сигналі 1 В вимірювачем параметрів імітансу у, відповідно, режимі вимірювання цих складових.

Метою аналізування отриманих результатів експериментальних досліджень імітансним методом окремих харчових продуктів є виявлення загальних ідентифікаційних ознак, характерних змін активних та реактивних складових адмітансу харчової продукції. Це може бути покладено в основу розроблення експрес-методів та засобів виявлення фальсифікованого продукту. Разом з тим, на основі такого аналізування доцільно подати отримані результати у вигляді математичної моделі. Такий підхід дає змогу за результатами математичного моделювання розширити застосування імітансного методу для

ідентифікації різних видів харчової продукції з широким діапазоном зміни її адмітансу (від низькоомних до високоомних об'єктів).

3.2 Аналіз результатів експериментальних досліджень низькоомних об'єктів

3.2.1 Аналіз результатів експериментальних досліджень води

Отримані залежності складових адмітансу від частоти тестового сигналу для різних рівнів концентрації іонів кальцію (різного рівня твердості води) зображено відповідно на рис. 3.1 [41].

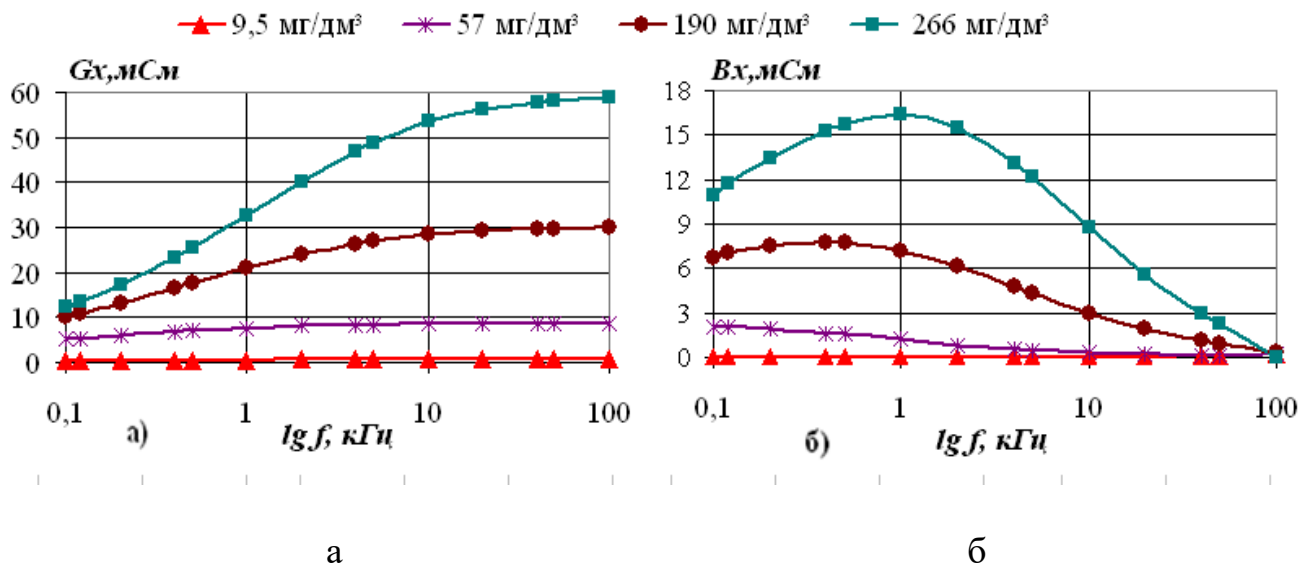


Рисунок 3.1 – Графік залежності активного (а) і реактивного (б) параметрів адмітансу води від значення частоти тестового сигналу за різної концентрації кальцію (Ca^{2+})

Аналіз кривих показує, що активні складові адмітансу наростають із зростанням частоти, а їхні амплітудні значення пропорційні до концентрації. Зростання є стрімкішим на малих частотах, а по мірі зростання частоти таке зростання сповільнюється. Ніяких характерних змін кривої не спостерігається. Однак, крива, що описує реактивну складову адмітансу має екстремальне значення на окремих частотах, при цьому як амплітуда, так і частота пропорційна до концентрації солі у воді.

Для експериментального підтвердження вище зазначеного, досліджувалася вода із різних джерел водопостачання і з різним рівнем твердості. При цьому твердість води визначалася традиційним комплексометричним методом. Один із отриманих результатів зображено на рис.3.2.

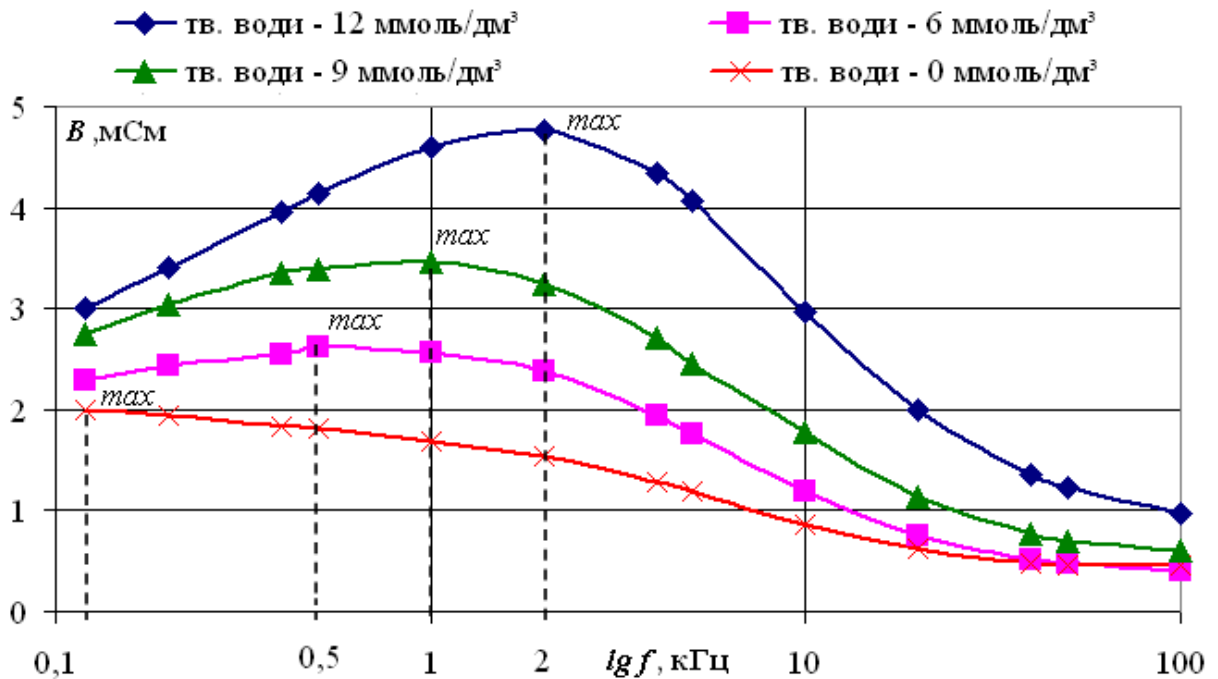


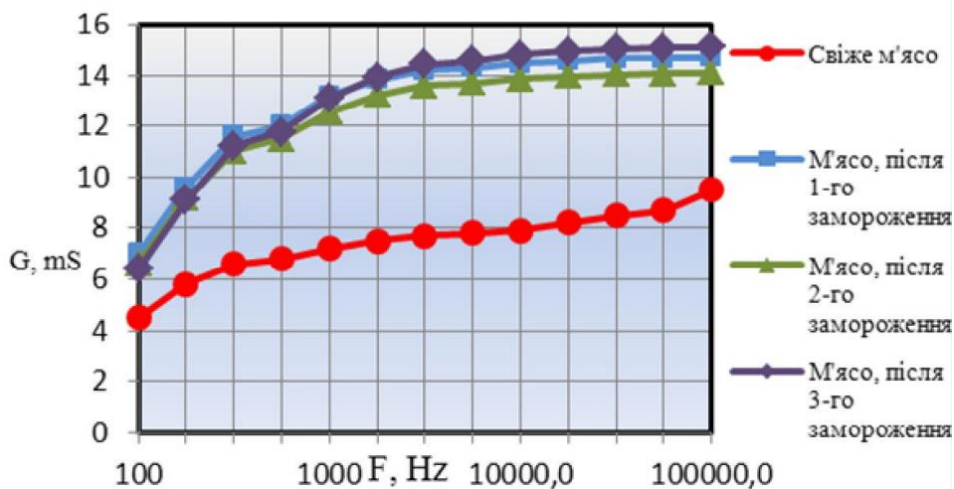
Рисунок 3.2 – Графік дослідження реактивної складової комірки з водою з різним значенням показника твердості у частотному діапазоні 0,12-100 кГц

Аналізуючи графік залежності (рис. 3.2) доходимо до висновку, що обмеживши діапазон частот тестового сигналу можна виявити екстремальні значення для реактивної складової адмітансу в заданому діапазоні значення твердості води. Для води, котра контролюється і позбавлена солей твердості, екстремальні значення реактивної складової відсутні у заданому діапазоні частот - складова знижується від свого максимального значення у самому початку. Але вода зі значенням твердості 6 ммоль/дм³ з вибраною дискретністю частоти має екстремум реактивної складової адмітансу при частоті 0,5 кГц, натомість вода з показником твердості 12 ммоль/дм³ – на частоті 2 кГц.

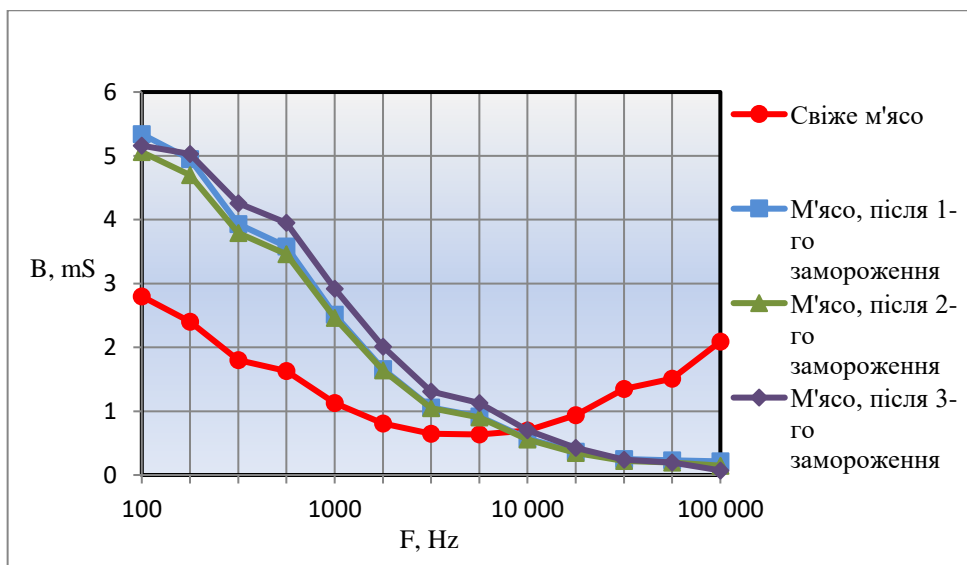
3.2.2 Аналізування результатів експериментальних досліджень харчових продуктів

Дослідження свіжого та розмороженого курячого м'яса. Зазначимо при цьому, що досліджувалися зразки свіжого та розмороженого курячого м'яса з використанням ємнісного сенсора з голчатими електродами.

Результати експериментальних досліджень курячого м'яса [63] адмітансним методом наведені на рис.3.3.



а

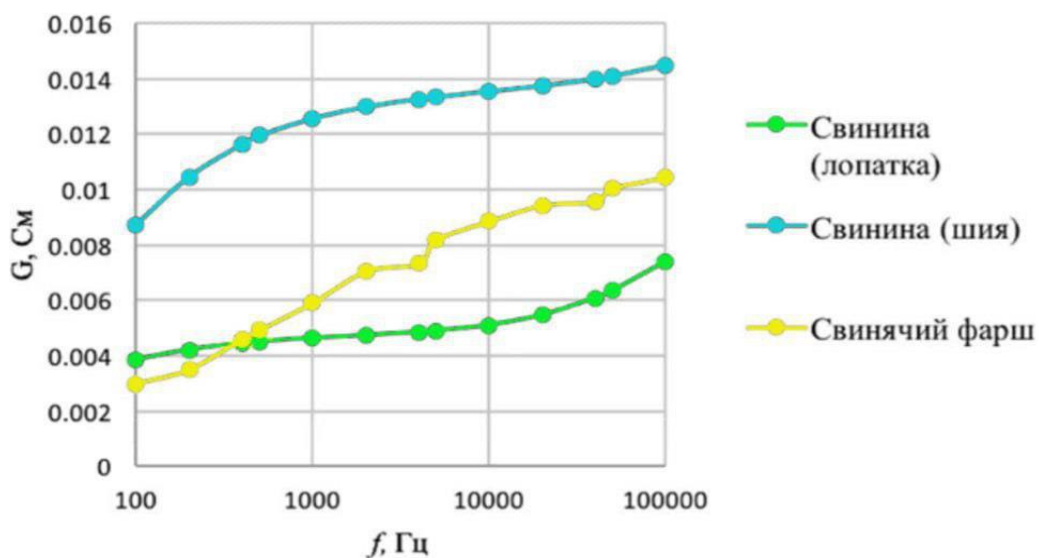


б

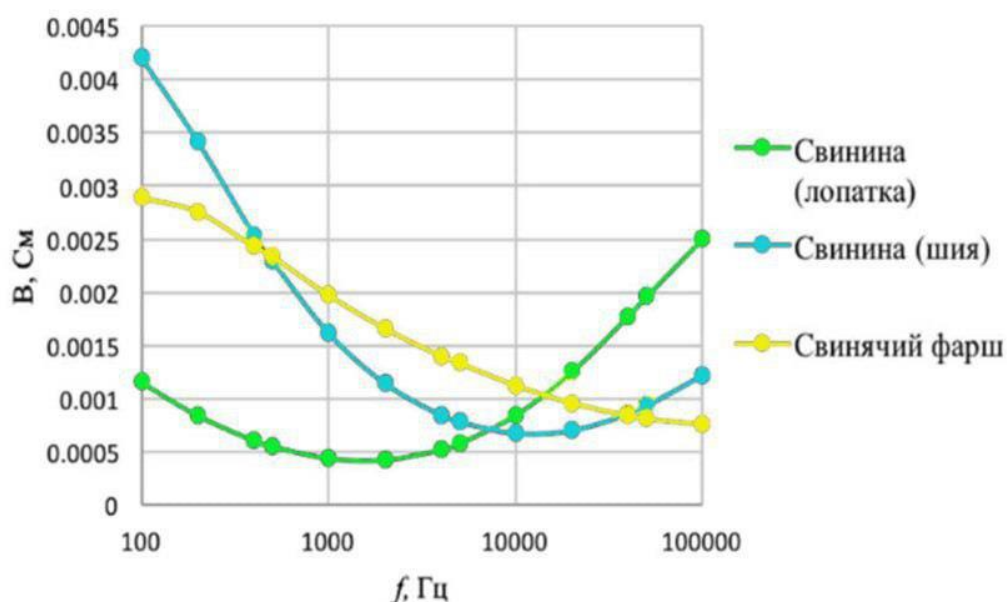
Рисунок 3.3 – Графік дослідження активної (а) та реактивної (б) складових адмітансу для свіжого і розмороженого курячого м'яса від частоти тестового сигналу

Дослідження свинячого м'яса з різних частин туші. Об'єктами дослідження були: свинячі фарш, лопатка та шия.

Отримані результати дослідження наведено на рисунках 3.4 – графіки залежностей активної та реактивної складових від рівня тестового сигналу в межах заданому частотному діапазоні. Результати досліджень наведені на рис.3. [64].



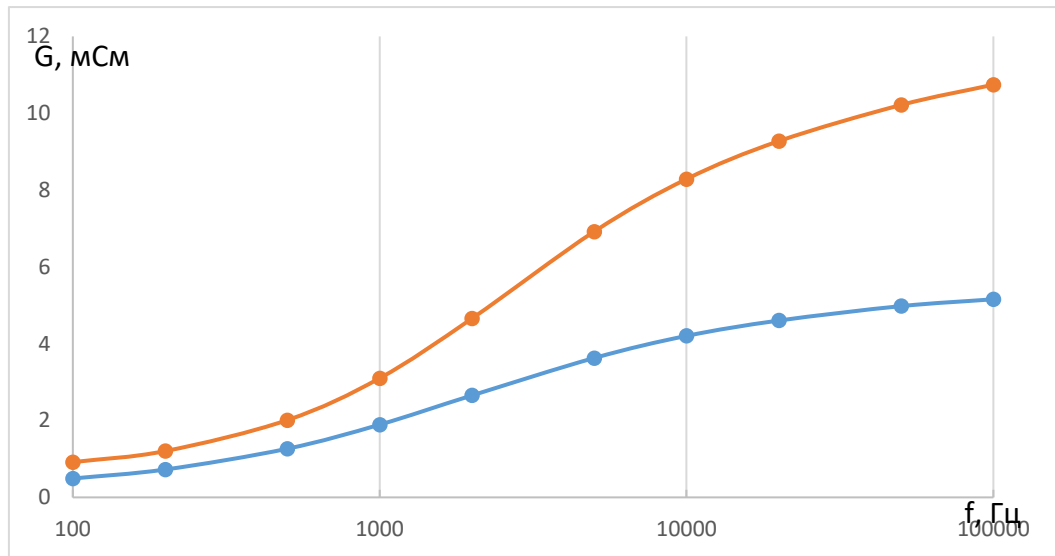
а



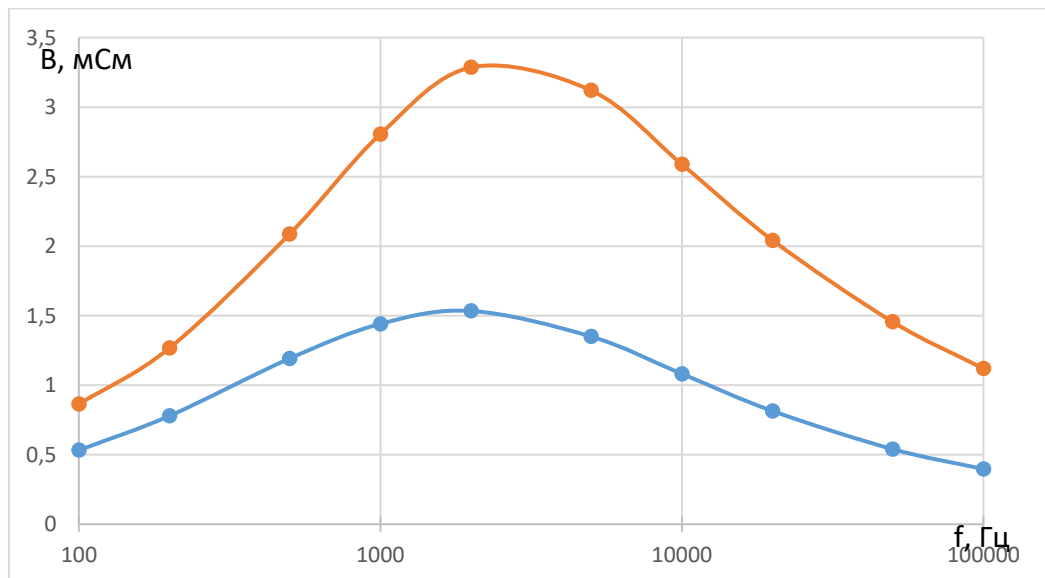
б

Рисунок 3.4 – Графіки залежності активної (а) і реактивної (б) складових трьох різних частин свинячої туші в межах заданого діапазону тестового сигналу

Дослідження свинини та телятини з добавкою та без добавки [65]. Зазначені об'єкти досліджень досліджувалися без добавки та з добавкою (нітрит натрію - 2,5%). При цьому застосовано сенсор плоско паралельної конструкції та вимірювач активної, а також реактивної складових продукту, котрий контролюється. Отримані залежності складових зображені на рисунках 3.5. і 3.6, відповідно.

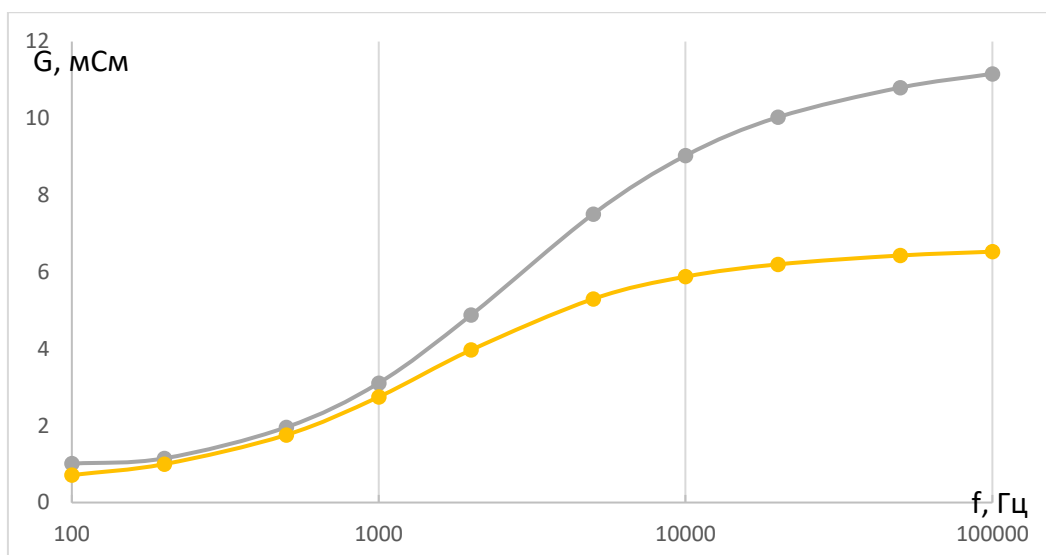


а

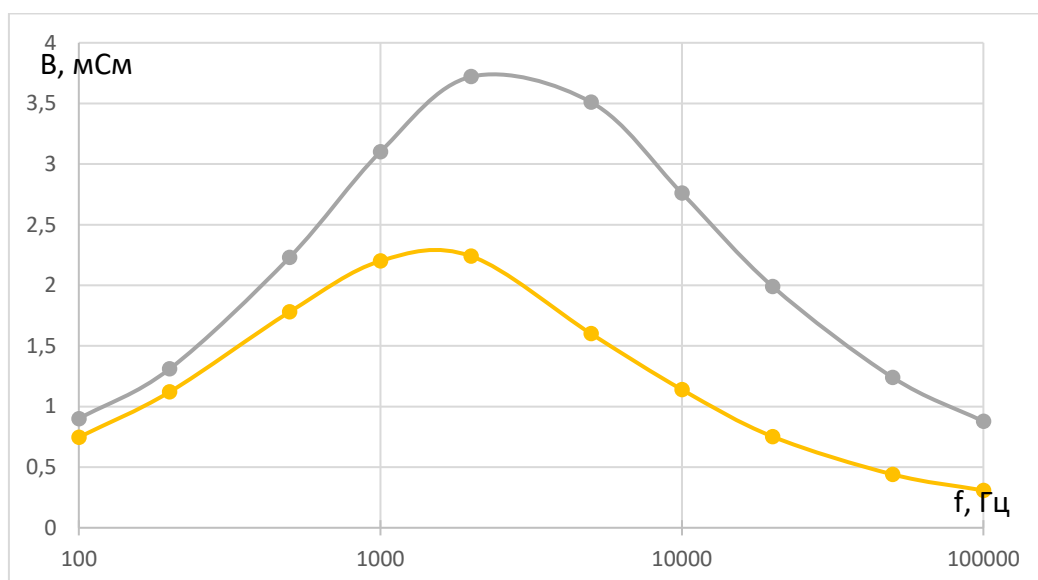


б

Рисунок 3.5 - Залежність активних (а) і реактивних (б) складових адмітансу свинини з добавкою та без добавки (синій)



а

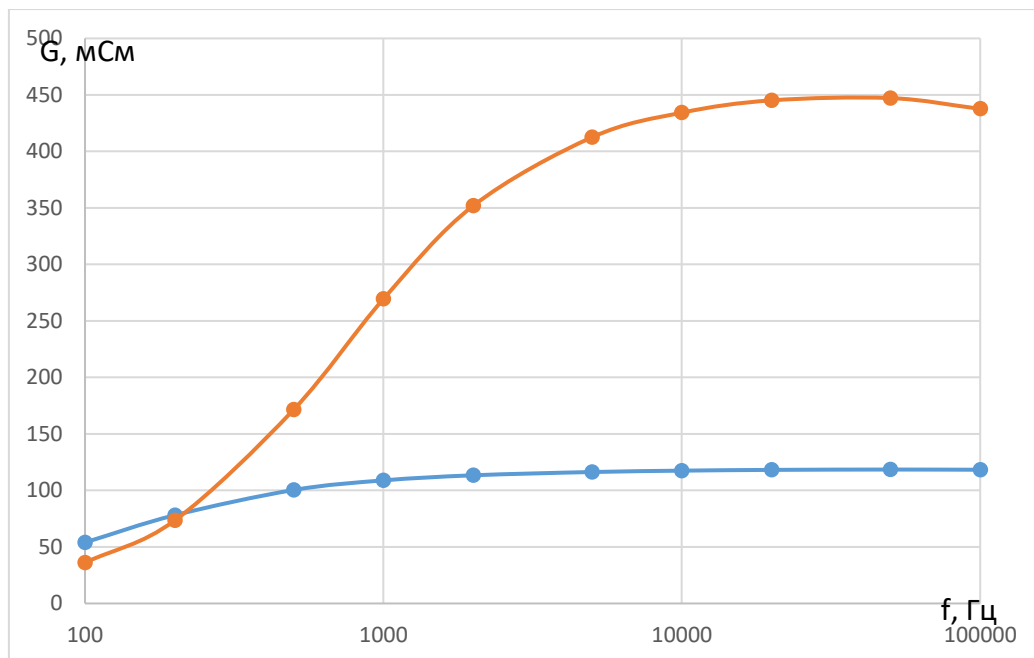


б

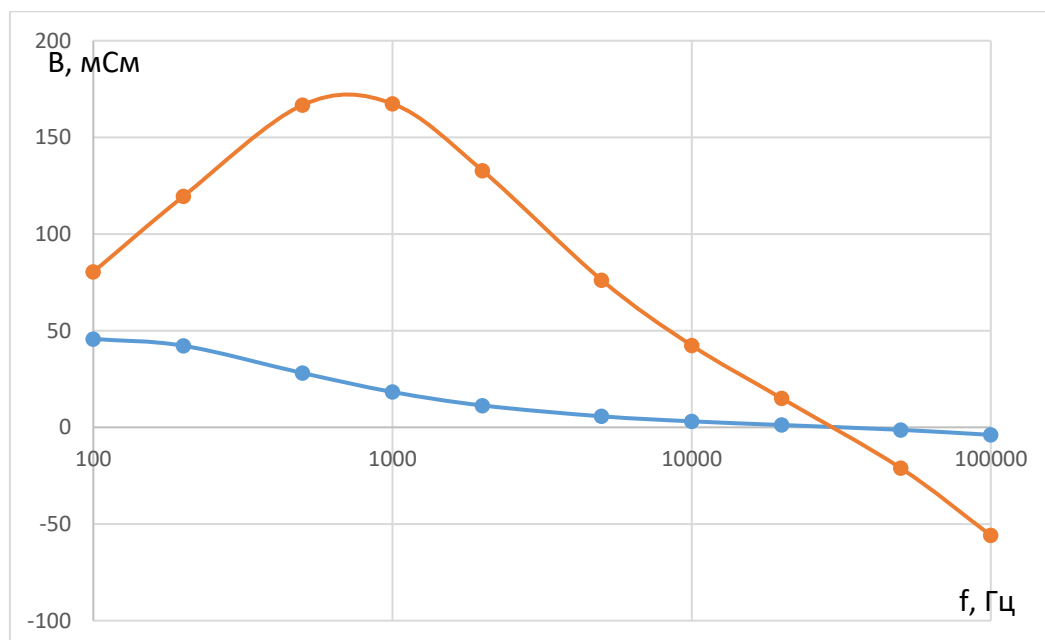
Рисунок 3.6 - Залежність активних (а) та реактивних (б) складових адмітансу телятини з добавкою та без добавки (жовтий)

Дослідження картопляного пюре та апельсинного соку з добавкою та без добавки [53]. Зазначені об'єкти досліджувалися без добавки та з добавкою У621. При цьому застосовано сенсор плоско паралельної конструкції та вимірювач активної та реактивної складових адмітансу контрольованого

продукту. Отримані залежності складових зображені на рис.3.7. та 3.8, відповідно.

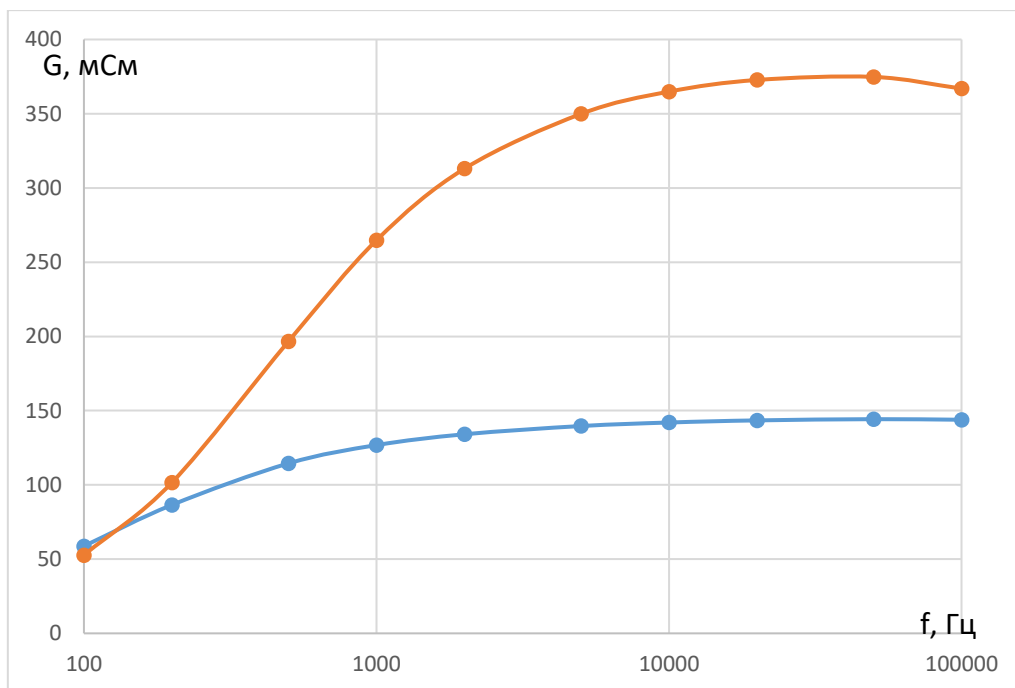


а

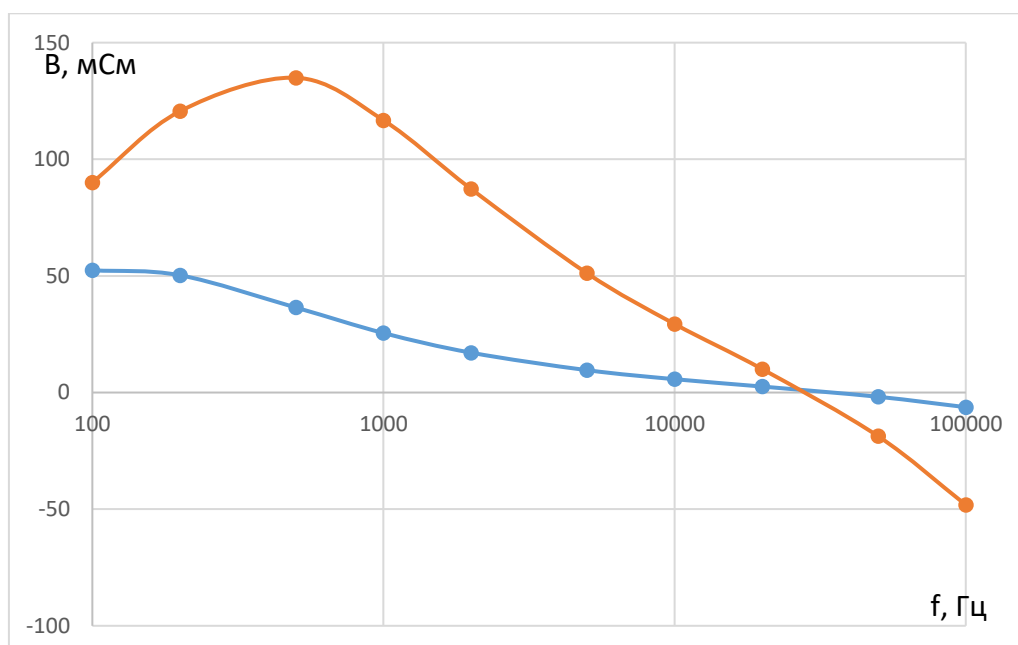


б

Рисунок 3.7 - Залежність активних та реактивних складових адмітансу картопляного пюре з добавкою та без добавки (синій)



а



б

Рисунок 3.8 - Залежність активних (а) та реактивних (б) складових адмітансу соку з добавкою (помаранчевий) та без добавки (синій)

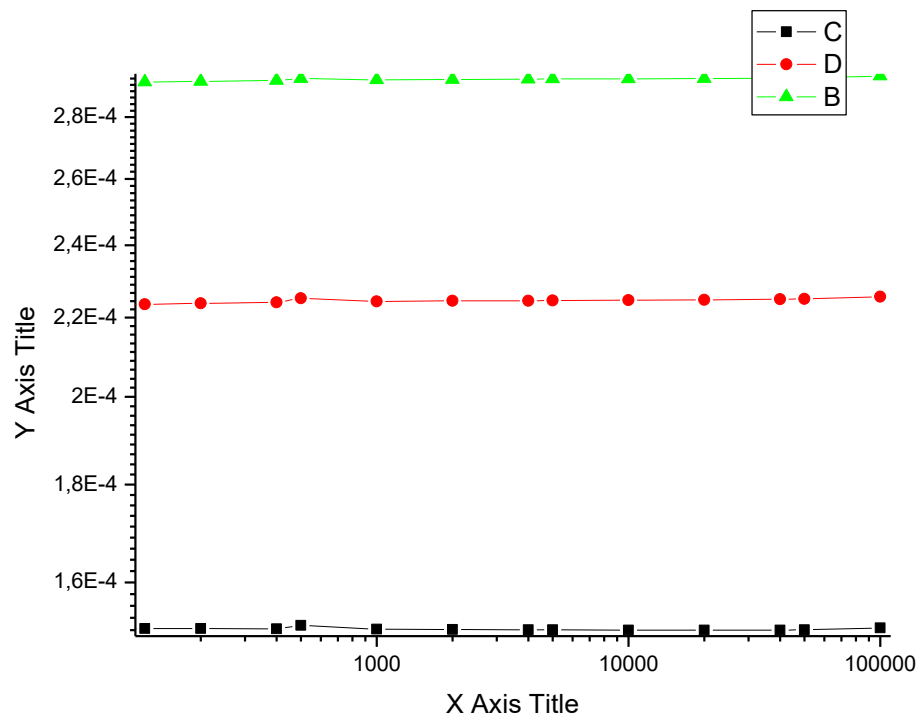
Аналіз залежностей активної та реактивної компонент від частоти тестового сигналу [53] отриманих за результатами експериментальних

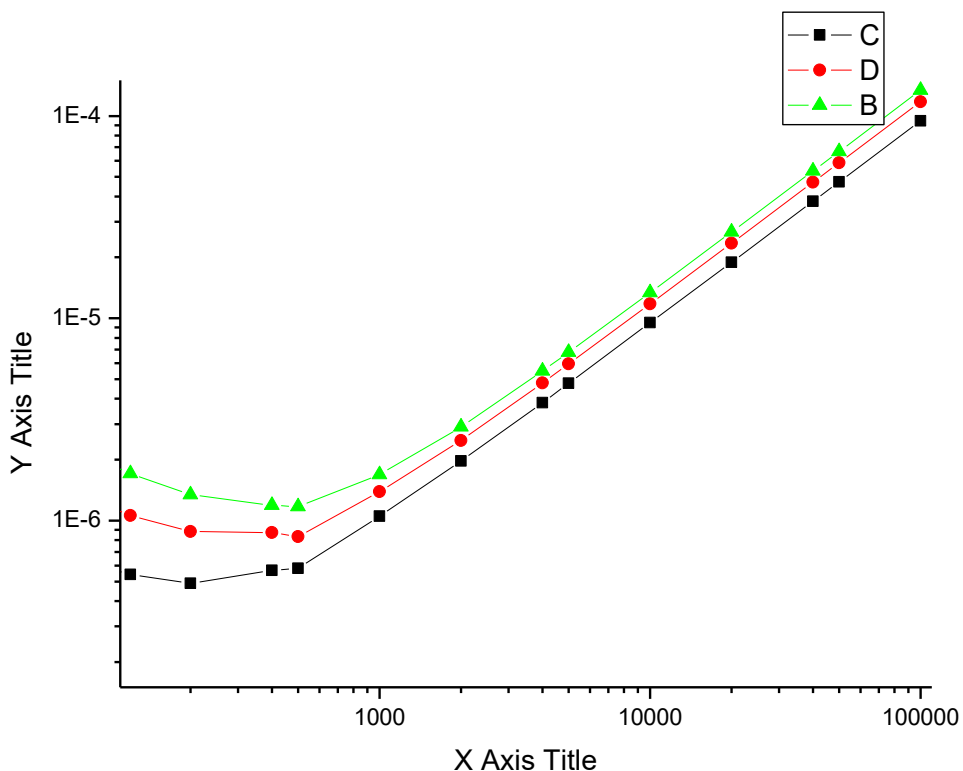
досліджень виявив ознаки ідентифікації добавки в харчовому продукті. Вони ґрунтуються на відмінностях кривих активних та реактивних компонент адмітансів контрольованого та базового зразків (без добавки) як за змінами абсолютних значень, так і за формою кривої. Наведено характерні відмінності кривих, що описують залежності активних та реактивних компонент адмітансу харчових продуктів (рис.3.5 - свинина, 3.6 - телятина, 3.7- картопляне пюре і 3.8 - сік), які і формують ідентифікаційні ознаки виявлення в них зазначених добавок.

3.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень високоомних об'єктів

3.3.1. Результати експериментальних досліджень спиртових розчинів

Отримані результати досліджень спиртових розчинів в графічній інтерпретації наведені на рис. 3.9 [66]. Криві В відповідають концентраціям спирту у водно-спиртовому розчині 50%, криві В – 60%, а криві С – 70%. Для досліджень засовувався сенсор коаксіальної конструкції занурюваного типу.





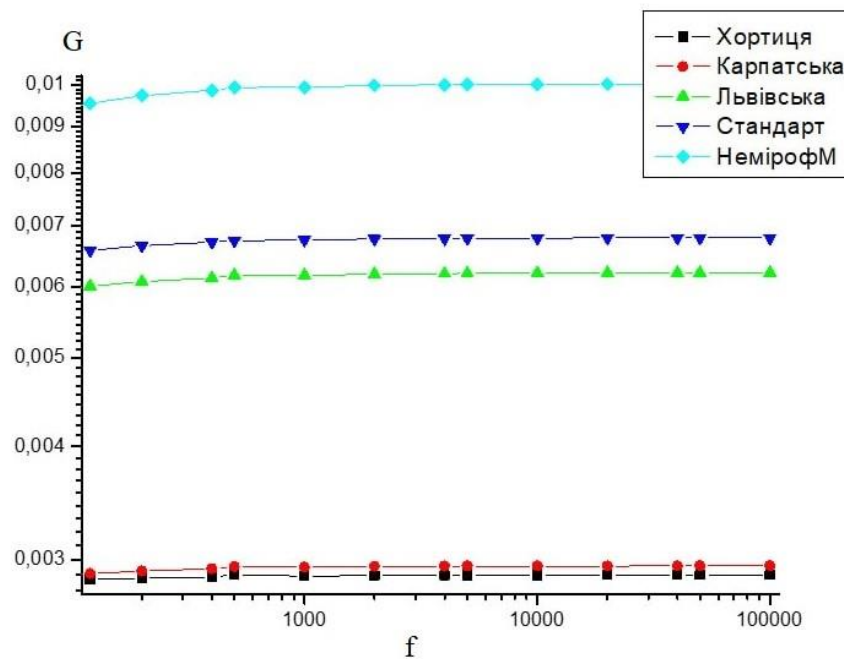
б

Рисунок 3.9 - Залежності активної (а) та реактивної (б) складових спиртового розчину від частоти тестового сигналу

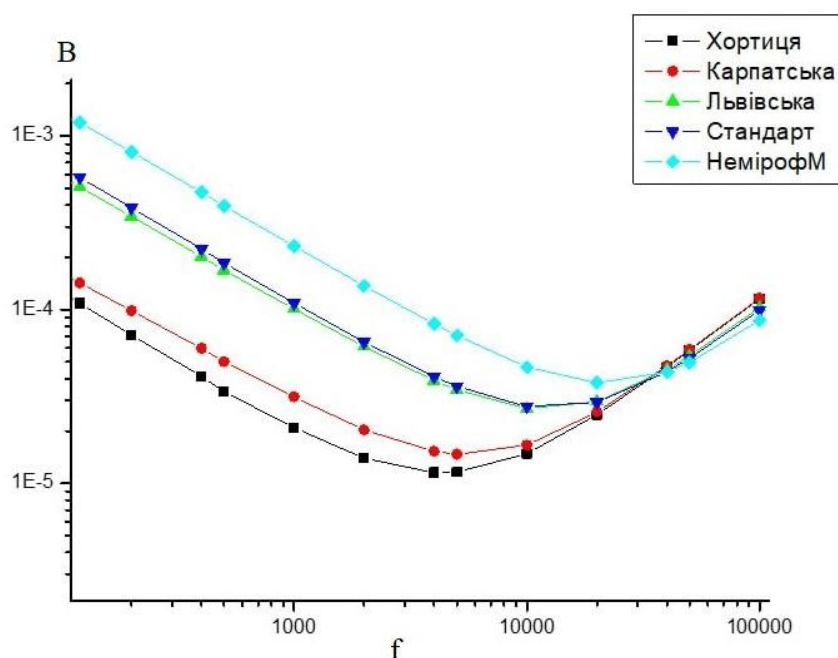
Аналіз кривих (рис 3.9) свідчить про відсутність залежності активної складової у заданому діапазоні від частоти 1 кГц. При цьому меншій концентрації спирту у розчині відповідає більше значення активної складової. У той же час реактивна складова має нелінійну залежність до частоти 1 кГц, а далі спостерігається лінійна залежність до частоти 100 кГц. Залежність реактивної складової від концентрації на фіксованій частоті суттєво менша, ніж в попередньому випадку, однак характер такий же. На основі отриманих експериментальних результатів можна вважати, що схема заміщення об'єкта на частоті понад 1 кГц відповідатиме схемі, за якою здійснюються вимірювання приладом. Нелінійний характер залежностей активної та реактивної складових адмітансу спиртового розчину від частоти до 1кГц пояснюється наявністю ємності подвійного шару на межі електрод-розчин [62].

3.3.2 Результати експериментальних досліджень горілчаних виробів

Результати, які були отримані під час експериментів у графічному вигляді наведені на рисунку 3.10 [67].



а



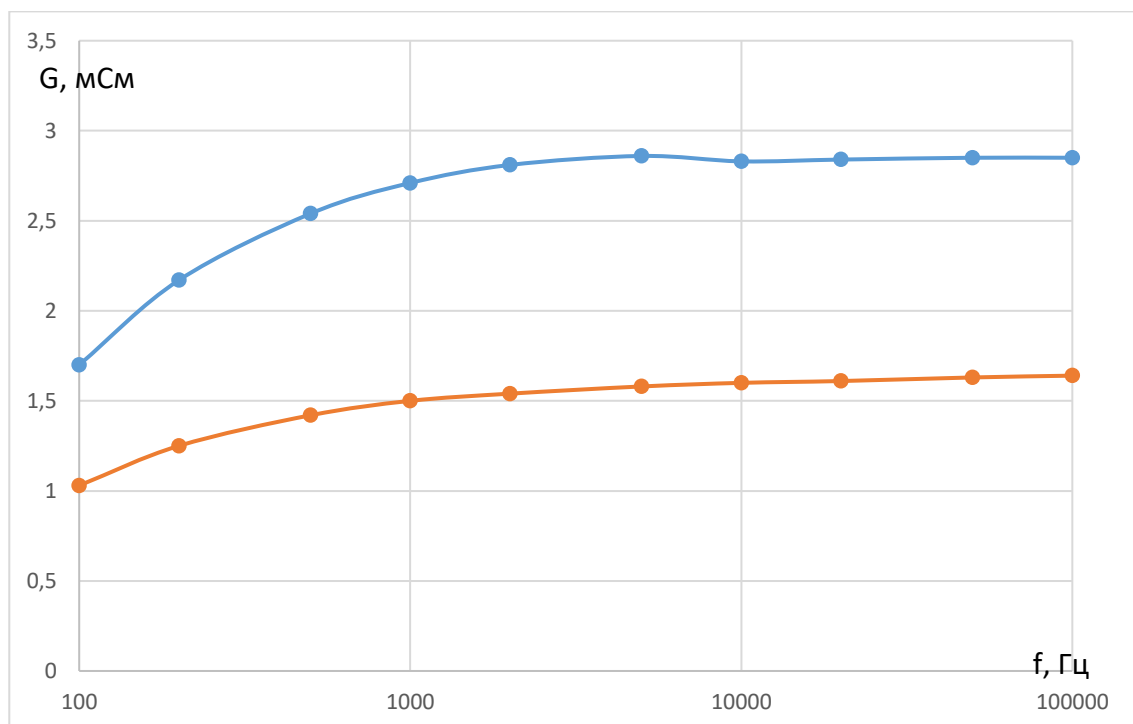
б

Рисунок 3.10 - Залежності активних (а) і реактивних (б) параметрів адмітансів горілчаних виробів марок п'яти видів від частот тестового сигналу.

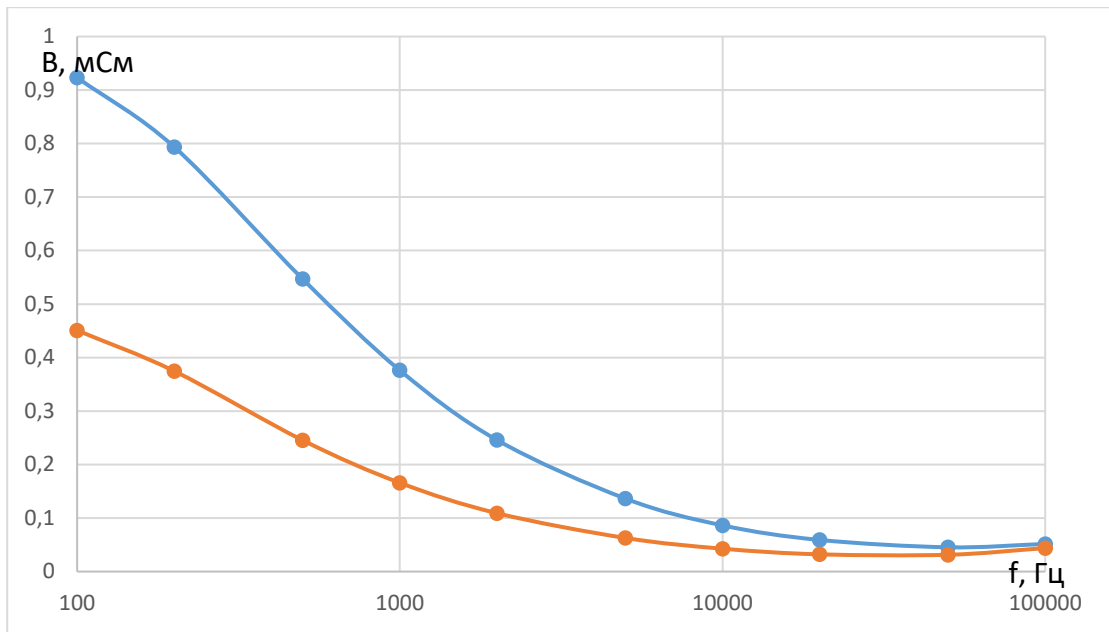
При аналізі результатів (рис. 3.10) експериментів, які були отримані, отримуємо наступне: Характери реактивної складової горілчаних виробів відмінні у тому, що вона складається з лінійних ділянок при початку діапазону і у кінці), а також чітко помітний екстремум, котрий відповідний певній частоті. При тому, що у кожній марки є своя частота, де він проявляє себе. Ідентичні екстремуми можна спостерігати також у розчинах спирту, але значення їх частоти є набагато нижчими, ніж частота оригінальних горілчаних виробів.

3.3.3 Результати експериментальних досліджень соняшникової олії

Дослідження проводилися аналогічно до попередніх з використанням ємнісного сенсора плоско паралельної конструкції. На рисунку 3.11 наведено отримані результати вимірювання активної та реактивної складових.



а



б

Рисунок 3.11 - Залежність активних (а) та реактивних (б) складових адмітансу соняшникової олії дезодорована до (синій графік) і після термічного оброблення (жовтий графік)

Об'єктом дослідження була соняшникова олія дезодорована до і після термічного оброблення тривалістю 7 хв за температури 100° С.

Аналіз реактивної складової показує, що термічне оброблення суттєво знижує на початку частотного діапазону її амплітудне значення, а подальшому різниця амплітудних значень кривих зменшується, а на 100 кГц вони однакові. Причому, очевидним є те, що з подальшим зростанням частоти криві матимуть екстремальне значення. Разом з тим, амплітудні значення активної складової в усьому частотному діапазоні відрізняються, при цьому від 1 кГц така різниця є сталою.

3.4 Ідентифікаційні ознаки амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) складових адмітансу окремих видів харчової продукції

3.4.1 Загальні відомості

Загалом аналіз наведених результатів експериментальних досліджень показав подібний характер залежностей як активної, так і реактивної складових адмітансу різної продукції від частоти тестового сигналу з використанням двоелектродного первинного перетворювача (сенсора) ємнісного типу з неізольованими електродами різного конструктивного виконання. Відомо, що саме такого роду сенсори породжують приелектродні ефекти, зумовлені зокрема ємністю подвійного шару [68]. Така ємність, переважно, псує результати як кондуктометричних вимірювань на постійному струмі, так і вимірювань параметрів адмітансу на змінному струмі. Тому для вилучення такого впливу на результат вимірювань традиційно використовують відомі чотириелектродні комірки (сенсори) або здійснюють вимірювання на вищих частотах [68]. У такому разі отриманий результат вимірювання пропорційно залежить від інформативних параметрів об'єкта контролю і не залежить від ємності подвійного шару. Відповідно до адмітансного методу контролю якості [40] якщо об'єкт контролю подається багатоелементним двополюсником, то його електричними параметрами будуть паралельно з'єднані еквівалентні ємність та активна провідність, а як інформативні параметри отримаємо активну та реактивну складові адмітансу. Для сталих значень ємності та провідності контрольованого об'єкта відповідного рівня якості матимемо лінійну залежність реактивної складової від частоти, а провідність не залежить від частоти. В широкому частотному діапазоні можливі нелінійності на вищих частотах, але ніяких характерних змін кривої немає. Інформативним параметром контролю якості є зміна амплітудних значень від зміни структури об'єкта контролю.

Оскільки у нашому випадку використовується двоелектродний сенсор з неізольованими електродами, то приелектродна ємність безпосередньо впливає на результат вимірювання у зазначеному частотному діапазоні. Це підтверджено

результатами експериментальних досліджень, що наведені вище. Причому вплив ємності подвійного шару залежить від площі електродів, оскільки вона від неї залежить, а також від значення діелектричної проникності продукту. Як показують результати досліджень характерні зміни складових адмітансу спостерігаються в усьому діапазоні частот. При цьому характерним для активної складової є зміна амплітуди, а для реактивної - амплітуди і форми кривої реактивної складової у певному частотному діапазоні. Окремо розглянемо характерні відмінності АЧХ активних та реактивних складових адмітансів кожного дослідженого харчового продукту.

3.4.2 Ідентифікаційні ознаки активної та реактивної складових

Зауважимо при цьому, що експериментальним дослідженням піддавалися зразки продукції, які відрізнялися між собою в межах одого виду різними рівнями якості чи різними чинниками фальсифікації. Для експериментальних досліджень використовувалися перетворювачі «об'єкт-адмітанс» різного конструктивного виконання чутливого елемента (ємнісного сенсора). Для виявлення загальних ознак, за якими можна ідентифікувати будь-яку харчову продукцію, проаналізуємо характер складових у частотному діапазоні для двох випадків досліджень.

1. Порівняємо результати вимірювання складових різних продуктів з використанням одного і того ж сенсора, а саме: води (рис.3.1 та 3.2), як низькоомного об'єкта горілки (3.10), як високоомного об'єкта.

2. Порівняємо результати вимірювання складових одного виду продукта з використанням сенсорів різного конструктивного виконання. Для цього розглянемо результати дослідження м'яса (рис. 3.3, 3.4 - голчаті електроди) та (рис. 3.5, 3.6 - плоскопаралельної конструкції).

За результатами порівняння за п.1 виявлено, що екстремальне значення реактивної складової адмітансу води є максимальним, а для горілки – мінімальним. Відповідно до цього отримуємо різні частоти, на яких такі значення

спостерігаються і при цьому вони суттєво відрізняються. Пояснюється це тим, що низькоомні об'єкти мають більше значення діелектричної проникності, а високоомні – менші. Це призводить, як зазначалося вище, до пропорційної зміни ємності подвійного шару i , відповідно, до зміни частоти екстремального значення.

За результатами порівняння за п.2 вивлено, що використання електродів з різною площею призводить також до зміни екстремального значення, а саме: для електродів меншої площі реактивна складова має мінімальне значення, а для електродів з більшою площею така складова має максимальне значення. Частота відповідає екстремальному значенню аналогічно до попереднього випадку.

Ідентифікаційні ознаки активної складової адмітансу. Активна складова змінюється переважно за амплітудними значеннями відповідно до рівня якості продукції чи її фальсифікації. При цьому активна складова адмітансу низькоомних об'єктів змінює амплітудне значення пропорційно до інформативного параметра продукту (концентрація, твердість води тощо) на початку діапазону та із зменшенням приросту цього значення до кінця діапазону частот. При цьому діапазон частот нелінійних змін досить широкий. Разом з тим, для високомних об'єктів (спиртовий розчин, горілка) діапазон нелінійних змін амплітуди активної складової вузький (до 1 кГц), а далі активна складова практично не залежить від частоти. Однак, абсолютні зміни амплітудної складової на таких частотах сильно залежать від концентрації, від марки горілки, від вмісту добавки у наведених продуктах, розмороженого та свіжого м'яса. Саме на цих частотах зміна активної складової за амплітудою буде ідентифікаційною ознакою.

Ідентифікаційні ознаки реактивної складової адмітансу. Аналіз змін реактивної складової всіх досліджених об'єктів показав, що складова має екстремальне значення на окремих частотах різного частотного діапазону. При цьому виявлено, що реактивна складова для низькоомних об'єктів має максимальне значення низькочастотного діапазону дослідження. Результати

дослідження високоомних об'єктів показують, що реактивна складова має мінімальне значення на вищих частотах. Пояснюється це тим, що збільшується ємність подвійного шару через збільшення діелектричної проникності низькоомного об'єкта і зменшується тим самим для об'єктів високоомних об'єктів. Такі характерні зміни реактивної складової можуть служити ідентифікаційною ознакою. Окрім цього, необхідно зазначити, що сказане стосується результатів дослідження при застосуванні сенсора з однаковими конструктивними параметрами, особливо площею електродів, оскільки, як зазначалося вище, тим визначається ємність подвійного шару. Відповідно, дослідження одного виду продукту з електродами різної площі призводить зміщення частоти екстремального значення. Для меншого значення ємності частота збільшується, а для більшого-зменшується. З урахуванням проаналізованого можна залежність реактивної складової адмітансу для різних об'єктів ідентифікації в широкому частотному можна подати кривою, зображеною на рис. 3.12. Як видно з рисунка крива, що описує реактивну складову адмітансу в частотному діапазоні має два зазначені вище екстремальні значення B_1 на частоті f_2 та B_2 на частоті f_3 .

Узагальнена крива охоплює характерні зміни реактивних складових адмітансу харчової продукції різного рівня провідності в досліджуваному частотному діапазоні f_1 - f_4 .

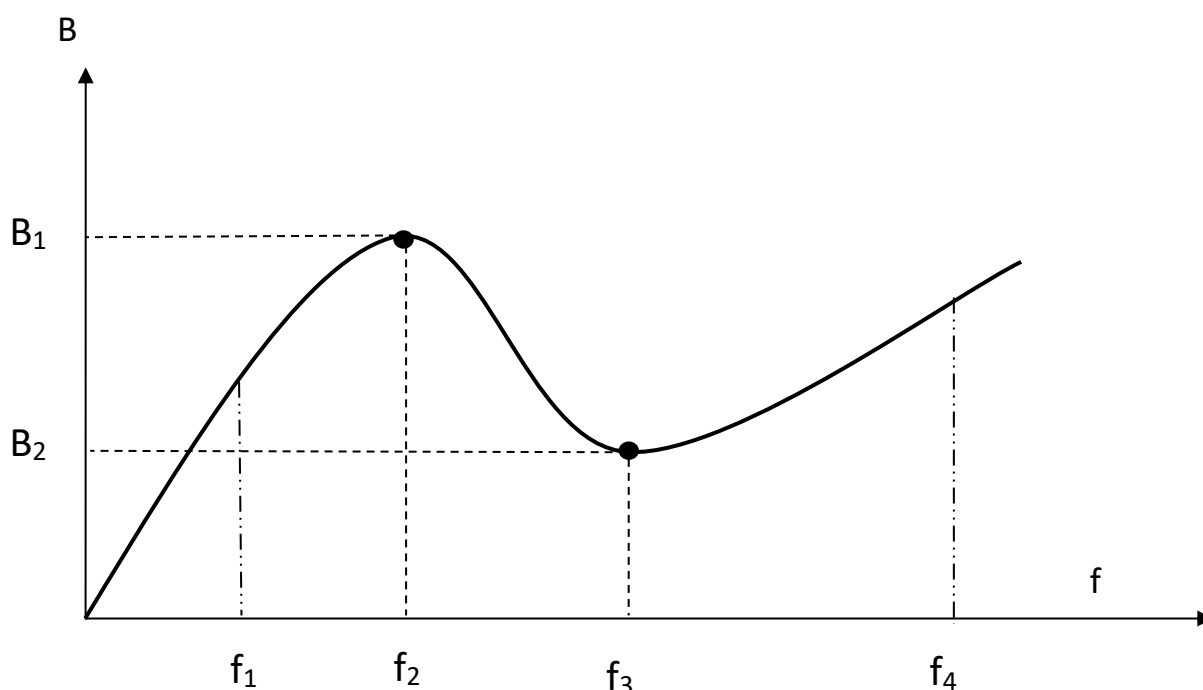


Рисунок 3.12 – Узагальнена крива, що описує залежність реактивної складової від частоти

3.5. Електрична та математична моделі двоелектродного перетворювача з неізолюваними електродами

Електрична та математична моделі перетворювача ґрунтуються на результатах експериментальних досліджень різного виду харчових продуктів з різним рівнем електропровідності та з використанням сенсорів різного конструктивного виконання. Для цього скористаємося результатами досліджень модельних розчинів з різним вмістом спирту у дистильованій воді (рис. 3.9) через їхню простоту реалізації експериментальних досліджень.

Аналіз отриманих за результатами експериментальних досліджень графічних залежностей активної та реактивної складових адмітансу показує, що активна складова практично не залежить у вказаному діапазоні від частоти тестового сигналу. Амплітудний рівень складової пропорційний до концентрації спиртового розчину. Разом з тим, реактивна складова містить нелінійну складову

до 1 кГц (рис. 3.9б), причому криві мають явно виражені екстремальні значення на різних частотах відповідно до концентрації розчину. На частотах вище 1 кГц залежність реактивної складової від частоти є лінійною і також залежить від концентрації розчину. Такими змінами активної та реактивної складових адмітансу спиртового розчину підтверджується [69], що схема заміщення контрольованого об'єкта на частотах понад 1 кГц є двоелементною з паралельним з'єднанням еквівалентних ємності та опору. Оскільки об'єкт дослідження поміщений у між електродний простір сенсора, то послідовно до такої схеми додаються ємності подвійного шару кожного електроду. Впливом на результат вимірювання іншого виду імпедансів, як зазначено в [70] у такому діапазоні частот можна нехтувати.

Наведені електрична та математична моделі активної та реактивної складових адмітансу [69] враховують ємність подвійного шару тільки одного електрода. Такі математичні моделі описують перетворювач з неізольованими електродами однакової площі. Її не можна застосувати безпосередньо для моделювання складових адмітансу з використанням сенсорів з різною площею, які широко використовуються також для контролю якості об'єктів неелектричної імпедансним методом. Тому доцільним є уточнення математичної моделі з можливістю її використання для сенсорів різного конструктивного виконання, зокрема коаксіальної конструкції. Для сенсорів з коаксіальною конструкцією площа електродів відрізняється і залежна від електродних діаметрів і їх довжини, через що відношення площ та ємностей подвійного шару є пропорційним співвідношенню діаметрів електродів такого перетворювача. При цьому значення ємності подвійного шару пропорційна площі кожного електрода, які можуть суттєво відрізнятися за діаметрами.

З урахуванням зазначеного можна для подальших досліджень використовувати спрощену електричну модель контактного (з неізольованими електродами) первинного перетворювача [69], яка зображена на рис. 3.13, де C_x та R_x - еквівалентні ємність та опір контрольованого об'єкта; C_1 , C_2 - ємності

подвійного шару першого та другого електродів первинного перетворювача, які пропорційні їхнім площам відповідно.

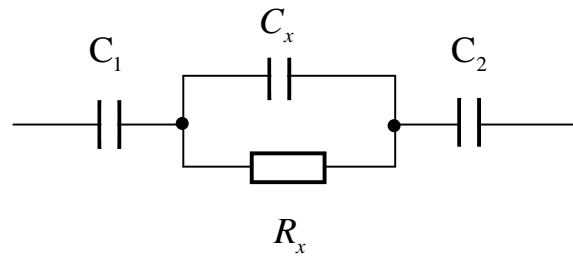


Рисунок 3.13 - Спрощена схема заміщення ємнісного сенсора з неізольованими електродами

Загальна ємність C_p подвійного шару для послідовного з'єднання C_1 та C_2 (рис.3.13) визначається за відомою формулою

$$C_p = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}. \quad (3.1)$$

Математична модель відповідно до електричної моделі (рис. 3.13) в частотному діапазоні описується імпедансом

$$Z = \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + \frac{R_x}{1 + j\omega C_x R_x} \quad (3.2)$$

З рівняння (3.2) з урахуванням (3.1) для активної $\text{Re}(Y)$ та реактивної $\text{Im}(Y)$ складових адмітансу отримаємо математичні моделі активних та реактивних складових адмітансу

$$\text{Re}(Y) = G_x \frac{1}{1 + \left(G_x \frac{C_1 + C_2}{\omega C_1 C_2} \right)^2} \quad (3.3)$$

$$\text{Im}(Y) = \omega \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{G_x} \frac{\omega C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)^2} + \omega C_x \cdot \frac{1}{1 + \left(G_x \frac{C_1 + C_2}{\omega C_1 C_2} \right)^2} \quad (3.4)$$

У виразах (3.3) та (3.4) позначимо $\omega \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = B_p$, як реактивність утворена ємністю подвійного шару двох різної площі електродів, а також $\omega C_x = B_x$, як реактивність, утворена ємністю електричної моделі об'єкта дослідження і отримаємо спрощені для аналізування математичні моделі активної, а також реактивної складових:

$$\operatorname{Re}(Y) = G_x \frac{1}{1 + \left(\frac{G_x}{B_p}\right)^2} \quad (3.5)$$

$$\operatorname{Im}(Y) = B_p \frac{1}{1 + \left(\frac{B_p}{G_x}\right)^2} + B_x \frac{1}{1 + \left(\frac{G_x}{B_p}\right)^2} \quad (3.6)$$

Проаналізуємо отримані залежності (3.5) і (3.6) складових у діапазоні частот, враховуючи при цьому що зазначені вище реактивності B_p та B_x прямо пропорційні частоті тестового сигналу.

З виразів очевидно, що характер залежностей залежить від відношення активної провідності G_x контрольованого об'єкта, а також реактивної провідності B_p , утвореної ємністю подвійного шару. Вплив на реактивну складову (3.6) такого співвідношення обернений. Як видно з виразу (3.5) розширення діапазону частот у сторону зменшення визначається співвідношенням $\frac{G_x}{B_p}$. Амплітудний рівень активної складової адмітансу

пропорційний інформативному параметру G_x . На низьких частотах залежність активної складової нелінійна, а діапазон частот, у якому є така не лінійність, визначається співвідношенням $\frac{G_x}{B_p}$. Проаналізуємо вирази (3.5) та (3.6) за

крайніх умов, а саме за умов співвідношення $\frac{G_x}{B_p}$ з одиницею.

Якщо $\left(\frac{G_x}{B_p}\right)^2 \gg 1$, а відповідно матимемо $\left(\frac{B_p}{G_x}\right)^2 \ll 1$, отримуємо наступні

вирази:

$$\operatorname{Re}(Y) = \frac{B_p^2}{G_x} \quad (3.11)$$

$$\operatorname{Im}(Y) = B_p + B_x \frac{B_p^2}{G_x^2} \quad (3.12)$$

Ця умова досягається за рахунок низької частоти і високої провідності за сталого значення ємності подвійного шару. При такій умові, виходячи з виразів (3.11) та (3.12), значення активної складової пропорційне квадрату частоти та обернено пропорційне до активної провідності. За цих же умов реактивність (3.12) визначається сумою складових, які різним чином залежні від частоти: коли перша зростає зростає лінійно з частотою, тоді інша - нелінійна зі зростанням значення частоти. Тоді отримуємо нелінійність реактивної складової на низьких значеннях частот, бо друга є переважаючою над першою. Далі зі збільшенням частоти вплив другої складової зростає скоріше [69]. Тим самим формується перше екстремальне значення реактивної складової адмітансу. Підтверджується це результатами експериментальних досліджень, зокрема рис.3.2, 3.8б та ін.

Якщо в (3.5) і (3.6) виконати умову $\left(\frac{G_x}{B_p}\right)^2 \ll 1$, відповідно $\left(\frac{B_p}{G_x}\right)^2 \gg 1$,

тоді зазначені параметри виглядатимуть наступним чином:

$$\operatorname{Re}(Y) = G_x, \quad (3.7)$$

$$\operatorname{Im}(Y) = \frac{G_x^2}{B_p} + B_x. \quad (3.8)$$

Досягається ця умова за рахунок високої частоти тестового сигналу і низької активної провідності за сталого значення ємності подвійного шару для обраного виду первинного сенсора. При цій умові маємо незалежну активну складову (3.7) адмітансу об'єкту контролю від ємності подвійного шару в заданому діапазоні

частот, що підтверджено результатами експериментальних досліджень (наприклад, рис. 3.9а, 3.10а) . При цих же умовах реактивна компонента (3.8) рівня сумі складових, котрі різним чином залежні від частоти: коли перша складова ($\frac{G_x^2}{B_p}$) при зростанні частоти зменшується нелінійним чином, друга (B_x) складова при зростанні значення частоти зростає лінійно. Так можна пояснити нелінійність реактивної компоненти на низьких значеннях частоти, тому що переважає перша компонента переважає другу. В подальшому при зростанні частоти друга компонента, а саме реактивна складова об'єкта визначає характер зміни складової. Тим самим пояснюється формування другого екстремального значення реактивної складової, що також підтверджено результатами експериментальних досліджень (наприклад, рис.3.10б та 3.11б).

На основі аналізу математичних моделей за крайніх умов та аналіз частотної залежності реактивної складової можна зробити висновок, що крива, що її описує має два екстремальні значення у частотному діапазоні. На початку діапазону реактивна складова зростає до екстремального (максимального) значення, а потім спадає до екстремального (мінімального) значення [69]. Визначається це також окрім частоти активною електропровідністю об'єкта.

Отже, зазначеним вище підтверджено адекватність результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. За аналізом результатів експериментальних досліджень виявлені ідентифікаційні ознаки амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) складових адмітансу окремих видів харчової продукції. При цьому виявлено, що реактивна складова для низькоомних об'єктів має максимальне значення низькочастотного діапазону дослідження. Результати дослідження високоомних об'єктів показують, що реактивна складова має мінімальне значення на вищих частотах. Окрім цього, необхідно зазначити, що сказане стосується результатів дослідження при застосуванні сенсора з однаковими конструктивними параметрами.

2. Виявлено за результатами дослідження одного виду продукту з електродами різної площі зміщення частоти екстремального значення. Аналогічне зміщення спостерігається також за результатами вимірювання реактивної складової адмітансу різного роду продукції з використанням сенсора з однією площею електродів.

3. За результатами експериментальних досліджень отримано узагальнену криву, що охоплює характерні зміни реактивних складових адмітансу харчової продукції різного рівня провідності в досліджуваному частотному діапазоні.

4. Розроблено та проаналізовано математичну модель за електричною схемою заміщення імітансного перетворювача з різною площею електродів. Реактивна складова адмітансу визначається сумою складових, які по-різному залежать від частоти, а саме: якщо перша із зростанням частоти зростає лінійно, то інша зростає нелінійно із зростанням частоти.

5. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень та математичної моделі реактивної складової доведена їхня адекватність

РОЗДІЛ 4

СПОСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКЦІЇ ЗА ПАРАМЕТРАМИ АДМІТАНСУ

4.1 Загальні відомості

В розділі на основі ідентифікаційних ознак, наведених у третьому розділі, пропонуються способи виявлення фальсифікованої продукції та ідентифікації продукції з різними добавками. Запропоновано способи виявлення підробленої горілки за зміною реактивної складової в частотному діапазоні тестового синусоїдального сигналу. На двох найбільш поширених видах фальсифікацій акцентована увага. Перший - фальсифікація заміною горілчаного виробу на водно-спиртовий розчин. Другий – невідповідність марки горілки (заміна оригінальної маркою іншої). На основі аналізу результатів експериментальних досліджень запропоновано два способи ідентифікації такої фальсифікації. Для першого виду фальсифікації перевірка відбувається шляхом вимірювання реактивної компоненти адмітансу контрольованого об'єкта на двох фіксованих частотах; для другого підмінена марка горілки визначається вимірюванням частоти, на якій реактивна компонента адмітансу приймає екстремальне значення. Для обох способів ідентифікації запропоновані та подані у рисунках структури засобів з допомогою яких може відбуватися практична реалізація цих способів. У засобах ідентифікації використано перетворювач адмітансу контрольованого об'єкта на комплексну напругу, інформативним параметром якої є її реактивна компонента. Переважно ознаками ідентифікації горілчаних виробів є діелектрична проникність, питома провідність, а також абсолютні значення реактивної та активної компонент [43, 59], які, відповідно, від них залежать. Відомо, що на зміну таких параметрів впливають кліматичні та інші фактори. Отримані в роботі результати відрізняються від відомих у літературі [42, 43, 59, 71] тим, що як ідентифікаційну ознаку контролю якості горілчаних виробів пропонується використати форму кривої. Крива описує залежність реактивної компоненти адмітансу контрольованого об'єкту в широкому

частотному діапазоні. Крива має характерні ознаки в певному частотному діапазоні відповідно до виду фальсифікації об'єкта. В одному випадку - це екстремальні значення реактивних компонент на частотах різних частотних діапазонів (водно-спиртовий розчин та оригінальна горілка). В іншому – екстремальні значення реактивних компонент на різних частотах одного діапазону (різні марки оригінальної горілки).

Аналогічно розглядаються способи ідентифікації продукції з добавкою та без добавки. У даному разі базовим зразком вибирається продукція без добавки, а контрольований зразок з добавкою.

Використання форми кривої, як базового зразка, зменшує вплив різних факторів на результат ідентифікації.

4.2 Способи та засоби ідентифікації фальсифікованої горілки

4.2.1 Ідентифікація фальсифікованої горілки заміною водно-спиртовим розчином

На основі аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень (рис. 3.4) наведено ілюстрацію реалізації способів фальсифікації горілки. Ілюстрація способу виявлення фальсифікованої горілки водно-спиртовим розчином [72, 73] наведена на рис. 4.1. На рисунку зображені залежності реактивної компоненти адмітансу водно-спиртового розчину (крива С) та оригінальної горілки (крива D) . Як видно з рис. 4.1 криві С і D суттєво відрізняються частотами f_{0A} та f_{0B} , на яких вони мають екстремальні значення. При цьому для кривої С реактивна компонента в діапазоні частот $f_{0A} - f_{0B}$ має наростаючих характер із зростанням частоти. Реактивна компонента для кривої В у цьому ж діапазоні із зростанням частоти спадає. У зазначеному частотному діапазоні необхідно вибрати частоти, на яких значення кривої А зростає, а кривої

В спадає. Це можна вважати ідентифікаційною ознакою виявлення фальсифікованої горілки через заміну її розбавленим спиртом.

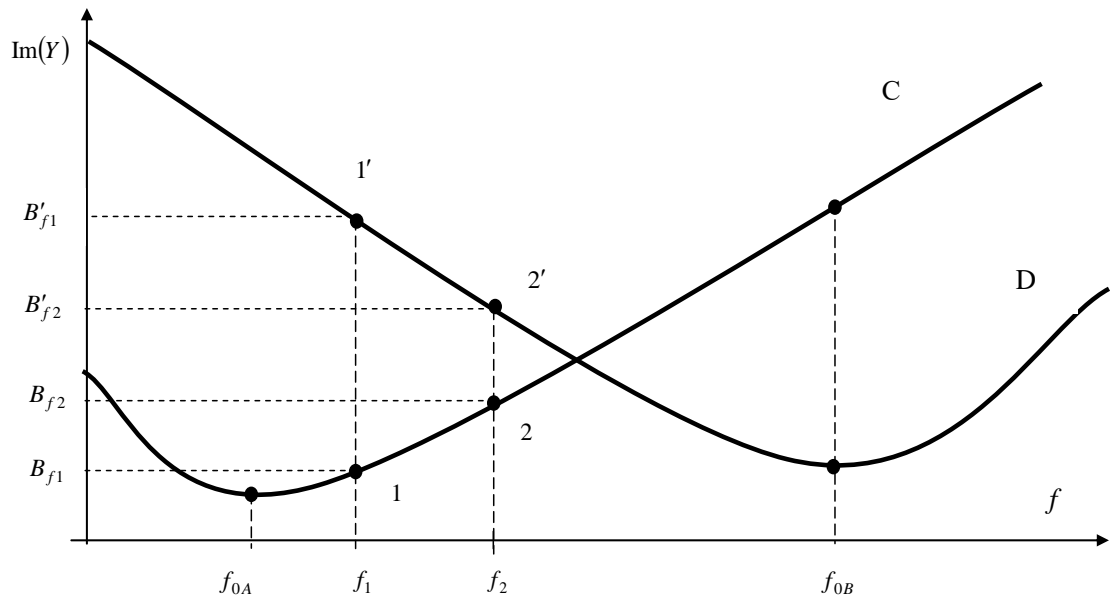


Рисунок 4.1 - Ілюстрація способу виявлення фальсифікованої горілки водно-спиртовим розчином

Для ідентифікації такого водно-спиртового розчину (фальсифікована горілка) достатньо виміряти реактивну компоненту $\text{Im}(Y)$ адмітансу контрольованого об'єкта на двох фіксованих частотах f_1 та f_2 (рис.4.1). Частота f_1 повинна бути вищою за 300 Гц, як показали результати експериментальних досліджень водно-спиртового розчину різної концентрації (рис.1).

Якщо отримане значення компоненти на частоті f_1 є меншим від значення на частоті f_2 ($B_{f1} < B_{f2}$), то горілка фальсифікована і являє собою водно-спиртовий розчин (розбавлений водою спирт). Якщо виміряне значення

компоненти на частоті f_1 є більшим від значення на частоті f_2 ($B'_{f1} > B'_{f2}$), то контрольований об'єкт є оригінальною горілкою.

На рис. 4.2 наведено структурну схему засобу ідентифікації фальсифікованої горілки для реалізації такого способу [74].

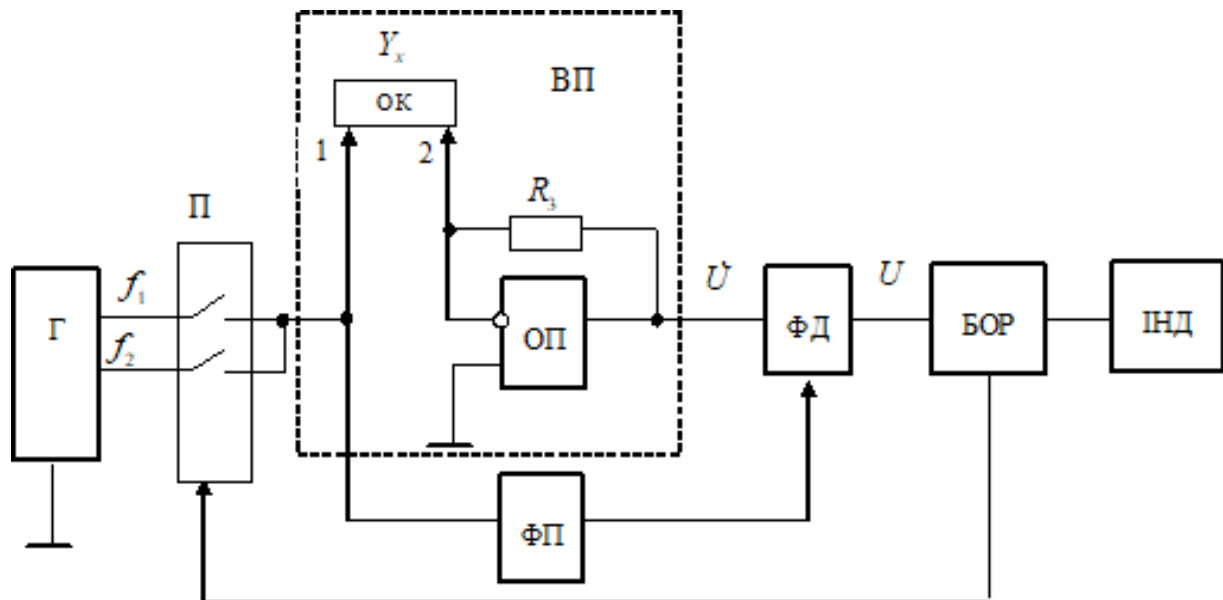


Рисунок 4.2 - Структурна схема засобу для виявлення фальсифікації горілки водно-спиртовим розчином

Схема вимірювального засобу (рис. 4.2), який реалізує запропонований спосіб, містить генератор Γ синусоїдального сигналу сталої амплітуди U_m та фіксованих частот f_1 та f_2 , перемикач Π , векторний перетворювач ВП на операційному підсилювачі ОП , елементами від'ємного зв'язку якого є адмітанс Y_x об'єкта контролю з електродами 1, 2 та опір R , а також фазообертач ФП керуючого сигналу фазочутливого детектора ФД , блок опрацювання результатів вимірювання БОР та індикатор ІНД .

Векторним перетворювачем ВП здійснюється перетворення адмітансу об'єкта контролю на комплексну напругу \dot{U}_x , з якої фазочутливим детектором ФД , керованим зміщеним фазообертачем ФП на кут $\frac{\pi}{2}$ сигналом генератора виділяється реактивна компонента U . Таке перетворення здійснюється спочатку

на частоті f_1 , а потім на частоті f_2 . Керує перемикачем П для зміни частоти БОР. Отримані значення напруги постійного струму, що відповідають відповідним компонентам адмітансу об'єкта контролю на зазначених частотах подаються на БОР, опрацьовуються за зазначеним вище алгоритмом і видаються на індикаторний пристрій.

4.2.2 Ідентифікація фальсифікованої горілки підміною марки

Пропонується два способи виявлення фальсифікованої горілки підміною марки.

Спосіб 1. Для виявлення фальсифікації горілки підміною марки необхідно визначити частоту, на якій реактивна компонента адмітансу приймає екстремальне значення [72, 73]. Ілюстрація способу виявлення фальсифікованої горілки підміною марки наведена на рис. 4.3.

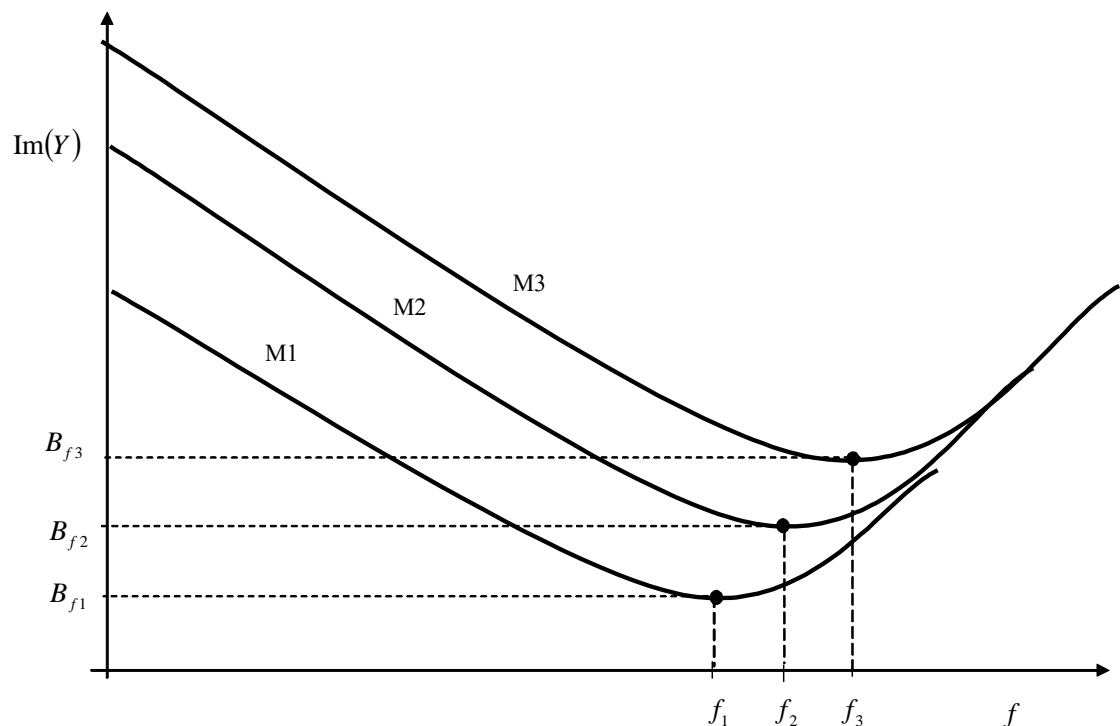


Рисунок 4.3 - Ілюстрація способу виявлення фальсифікованої горілки підміною марки

У даному разі ідентифікаційною ознакою є частота, на якій реактивна компонента приймає екстремальне значення, що відповідає відповідній марці

горілки. На рис. 3 показано, що горілки марки М1, М2, М3 відповідають частоти f_1, f_2, f_3 , на яких маємо відповідно значення компонент $B_{f_1}, B_{f_2}, B_{f_3}$. Визначену частоту контрольованого об'єкту необхідно порівняти з відповідною частотою базового зразка (горілка певної марки, що відповідає нормованим показникам якості). Якщо ж співпадіння немає, то горілка не відповідає вказаній марці. Тобто, якщо в результаті вимірювання реактивної компоненти адмітансу горілки поданої за маркою М1 в частотному діапазоні отримано екстремальне значення, яке не відповідає частоті f_1 , а будь-якій іншій частоті, то подана горілка не відповідає вказаній марці.

Структура засобу, який може реалізувати запропонований спосіб [74] вимірювання зображена на рис. 4.4.

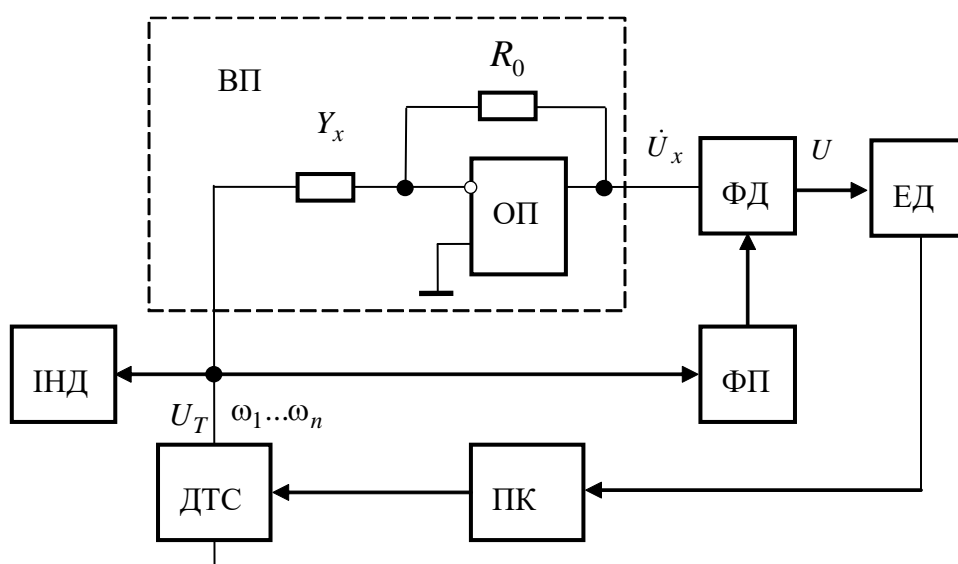


Рисунок 4.4 - Структурна схема пристрою для виявлення фальсифікації горілки підміною марки

Вимірювач містить джерело тестового сигналу ДТС фіксованого рівня U_T та частотою з діапазоном $\omega_1 \dots \omega_n$, векторний перетворювач ВП на операційному підсилювачі ОП, елементами від'ємного зв'язку якого є контрольований Y_x та зразковий R_0 елементи, фазочутливий детектор ФД, фазообертач ФП, екстремум-детектор ЕД, пристрій керування ПК та індикатор ІНД. Пристрій

керування задає діапазон зміни частоти тестового сигналу ДТС та почергову зміну значення частоти в ньому.

Під дією тестового сигналу ДТС фіксованої частоти заданою ПК, векторним перетворювачем здійснюється перетворення адмітансу Y_x контрольованої води на комплексну напругу \dot{U}_x . З допомогою фазочутливого детектора, на керуючий вхід якого подається сформована ФП напруга, виділяється з вихідної напруги \dot{U}_x ВП складова напруги U , пропорційна реактивній компоненті адмітансу Y_x контрольованого об'єкта. Як зазначено вище, реактивна компонента змінюється із зміною частоти, а тому і вихідна напруга ФД буде також змінюватися відповідно. Екстремальне значення такої залежності фіксує ЕД, який через ПК зупиняє зміну частоти ДТС. Значення частоти, що відповідає екстремальному значенню фіксується ІНД, а заодно за відповідною частотою екстремального значення визначається марка горілки.

Спосіб 2. Ілюстрація способу фальсифікації горілки через її невідповідність марки [72] зображено на рис. 4.5. На рисунку показано реактивні складові різних марок горілок (криві М1, М2 та М3).

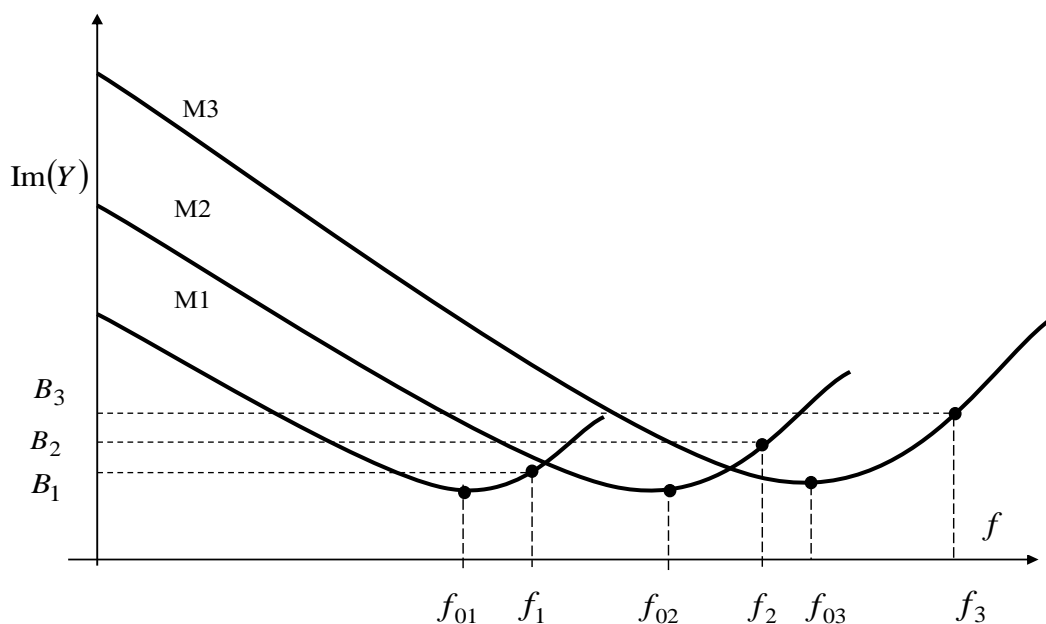


Рисунок 4.5 - Ілюстрація способу виявлення фальсифікації горілки через її невідповідність вказаної на етикетці марки

Зазначеним маркам горілки М1, М2 та М3 відповідають частоти f_{01}, f_{02}, f_{03} , на яких реактивні складові мають екстремальні значення. Такі знаходять за результатами вимірювання реактивної складової адмітансу оригінальних горілок відповідних марок, тим самими формують відповідний електричний стандартний зразок. Тобто, зазначені частоти є відомими до ідентифікації контрольованої марки горілки. Для виявлення фальсифікації горілки через невідповідність вказаній на етикетці марці необхідно виміряти реактивні компоненти на частотах f_{01} та f_1 для марки М1, f_{02} та f_2 для марки М2, f_{03} та f_3 для марки М3 (рис. 4.5). Отримані на зазначених частотах значення реактивних складових B_1, B_2, B_3 (рис. 4.5) та відповідно B_{01}, B_{02}, B_{03} , що відповідають частотам f_{01}, f_{02}, f_{03} необхідно порівняти. За умов $B_{01} < B_1, B_{02} < B_2, B_{03} < B_3$ горілки відповідають вказаних на етикетках марках, а за умов $B_{01} > B_1, B_{02} > B_2, B_{03} > B_3$ горілки ідентифікуються як фальсифіковані підміною марки. Такий спосіб ідентифікації реалізується засобом, структурна схема якого аналогічна до схеми рис. 4.2. Відмінність полягає лише в тому, що використовується багаточастотний генератор фіксованих частот відповідно до марки горілки та наведеного способу реалізації.

4.3 Способи ідентифікації добавок в харчових продуктах

Аналіз методів виявлення глютамату натрію (добавка Е621). Відомим є спосіб визначення добавки глютамат натрію у харчовій продукції з використанням методів рідинної хроматографія [75], шляхом кислотного гідролізу проб, а також спосіб дослідження тонкошаровою хроматографією при задіянні люмінесцентного детектування [76]. Ще одним відомим методом виявлення кількості глютамату натрію у харчовій продукції є, заснований на реєструванні світло поглинаючої здатності добавки Е621. Використовується в практиці біосенсорний метод визначення глютамату [77] в рідких приправах.

Недоліками усіх зазначених методів є відсутність швидкого та селективного процесу визначення такої добавки. Усі вказані методи мають складне і тривале застосування, а також для їх реалізації необхідні високоточні вартісні ЗВТ. Розглянемо ідентифікацію такої добавки з використанням імітансного методу на прикладі виявлення її у харчових продуктах.

Ідентифікаційні ознаки виявлення добавки за складовими адмітансу. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень окремих харчових продуктів, як зазначалося в попередньому розділі, використано виявлені ідентифікаційні ознаки, за якими можна ідентифікувати продукцію з добавкою та без добавки. Аналіз залежностей складових для таких випробувальних об'єктів, як картопляного пюре (рис. 3.7) і для апельсинового соку (рис. 3.8) від частоти показав, що криві, які описуються складовими адмітансу мають подібні характерні ознаки. Водночас, помітна значна різниця між абсолютними значеннями контрольованого (з добавкою) та базового зразків (без добавки) продукту харчування. Криві реактивних компонент зразків, що контролювалися, на нижчих частотах (100 Гц - 1000 Гц) мають явно виражені верхні екстремуми. Криві активних складових адмітансу контрольованого зразка різко зростають з частотою, але на 10 кГц амплітудні значення змінюються незначно. Також очевидним є суттєва відмінність між такими значеннями і значеннями для зразка продукції без добавки. Так значення активної складової зразка апельсинового соку з добавкою зростає у більш ніж удвічі, натомість для пюре – аж у чотири рази більше.

Таке ж спостерігається і для кривих, що характеризують залежність реактивної складової від частотного діапазону. У чотири рази збільшується реактивна складова для апельсинового соку при частоті 500 Герц та у вісім разів для пюре.

Грунтуючись на цій інформації можна обрати ознаки, які будуть ідентифікаційними для добавки E621.

Ідентифікаційні ознаки за абсолютними змінами активної та реактивної компонент [39]. Значення активної компоненти адмітансу зразків харчового продукту із додаванням добавки E621 на кожній частоті понад 10 кГц значно більші, ніж значення активної компоненти в тому ж діапазоні частот для зразків без додавання зазначеної харчової добавки. Така відмінність може бути ідентифікаційною ознакою для визначення наявності добавки в харчовому продукті за умови дотримання однакових умов вимірювання зразків.

Значення реактивної компоненти адмітансу зразків харчових продуктів із додаванням добавки на частотах від 100 Гц до 1000 Гц значно більші, ніж значення активних компонент в тому ж діапазоні частот для зразків без додавання зазначеної харчової добавки.

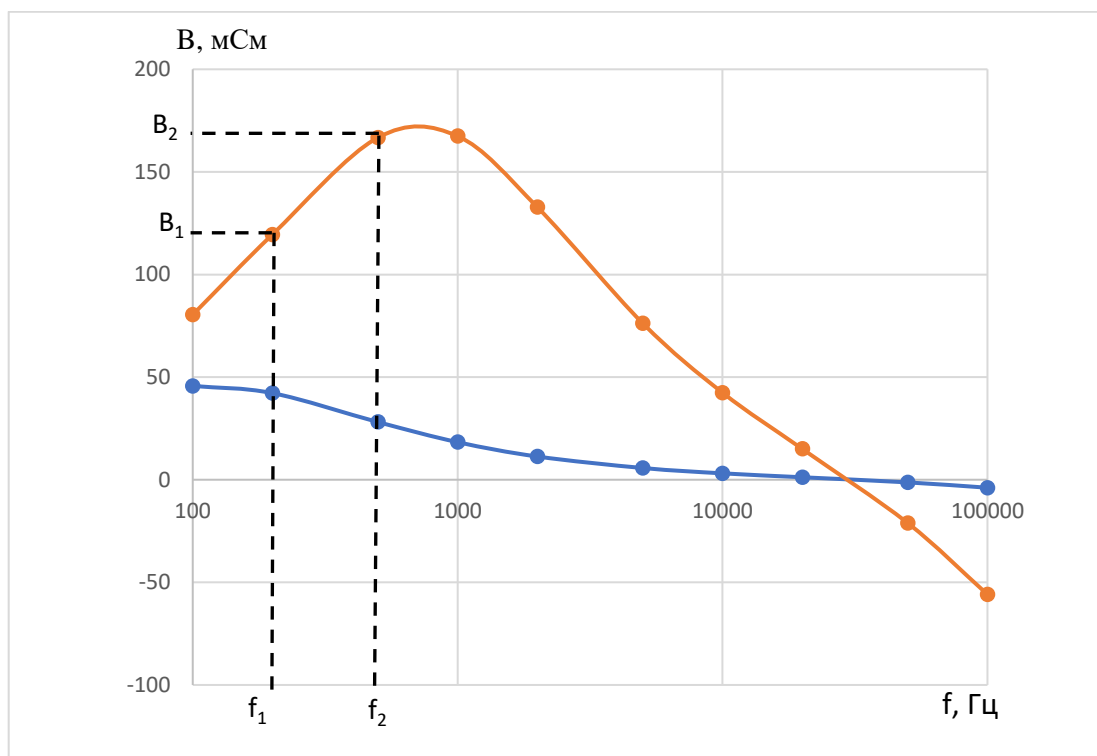
Ідентифікаційні ознаки за зміною характеру кривої реактивних компонент [39]. За характером зміни кривих їх залежності від частоти відображають явно виражене екстремальне значення для харчових продуктів, які містять харчову добавку. Тобто для харчового продукту, який містить у своєму складі добавку E621, реактивна компонента адмітансу зі зростанням частоти до певного значення збільшується, а потім зменшується. Для зразка з харчовим продуктом, який не містить зазначеної добавки, реактивна компонента адмітансу лише наростає в тому ж частотному діапазоні. Тобто, наявність екстремального значення може бути ідентифікаційною ознакою виявлення добавки.

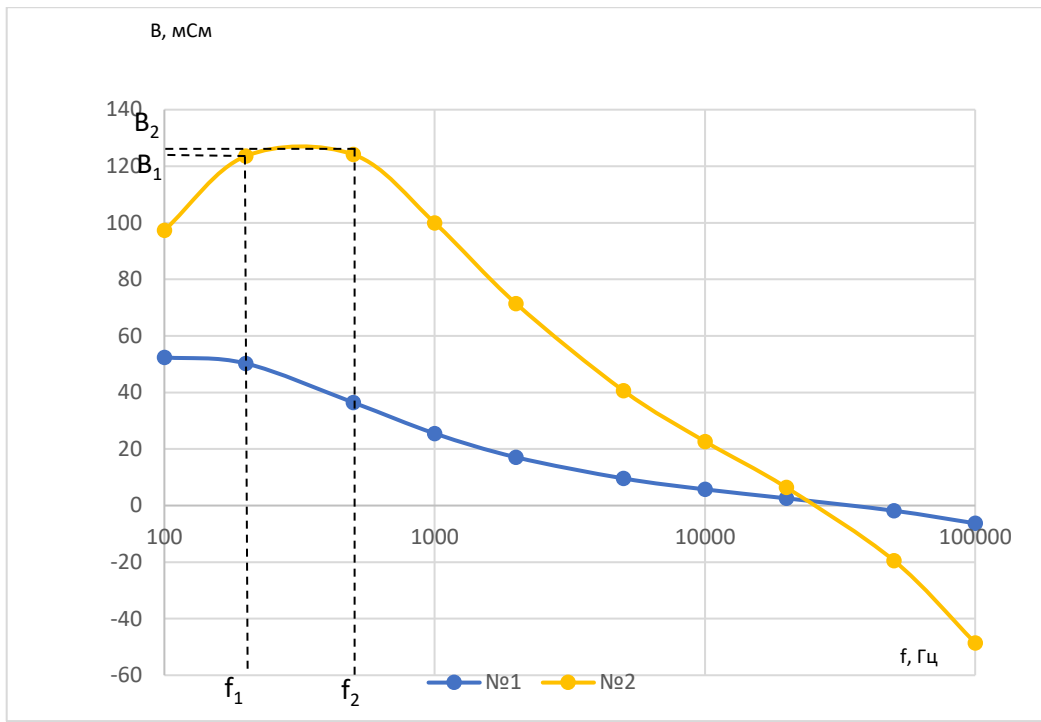
4.4 Способи ідентифікації добавки в харчовому продукті

На основі зазначених вище ідентифікаційних ознак запропоновано способи ідентифікації добавки в картопляному пюре та апельсиновому соці. Синім відзначено криві реактивних складових адмітансу продуктів з добавкою E621, помаранчевим – без добавки.

Спосіб 1. Ідентифікація добавки за виявленням екстремального значення реактивної компоненти. Екстремальне значення реактивної компоненти адмітансу соку з добавкою, як показали результати дослідження [39], знаходиться в діапазоні 100-1000 Гц. Аналогічне значення для картопляного пюре знаходиться в діапазоні 200-2000 Гц [39, 78]. Для виявлення екстремального значення реактивної компоненти пропонується два варіанти. Перший полягає в тому, що вимірюють реактивну компоненту змінюючи при цьому частоту в заданому діапазоні, фіксують її екстремальне значення. Для забезпечення таких вимірювань необхідно мати багато частотний вимірювач реактивної компоненти. Другий варіант виявлення екстремального значення полягає у вимірюванні реактивної компоненти на двох вибраних фіксованих частотах заданого діапазону.

Ілюстрація реалізації такого способу наведена на рис. 4.6. На рисунках криві позначені синім кольором відповідають продукції без добавки.





б

Рисунок 4.6 - Ілюстрація реалізації способу двох частот для картопляного пюре (а) та апельсинового соку (б)

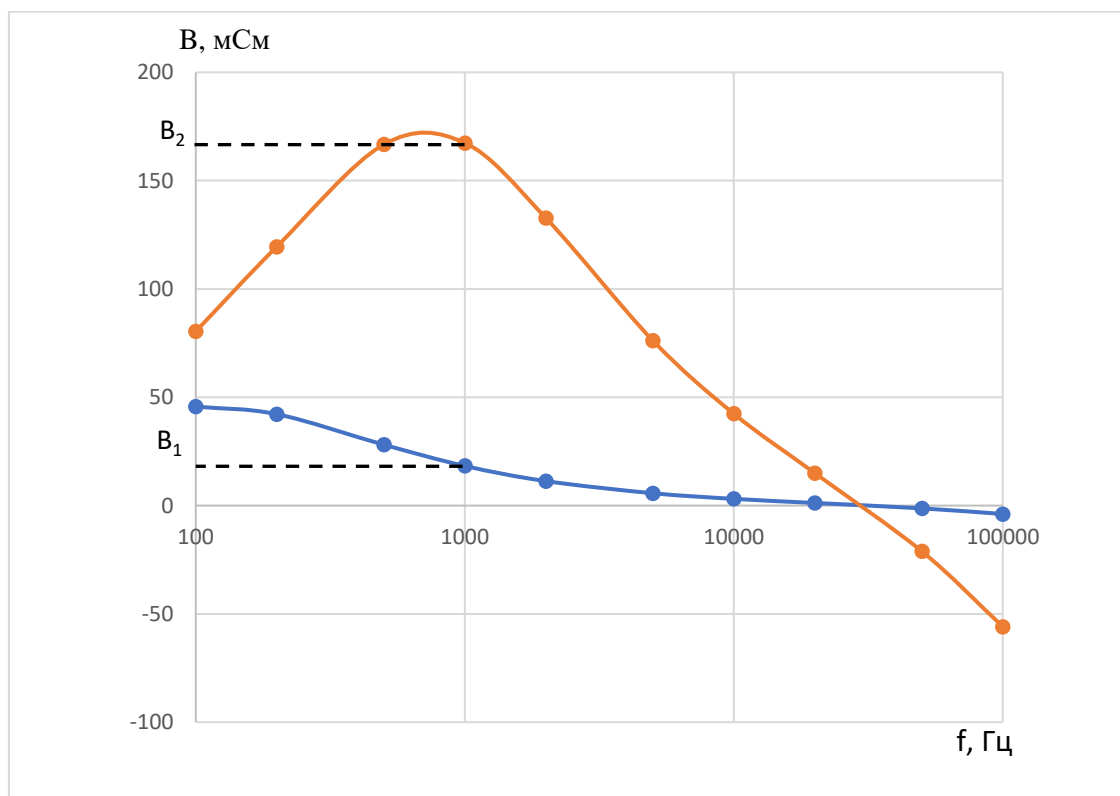
На рисунку 4.6а крива, що має екстремальне значення відповідає продукту (картопляне пюре) з добавкою, а крива без екстремального значення – продукту без добавки. З рисунка видно, що у діапазоні частот $f_1 - f_2$ із зростанням частоти значення реактивної компоненти B спадає для продукту без добавки, а з добавкою – зростає. Це вважається ознакою ідентифікації наявності глютамату натрію в харчовій продукції.

Тобто, для ідентифікації продукту з добавкою досить виміряти реактивну компоненту об'єкта, що перевіряється, за двома фіксованими частотами f_1 та f_2 (рис. 4.6). Якщо отримане при вимірюванні значення складової на частоті f_1 є меншим, ніж значення при частоті f_2 ($B_1 < B_2$), то об'єкт контролю містить добавку.

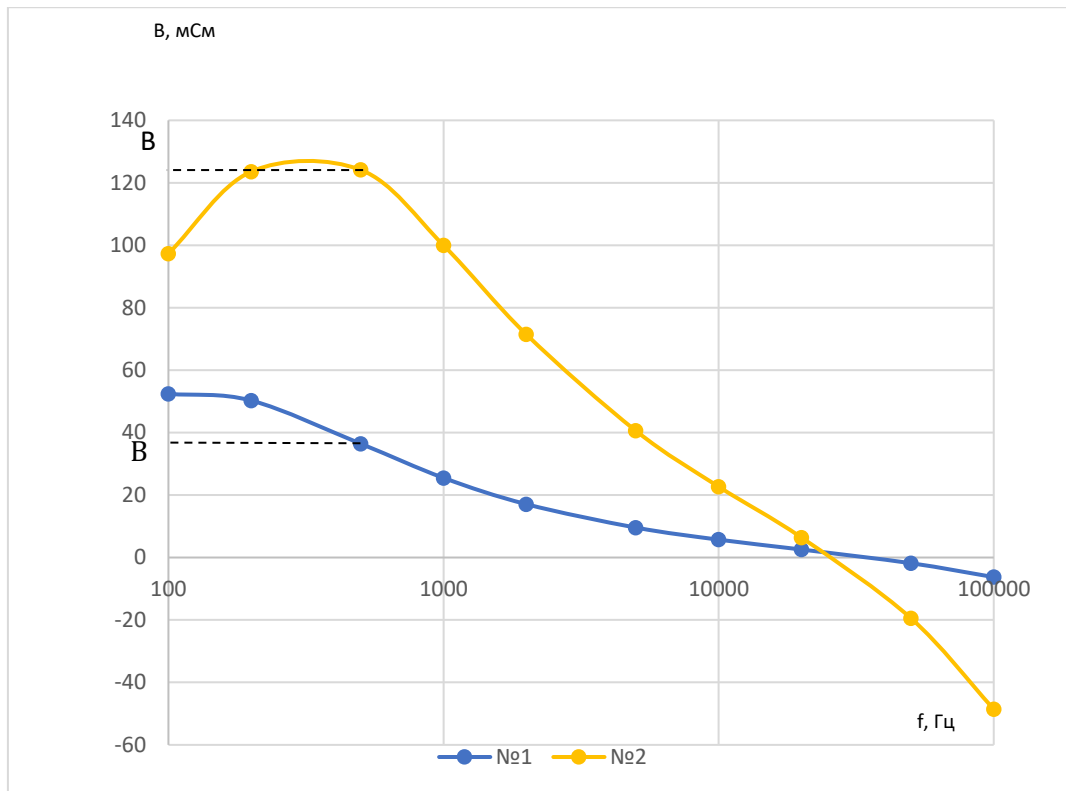
У випадку, коли отримане значення компоненти при частоті f_1 є більше значення при частоті f_2 ($B_1 > B_2$), об'єкт контролю не містить добавки.

При цьому необхідно зазначити, що у разі використання первинного перетворювача з іншими геометричними розмірами (різною сталою комірки), а також іншого конструктивного виконання фіксовані частоти можуть бути іншими. У такому разі необхідно отримати нові залежності реактивності від частоти для іншого первинного перетворювача.

Спосіб 2. Ідентифікація добавки за вимірюванням реактивної компоненти на фіксованій частоті заданого діапазону [39]. Ілюстрація реалізації способу наведена на рис. 4.7. З рисунка видно, що найкраще вибрати частоту 1000 Гц, оскільки різниця між значеннями реактивних складових на цій частоті є найбільшою.



а



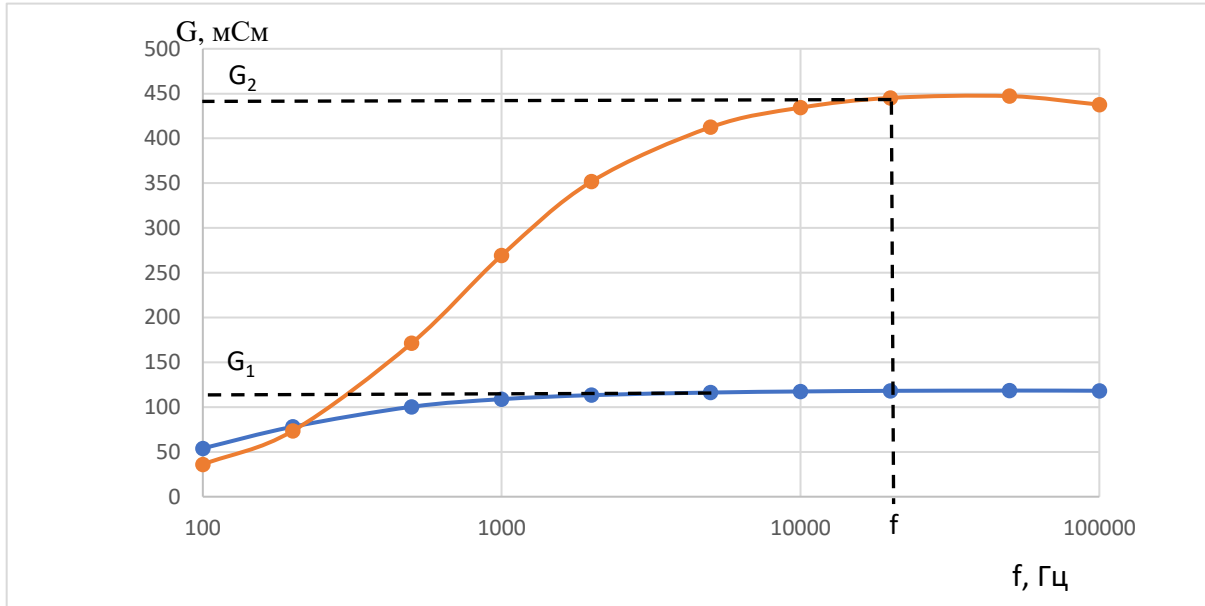
б

Рисунок 4.7 - Ілюстрація реалізації способу ідентифікації добавки за вимірюванням реактивної компоненти на фіксованій частоті заданого діапазону для картопляного пюре (а) та апельсинового соку (б)

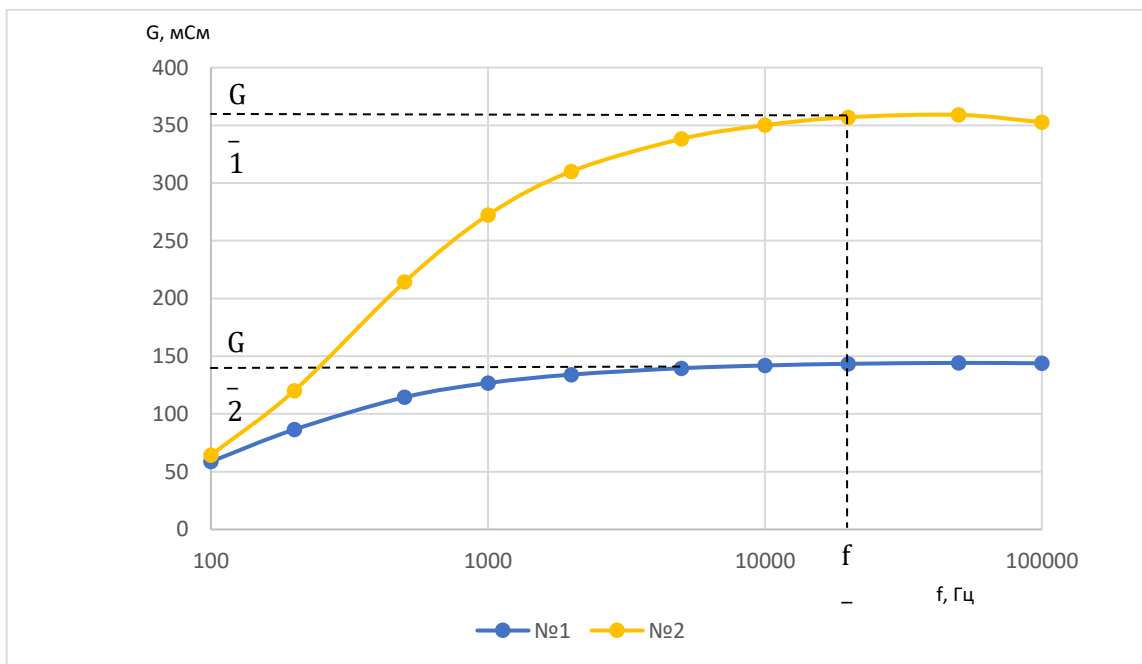
Для реалізації такого способу необхідно виміряти реактивну компоненту контрольованого зразка продукції на вибраній частоті і порівняти результат із значенням реактивної компоненти базового зразка на цій частоті.

Якщо виміряне значення $B_2 > B_1$, то це свідчить про наявність добавки в харчовому продукті.

Спосіб 3. Ідентифікація добавки за вимірюванням активної компоненти на фіксованій частоті заданого діапазону [39]. Ілюстрація реалізації способу наведена на рис. 4.8.



а



б

Рисунок 4.8 - Ілюстрація реалізації способу ідентифікація добавки за вимірюванням активної компоненти на фіксованій частоті заданого діапазону для картопляного пюре (а) та апельсинового соку (б)

З рисунка 4.8 видно, що найкраще вибрати частоту $f > 10$ кГц, оскільки різниця між значеннями активних складових на цій частоті є значною.

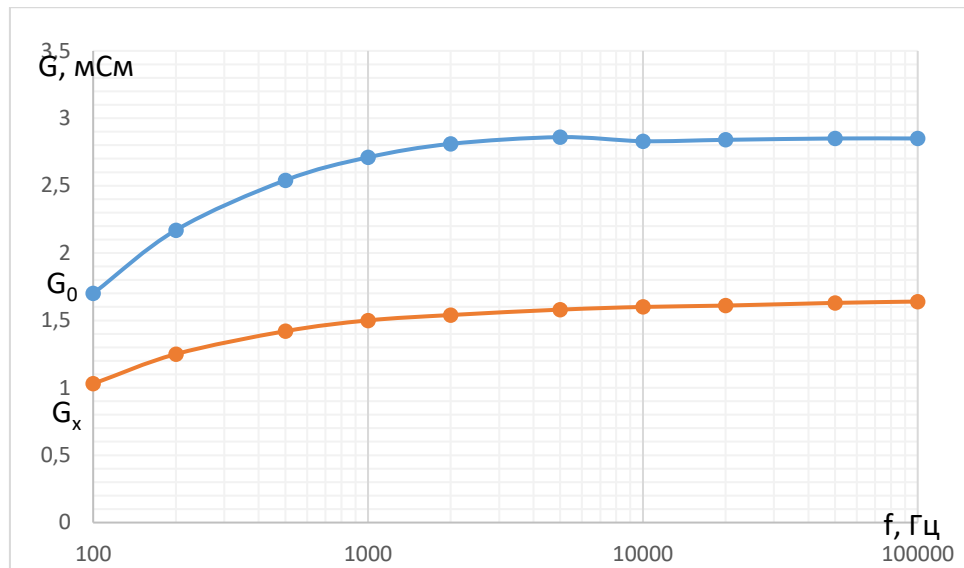
Для реалізації такого способу необхідно виміряти активну компоненту контрольованого зразка продукції на вибраній частоті f і порівняти результат із значенням реактивної компоненти базового зразка на цій частоті. Якщо виміряне значення $G_2 > G_1$, то це свідчить про наявність добавки в харчовому продукті. Чим більша різниця між значеннями, тим вищий рівень її вмісту.

Спосіб 4. Виявлення добавки за активною та реактивною складовими адмітансу. Такий спосіб [39] реалізується через одночасне вимірювання активної та реактивної компонент адмітансу об'єкта контролю на вказаних вище частотах. За результатами вимірювання реактивної компоненти виявляють наявність добавки у продукті (рис. 4.7), а за результатами вимірювання активної компоненти (рис. 4.8) оцінюють кількісний вміст добавки.

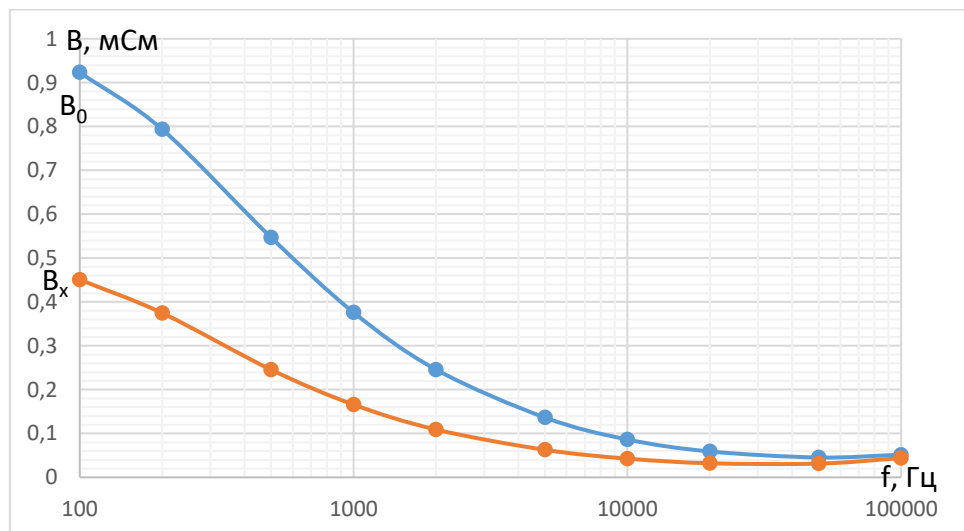
Обрані параметри можна виміряти використанням простих технічних засобів спеціального призначення чи використовуючи серійні широкодіапазонні вимірювачі параметрів комплексної провідності (адмітансу).

4.5. Виявлення олії, яка піддавалася термічному обробленню

Виявити олію, що піддавалася термічному обробленню можна за зміною активної (рис. 4.9а) або реактивною (рис. 4.9б) складовими. Для цього необхідно порівнювати значення складових на частотах, на яких різниця між абсолютними значеннями активних чи реактивних складових адмітансів порівнюваних зразків олій є найбільшими. Тобто, для ідентифікації обробленої олії за активною складовою найдоцільніше вибрати частоти вище 1000 Гц (рис. 4.9а), а за реактивними складовими (рис. 4.9б) використати частоту 100 Гц.



а



б

Рисунок 4.9 - Ілюстрація реалізації способу ідентифікації олії, яка піддавалася термічному обробленні для активної (а) та реактивної (б) складових

Якщо прийняти оброблену олію як базовий зразок з відповідними значеннями активної G_0 та реактивної B_0 складових її адмітансу, а відповідні складові адмітансу контрольованої олії G_x та B_x , то за $G_x < G_0$ або $B_x < B_0$ ідентифікується олію як таку, яка піддавалася термообробці. Реалізується така ідентифікація вимірювачем багато частотним вимірювачем складових адмітансу на зазначених частотах.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Запропоновано узагальнений спосіб ідентифікації фальсифікації харчової продукції, який ґрунтується на порівнянні абсолютних значень реактивної складової контрольованого продукту зі значеннями такої ж складової його оригінального продукту (стандартного зразка) на вибраних частотах частотного діапазону.

2. Запропоновано способи ідентифікації фальсифікованої горілки двома видами фальсифікації, зокрема заміною її водно-спиртовим розчином та підміною марки. Наведено структурні схеми засобів реалізації такого способу.

3. Запропоновано способи ідентифікації добавки Е621 у окремих харчових продуктах за реактивною та активною складовими адмітансу зразків продукту з добавкою.

4. Запропоновано спосіб ідентифікації соняшникової олії, яка піддавалася термічній обробці за результатами порівняння значень активних або реактивних складових зразків (контрольованого та базового) на відповідних частотах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-прикладне завдання створення методично-експериментального забезпечення ідентифікації харчової продукції за параметрами адмітансу, що забезпечить оперативність її реалізації. Основні наукові та практичні результати теоретичні та експериментальні результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень полягають в наступному.

1. Проаналізовані існуючі методи ідентифікації харчової продукції продуктів, визначені їхні переваги та недоліки.
2. Запропоновано застосувати імітансний метод контролю якості щодо застосування його для ідентифікації харчової продукції, що забезпечує її оперативність.
3. Проаналізовано результати експериментальних досліджень зразків харчової продукції за параметрами її адмітансу в заданому частотному діапазоні. Виявлено ідентифікаційні ознаки, за якими можна ідентифікувати харчову продукцію.
4. На основі аналізу виявлених характерних змін складових адмітансу узагальнено ідентифікаційні ознаки за результатами експериментальних досліджень окремих зразків харчової продукції різної електропровідності.
5. Обґрунтовано характерні зміни реактивної складової адмітансу харчових продуктів на окремих частотах певного частотного діапазону. Встановлено, що вони зумовлені ємністю подвійного шару, яка пропорційна електропровідності об'єкта дослідження та площею електродів імітансного перетворювача.
6. Вдосконалено математичну модель перетворювача «об'єкт-адмітанс» з неізольованими двома електродами різного конструктивного виконання.
7. Запропоновано способи ідентифікації фальсифікованої горілки різними видами фальсифікації. Запропоновані способи виявлення добавки у

харчових продуктах та спосіб ідентифікації олії з термообробкою та без обробки.

8. Для реалізації запропонованих способів фальсифікування продукції заміною марки чи водно-спиртовими розчинами, запропонували структурні схеми вимірювачів, якими можна провести ці дослідження.
9. Подальше використання теоретичних і практичних результатів дисертаційної роботи передбачено шляхом виготовлення експериментальних зразків вимірювальних засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Євлаш В. В., Самойленко С. О., Отрошко Н. О., Буряк І. А. Експрес-методи дослідження безпечності та якості харчових продуктів: навч. посібник. Х.: ХДУХТ. 2016. 336 с.
https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/4143/1/17_Kharchova%20Chemistry_181.pdf
2. «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», *Закон України №771/97-ВР* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80#Text>
3. «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів», *Закон України №2639-VIII* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2639-19#Text>
4. «Державні санітарні норми», *Вікіпедія* [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Державні_санітарні_норми
5. «Санітарні вимоги до ПРХ, до приготувань страв, до транспортування, зберігання продуктів. Кишкові інфекції.», *Збірник лекцій «Санітарія та гігієна»* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://medbib.in.ua/sanitarnyie-trebovaniya-priemu-hraneniyu.html>
6. «Системи управління безпечністю харчових продуктів» (ISO 22000:2005, IDT), *Національний стандарт України* [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.assistem.kiev.ua/doc/DSTU_ISO_22000-2007.pdf
7. О. Хацевич, М. Складанюк, *Хімія та аналіз харчових продуктів: Лабораторний практикум. – Навчально методичний посібник. Івано-Франківськ: Вид. Супрун В.П., 2019. 105 с.* <https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2021/02/CHEMISTRY-AND-ANALYSIS-OF-FOOD-PRODUCTS.pdf>

8. Л. П. Клименко, Л. В. Пізінцалі, Н. І. Александровська, В. Д. Євдокимов, Метрологія, стандартизація та управління якістю, Миколаїв, Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011 <https://buklib.net/books/36015/>
9. Мельник Т. Ю. «Сутність та основні товарознавчі аспекти ідентифікації товарів», *Державний університет «Житомирська політехніка»*.
<https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/12/269.pdf>
10. Данько Т. І., Яворська Н. П., Ідентифікація товарів: сутність та основні товарознавчі аспекти // *Економіка і суспільство*. Випуск №9. 2017. Ст. 391-395. https://economyandsociety.in.ua/journals/9_ukr/67.pdf
11. О.В. Кузьмін, Т.М. Губар, «Методи оцінювання якості кулінарної продукції», *Національний університет харчових технологій*
<https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/9c105aa2-18d7-40bf-9b9b-41367096b321/content>
12. Мельник Т. Ю., Товарознавство: підручник (для студентів економічних спеціальностей) [Електронне видання] / Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. 364 с.
https://eztuir.ztu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/7682/1/ТОВАРОЗНАВСТВО_МЕЛЬНИК%20Т.Ю_підручник%20%281%29.pdf
13. «Інструментальні методи аналізу харчових продуктів», Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://chemistry.chnu.edu.ua/media/za4pvay2/instrumental-methods.pdf>
14. «Фізико-хімічні методи аналізу», *Фармацевтична енциклопедія* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/372/fiziko-ximichni-metodi-analizu>
15. Самойчук К. О. Люмінесцентний аналіз і спектроскопія, електронний навчальний посібник [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_20/page4.html

- 16.«Спектрофотометрія», *Фармацевтична енциклопедія* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/596/spektrofotometriya>
- 17.«Спектрофотометр», *Вікіпедія* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Спектрофотометр>
- 18.«Фотоколориметрія», *Фармацевтична енциклопедія* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/432/fotokolorimetriya>
- 19.«Фотоколориметри», *Лабораторне обладнання* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mpr-lab.com/ua/g38573432-fotokolorimetry>
- 20.«Рефрактометрія. Поляриметрія», *Система електронного забезпечення навчання ЗНУ* [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/851172/mod_resource/content/0/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%202.pdf
- 21.«Інструментальні методи хімічного аналізу», *Український державний хіміко-технологічний університет*, [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/03/Instrumentalni-metodi-himichnogo-analizu.pdf>
- 22.«Потенціометричний метод аналізу», *Ужгородський національний університет*, [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.uzhnu.edu.ua/en/infocentre/get/23901>
- 23.«Електрохімічні методи аналізу», *Система електронного забезпечення навчання ЗНУ*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/67367/mod_resource/content/1/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F_2.8.pdf
- 24.Пилипенко О. І. Методи фізико-хімічного аналізу. Модуль 2. Електрохімічні методи аналізу: навч. посіб. / Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 142 с.

https://eprints.kname.edu.ua/64072/1/2023%20%202Н%20репоз%20Електрмет_аналізу.pdf

- 25.«Кондуктометричний метод аналізу», *Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2021/03/L-13-PhChMA.pdf>
- 26.І. П. Полюжин, Ф. І. Цюпко, М. М. Ларук, О. О. Юрін, Р. Р. Гумінілович, Потенціометричне та кондуктометричне визначення амінного та кислотного чисел реакційної суміші амідування жирних кислот // *Chemistry, Technology and Application of Substances*. Vol. 4, No. 1. 2021. <https://doi.org/10.23939/ctas2021.01.008>
- 27.Федорченко С. В. Хроматографічні методи аналізу : навч. посіб. / Федорченко Софія Володимирівна, Курта Сергій Андрійович. – Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2012. 146 с. <https://pnu.edu.ua/depart/Chemistry/resource/file/Федорченко%20Хроматографічні%20методи%20аналізу.pdf>
- 28.«Методи розділення елементів та їх ідентифікація», *Система електронного забезпечення навчання ЗНУ* [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/260498/mod_resource/content/1/Лекція%204.pdf
- 29.«Планарна хроматографія. Тонкошарова хроматографія (ТШХ)», *Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна* [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://chemistry.univer.kharkov.ua/files/_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97.pdf
- 30.«Газова та рідинна хроматографія», *Система електронного забезпечення навчання ЗНУ* [Електронний ресурс], Режим доступу: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/851166/mod_resource/content/0/Лекція6.pdf

- 31.«Аналіз краплинний», *Фармацевтична енциклопедія* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/6032/analiz-kraplinnij>
- 32.«Титриметричний аналіз», *Рівненський державний гуманітарний університет* [Online]. Режим доступу https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/2020/m_ah_03.pdf
- 33.«Гравіметричний метод аналізу», Український державний хіміко-технологічний університет [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/03/GRAVIMETRICHNIY-METOD-ANALIZU.pdf>
- 34.Походило Є., Гонсьор О. Контроль якості питної води за електричними параметрами // Вимірювальна техніка та метрологія. Національний університет "Львівська політехніка" Вип. 68. 2008. С. 237-242. <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/8117>
- 35.«Мікробіологічний метод», *Фармацевтична енциклопедія* [Електронне видання]. Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1462/mikrobiologichnij-metod>
- 36.Методи контролю харчової продукції. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 181 «Харчові технології» ОПІ «Харчові технології в ресторанній індустрії» / Держ. біотехнологічний ун-т; авт.-уклад.: А.Л. Фошан. Харків: [б. в.], 2023. 68 с. https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/42648/1/MV_LR_Metody%20kontrolyu%20КНР_23.pdf
- 37.«Оцінювання якості продукції та послуг ресторанного господарства», *Управління якістю продукції та послуг в готельно-ресторанному господарстві* / конспект лекцій, Мелітополь, 2021. https://elib.tsatu.edu.ua/dep/ate/tpzpsg_2/page7.html

38. Григорчак І.І. Імпедансна спектроскопія: навчальний посібник / І. І. Григорчак, Г. В. Понеділок. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 352 с.
39. Pokhodylo Ye., Stasyshyn Yu. Identification of food products with additive E621 according to admittance parameters // Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник. 2022. Вип. 83, № 4. С. 43–46. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2022.04.043>
40. Походило Є. В. Імітансний контроль якості [Текст]: монографія / Є. В. Походило, П. Г. Столярчук. – Л.: НУЛП, 2012. 164 с.
41. Мартинович Н.В. Метод вимірювання твердості води за параметрами імітансу та його метрологічне забезпечення: Автореф. дис. кандидата техн. наук / НУ «Львівська політехніка» МОН України. - Львів, 2012. 18 с.
42. Патент України № 93243. Спосіб експресного визначення вмісту етилового спирту в водно-спиртовому розчині, МПК G01N27/48, G01N27/02, від 25.09.2014.
43. Кукла А. Л. Імпедансний аналізатор для ідентифікації марок водно-спиртових напیتків / Кукла А. Л., Павлюченко А. С., Майстренко А. С, Мамикін А. В. // Технологія і конструювання в електронній промисловості, Київ, 2012, №1, С.15-21.
44. Походило Є. В., Флюнт Н. Б. Ідентифікація свіжого та розмороженого м'яса методом імпедансної спектроскопії // Вимірювальна техніка та метрологія, № 80 (3), 2019 р., с. 15-20. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03.015>
45. Щєбетовська О. Визначення свіжості курячого м'яса методом імпедансної спектроскопії / О.О. Бик. ЛНУВМ ім. С. Гжицького, вип. 13, № 4(4), с. 352–358, 2011. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu_2011_13_4%284%29_69
46. Chanet, M., Riviere, C., Eynard, P. Electroimpedance spectrometry for process control of minced meat products // J. Food Eng., 42, 153–159, 1999. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-2\(49\)-36-45](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2022-2(49)-36-45)

47. Chowdhury, A., Singh, P., Kanti Bera, T., Ghoshal, D., Chakraborty, B. Electrical impedance spectroscopy study of mandarin during ripening, *J. Food Meas. Character.*, 1–11, 2017b. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9545-y>
48. Harker, F. R., Forbes, S. K. Ripening and chilling development in persimmon fruit: an electrical impedance study, *New Zeal. J. Crop Hort.*, 25, 149–157, 1997. <https://doi.org/10.1080/01140671.1997.9514001>
49. Bauchot, A. D., Harker, F. R., and Arnold, W. M.: The use of electrical impedance spectroscopy to assess the physiological condition of kiwifruit, *Postharvest Biol. Tec.*, 18, 9–18, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00056-3)
50. Grossi, M., Di Lecce, G., Gallina Toschi, T., and Riccò, B. Fast and Accurate Determination of Olive Oil Acidity by Electrochemical Impedance Spectroscopy, *IEEE Sensors J.*, 14, 2947–2954, 2014a. DOI:[10.1109/JSEN.2014.2321323](https://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2321323)
51. Grossi, M., Pompei, A., Lanzoni, M., Lazzarini, R., Matteuzzi, D., and Riccò, B.: Total bacterial count in soft-frozen dairy products by impedance biosensor system, *IEEE Sensors J.*, 9, 1270–1276, 2009. DOI:[10.1109/JSEN.2009.2029816](https://doi.org/10.1109/JSEN.2009.2029816)
52. Fuentes, A., Masot, R., Fernandez-Segovia, I., Ruiz-Rico, M., Alcaniz, M., and Barat, J. M.: Differentiation between fresh and frozen-thawed sea bream (*Sparus aurata*) using impedance spectroscopy techniques, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 19, 210–217, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.05.001>
53. Slyva Yu., Pokhodylo Ye. Application of the impedance method for determination of monosodium glutamate in food products. *Food science and technology*. 2020. Vol. 14, Issue 2. P.58-68. DOI:[10.15673/fst.v14i2.1720](https://doi.org/10.15673/fst.v14i2.1720)
54. Стасишин Ю. А., «Виявлення фальсифікації харчової продукції за електричними параметрами», VI Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», ст. 262-253, 16-17 листопада, 2023 р., Львів, Україна

- 55.Є. В. Походило, С. Є. Остапчак, Диференційний метод оцінювання якості продукції за параметрами імітансу // Автоматика, вимірювання та керування. 2011. № 695. С. 41–45.
<https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/3760/pokhodyloyevostapchaksye.pdf>
- 56.Походило Є. В., Стасишин Ю. А., «Ідентифікація продукції за відносними показниками», IV-та Всеукраїнська науково-практична конференція «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку», ст. 73, 29-30 жовтня, 2020 р., Луцьк, Україна.
https://restore.lntu.edu.ua/oldfiles/files12/zbirnik_tez_luck_2020.pdf
- 57.Походило Є., Стасишин Ю., Світлик І., Контроль якості харчової продукції за електричними параметрами, V Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», ст. 172, 20-21 травня, 2021 р., Львів, Україна
- 58.Pokhodylo Ye., Yatsuk V., Bubela T. Means of measurement of relative quality indicators by immittance parameters // Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник. 2020. Вип. 81, № 3. С. 33–36.
<https://doi.org/10.23939/istcmtm2020.03.033>
- 59.Міхалева М. Дослідження спиртових розчинів імітансним методом // Стандартизація, сертифікація, якість. 2010. №3. С. 50-54.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/ssia_2010_3_17
- 60.О. Антонюк., Є. Походило, В. Юзва. Аналіз способів вимірювання складових імітансу об'єктів неелектричної природи // Східно-Європейський журнал передових технологій. Харків: ПП «Технологічний Центр», 2015, №4/9 (76). С. 4-9. DOI: [10.15587/1729-4061.2015.47603](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47603)
- 61.Походило Є., Стасишин Ю., Саф'яник В. Г., «Вимірювання електричних параметрів спиртових розчинів як параметрів ідентифікації», IX Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління», ст. 34-38, 2021 р., Луцьк, Україна

62. Herasym M. Invariant Transducers of Capacitive Sensor Parameters into Voltage / M. Herasym, Y. Pokhodylo // Eastern European journal of Enterprise Technologies, ISSN 1729-3774, – Kharkiv, Ukraine. 2014. 2/9 (68). P. 28-32. DOI:[10.15587/1729-4061.2014.23174](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.23174)
63. Є. Походило, О. Вікович, Контроль свіжості м'яса за параметрами імітансу // Стандартизація, сертифікація, якість. Вип. 1 (86). с. 45–48. 2014. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ssia_2014_1_16
64. О. Вікович, Є. Походило, Ідентифікація м'яса за тривалістю охолодженого зберігання // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Ветеринарна медицина, якість і безпека продукції тваринництва. 2017. Вип. 273. С. 17-23. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_vet_2017_273_5
65. Походило Є., Слива Ю., Застосування імпедансного методу для визначення нітрату натрію в м'ясних харчових продуктах // Метрологія та прилади: журнал академії метрології, Харків. №1. 2021. с.49-56.
66. E. Pokhodylo, V. Yuzva, Measurement of electro physical parameter of alcoholic solutions // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Комп'ютерні науки та інформаційні технології: збірник наукових праць. 2015. № 826. С. 196–200 .
67. Походило Є.В., Юзва В.З., Вікович О.В. Ідентифікація спиртових розчинів за параметрами імітансу / Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: збірник наук.-техн. праць / гол. ред. Ю.Ю. Туниця. Львів: РВВ НЛТУ України. 2016. Вип. 26.7. С. 263–266. (Copernicus) <https://doi.org/10.15421/40260742>
68. Герасим М. Р. Розвиток метрологічного забезпечення вимірювання електрофізичних параметрів об'єктів кваліметрії неелектричної природи: Автореф. дис. кандидата техн. наук / НУ «Львівська політехніка» МОН України. Львів, 2014. 20 с.

69. Походило Є. В., Стасишин Ю. А., «Ідентифікація харчової продукції за електричними параметрами», *Методи та прилади контролю якості*, Випуск №2 (49), ст. 36-45, 2022. doi: 10.31471/1993-9981-2022-2(49)-36-45
70. Походило Є. В., Герасим М. Р., Піщора В. І. Вплив приелектродного імпедансу ємнісного сенсора на результат вимірювання складових імітансу // *Вимірювальна техніка та метрологія*, №79 (3), 2018р., с.71-82. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2018.01.021>
71. Патент України №19620 МПК G01 N 33/14, G01 N R27/00, опубл. 15.12.2006, Бюл. №12.
72. Походило Є.В., Куць В.Р., Стасишин Ю. А., «Виявлення фальсифікації горілки методом адмітансної спектроскопії», *Вимірювальна техніка та метрологія*, випуск 82, №4, ст. 5-7, 2021. doi:10.23939/istcmtm2021.04.005
73. Походило Є., Стасишин Ю., Саф'яник В. Г., Виявлення фальсифікації харчових продуктів за реактивною складовою адмітансу, V Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», ст. 173, 20-21 травня, 2021 р., Львів, Україна
74. Походило Є. В., Стасишин Ю. А., «Засоби ідентифікації фальсифікованої горілки за реактивною компонентою адмітансу», *Методи та прилади контролю якості*, Випуск №1 (48), ст. 59-65, 2022. doi: 10.31471/1993-9981-2022-1(48)-59-65
75. Mortensen A., Aguilar F., Krebelli R., Di Domenico A. and others. Re-evaluation of glutamic acid (E 620), monosodium glutamate (E 621), potassium glutamate (E 622), calcium glutamate (E 623), ammonium glutamate (E 624) and magnesium glutamate (E 625) as food additives, *EFSA Journal*, V.15, Issue7, 2. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4910>
76. Veni N Krishna, D Karthika, Devi M Surya, MF Rubini, M Vishalini, YJ Pradeepa. Analysis of Monosodium L-Glutamate in Food Products by High-Performance Thin Layer Chromatography // *J. Young Pharm.* 2010. 2(3). Pp. 297–300. doi: 10.4103/0975-1483.66795

77. Wollenberger U., Frieder W. A specific enzyme electrode for l-glutamate-development and application // Biosensors. – 1989. – Vol. 4, N 6. – P. 381–391. [https://doi.org/10.1016/0265-928X\(89\)80004-5](https://doi.org/10.1016/0265-928X(89)80004-5)
78. Походило Є. В., Стасишин Ю. А., «Спосіб виявлення добавки 621 у харчових продуктах», I Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-вимірвальні технології ІВТ 2022», ст. 111-112, 9-10 листопада, 2022 р., Львів, Україна.

ДОДАТОК А

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»

_____ Іван ДЕМИДОВ
" ___ " _____ 2025 р.

АКТ

про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи
Стасишина Юрія Арсеновича
«Ідентифікація харчових продуктів за параметрами адмітансу»
представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 –
Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка

Комісія в складі: голови науково-методичної ради Інституту комп'ютерних технологій, автоматизації та метрології Національного університету «Львівська політехніка», д.т.н., проф. Байцара Р.І. та членів – завідувача кафедри «Інформаційно-вимірвальних технологій», д.т.н., проф. Бубели Т.З., професора кафедри «Інформаційно-вимірвальних технологій», лектора дисципліни «Методи та засоби контролю якості», к.т.н., доц. Куць В. Р. даним актом підтверджує, що проведені дисертантом наукові дослідження виконувалися нею на кафедрі «Інформаційно-вимірвальних технологій» Національного університету «Львівська політехніка». Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес кафедри «Інформаційно-вимірвальні технології» Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні дисципліни «Методи та засоби контролю якості» для бакалаврів спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка.

Зокрема, у навчальному процесі застосовуються такі результати дисертаційної роботи Стасишина Ю. А., як:

- метод ідентифікації харчових продуктів за параметрами адмітансу ;
- способи та засоби реалізації методу визначення фальсифікації харчових продуктів за активною та реактивною складовими адмітансу;
- електрична та математична моделі схеми заміщення перетворювача «об'єкт-адмітанс».

Голова комісії:

голова науково-методичної ради ІКТА

д.т.н., проф.

_____ Роман БАЙЦАР

Члени комісії:

зав. каф. ІВТ, д.т.н., проф.

_____ Тетяна БУБЕЛА

доц. каф. ІВТ, к.т.н., доцент.

_____ Віктор КУЦЬ