

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”



Мідик Ігор-Михайло Володимирович

УДК 006;004.9;60;620

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА РОЗРОБЛЕННЯ
ВІРТУАЛЬНОГО ЗАСОБУ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ
ОВОЧІВНИЦТВА**

*05.01.02 – Стандартизація, сертифікація та метрологічне
забезпечення*

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Столярчук Петро Гаврилович,
завідувач кафедри метрології, стандартизації та
сертифікації Національного університету
«Львівська політехніка», м. Львів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Васілевський Олександр Миколайович,
перший проректор з науково-педагогічної роботи
по організації навчального процесу та його
науково-методичного забезпечення, професор
кафедри метрології та промислової автоматики
Вінницького національного технічного
університету, м. Вінниця;

кандидат технічних наук, доцент
Рудик Юрій Іванович,
головний науковий співробітник відділу організації
науково-дослідної діяльності, доцент кафедри
електротехніки, пожежної і промислової
автоматики та зв'язку Львівського державного
університету безпеки життєдіяльності, м. Львів.

Захист відбудеться «22» квітня 2021 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.21 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 28а, ауд.711 п'ятого навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий «__» березня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
д.т.н., проф.



Т. З. Бубела

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сільськогосподарська продукція, зокрема овочі, є важливою складовою експортного потенціалу України. Завдання кількісного оцінювання корисних та шкідливих елементів в овочах стає ще актуальнішим, оскільки на світових ринках значно жорсткіші вимоги до якості продукції. Це висуває на перший план вирішення низки питань, пов'язаних з розробленням експрес-методів оцінювання якості та безпечності продукції, з розробленням засобу дослідження показників якості продукції овочівництва, з адаптацією вітчизняної системи нормативного забезпечення якості та безпечності продукції до положень міжнародних та європейських стандартів. Водночас необхідно комплексно оцінити якість продукції овочівництва, врахувавши при цьому її безпечність та корисність для споживача. У чинних в Україні нормативних документах зазначено якісні показники стосовно овочів. В основному, це показники, які описують зовнішній вигляд, розмір овочів, маркування упаковки та гранично допустимі норми забруднювачів.

Відсутні комплексні показники якості овочів, які відображають різнопрофільні потреби споживачів. Потреба у зазначених показниках та вираження у них якості продукції дає змогу задовольнити вимоги зацікавлених сторін у безпечності овочевої продукції, оптимізувати її якість, встановити економічно обґрунтовану ціну, що сприятиме підвищенню конкурентоздатності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до планів наукової діяльності кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології» Національного університету «Львівська політехніка», в рамках науково-дослідної теми ДБ Медтест «Основи технології та засоби моніторингу, профілактики і реабілітації органів кровообігу людини, зумовлених віковими і травматичними змінами» (№ 0120U102205, з 01.04.2020 р. по 31.12.2020 р.)

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є систематизація показників якості продукції овочівництва та удосконалення методологічного й метрологічного забезпечення контролю якості овочів та соків із них шляхом вивчення електричних параметрів за допомогою віртуального засобу імітаційного контролю на основі апаратно-обчислювальної платформи LabVIEW.

Для реалізації окресленої мети необхідно виконати такі завдання:

- провести системний аналіз існуючих методів та засобів вимірювання електричних параметрів об'єктів неелектричної природи;
- обґрунтувати склад і здійснити класифікацію показників якості продукції овочівництва;
- розробити методику визначення кількісних оцінок показників якості продукції овочівництва;
- розробити алгоритм визначення комплексних показників якості продукції овочівництва для різнопрофільних потреб споживачів;

- побудувати математичну багатокритеріальну модель оцінювання якості з цільовою функцією залежності комплексного показника якості від значень окремих характеристик;
- розробити віртуальний засіб дослідження показників якості продукції овочівництва на змінному струмі;
- подати рекомендації щодо оперативного контролю якості овочів у виробничих умовах.

Об'єкт дослідження - вимірювання електричних параметрів овочів і соків із них.

Предмет дослідження – методи та засоби вимірювання електричних параметрів овочів і соків, в тому числі імітансного методу.

Методи дослідження. У дисертації використано теоретичні основи електрохімії й кваліметрії, вимірювальної техніки й математичного моделювання, програмування, зокрема у межах апаратно-обчислювальної платформи LabVIEW. Експерименти проводились за допомогою сучасних вимірювальних пристроїв, у тому числі віртуальних, з автоматизованим опрацюванням результатів вимірювання. У дослідженнях використано імітансний метод вимірювання електричних параметрів об'єктів неелектричної природи, в тому числі овочевих соків.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у систематизації показників якості продукції овочівництва та їх оптимізації на основі теорії нечітких множин, експериментальному дослідженні даної продукції імітансним методом та розвитку прикладних віртуальних засобів вимірювання на основі апаратно-програмної платформи LabVIEW. В дисертаційній роботі отримано наступні наукові результати:

1. Систематизовано показники якості продукції овочівництва. На цій основі вирішено задачу комплексного оцінювання рівня якості продукції овочівництва, шляхом побудови математичної багатокритеріальної моделі оцінки якості, для чого сформовано цільову функцію, як функцію залежності комплексного показника якості від значень окремих характеристик.

2. На основі використання теорії нечітких множин, завдяки використанню підходу Беллмана-Заде, розглянуто задачу оптимізації внесення підживлення до овочів із нечітко визначеними обмеженнями, яку зведено до задачі класичного лінійного програмування з подальшим розв'язком системи нерівностей.

3. Вперше на основі результатів досліджень, пов'язаних з визначенням вмісту шкідливих домішок в овочевих соках, запропоновано функцію якості, що описує відповідність отриманих показників якості вимогам міжнародних стандартів. Це дає змогу, за необхідності, корегувати інтенсивність підживлення овочів та їхні виробничі параметри.

4. Дослідженнями комплексної провідності овочевих соків показано, що на частотах, нижчих від 1000 Гц, отримано обернено-пропорційну залежність активної та реактивної складових провідності, притаманну морквяним сокам без

добавок. За наявності домішок важких металів необхідно використовувати метод імітансу на високих частотах.

5. Створено віртуальний прилад на основі платформи LabVIEW з програмним забезпеченням формування тестового сигналу та опрацювання оригіналів напруги та струму для обчислення параметрів імітансу, що дає змогу проводити оперативні дослідження вирощуваної овочевої продукції in-situ на змінному струмі.

Практичне застосування отриманих результатів. Результати досліджень можна використати для вдосконалення метрологічного забезпечення моніторингу електричних характеристик об'єктів неелектричної природи, зокрема для проведення експрес-методу контролю якості та безпечності продукції овочівництва. Крім того, впровадження методу нечітких множин дає змогу, на основі контролю якості овочів (на прикладі моркви) та соків із них, оперативно корегувати програму внесення підживлень при вирощуванні сільськогосподарської продукції.

Результати досліджень можуть бути використані при експрес-аналізі соку на вміст важких металів за електричними параметрами у виробничих умовах. Споживче товариство підприємство «Антоній» Бібрського сільського споживчого товариства (м. Бібрка) використали результати при контролі якості овочів, які стосувалися оцінювання концентрації важких металів за електричними параметрами у виробничих умовах.

Результати роботи використовуються у навчальному процесі кафедри «Інформаційні вимірювальні технології» Національного університету «Львівська політехніка» для підготовки фахівців за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», в тому числі аспірантів - курс «Платформа та середовище розроблення обчислювально-вимірювального обладнання в межах візуальної мови програмування LabVIEW».

Особистий внесок здобувача. Здобувачем сформовано основні проблеми вимірювання якості та безпечності продукції овочівництва, як об'єкта неелектричної природи, електричними методами. Розроблено віртуальний засіб вимірювання, проведені електричні вимірювання низки зразків соків з різним вмістом забруднень.

Апробація результатів. Викладені в дисертаційній роботі наукові положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на всеукраїнських та міжнародних науково-практичних та науково-технічних конференціях: Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement», 2-6 лютого 2015 р. та 1-5 лютого 2016 р., м. Славське; 2-й Міжнародній науково-практичній конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 28-30 травня 2015р. м. Львів; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції», 27 жовтня 2016 р., м. Житомир; Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи інноваційного розвитку аграрного сектора економіки в умовах інтеграційних процесів», 22 грудня 2016 р., м. Харків; Всеукраїнській

науково-практичній інтернет-конференції «Обліково-аналітичне забезпечення інноваційного розвитку економіки», 14-15 березня 2018р., м. Львів; Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Концептуальні засади менеджменту у сфері аграрного виробництва: теорія, методологія, практика», 29-30 травня 2018р., м. Львів; Міжнародній науково-технічній конференції до 50-річчя ДП НДІ «Система», 22-23 листопада 2018 р., м. Львів; м. Київ, 6-й Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Актуальні проблеми теорії і практики експертизи товарів» 4-5 квітня 2019 р. м. Полтава.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із переліку умовних позначень та скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 165 сторінок, з яких 127 сторінок основного тексту, що містять 39 рисунків та 8 таблиць. Список використаних джерел налічує 154 найменувань.

Публікації: За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 20 наукових праць, з них 4 статті у фахових виданнях України, 2 статті у наукових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 1 стаття – у науковому періодичному виданні іншої держави, що включене до міжнародної наукометричної бази даних та 13 тез доповідей.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Дисертація присвячена удосконаленню методологічного й метрологічного забезпечення контролю якості овочів та соків із них на основі вимірювання та аналізу електричних параметрів за допомогою розробленого віртуального засобу імітаційного контролю.

У *вступі* представлено загальну характеристику роботи, висвітлено актуальність теми, обґрунтовано мету та основні завдання досліджень, визначено наукову новизну отриманих результатів та показано їх практичну цінність. Представлено об'єкт, предмет та методи досліджень, а також наведено дані про особистий внесок здобувача та апробацію результатів роботи.

У *першому розділі* розглянуто методи і засоби аналізу якісного та кількісного складу харчових продуктів, що базуються на вивченні фізичних, хімічних та біологічних властивостей. Встановлено, що ефективними є електрохімічні методи, які пов'язані зі зміною структури, хімічного складу та концентрації й забезпечують якісний і кількісний аналіз речовин. Основну інформацію містять електричні параметри. Показано, що перспективним методом кількісного аналізу вмісту мінеральних речовин в овочах є кондуктометричний метод дослідження, що ґрунтується на вимірюванні електричної провідності рідин. Встановлено, що наявні засоби потребують вдосконалення, зокрема, щодо підвищення чутливості та швидкості проведення аналізу, спрощення підготовки проб та зменшення їх вартості.

У *другому розділі* проведено порівняльний аналіз нормативно-методичної бази України та ЄС з метою наближення норм законодавства щодо якості й безпечності овочів та продуктів їх переробки до норм міжнародного

законодавства й показано, що рівень гармонізації нормативних документів з міжнародними є недостатнім.

До прикладу, Європейські стандарти стосуються харчових продуктів категорії 67.080.20 «Овочі та продукти їх переробки» і регламентують допустимі норми шкідливих речовин у харчових продуктах та різні методи їх визначення. Відзначено, що допустимий рівень забруднень важкими металами у європейських стандартах є суттєво нижчим порівняно з українськими, а забруднення овочів ртуттю, міддю, цинком і миш'яком взагалі не допускається, на відміну від українських стандартів.

Вітчизняна система оцінювання якості продукції, зокрема, не регламентує комплексні показники якості, а лише окремі показники. На основі розгляду запропоновано сукупність показників, які повніше характеризують якості овочів, введено пріоритетність вимог, що дає змогу враховувати потреби різних споживачів, закладає підґрунтя для розв'язання прикладних задач кваліметрії овочів. Враховуючи показники корисності та безпечності, органолептичні показники та показники технологічного призначення і транспортабельності. встановлено, що якість овочів доцільно оцінювати комплексно; для цього необхідно внести зміни до нормативних документів, регламентувавши граничні межі окремих характеристик якості.

Для встановлення і оптимізації комплексного показника якості продукції використано теорію і практику нечітких множин. У практиці виробництва розглядуваної продукції можуть зустрічатись різні підходи до оцінки виду головної вихідної характеристики, якою можуть бути: а) вміст клітковини, вуглеводів та білків; б) максимальна вага; в) вміст сукупності поживних речовин; г) безпечність вирощеної продукції. У результаті, побудовано 4 математичні моделі комплексного оцінювання якості сільськогосподарської продукції за нечітких обмежень. При цьому, вивчено вплив мінеральних добрив на вміст корисних речовин (клітковини, вуглеводів, білків) шляхом розв'язку у три етапи:

- 1) апроксимація результатів впливу мінеральних добрив на вміст корисних речовин;
- 2) симплекс – метод. Знаходження оптимальних значень задачі лінійного програмування - параметрів w_0 та d_0 ;
- 3) розв'язок системи нерівностей із шуканим результатом – марка мінеральних добрив.

Розгляд якості продукції за вмістом в овочах вуглеводів, клітковини, білків дає змогу регулювати їх зміною кількості внесених мінеральних добрив. Для цього функцію якості, на прикладі моркви, представлено як лінійну функцію $Z(x)$ від вмісту внесених мінеральних добрив:

$$Z(x) = w_j \cdot c \cdot x \rightarrow \max \quad (1)$$

де x – кількість мінеральних добрив, які необхідно внести, щоб забезпечити максимальне значення функції якості; w_j – коефіцієнт вагомості вмісту вуглеводів, клітковини, білків. На підставі досліджень впливу кількості внесених мінеральних добрив на вміст вуглеводів, клітковини, білків складено структурну матрицю, що описує лінійну оптимізаційну задачу:

$$A = \begin{pmatrix} 1,599 & -1,35 & -0,355 \\ 0,227 & -0,185 & -0,056 \\ 0,246 & -0,211 & -0,05 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Тоді цільова функція набуває вигляду:

$$Z(x) = 0,7777x_1 - 0,6536x_2 - 0,175x_3 \rightarrow \max \quad (3)$$

при обмеженнях:

$$\begin{aligned} g_1(x) &= -1,599 \cdot x_1 + 1,35 \cdot x_2 + 0,355 \cdot x_3 \leq -7; -7 + 0,2 \\ g_2(x) &= -0,227 \cdot x_1 + 0,185 \cdot x_2 + 0,056 \cdot x_3 \leq -1,1; -1,1 + 0,1 \\ g_3(x) &= -0,246 \cdot x_1 + 0,211 \cdot x_2 + 0,05 \cdot x_3 \leq -1,2; -1,2 + 0,1 \\ g_4(x) &= x_1 \leq 200 \\ g_5(x) &= x_2 \leq 180 \\ g_6(x) &= x_3 \geq 133 \\ g_7(x) &= x_3 \leq 210 \\ x &\geq 0; \end{aligned}$$

Оптимізаційна модель набуває вигляду:

$$\begin{aligned} \lambda &\rightarrow \max \\ \lambda &\leq \mu_z(x) \\ \lambda &\leq \mu_i(x) \quad \forall i = \overline{1, m_1} \\ 0 &\leq \lambda \leq 1; x \in U \end{aligned} \quad (4)$$

де $\mu_z(x)$ $\mu_i(x)$ – функції належності цілей та обмежень

$$\lambda = \min(\mu_z(x), \mu_1(x), \dots, \mu_{m_1}(x)) \quad (5)$$

Якщо припустити, що всі функції належності лінійні:

$$\mu_z(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } z(x) \leq w_0 - d_0 \\ 1 - \frac{z(x) - (w_0 - d_0)}{d_0} & \text{при } w_0 - d_0 < z(x) \leq w_0 \\ 1 & \text{при } w_0 \leq z \end{cases}, \quad (6)$$

то нечітка задача оптимізації зводиться до детермінованої:

$\lambda \rightarrow \max$

$$\begin{aligned} d_0 \lambda - c \cdot x &\leq -(w_0 - d_0) \\ \lambda d_i + a_i \cdot x &\leq b_i + d_i \quad \forall i = \overline{1, m_1} \\ a_i \cdot x &\leq b_i \quad \forall i = \overline{m_1 + 1, m} \\ x &\geq 0; \lambda \geq 0. \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \underline{w} &= \max z(x) \\ a_i \cdot x &\leq b_i \quad \forall i = \overline{1, m} \\ x &\geq 0; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \bar{w} &= \max z(x) \\ a_i \cdot x &\leq b_i + d_i \quad \forall i = \overline{1, m_1} \\ a_i \cdot x &\leq b_i \quad \forall i = \overline{m_1 + 1, m} \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

За вказаних умов отримано розв'язок - $x_1=200$, $x_2=0$, $x_3=133$. $Z=132,125$. Тобто, для вирощування якісної і безпечної продукції (моркви) необхідно вводити добрива $N_{180} K_{120}$ шляхом позакореневого підживлення. Оцінка якості моркви у цьому випадку становить 132,125.

У *третьому розділі* досліджено можливості залучення імітансного методу контролю показників якості овочевого соку. Для досліджень використано засіб вимірювання, що складається з кондуктометричної комірки, RLC-метра, блоків керування та опрацювання результатів.

У кондуктометричну комірку поміщались модельні рідини – овочеві соки з домішками важких металів. Вивчено залежності активної та реактивної складових електропровідності овочевого соку з домішками іонів міді та натрію в частотному діапазоні 50 Гц - 100 кГц. Отримані з допомогою даного засобу вимірювання залежності дають змогу реалізувати експрес-контроль вмісту домішок в овочевих соках за електричними параметрами.

Основні засади дослідження зміни активної G і реактивної B складових електропровідності (адмітансу) викладено нижче. Як вхідний тестовий сигнал використовується сигнал синусоїдної форми.

Покази приладу на i -й частоті виглядають наступним чином:

$$N_G = k_A \frac{1}{R} \quad (10)$$

$$N_B = k_A \omega C \quad (11)$$

де N_G – активна складова електропровідності; N_B – реактивна складова електропровідності; k_A – коефіцієнт перетворення АЦП.

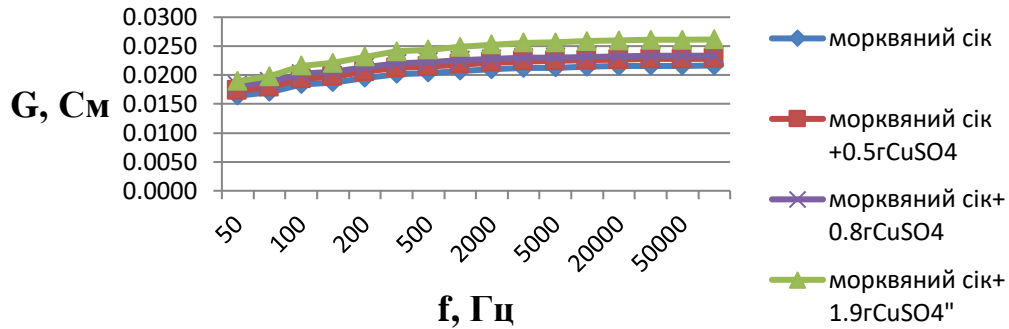


Рисунок 1 - Залежність активної складової G електропровідності від частоти тестового сигналу для соків з різним вмістом домішок CuSO_4 .

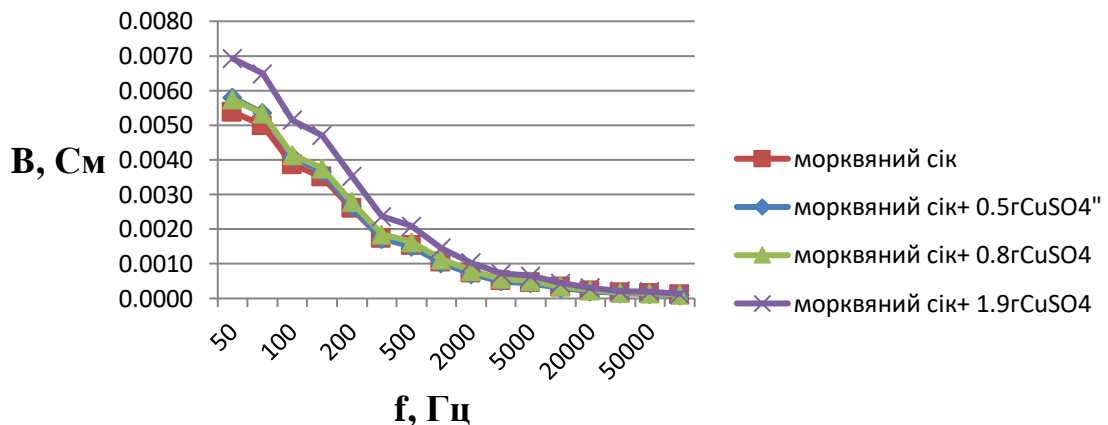


Рисунок 2 - Залежність реактивної складової B електропровідності від частоти тестового сигналу для соків з різним вмістом домішок CuSO_4 .

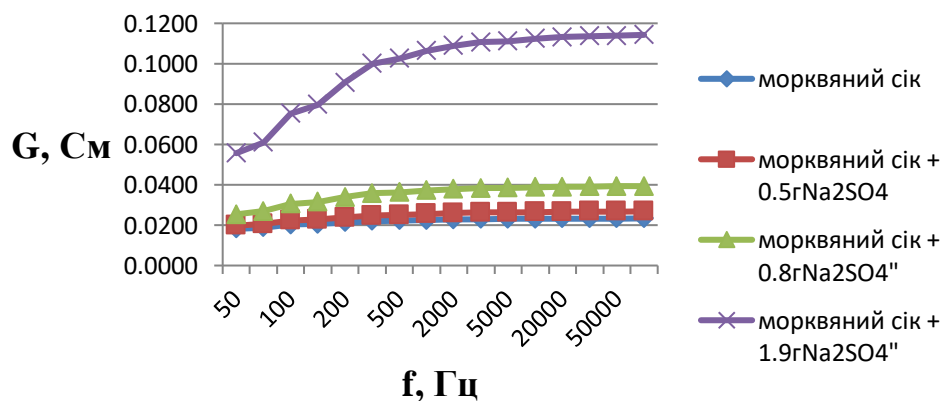


Рисунок 3 - Залежність активної складової електропровідності G від частоти тестового сигналу для соків з різним вмістом домішок Na_2SO_4 .

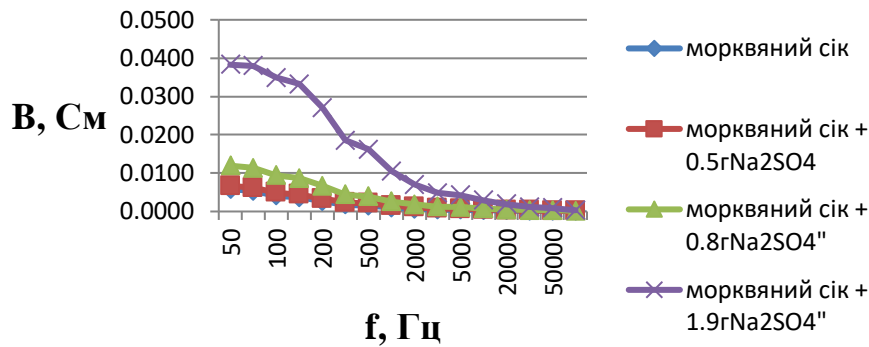


Рисунок 4 - Залежність реактивної складової електропровідності B від частоти тестового сигналу для соків з різним вмістом домішок Na_2SO_4

На основі експериментальних досліджень виявлено:

1) із зростанням частоти тестового сигналу активна складова стає постійною (не залежить від частоти), а реактивна - наближається до нуля. Оскільки метою дослідження є комплексна провідність, то дослідження на високих частотах є малоінформативними.

2) на частотах, нижчих від 1000 Гц, експериментально отримана обернено-пропорційна залежність активної та реактивної складових провідності, що дає інформацію стосовно якості соку без добавок.

3) за наявності домішок важких металів у контрольованому зразку соку, використовуючи високочастотні вимірювання параметрів імпедансу, можна засвідчити про ефективність даного методу для якісного та кількісного аналізу морквяного соку.

Отримані дані підтверджують наступне. Електропровідність посилюється пропорційно вмісту йонів та їх зарядовому числу в овочевих соках з добавками важких металів. Зростання помітніше для Na^+ як для легшого, рухливішого йона ніж для Cu^{+2} .

Аналіз комплексної електропровідності овочевих соків з добавками важких металів демонструє однаковий характер кривих складових адмітансу, що підтверджує максимальну близькість природи морквяного соку, як об'єкту досліджень, та його модельної рідини. Відмінність полягає у амплітудних значеннях отриманих сигналів. Модельні рідини з добавками важких металів характеризуються вищими значеннями активної і реактивної складових адмітансу (вища електропровідність свідчить про більший вміст введених металів, зокрема, шкідливих).

Завдяки використанню прототипу електричної моделі досліджуваного морквяного соку записано математичну модель, розв'язану у програмному пакеті MathCadPrime 3.1. Представлені рівняння записані на частотах 1000 і 10000 Гц. Дана система дробово-раціональних рівнянь розв'язана за допомогою Solve Block у програмному пакеті MathCadPrime 3.1.

Одержано результати, які представляють параметри морквяного соку: $R_x=46\text{Ом}$; $C_x=1.522 \cdot 10^{-9}\text{Ф}$; $C_n=1.844 \cdot 10^{-5}\text{Ф}$.

У четвертому розділі розроблено і досліджено віртуальний засіб вимірювання параметрів імпедансу овочевого соку.

Для імітансного контролю показників якості овочевого соку запропоновано і реалізовано віртуальний засіб вимірювання на основі апаратно-програмної платформи LabVIEW та з блоком NI USB 6009. Віртуальний прилад у складі: ПК з програмним забезпеченням LabVIEW, згаданого блоку NI USB 6009 та кондуктометричної комірки з соком вжито для визначення вмісту важких металів у цьому соці. Тим самим, доведено, що у виробничих умовах при незначних витратах можна оперативно контролювати якість овочів, з яких отримують досліджуваний сік.

Для вимірювання і розрахунку імітансу об'єкту генерувався синусоїдальний тестовий сигнал у вигляді змінної напруги амплітудою 10-20 мВ. Оскільки блок NI USB 6009 не здатен генерувати змінну напругу, у програмі використано окремі елементи NI-DAQ задачі з циклом While Loop with Stop Button. Для цього створено канал генерації Create Channel (початок генерації Start, генерація напруги Write, очищення завдання Clear Task), а також Wait, що регулює період синусоїди.

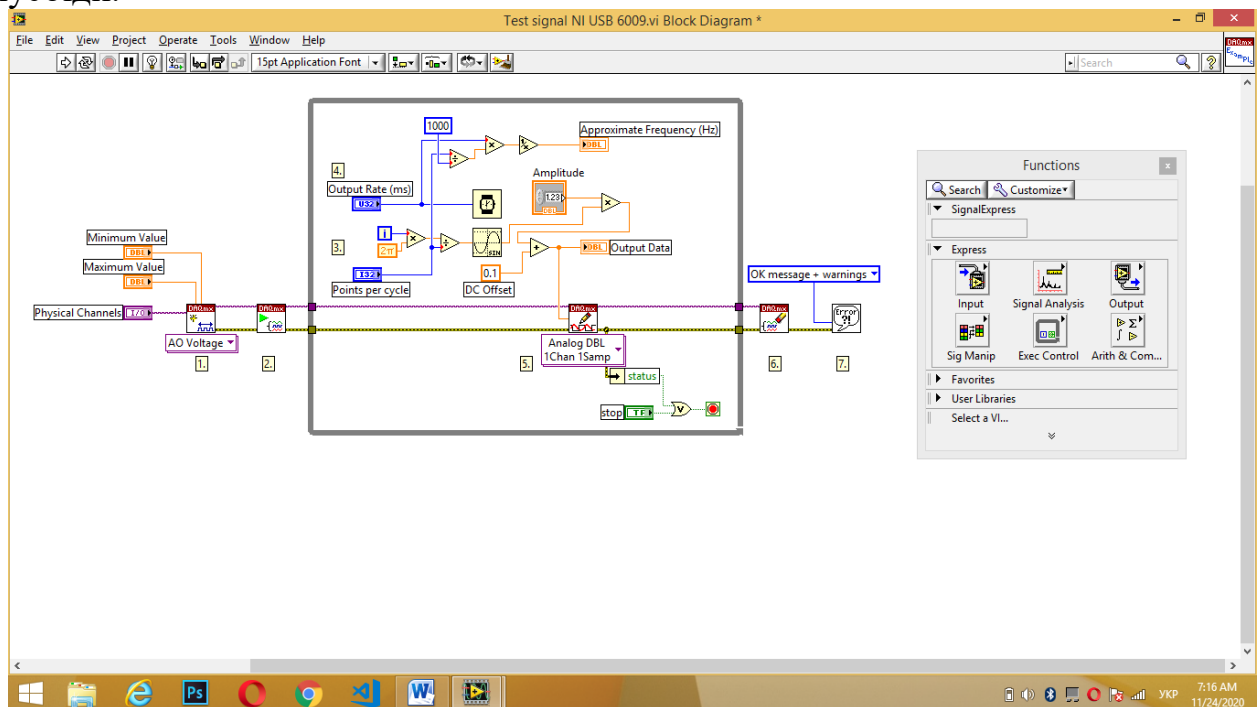


Рисунок 5 - Тестовий сигнал, блок-діаграма

Значення імітансу отримані шляхом математичного опрацювання сигналів напруги та струму кондуктометричної комірки із досліджуваним соком. Операція математичного опрацювання передбачена алгоритмом роботи віртуального засобу вимірювання. Вона здійснювалася трьома можливими способами:

1. Класичний спосіб, що передбачає використання рівняння Ейлера.
2. Спосіб із вимірюванням активної та реактивної потужності та діленням діючого значення потужності сигналу на квадрат діючого значення струму.

3. Спосіб із використанням експоненційного перетворення Фур'є з використанням для оцінки перших гармонік сигналів напруги та струму вимірюваного об'єкту.

Перший спосіб передбачає розрахунок параметрів синусоїди вимірювального об'єкту та подальший запис комплексних чисел на підставі рівняння Ейлера.

Сигнали напруги та струму представлено комплексними значеннями:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i), \quad (12)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \quad (13)$$

виглядає наступним чином:

$$i = I_m \cos(\omega t + \psi_i) + j \cdot I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (14)$$

$$\dot{u} = U_m \cos(\omega t + \psi_u) + j \cdot U_m \sin(\omega t + \psi_u) \quad (15)$$

З використанням рівнянь Ейлера: $i = I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}$; $\dot{u} = U_m e^{j(\omega t + \psi_u)}$, визначено імпеданс об'єкту вимірювання:

$$\bar{Z} = \frac{U_m e^{j(\omega t + \psi_u)}}{I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}} \quad (16)$$

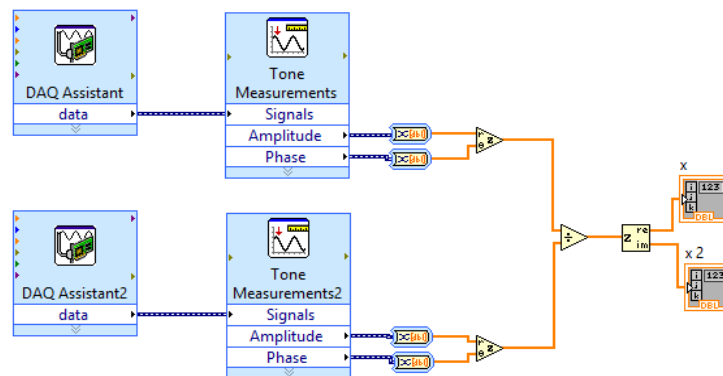


Рисунок 6 - Вимірювання імпедансу за допомогою рівняння Ейлера

У приладі (рис. 6) використано:

- Tone Measurement для отримання амплітуди і фази вимірювальних значень напруги та струму
- DAQ Assistant для отримання оригіналів значень напруги та струму об'єкта дослідження
- Перехідник для перетворення вимірювальних даних у числові
- Елементи перетворення комплексних чисел

Другий спосіб полягає у тому, що для зчитування та опрацювання комплексних складових імпедансу аналізували отримані сигнали вимірювання модуля та активної складової імпедансу. Для отримання значення модуля імпедансу використано Amplitude&Level measurement → СКЗ (RMS – root mean square), а для отримання активної складової імпедансу – Filter і mean. Реактивну складову імпедансу обчислено алгебраїчно. Розроблено структуру, яка дає змогу змінювати види вимірювань, з використанням: СКЗ напруги, СКЗ струму, модуля, активної та реактивної складових. Усі вимірювання базувались на зафіксованих миттєвих значеннях напруги та струму кондуктометричної комірки.

Співвідношення, що визначає активну складову, як активну потужність, поділену на квадрат СКЗ струму:

$$R = \frac{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} u(t) \cdot i(t) dt}{I^2} \quad (17)$$

Модуль комплексного опору, $|Z|$ визначається як частка середньоквадратичних значень напруги і струму $|Z| = U_d / I_d$, а реактивна складова - співвідношенням: $X = \sqrt{Z^2 - R^2}$. На рисунках 7, 8 представлений віртуальний інструмент для обробки імпедансу у спосіб вимірювання комплексної потужності об'єкта дослідження та ділення її на квадрат діючого значення струму.

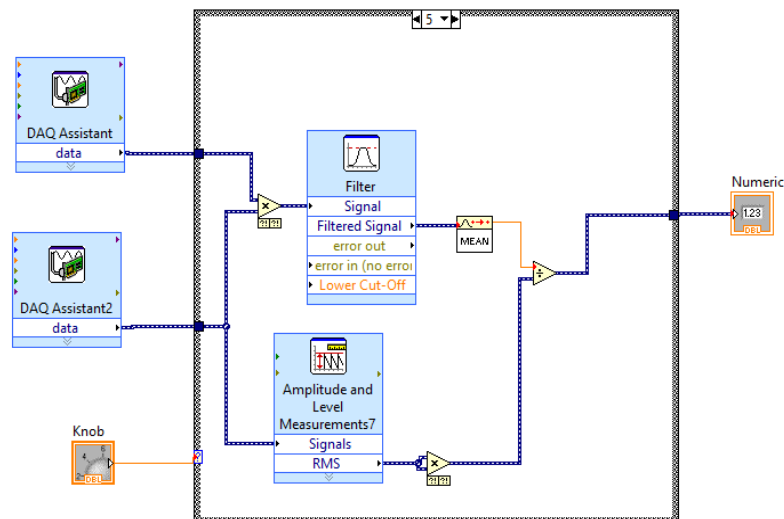


Рисунок 7 - Вимірювання активної складової імпедансу

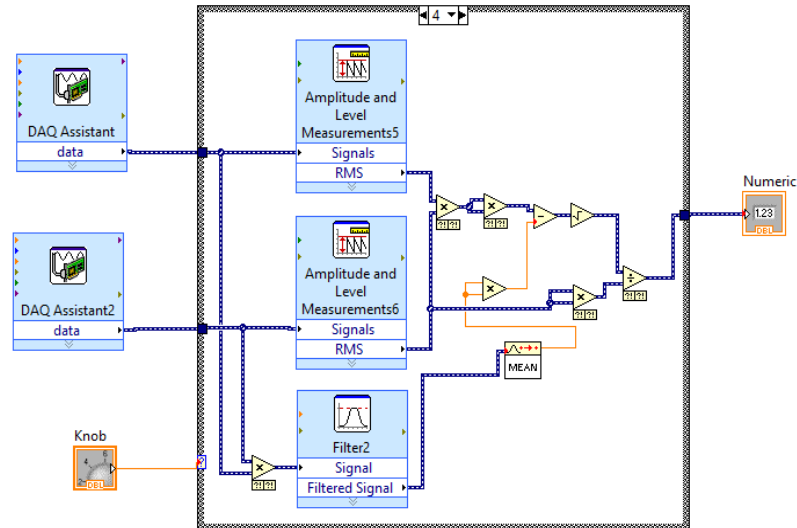


Рисунок 8 - Вимірювання реактивної складової імпедансу

У приладі (рис. 7, 8) використано:

- Filter для отримання інтегралу від добутку значень напруги та струму об'єкта дослідження
- MEAN для обчислення середнього значення по періоду від даних фільтра
- Amplitude and Level Measurement для отримання діючого значення струму
- DAQ Assistant для отримання оригіналів значень напруги та струму об'єкта дослідження

Третій спосіб полягає в наступному. Здійснивши експоненційне перетворення Фур'є оригіналів напруги та струму вимірювального об'єкту, потрібно отримати частку перших гармонік (C_k при $k=1$), що i є імпедансом досліджуваного об'єкту.

Перетворення Фур'є в експоненційній формі:

$$f(t) = \sum_{k=0}^{\infty} C_k \cdot e^{i \cdot k \cdot \omega_0 \cdot t} \quad (18)$$

$$C_k = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot e^{-i \cdot k \cdot \omega_0 \cdot t} dt, \quad (19)$$

де k – номер гармоніки, ω_0 – частота сигналу, C_k – результат перетворення Фур'є. У приладі (рис. 9) використано:

- експоненційне перетворення Фур'є вимірювальних значень напруги та струму
- DAQ Assistant для отримання оригіналів значень напруги та струму об'єкта дослідження
- перехідник для перетворення вимірювальних даних у числові

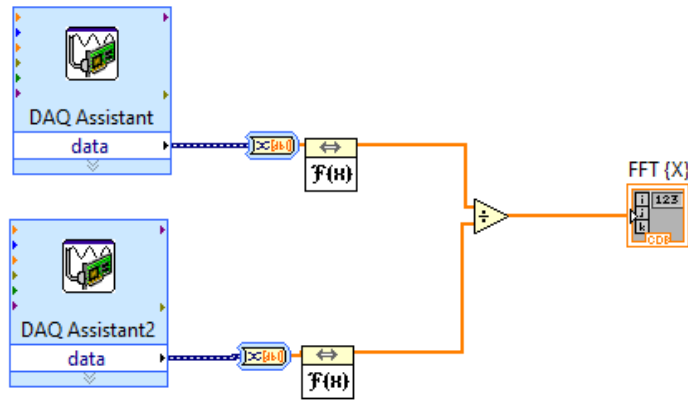


Рисунок 9 - Вимірювання імпедансу за допомогою експоненційного перетворення Фур'є

Вищевказані конструкції віртуальних засобів вимірювання успішно використано для здійснення експериментальних досліджень. За умов наявності апаратно-програмного забезпечення LabVIEW дані засоби можуть бути заповані в польових умовах підприємствами сільськогосподарського сектора.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішено науково-практичні завдання і отримано наступні результати:

1. Встановлено сукупність показників якості овочів, проведено їх систематизацію, введено пріоритетність вимог, що дало змогу сформувані модельно-теоретичні підстави для розв'язання прикладних задач кваліметрії продуктів їх переробки.

2. Встановлено доцільність комплексного оцінення якості овочів, для чого рекомендовано внести зміни до нормативних документів, регламентувавши граничні межі вмісту в них окремих домішок.

3. Запропоновано вирішити проблему оцінення рівня якості овочів та продуктів їх переробки шляхом побудови математичної багатокритеріальної моделі та формування цільової функції, як функції залежності комплексного показника якості від значень окремих характеристик. Завдяки використанню підходу Беллмана-Заде, оптимізацію з нечітко визначеними обмеженнями зведено до задачі класичного лінійного програмування з подальшим розв'язком системи нерівностей.

4. На основі аналізу методів контролю якості овочів встановлено, що перспективним методом кількісного аналізу мінеральних речовин в овочах є імітансний метод дослідження рідин. Досліджено частотні характеристики активної та реактивної складових електричної провідності овочевого соку з домішками йонів міді та натрію у діапазоні частот 50 Гц – 100 кГц, що дало змогу встановити частоти кращої інформативності.

5. Для імітансного контролю показників якості овочевого соку розроблено віртуальний засіб вимірювання на основі апаратно-програмної платформи LabVIEW та сумісного з нею блоку NI USB 6009, що дало змогу проводити експрес-аналіз соку на вміст мінеральних речовин за електричними параметрами у виробничих умовах. При цьому, для отримання можливості вимірювання імітансу згенеровано синусоїдальний тестовий сигнал шляхом використання окремих елементів NI-DAQ задачі з циклом While Loop with Stop Button та Wait.

6. Зчитування та опрацювання комплексних складових імітансу здійснено у три способи:

- обчислення імітансу здійснене методом рівняння Ейлера на підставі законів електротехніки;

- отримані сигнали проаналізовано за модулем та активною складовою імітансу. Для отримання значення модуля імітансу використано Amplitude&Level measurement → RMS (root mean square), а для отримання активної складової імітансу - Filter і mean. При цьому, реактивну складову імітансу обчислено алгебраїчно. Розроблено структуру, яка дозволяє легко перемикає на потрібне вимірювання, тобто на: СКЗ напруга, СКЗ струм, модуль, активна та реактивна складові. Усі вимірювання базувались на зафіксованих миттєвих значеннях напруги та струму кондуктометричної комірки;

- за допомогою швидкого перетворення Фур'є, із врахуванням перших гармонік вимірювальних сигналів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мідик І.-М. В. Проблемні аспекти оцінки якості сільськогосподарської продукції / О.В. Лиса, І.-М..В. Мідик // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Вимірювальна техніка та метрологія”. - 2014. - № 75. - С. 60-63;

2. Мідик І.-М. В. Систематизація показників якості у кваліметрії продукції овочівництва / І.-М..В. Мідик, П.Г. Столярчук // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Вимірювальна техніка та метрологія”. - 2015. - № 76. - С. 137-147;

3. Мидык И.-М. В. Методологические основы математического моделирования оценки качества продукции овощеводства / И.-М..В. Мидык // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2014. - Vol.16. - No.4. - С. 205-211;

4. Мідик І.-М. В. Оцінка якості продукції овочівництва за електричними характеристиками / І.-М..В. Мідик // Міжнародний науковий журнал «Технологічний аудит та резерви виробництва». ASSN 2226 -3780, 2016. - № 3/2 (29). - С. 30-35;

5. Мідик І.-М. В., Чабан О.П. Дослідження електричної та математичної моделі контролю якості овочів / І.-М..В. Мідик, О.П. Чабан // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Вимірювальна техніка та метрологія”. - 2016. - № 77. - С. 185-196;

6. Мідик І.-М. В., Лиса О.В. Оперативний контроль якості овочів за електричними характеристиками/ І.-М.В. Мідик, О.В. Лиса // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Вимірювальна техніка та метрологія”. - 2018. – Т. 79. Випуск 4 - С. 17-24;

7. Яцишин С.П., Мідик І.-М.В., Лиса О.В. Віртуальний пристрій для вимірювання імітансу, Міжвідомчий науково-технічний збірник “Вимірювальна техніка та метрологія”, 2019, том.80, вип..2, с. 12-15.

8. Мідик І.-М. В. Математичне моделювання оцінки якості продукції овочівництва / І.-М.В. Мідик, П.Г. Столярчук / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених у царині метрології «TechnicalUsingof Measurement-2015», 2-6 лютого 2015 р., Славське. - С. 70-71;

9. Мідик І.-М. В. Аналіз системи нормативного забезпечення якості та безпечності продукції овочівництва / І.-М.В. Мідик, П.Г. Столярчук / Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції “Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи”, 28-30 травня 2015р., Львів. - С. 160-161;

10. Мідик І.-М. В. Аналіз показників оцінки якості та безпечності продукції овочівництва / І.-М.В. Мідик, П.Г. Столярчук / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених у царині метрології «TechnicalUsingof Measurement-2016», 1-5 лютого 2016 р., Славське. - С. 133-134;

11. Мідик І.-М. В. Імітансний метод контролю якості та безпечності продукції овочівництва / І.-М.В. Мідик / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції», 27 жовтня 2016 р., – Житомир: ЖДТУ, 2016. – С. 29-30;

12. Мідик І.-М. В. Аудит якості продукції овочівництва як засіб підвищення конкурентоспроможності підприємств / І.-М.В. Мідик / Проблеми і перспективи інноваційного розвитку аграрного сектора економіки в умовах інтеграційних процесів : матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., 22 грудня 2016 р. У 2 ч. Ч. 2 / Харк. нац. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. – Х.: ХНАУ, 2016. — С. 253-256.

13. Лиса О.В. Мідик І.-М.В. Інноваційні засади використання технічних засобів для підвищення ефективності аудиту якості сільськогосподарської продукції. Обліково-аналітичне забезпечення інноваційного розвитку економіки: матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, 14-15 березня 2018 року. – Львів: ЛНАУ, 2018. – с. 97-99.

14. Мідик І.-М.В. Розвиток методів контролю якості продукції овочівництва для підвищення конкурентоспроможності підприємств. Концептуальні засади менеджменту у сфері аграрного виробництва: теорія, методологія, практика: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції, 29-30 травня 2018 року. - Львів: ЛНАУ, 2018. – с. 100-102.

15. Яцишин С.П., Мідик І.-М.В., Лиса О.В. Розробка приладу для вимірювання імітансу за допомогою блоку NI USB 6009. Системи-2018: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції до 50-річчя ДП НДІ

«Система», 22-23 листопада 2018 року. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2018. – с. 45-46.

16. Lysa O. V. Midyk I.-M. V. Virtual device for quality control of vegetable products. Актуальні проблеми сучасного бізнесу: обліково-фінансовий та управлінський аспекти: матеріали I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 19-21 березня 2019 р. Ч. 2. – Львів: ЛНАУ, 2019. – с. 182-184.

17. Лиса О.В. Мідик І.-М.В. Моделювання процесів оцінювання якості сільськогосподарської продукції. Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції 18-19 квітня 2019 р. / М-во освіти і науки України; М-во культури України; Київ. нац. ун-т культури і мистецтв. - Ч. 1. – Київ: Видавничий центр КНУКіМ, 2019. – Ч.1. - сс. 170-171.

18. Лиса О.В. Мідик І.-М.В. Віртуальний пристрій для контролю якості продукції овочівництва. Актуальні проблеми теорії і практики експертизи товарів: матеріали VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції 4-5 квітня 2019 р. – Полтава : ПУЕТ, 2019. – с. 95-96.

19. Лиса О.В. Мідик І.-М.В. Класифікація показників якості для кваліметричного оцінювання продукції овочівництва. Формування та перспективи розвитку підприємницьких структур в рамках інтеграції до європейського простору: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (заочна форма) – Полтава, 2019. – с. 308-312.

20. Ihor Midyk, Olga Lysa Developmen tof a virtual instrument for quality control of objects of non-electric nature Proceeding of the 21th International Conference on IT for Practice / Edited by J. Ministr, M. Tvrdikova. - Ostrava: HSB-TU, 2018. – P. 107-121. – ISBN 978-80-248-3970-7

АНОТАЦІЯ

Мідик І.-М.В. Удосконалення методів та розроблення віртуального засобу оцінювання якості продукції овочівництва. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти та науки України, Львів, 2021.

Проаналізовано методи аналізу якісного та кількісного складу харчових продуктів.

На основі проведеного огляду методів контролю якості овочів визначено, що перспективним методом кількісного аналізу вмісту мінеральних речовин в овочах є кондуктометричний метод дослідження рідин, що ґрунтується на вимірюванні електричної провідності.

На основі математичного аналізу з використанням теорії нечітких множин вивчено вплив мінеральних добрив на вміст корисних речовин (клітковини, вуглеводів, білків). При цьому, задача розв'язана у три етапи:

1) апроксимація результатів впливу мінеральних добрив на вміст корисних речовин

2) симплекс – метод. Знаходження оптимальних значень задачі лінійного програмування - параметрів w_0 та d_0

3) розв'язок системи нерівностей із шуканим результатом – марка мінеральних добрив.

Також здійснений розрахунок функції належності цілі та обмежень для повної картини розв'язку математичної задачі.

Досліджено можливості відомого імітансного методу для контролю показників якості овочевого соку. У кондуктометричну комірку поміщались модельні рідини – овочеві соки з домішками важких металів. Вивчено залежності активної та реактивної складових електропровідності овочевого соку з домішками іонів міді та натрію в частотному діапазоні 50 Гц - 100 кГц. Використання отриманих залежностей покращує інформативність електричних досліджень і, таким чином, підвищує оперативність аналізу показників якості. Розроблений засіб вимірювання та отримані залежності дають змогу здійснювати експрес-контроль вмісту домішок в овочевих соках за електричними параметрами.

Для імітансного контролю показників якості овочевого соку запропоновано і реалізовано віртуальний засіб вимірювання на основі апаратно-програмної платформи LabVIEW та з блоком NI USB 6009. Віртуальний прилад у складі: ПК з програмним забезпеченням LabVIEW, згаданого блоку NI USB 6009 та кондуктометричної комірки з соком вжито для визначення вмісту важких металів у цьому соці. Тим самим, доведено, що у виробничих умовах при незначних витратах можна оперативно контролювати якість овочів, з яких отримують досліджуваний сік.

Ключові слова: електропровідність, імітанс, адмітанс, кондуктометрична комірка, ємнісний перетворювач, модельна рідина, моделювання, активна складова адмітансу, реактивна складова адмітансу, нечіткі множини, віртуальний засіб вимірювання, апаратно-програмна платформа LabVIEW, блок NI USB 6009, NI-DAQ задача, державний стандарт, міжнародні стандарти.

АННОТАЦИЯ

Мидык И.-М.В. Совершенствование методов и разработка виртуального средства оценки качества продукции овощеводства. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02 - стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение. Национальный университет «Львовська политехника», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2021.

Проанализированы методы анализа качественного и количественного состава пищевых продуктов.

На основе обзора методов контроля качества овощей определено, что перспективным методом количественного анализа содержания минеральных веществ в овощах есть кондуктометрический метод исследования жидкостей, основанный на измерении электрической проводимости.

На основе математического анализа с использованием теории нечетких множеств изучено влияние минеральных удобрений на содержание полезных веществ (клетчатки, углеводов, белков). При этом, задача решена в три этапа:

- 1) аппроксимация результатов воздействия минеральных удобрений на содержание полезных веществ
- 2) симплекс - метод. Нахождение оптимальных значений задачи линейного программирования - параметров w_0 и d_0
- 3) решение системы неравенств с искомым результатом - марка минеральных удобрений

Расчет функции принадлежности цели и ограничений для полной картины решения математической задачи.

Исследованы возможности известного имитансного метода для контроля показателей качества овощного сока. Для экспериментальных исследований разработана структура измерительного средства в составе кондуктометрической ячейки, RLC-метра, блоков управления и обработки результатов.

В кондуктометрическую ячейку помещались модельные жидкости - овощные соки с примесями тяжелых металлов. Изучены зависимости активной и реактивной составляющих электропроводности овощного сока с примесями ионов меди и натрия в частотном диапазоне 50 Гц - 100 кГц. Использование полученных зависимостей улучшает информативность электрических исследований и, таким образом, повышает оперативность анализа показателей качества. Разработан способ измерения и полученные зависимости позволяют осуществлять экспресс-контроль содержания примесей в овощных соках по электрическим параметрам.

Для иммитансного контроля показателей качества овощного сока предложено и реализовано виртуальное средство измерения на основе аппаратно-программной платформы LabVIEW с блоком NI USB 6009. Виртуальный прибор в составе ПК с программным обеспечением LabVIEW, упомянутого блока NI USB 6009 и кондуктометрической ячейки с соком приняты для определения содержания тяжелых металлов в этом соке. Тем самым, доказано, что в производственных условиях при незначительных затратах можно оперативно контролировать качество овощей, из которых получают исследуемый сок.

Ключевые слова: электропроводность, иммитанс, адмиттанс, кондуктометрическая ячейка, емкостный преобразователь, модельная жидкость, моделирование, активная составляющая адмиттансу, реактивная составляющая адмиттансу, нечеткие множества, виртуальное средство измерения, аппаратно-программная платформа LabVIEW, блок NI USB 6009, NI-DAQ задача, государственный стандарт, международные стандарты.

ABSTRACT

Midyk I.-M.V. Improvement of methods and design of a virtual mean of vegetable products quality assessment. - On the rights of the manuscript.

The dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.01.02 - Standardization, Certification and Metrological Assurance, Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2021.

The dissertation is devoted to the improvement of methodological and metrological assurance of quality control of vegetables and juices from them on the basis of their electro physical parameters analysis with the help of virtual means of immittance control.

The first section analyzes the methods for the qualitative and quantitative composition of food products. Measuring methods of analysis are based on the physical, chemical and biological properties of the substance. The described methods are briefly described; their advantages and disadvantages are indicated. Electrochemical methods, which are related to changes in structure, chemical composition and concentration, are shown to be effective and provide qualitative and quantitative analysis of substances in gas, liquid or solid state. Informative parameters, in this case, are electrical parameters.

In the second section, a comparative analysis of the normative base of Ukraine was carried out in order to approximate the legislation on quality and safety of vegetables and their products to the standards of international law.

To optimize the overall quality index, it is proposed to use the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets, since the characteristics of the product must be in a certain range. As a result, several mathematical models for the complex evaluation of the quality of agricultural products for fuzzy constraints are constructed:

I model is a model for identifying vegetables with the highest content of fiber, carbohydrates and proteins, depending on the amount of mineral fertilizers (maximum value of the function defining a complex quality index);

II Model - a model for achieving the maximum weight of agricultural products (maximum value of the function of mass depending on mineral fertilizers);

III model - a model for ensuring the cultivation of agricultural products with specified parameters of the proportion of nutrients (carbohydrates, proteins);

IV Model is a model of safety of vegetables, that is, a model for assessing the safety of products in relation to its contamination by heavy metals.

Based on mathematical analysis using fuzzy set theory, the effect of mineral fertilizers on the content of nutrients (fiber, carbohydrates, proteins) has been studied. In this case, the problem is solved in three stages:

1) Approximation of the results of the influence of mineral fertilizers on the content of nutrients

2) Simplex - method. Finding the parameters w_0 and d_0

3) The solution of the system of inequalities with all the desired results - the brand of mineral fertilizers, mathematical parameters λ

Calculation of the goal affiliation function and constraints for a complete picture of the solution of a mathematical problem.

In the third section, a processing of the results was developed.

In conductivity cell was placed model liquids - vegetable juices with impurities of heavy metals. The dependences of the active and reactive components of electrical conductivity of vegetable juice with impurities of copper ions and sodium ions on the frequency of the electromagnetic field of 50Hz-100kHz were studied. It was found on the basis of experimental study:

1) As the frequency of the test signal increases, the active component becomes constant (independent of frequency), and the reactive component approaches zero. As the purpose of research is complex conductivity, I consider research on high frequencies uninformative.

2) At frequencies below 1000 Hz, the experimentally obtained inverse dependence of the active and reactive components of conductivity, which provides information on the quality of juice without additives.

3) In the presence of heavy metal impurities in the controlled juice sample, using immittance measurements, it is possible to prove the efficiency of this method for qualitative and quantitative analysis of carrot juice.

The fourth chapter presents a developed virtual means for measuring the imitation of vegetable juice was described.

For immittance control of vegetable juice quality indicators, a virtual measuring device based on the LabVIEW hardware platform and a compatible NI USB 6009 unit was proposed and implemented. This enabled the rapid analysis of the juice content of the mineral substances by electrical parameters. Thus, in production conditions, at a negligible cost, you can quickly control the quality of vegetables from which the juice is obtained.

The virtual device consists of: a PC with LabVIEW software, the mentioned NI USB 6009 block and a conductivity cell with juice used to determine the content of heavy metals in this juice.

To measure and calculate the imitation of the object, a sinusoidal test signal was generated in the form of voltage variable amplitude of 10-20 mV. Since the NI USB 6009 unit is not capable of generating alternating voltage, the program uses certain elements of the NI-DAQ task with the While Loop with Stop Button cycle. To do this, it was created the Channel Generation - Create Channel (Start Task, Write, Clean Task), and Wait, which governs the sinusoidal period.

The immittance values were obtained by mathematical processing of voltage and current signals of the conductometric cell with the investigated juice. The operation of mathematical processing is provided by the algorithm of the virtual measuring instrument. It was carried out in three possible ways:

1. The classical method, which involves the use of Euler's equation.
2. A method of measuring active and reactive power and dividing the effective value of the signal power by the square of the current value.
3. Method using exponential Fourier transformation using the voltage and current signals of the measured object to estimate the first harmonics.

Key words: electrical conductivity, immittance, admittance, conductivity meter, capacitance converter, model fluid, modeling, active component of admittance, reactive component of admittance, fuzzy sets, virtual measuring instrument, LabVIEW hardware platform, block NI USB 6009, NI-DAQ task, state standard, international standards.