

Національний університет «Львівська політехніка»  
Міністерство освіти і науки України

Національний університет «Львівська політехніка»  
Міністерство освіти і науки України

*Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису*

**МІДИК ІГОР-МИХАЙЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 006;004.9;60;620

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

05.01.02 – *стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення*  
05 «Технічні науки»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело  
І.-М. В. Мідик

Науковий керівник –  
доктор технічних наук, професор  
**Столярчук П.Г.**

*Ідентичність всіх прилуків дисертації*  
**ЗАСВІДЧУЮ:**  
Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради /Г. Бубела/



Львів - 2021

## 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 (доктора філософії) за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти та науки України, Львів, 2021.

Дисертація присвячена удосконаленню методологічного й метрологічного забезпечення контролю якості овочів та соків із них на основі аналізу їх електрофізичних параметрів за допомогою віртуального засобу імітансного контролю.

**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».

*У першому розділі* проаналізовано методи аналізу якісного та кількісного складу харчових продуктів. Вимірювальні методи аналізу базуються на фізичних, хімічних та біологічних властивостях речовини. Коротко охарактеризовано вказані методи, вказано їх переваги та недоліки. Встановлено, що ефективними є електрохімічні методи, які пов'язані зі зміною структури, хімічного складу та концентрації й забезпечують якісний і кількісний аналіз речовин у газовому, рідкому або твердому стані. Інформативними параметрами, при цьому, є електричні параметри.

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.

Проаналізовано засоби контролю якості харчових продуктів та 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 з метою наближення норм законодавства щодо якості та безпечності овочів та продуктів їх переробки до норм міжнародного законодавства. Рівень гармонізації українських нормативних документів з міжнародними є недостатнім. Залишаються чинними застарілі стандарти, яким притаманні істотні відмінності від міжнародних стандартів щодо класифікації продукції за якістю, безпечністю та методами їх контролю.

Європейські стандарти стосуються всіх харчових продуктів категорії 67.080.20 «Овочі та продукти їх переробки», а не конкретного виду овочів. Вони регламентують допустимі норми шкідливих речовин у харчових продуктах та різні методи їх визначення. Відзначено незадовільну відповідність нормативної бази України Європейським маркетинговим стандартам; зокрема, допустимі дози забруднень важкими металами у європейських стандартах є значно нижчі, ніж в українських. Забруднення ж овочів ртуттю, міддю, цинком та миш'яком згідно європейських стандартів взагалі не допускається, на відміну від українських стандартів.

На основі порівняльного аналізу національних та європейських нормативних документів встановлено, що чинна система оцінювання якості продукції овочівництва є недостатньо досконалою. Зокрема, вона не регламентує комплексні показники якості, а лише окремі показники; не охоплені всі показники якості овочів; не для всіх показників якості регламентовано вимоги щодо їх нормування та одиниці їх вимірювання. Тому запропоновано сукупність показників якості овочів, які більш повно характеризують властивості овочів. Введено пріоритет вимог, що дає змогу враховувати потреби різних споживачів, закладає підґрунтя для розв'язання прикладних задач кваліметрії овочів. Охарактеризовано сукупність показників якості овочів. Встановлено одиниці їх вимірювання. Згруповано встановлені показники для забезпечення комплексного оцінювання властивостей овочів, враховуючи показники корисності та безпеки, органолептичні показники та показники технологічного призначення і транспортабельності. Встановлено, що доцільно здійснювати комплексне оцінення якості овочів, для чого рекомендовано внести зміни до нормативних документів, регламентувавши граничні межі окремих характеристик (параметрів) якості овочів.

Для оптимізації загального показника якості продукції запропоновано використати математичний апарат теорії нечітких множин. У результаті,

побудовано декілька математичних моделей для комплексного оцінювання якості сільськогосподарської продукції за нечітких обмежень:

I модель – модель визначення овочів з найбільшим вмістом клітковини, вуглеводів та білків, залежно від кількості мінеральних добрив (максимальне значення функції, що визначає комплексний показник якості);

II модель – модель для досягнення максимальної ваги сільськогосподарської продукції (максимальне значення функції маси залежно від вмісту мінеральних добрив);

III модель – модель для забезпечення вирощування сільськогосподарської продукції із заданими параметрами питомої ваги поживних речовин (вуглеводів, білків);

IV модель – модель для оцінювання безпечності продукції щодо наявності у ній домішок важких металів.

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 параметрів  $w_0$  та  $d_0$ ;
- 3) Розв'язок системи нерівностей із усіма шуканими результатами – марка мінеральних добрив, математичні параметри  $\lambda$ .

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

У *третьому розділі* досліджено можливості відомого імітансного методу для контролю показників якості овочевого соку. Для експериментальних досліджень використано структуру вимірювального засобу, що складається з кондуктометричної комірки, RLC-метра, блоку 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. Використання отриманих залежностей покращує інформативність електричних досліджень і, таким чином, підвищує оперативність аналізу показників якості. Засіб вимірювання (RLC-метр) та отримані залежності дають змогу здійснювати експрес-контроль вмісту домішок в овочевих соках за електричними параметрами. Отримано дані підтверджують наступне. Електропровідність посилюється пропорційно вмісту йонів та їх зарядовому числу в овочевих соках з домішками важких металів. Зростання помітніше для  $\text{Na}^{+1}$  як для легшого, рухливішого йона ніж для  $\text{Cu}^{+2}$ .

Аналіз комплексної електропровідності овочевих соків з домішками важких металів демонструє однаковий характер кривих складових адмітансу, що підтверджує максимальну близькість природи моркв'яного соку, як об'єкту досліджень, та його модельної рідини. Відмінність полягає у амплітудних значеннях отриманих сигналів. Модельні рідини з домішками важких металів характеризуються вищими значеннями активної і реактивної складових адмітансу (вища електропровідність свідчить про більший вміст введених металів, зокрема, шкідливих). Зауважимо, що формування модельних розчинів усуває методичну похибку, зумовлену впливом, додаткових до досліджуваного, компонентів соку на електропровідність. Екстремальне значення тут відсутнє; залежність активної складової імітансу прямопропорційна частоті, а залежність реактивної складової імітансу обернено пропорційна частоті. Обидві складові вважаються інформативними.

Дані годографу свідчать про обернено пропорційний взаємозв'язок складових імітансу, тобто із зростанням активної складової електропровідності спадає реактивна складова, і навпаки. Спостерігається лінійна залежність модулю адмітансу від вмісту важких металів.

Показано, що методом дослідження питомої електропровідності можна ефективно вивчати лише вищевказані йони, нехтуючи, при цьому, незначним впливом інших можливих йонів компонентів домішок.

Запропоновано математичну модель контролю якості об'єктів неелектричної природи, включаючи овочеві соки (до прикладу, моркв'яний сік). Для цього розглянуто відомі прототипи моделей та наявні результати експериментальних досліджень активної та реактивної складових електропровідності (адмітансу) у частотному діапазоні тестового сигналу. Використовуючи прототип, здійснено моделювання складових адмітансу при змінах електричного опору та ємності зазначених об'єктів та ємності приелектродного шару у частотному діапазоні тестового сигналу.

В усіх випадках моделювання, на частотах вище 4кГц реактивна складова відсутня. Це свідчить про недоцільність імітансного методу на вказаних частотах. На частотах нижче 4кГц спостерігається падіння реактивної складової. Зміни параметрів  $C_n$ ,  $C_x$ ,  $R_x$  впливають на амплітудні відхилення. Найбільше значення реактивної складової у всіх випадках моделювання спостерігається на дуже малій частоті тестового сигналу.

1. При зростанні ємності приелектродного шару  $C_n$  криві активної складової адмітансу зміщуються ліворуч за частотою. Реактивна складова на низьких частотах і за великого значення  $C_n$ , досягає великого значення.
2. Зміна ємності об'єкта контролю  $C_x$  не впливає на значення активної складової імітансу, проте впливає на реактивну складову лише на малих частотах. При цьому, більша ємність призводить до більшого значення реактивної складової провідності. Приелектродна ємність впливає на активну складову, відповідно і  $C_x$  мала б впливати, але оскільки  $C_n \gg C_x$ , то  $C_x$  нехтується.



3. Із зростанням опору об'єкта контролю  $R_x$  активна складова падає, а вище частоти у 4кГц не змінюється. Збільшення опору об'єкта контролю призводить до вищого значення реактивної складової на частоті нижче 4кГц. У четвертому розділі розроблено і досліджено віртуальний засіб вимірювання параметрів імітансу овочевого соку.

Для імітансного контролю показників якості овочевого соку запропоновано, створено 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 домішок важких металів у цьому соці. Таким чином, 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.

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. Оцінка перших гармонік сигналів напруги та струму вимірюваного об'єкту.

**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.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати 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.

#### **Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

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 «Technical Using of 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 «Technical Using of 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 іммітансу 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. - С. 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 Development of 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. Tvrdivkova. - Ostrava: HSB-TU,2018. – P. 107-121. – ISBN 978-80-248-3970-7

### **ABSTRACT**

Midyk I.-M.V. Improving methods and developing a virtual tool for assessing the quality of vegetable products. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.01.02 - standardization, certification and metrological support. National University "Lviv Polytechnic", 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 electrophysical parameters analysis with the help of virtual means of imittance control.

**The scientific novelty** of the obtained results is the systematization of quality indicators of vegetable products and their optimization based on fuzzy set theory, experimental study of this product by the imitation method and the development of applied virtual measuring instruments based on the hardware and software platform LabVIEW. The following scientific results were obtained in the dissertation:

1. Systematized indicators of quality of vegetable products. On this basis, the problem of complex assessment of the level of quality of vegetable products is solved by building a mathematical multicriteria model of quality assessment, for which the target function is formed as a function of the complex quality indicator on the values of individual characteristics.

2. Based on the use of fuzzy set theory, using the Bellman-Zade approach, the problem of optimizing the introduction of nutrients to vegetables with vaguely defined constraints is considered, which is reduced to the problem of classical linear programming with subsequent solution of the system of inequalities.

3. For the first time, based on the results of research related to the determination of the content of harmful impurities in vegetable juices, a quality function is proposed, which describes the compliance of the obtained quality indicators with the requirements of international standards. This allows, if necessary, to adjust the intensity of feeding vegetables and their production parameters.

4. Studies of the complex conductivity of vegetable juices have shown that at frequencies below 1000 Hz, an inversely proportional dependence of the active and reactive components of the conductivity inherent in carrot juices without additives. In the presence of impurities of heavy metals it is necessary to use the method of imitation at high frequencies.

5. A virtual device based on the LabVIEW platform with software for generating a test signal and processing the original voltage and current to calculate the immittance parameters, which allows for operational research of grown vegetable products in-situ on alternating current.

**Practical application of the obtained results.** The results of research can be used to improve the metrological support for monitoring the electrical characteristics of non-electrical objects, in particular for the rapid method of quality control and safety of vegetable products. In addition, the introduction of the fuzzy set method allows, based on the quality control of vegetables (for example, carrots) and their juices, to quickly adjust the program of fertilization in the cultivation of agricultural products.

The research results can be used in the rapid analysis of juice for heavy metals by electrical parameters in production conditions. The consumer company "Anthony" of the Bibrka Rural Consumer Society (Bibrka) used the results in quality control of vegetables, which concerned the assessment of the concentration of heavy metals by electrical parameters in production conditions.

The results are used in the educational process of the Department of "Information Measuring Technologies" of the National University "Lviv Polytechnic" to train specialists in the specialty 152 "Metrology and Information-Measuring Technology", including graduate students - course Platform and environment for development of computing and measuring equipment visual programming language LabVIEW".

The *first chapter* analyzes the methods for 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.

On the basis of the conducted review of methods of vegetables quality control, it was determined that the prospective method of quantitative analysis of the content of mineral substances in vegetables is the conductometric method of liquids investigation, based on the measurement of electrical conductivity.

The analysis of food quality control tools has been carried out and it has been established that existing tools need to be improved, in particular, to increase the sensitivity and speed of the analysis, simplify the preparation of samples and reduce their cost.

In the *second chapter*, 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 international standards. The level of harmonization of Ukrainian normative documents with international ones is insufficient. Outstanding standards that are inherent in essential differences from international standards for the classification of products by quality, safety and methods of control remain in force.

European standards refer not to a specific type of vegetable, but to all food products of the category 67.080.20 "Vegetables and products of their processing". They regulate the permissible rules for harmful substances in food products and different methods of their determination. The unsatisfactory compliance of the regulatory framework of Ukraine with the European marketing standards was noted; in particular, the permissible doses of heavy metal contamination in European standards are much lower than in Ukrainian. Contamination of vegetables with mercury, copper, zinc and arsenic in accordance with European standards is not allowed in general, unlike Ukrainian standards.

It is established that the current system of evaluation of vegetable production quality is imperfect. It does not regulate complex quality indicators, but only individual indicators. In addition, not all vegetable quality indicators are covered; not all quality indicators regulate the requirements for their valuation and the unit for measuring them. A set of quality indicators of vegetables that fully characterize the properties of vegetables is proposed. The priority of the requirements has been introduced, which makes it possible to take into account the needs of different consumers, laying the foundation for the solution of applied problems of vegetable qualimetry. A collection of quality indices of vegetables is described. Units of their exchange are established. The



established indicators are grouped to provide a comprehensive assessment of the properties of vegetables, taking into account the indicators of utility and safety, organoleptic indicators and indicators of technological purpose and transportability. It is established that it is expedient to carry out a comprehensive assessment of the quality of vegetables, which requires changes to the regulatory documents, regulating the limits of individual characteristics of the quality of vegetables.

To optimize the overall quality index, it is proposed to use the mathematical apparatus of the fuzzy logics 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:

The 1<sup>st</sup> 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);

The 2<sup>nd</sup> model - a model for achieving the maximum weight of agricultural products (maximum value of the function of mass depending on mineral fertilizers);

The 3<sup>rd</sup> model - a model for ensuring the cultivation of agricultural products with specified parameters of the proportion of nutrients (carbohydrates, proteins);

The 4<sup>th</sup> 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 with help of fuzzy logics, 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  $\lambda$ .

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

In the *third chapter*, the structure of the measuring instrument for the imitative control of vegetable juice quality indicators was used; it consisted of a conductivity cell, an RLC-meter, a control unit.

The model liquids (vegetable juices with impurities of heavy metals) were put into the conductivity cell. The dependences of the active and reactive components of electrical conductivity of vegetable juice with impurities (copper and sodium ions) were studied in the frequency range 50Hz-100kHz. The use of established dependencies improves the informality of electrical research and thus enhances the efficiency of the analysis of quality indicators. The electrical conductivity is increased in proportion to the content of ions and their charge number in vegetable juices with heavy metal additions. Growth is noticeable for  $\text{Na}^{+1}$  as for a lighter, more mobile ion than for  $\text{Cu}^{+2}$ .

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 indicates a stable modulus of complex 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 low-frequency immittance measurements, it is possible to prove the efficiency of this method for qualitative and quantitative analysis of carrot juice.

The analysis of the complex electrical conductivity of vegetable juices with heavy metal additives shows the same character of the curves of admittant constituents, which confirms the maximum proximity of the nature of carrot juice as an object of research,

and its model liquid. The difference lies in the amplitude values of the received signals. Model liquids with heavy metal additives are characterized by higher values of the active and reactive components of admittance (higher conductivity indicates a higher content of introduced metals, in particular, harmful). Note that the formation of model solutions eliminates the methodological error due to the influence of additional to the investigated, the components of juice on the electrical conductivity. Extreme value is absent here; the dependence of the active component of the immittance is directly proportional to the frequency, the dependence of the reactive component of the immittance is inversely proportional to the frequency. Both components are considered informative.

The data of the hodograph indicate the inverse-proportional relationship of the components of the immittance, that is, with the growth of the active component, the reactive component decreases, and vice versa. There is a linear dependence of the admittance module on the content of heavy metals.

It is shown that only the abovementioned ions can be effectively studied by the method of study of specific conductivity, neglecting the insignificant influence of other possible ions of application components and contaminants.

Electric and mathematical models of quality control of objects of non-electric nature, including vegetable juices (for example, carrot juice) are proposed. For this purpose, we consider known prototypes of models and available results of experimental studies of the active and reactive constituents of conductivity (admittance) in the frequency range of the test signal. The modeling of the admittance components has been carried out with changes in the electrical resistance and the capacity of these objects and the capacity of the electrode layer in the frequency band of the test signal.

The *fourth chapter* describes a developed virtual means for measuring the imitation of vegetable juice.

For imittance 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 transform 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.

### **List of publications by the PhD candidate**

1. Midyk I.-M. V. Problematic aspects of agricultural product quality assessment / O.V. Lysa, I.-M.V. Midyk // Interdepartmental scientific and technical collection "Measuring equipment and metrology". - 2014. - № 75. - P. 60-63;
2. Midyk I.-M. V. Systematization of Quality Indicators in Qualimetry of Vegetable Products / I.-M.V. Midyk, P.G. Stolyarchuk // Interdepartmental scientific and technical collection "Measuring equipment and metrology". - 2015. - № 76. - P. 137-147;
3. Midyk I.-M. V. Methodological bases of mathematical modeling of estimation of quality of products of vegetable production / I.-M.V. Midyk // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture - 2014. - Vol.16. - No.4. - P. 205-211;
4. Midyk I.-M. V. Evaluation of the quality of vegetable production according to electrical characteristics / I.-M.V. Midyk // International scientific journal "Technological audit and production reserves". ASSN 2226 -3780, 2016 - No. 3/2 (29). - P. 30-35;
5. Midyk I.-M. V., Chaban O.P. Research of electric and mathematical model of quality control of vegetables / I.-M.V. Midyk, O.P. Chaban // Interdepartmental scientific and technical collection "Measuring equipment and metrology". - 2016. - No. 77. - P. 185-196;
6. Midyk I.-M. V., Lysa O.V. Operational quality control of vegetables by electrical characteristics / I.-M.V. Midyk, O.V. Lysa // Interdepartmental scientific and technical collection "Measuring technique and metrology". - 2018. - Vol. 79. Issue 4 - P. 17-24;
7. Ihor Midyk, Olga Lysa Development of a virtual instrument for the quality control of objects of non-electric nature. Proceeding of the 21st 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
8. Midyk I.-M. V. Mathematical modeling of the quality assessment of vegetable production / I.-M.V. Midyk, P.G. Stolyarchuk / Materials of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Young Scientists in the Metrology Area "Technical Using of Measurement-2015", February 2-6, 2015, Slavske. - P. 70-71;
9. Midyk I.-M. V. Analysis of the system of normative maintenance of quality and safety of products of vegetable growing / I.-M.V. Midyk, P.G. Stolyarchuk / Materials of the II International Scientific and Practical Conference "Quality Management in Education and Industry: Experience, Problems and Prospects", May 28-30, 2015, Lviv. - P. 160-161;
10. Midyk I.-M. V. Analysis of indicators of quality and safety assessment of vegetable production / I.-M.V. Midyk, P.G. Stolyarchuk / Materials of the All-Ukrainian Scientific

and Technical Conference of Young Scientists in the Metrology Area "Technical Using of Measurement-2016", February 1-5, 2016, Slavske. - P. 133-134;

11. Midyk I.-M. V. Immitance method of quality control and safety of products of vegetable growing / I.-M.B. Midyk / Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Sustainable Development of the Country within the framework of European Integration", October 27, 2016, - Zhytomyr: ZhDTU, 2016. - P. 29-30;

12. Midyk I.-M. V. Audit of quality of vegetable production as a means of increasing the competitiveness of enterprises / I.-M.B. Midyk / Problems and prospects of innovative development of the agrarian sector of the economy in the conditions of integration processes: materials of the International Science. -Practice. Conf., December 22, 2016. At 2 parts. Part 2 / Kharkiv. national agrarian university Untitled V.V. Dokuchaev - Kh. KhNAU, 2016. - pp. 253-256.

13. Lysa O.V. Midyk I.-M.V. Innovative principles of the use of technical means for improving the efficiency of the quality audit of agricultural products. Accounting and analytical support of innovative economic development: materials of the All-Ukrainian scientific and practical Internet conference, March 14-15, 2018. - Lviv: LNAU, 2018. - p. 97-99.

14. Midyk I.-M.V. Development of methods of quality control of vegetable production for increasing the competitiveness of enterprises. Conceptual Principles of Management in the Field of Agricultural Production: Theory, Methodology, Practice: materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference, May 29-30, 2018. - Lviv: LNAU, 2018. - p. 100-102.

15. Yatsyshyn S.P., Midyk I.-M.V., Lysa O.V. Development of the instrument for measuring immittance with the help of the NI USB 6009. The Systems-2018: Materials of the International Scientific and Technical Conference for the 50th anniversary of the State Enterprise SRI "Sistema", November 22-23, 2018. - Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2018. - p. 45-46.

16. Lysa O.V. Midyk I.-M. V. A virtual device for quality control of vegetable products. Actual problems of modern business: accounting, financial and managerial aspects: materials of the International Scientific and Practical Internet Conference, March 19-21, 2019, P. 2. - Lviv: LNAU, 2019. - p. 182-184.

17. Lysa O.V. Midyk I.-M.V. Modeling processes for assessing the quality of agricultural products. Information Technologies in Culture, Arts, Education, Science, Economics and Business: Materials of the International Scientific and Practical Conference April 18-19, 2019 / Ministry of Education and Science of Ukraine; Ministry of culture of Ukraine; Kyiv. National University of Culture and Arts. - P.1 - Kyiv: Publishing Center KNUCiM, 2019. - P.1. - p. 170-171.

18. Lysa O.V. Midyk I.-M.V. Virtual device for controlling the quality of vegetable production. Actual problems of the theory and practice of examination of goods: materials of the VI International scientific and practical Internet conference April 4-5, 2019 - Poltava: PUET, 2019. - p. 95-96.
19. Lysa O.V. Midyk I.-M.V. Classification of quality indicators for qualitic evaluation of vegetable production. Formation and prospects of the development of business structures in the framework of integration into the European space: materials of the 2nd International Scientific and Practical Conference (correspondence form) - Poltava, 2019. - p. 308-312.
20. Yatsyshyn S.P., Midyk I.-M.V., Lysa O.V. Virtual device for immittance measurement, Interdepartmental scientific and technical collection "Measuring equipment and metrology", 2019, Volume 80, Issue 2, p. 12-15.

## Зміст

Перелік умовних позначень	26
Вступ	27
1. Основи стандартизації і сертифікації продукції овочівництва	32
1.1. Якість та контроль показників безпечності продукції овочівництва	33
1.2. Засоби контролю якості харчових продуктів	49
1.3. Стандартизація продукції овочівництва на міжнародному, національному та регіональному рівнях	57
Висновки до розділу 1	59
2. Методологія підвищення якості продукції овочівництва	60
2.1. Гармонізація міжнародних, європейських та національних стандартів щодо продукції овочівництва і завдання методології	60
2.2. Розроблення методики визначення комплексного показника оцінки якості продукції овочівництва	67
2.2.1. Дослідження та розвиток системи оцінювання якості окремих видів овочів на прикладі моркви.	75
2.3. Розвиток математичної моделі оцінювання якості продукції овочівництва за нечітких обмежень	78
Висновки до розділу 2	93
3. Експериментальні дослідження якості продукції овочівництва	95
3.1. Кондуктомеричний метод, як метод дослідження продукції овочівництва	95
3.2. Дослідження електричних характеристик соків та лцінювання їх якості	101
3.3. Аналіз результатів досліджень комплексної провідності	110
3.4. Дослідження контролю якості овочів. Електричне та математичне моделювання	113
Висновки до розділу 3	121
4. Автоматизація програмованого лабораторного обладнання та розроблення віртуального приладу для вимірювання імітансу на базі	



	25
графічної платформи LabVIEW	125
4.1. Блок-схема засобу вимірювання імпедансу	126
4.1.1. Програмно-технічне генерування тестового сигналу для імпедансних вимірювань	138
4.2. Вимірювання імпедансу за допомогою блоку NI USB 6009	141
4.2.1. Вимірювання імпедансу через комплексну потужність	142
4.2.2. Обчислення імпедансу за допомогою рівняння Ейлера	146
4.2.3. Перетворення Фур'є для вимірювання імпедансу	147
Висновки до розділу 4	149
Висновки	150
Список використаних джерел	152
Додатки	168

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$|Z|, |Y|, \theta$  – модуль і фазовий кут імпедансу та адмітансу

$R, X$  – активна та реактивна складові імпедансу

$G, B$  – активна та реактивна складові адмітансу

$R_x, C_x$  – опір та ємність об'єкта контролю

$C_n$  – ємність приелектродного шару

$P$  – узагальнений показник якості

$\vec{X}$  – сукупність електричних параметрів

$Q_1, Q_2, Q_3 \dots Q_n$  – одиничні показники якості продукції

$q_1, q_2, q_3 \dots q_n$  – коефіцієнти вагомості відповідного одиничного показника

$Re(Y), Re(Z)$  – активні складові адмітансу та імпедансу

$Im(Y), Im(Z)$  – реактивні складові адмітансу та імпедансу

LabVIEW - (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)

NI DAQ - National Instruments Data acquisition

ГДК – гранично допустима концентрація

ДСТУ – державний стандарт України

ООН/ЕЭК FFV – Стандарти Європейської Економічної Комісії ООН (ЕЭК ООН)

(eng. UNECE - United Nations Economic Commission for Europe) Настанови щодо

постачання і контролювання якості на овочі, що поступають у міжнародну

торгівлю між країнами - членами ЕЭК ООН і імпортовані ними.

ISO – International Organization for Standardization

EN – європейські стандарти

## Вступ

**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 імітансного 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, коригувати 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.

## **Розділ 1. Основи стандартизації і сертифікації продукції овочівництва**

Одне з основних завдань економічної політики будь-якої країни в сучасний період — всебічне підвищення технічного рівня та якості товарів і послуг. Якісні й конкурентоспроможні товари та послуги, що реалізуються на внутрішньому та зовнішньому ринках, мають відповідати останнім досягненням науки, найвищим техніко-економічним, естетичним та іншим споживчим вимогам.

Одним із ефективних засобів підвищення якості товарів і послуг на всіх стадіях є стандартизація та сертифікація. Суть їх полягає в забезпеченні діяльності на всіх рівнях виробництва й обігу з установами та використання у різних галузях економіки обов'язкових норм і правил, спрямованих на прискорення технічного прогресу та досягнення високої якості товарів і послуг.

Метою стандартизації є встановлення положень, що забезпечують відповідність об'єктів стандартизації своєму призначенню та їх безпечність для життя, здоров'я, майна людей, збереження тварин, рослин й охорони природного довкілля, що створюють умови для раціонального використання всіх видів національних ресурсів, сприяють усуненню технічних бар'єрів у торгівлі та підвищенню конкурентоспроможності продукції до рівня розвитку науки, техніки і технологій та розвитку міжнародного економічного, наукового і технічного співробітництва.

Досягнення цієї мети здійснюється шляхом розробки, упровадження та застосування нормативних документів. Останні є вираженням розроблених і впроваджених методологій вивчення параметрів та характеристик продукції. Тому нижче розберемо основні методи, необхідні для встановлення кількісних та якісних показників продукції овочівництва.

Проаналізовано методи аналізу якісного та кількісного складу харчових продуктів. Встановлено, що перспективним методом кількісного аналізу вмісту мінеральних речовин в овочах є кондуктометричний метод дослідження рідин, заснований на вимірюванні електричної провідності.



Проведено аналіз засобів контролю якості харчових продуктів та встановлено, що наявні засоби потребують вдосконалення, зокрема щодо підвищення чутливості та швидкості проведення аналізу, спрощення підготовки проб та зменшення їх вартості.

### **1.1. Якість та контроль показників безпечності продукції овочівництва**

Якість харчового продукту - ступінь досконалості властивостей та характерних рис харчового продукту, які здатні задовольнити потреби (вимоги) та побажання тих, хто споживає або використовує цей харчовий продукт [43]. Харчові продукти є складними за структурою багатокomпонентними системами. Їхня якість залежить від багатьох факторів. Відомі на сьогодні методи аналізу якісного та кількісного складу харчових продуктів поділяються на [46, 99] (рис. 1.1.):

- органолептичні (сенсорні) - ті, які здійснюються за допомогою органів відчуттів людини;
- інструментальні (вимірювальні) - ті, які проводять, використовуючи прилади або хімічний аналіз.

*Органолептичні методи* базуються на чотирьох з п'яти відчуттів людини: зір, нюх, смак, дотик. Цими методами оцінюють зовнішній вигляд (форму, характер поверхні, однорідність за розмірами, колір), запах (типовий аромат, наявність сторонніх запахів), консистенцію (твердість, ніжність, щільність, клейкість), смак (типовість для даного продукту, зокрема солодкий кислий гіркий терпкий пекучий, відсутність нехарактерного смаку). Для кількісної оцінки експерти використовують систему балів [91].

*Переваги:* простота, швидкість.

*Недоліки:* суб'єктивність, низька точність, слабка верифікованість, неможливість оцінити всі показники (зокрема наявність токсичних речовин, хвороботворних мікроорганізмів, радіоактивних компонентів).

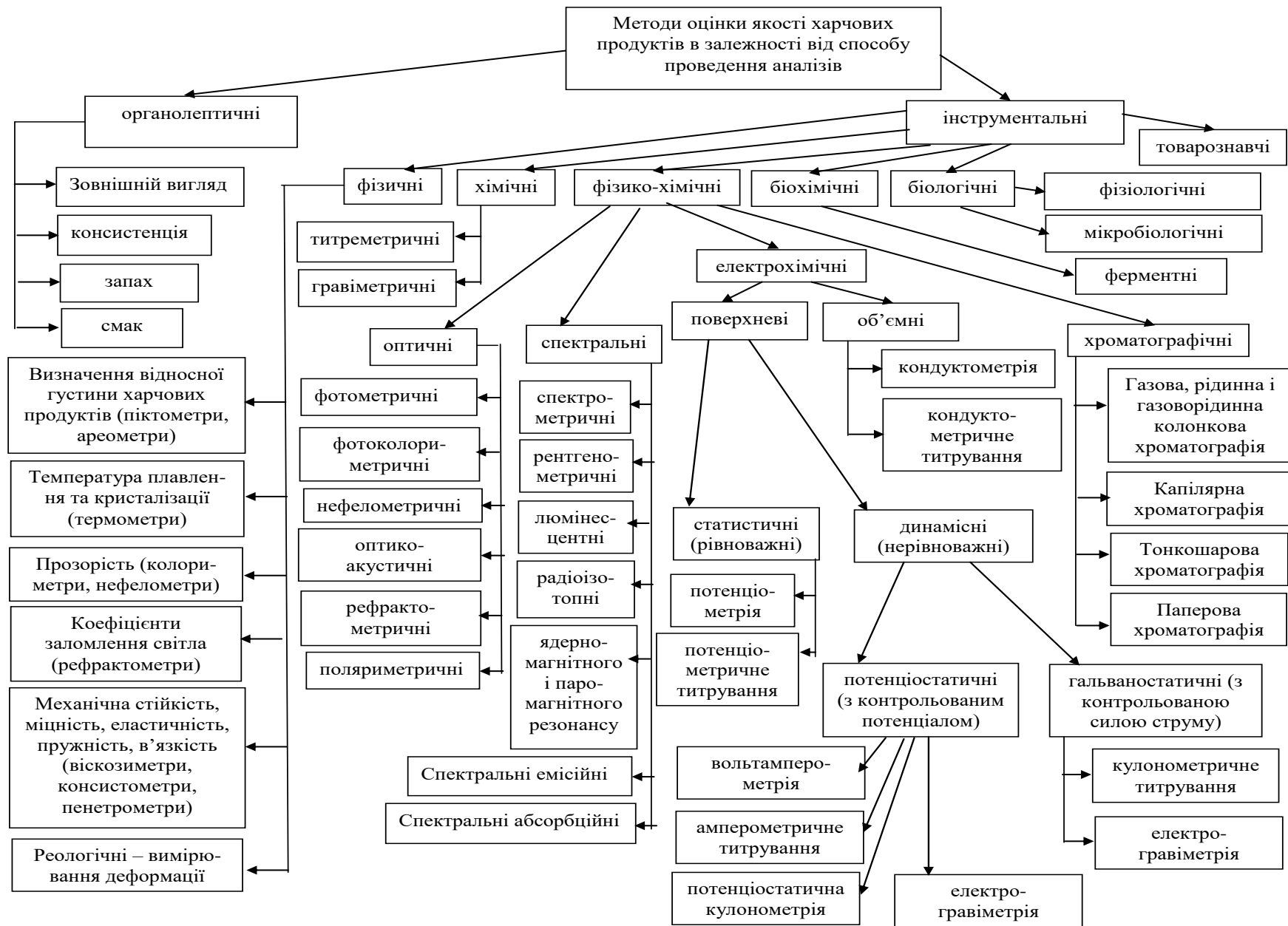


Рис.1.1. Методи аналізу якісного та кількісного складу харчових продуктів.

**Інструментальні (вимірювальні) методи** аналізу базуються на вимірюванні фізичних, хімічних та біологічних властивостей речовини [99].

*Переваги:* порівняно з органолептичними методами точніша інформація про дослідження речовину; ширше коло показників якості та безпечності продукції; об'єктивність дистанційного визначення показників якості

*Недоліки:* вища вартість досліджень, дорогі прилади, потреба у висококваліфікованих спеціалістах, акредитованих лабораторіях, тривалість проведення експерименту, зокрема підготовки проб.

Для усунення першого недоліку необхідно розробляти прості і недорогі прилади. Щоб уникнути другого недоліку, розвивають експрес-методи.

Інструментальні методи включають в себе фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біохімічні, біологічні та товарознавчі методи.

**Фізичні методи** дають можливість визначати фізичні величини, які є показниками якості, або зв'язані з показниками якості простими аналітичними залежностями. Що стосується овочів, то фізичними методами визначають їх твердість. Щодо інших харчових продуктів, то фізичними методами визначають консистенцію, пружність желе, пластичність тіста.

*Переваги:* висока продуктивність.

*Недоліки:* не повністю характеризують продукт, зокрема його безпечність; не визначають якісний та кількісний склад харчових продуктів.

**Хімічні методи** дають можливість оцінити якісний та кількісний склад речовин за допомогою здійснення хімічних реакцій. Визначають такі показники якості як вміст білків, жирів, вуглеводів, корисних мінералів, шкідливих важких металів у речовинах. Для проведення хімічних реакцій використовують хімічні реактиви. Відомі такі типи хімічних тест-систем: фасовані розчини в ампулах і крапельницях; індикаторні порошки, таблетки з пінополіуретану, індикаторні папери та тканинні диски, індикаторні трубки. При цьому, застосовують такі засоби вимірювання: хімічні тест-системи на основі компараторів кольорів та хімічні тест-системи на основі рефлектометрів.

*Переваги:* можна визначати якісний і кількісний склад речовин.

*Недоліки:* велика трудомісткість.

**Фізико-хімічні методи** використовують для кількісного та якісного визначення компонентів у харчовій продукції, вивчення співвідношень між складом і властивостями хімічних рівноважних систем, і це визначення відбувається шляхом визначення фізичних показників, які змінюються під час проходження хімічних реакцій [19].

*Переваги:* висока чутливість - значно більша, ніж при використанні хімічних методів (так, наприклад, концентрацію речовини хімічними методами можна визначити порядку  $10^{-5}$  моль/л, а фізико-хімічними методами - порядку  $(10^{-9}-10^{-10})$  моль/л); селективність (можливість одночасно проводити і якісний, і кількісний аналіз десятків компонентів, які містяться у досліджуваній речовині, що значно прискорює швидкість проведення аналізу).

*Недоліки:* похибка вимірювань більша, ніж похибка вимірювань при застосуванні класичних методів аналізу (наприклад, хімічних); потребують стандартних зразків для проведення вимірювань та побудови калібрувальних графіків.

Вони поділяються на спектральні, оптичні, електрохімічні та хроматографічні методи, які у свою чергу також включають сукупність методів.

**Оптичні методи** ґрунтуються на дослідженні оптичних властивостей речовини. Відомі такі оптичні методи (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

#### Оптичні методи аналізу

Методи аналізу	Інформативний параметр
Фотометричний метод	оптична густина світлового потоку, що пройшов крізь досліджуваний розчин
Фотоколориметричний метод	колір або інтенсивність світлопоглинання досліджуваного розчину
Нефелометричний метод	інтенсивність світлового потоку, який розсіюється зваженими частинками досліджуваної речовини
Рефрактометричний метод	показник заломлення променя, що проходить через межу двох середовищ, одним з яких є досліджувана речовина.
Поляриметричний метод	кут обертання площини поляризації світлового потоку досліджуваним розчином

*Переваги* оптичних методів: оперативність, простота методик, використання невеликої кількості зразків для аналізу, можливість аналізувати сполуки будь-якої природи, висока точність. *Недоліки* оптичних методів: потреба технічних пристроїв різної складності.

**Спектральні методи** ґрунтуються на дослідженні інтенсивності випромінювання досліджуваною речовиною світла з певною довжиною хвилі, яке виникає під дією високотемпературного джерела. Відомі такі спектральні методи (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

### Спектральні методи аналізу

Методи аналізу		Інформативний параметр
Спектрометричний метод	спектральний емісійний	спектр випромінювання попередньо збуджених атомів або молекул досліджуваної речовини
	спектральний абсорбційний	спектр поглинання електромагнітного випромінювання після проходження світла через розчин досліджуваної речовини
Рентгенометричний метод		інтенсивність лінії на рентгенограмі речовини
Метод ядерно-магнітного та паро-магнітного резонансу		частота резонансу поглинання радіочастотних хвиль
Люмінесцентний метод		інтенсивність світла люмінесценції, що випромінюється досліджуваним об'єктом під дією ультрафіолетового світлового потоку
Радіоізотопний метод		кількість молекул розпаду

Спектрометричні методи – методи визначення хімічного, фазового складу і молекулярної структури речовини, що базується на реєстрації спектра мас йонів, утворених внаслідок іонізації атомів і молекул проби. Маса іона визначається за його відхиленням у магнітному полі.

Рентгенометричний метод – метод ідентифікації речовини, заснований на тому, що найінтенсивніші лінії присутні на рентгенограмі даної речовини одночасно.

Методи ядерно-магнітного та паро-магнітного резонансу – засновані на явищі резонансного поглинання радіочастотних хвиль деякими ядрами атомів, що розміщені у зовнішньому магнітному полі.

Люмінесцентні методи поділяють на методи, що ґрунтуються на спостереженні власної люмінесценції аналізованої речовини (сортовий аналіз) та методи, що ґрунтуються на фіксації виникнення люмінесценції під час взаємодії аналізованої речовини з реактивами (флуоресцентний аналіз). Представником люмінесцентного методу є флуориметрія, яка ґрунтується на вимірюванні інтенсивності флуоресценції та відрізняється дуже високою селективністю, оскільки флуоресціює незначне число речовин. Її застосовують при роботі у багатокомпонентних системах, де флуоресціює лише одна речовина або існує область спектра, де вона переважно флуоресціює.

*Переваги люмінесцентних методів:* висока чутливість (дозволяє виявляти в розчинах  $10^{-10}$  г люмінофора в 1г досліджуваної речовини) - дозволяє відрізнити чисту речовину від забрудненої при дуже незначній кількості домішок (до 1...2%), виявляти псування продуктів харчування на ранніх стадіях, коли воно ще не вловима органолептичними методами. Якщо досліджувана сполука не люмінесціює, то знаходять реактив, який, взаємодіючи з цією сполукою, утворює продукти, здатні люмінесціювати. Значне число пестицидів, що не флуоресціюють переводяться хімічним шляхом у флуоресцентні сполуки. Оскільки білки, жири та вуглеводи дають люмінесцентне світіння певних характерних відтінків залежно від їх природи, складу, фізико-хімічних властивостей, то за допомогою люмінесцентних методів можна встановити природу і вміст поживних речовин у зразках харчових продуктів. Проте, в основному, люмінесцентні методи використовуються як тестові експрес-методи. До експрес-методів відносять люмінесцентний видовий і сортовий аналіз, за допомогою якого по кольору та яскравості світіння встановлюють вид і сорт харчових продуктів, а також люмінесцентну діагностику, яка полягає у виявленні початкових ознак псування харчових продуктів, наявності таких домішок, як сліди хімічних консервантів, лікарських речовин, антиоксидантів, смакових й ароматичних добавок, пестицидів, харчових барвників, а також різноманітних забруднень.

За допомогою люмінесцентного методу можна виявляти ознаки захворювання та ушкодження овочів (цибулі, часнику, моркви, буряка й ін.). Люмінесцентні методи дозволяють виявляти початок гниття огірків, бобів, білої і червоної капусти на такій ранній стадії, коли воно не вловиме іншими методами. Люмінесцентні методи використовують при визначенні вітамінів у харчових продуктах.

*Переваги спектральних методів:* висока чутливість, селективність, швидкість отримання результатів.

*Недоліки спектральних методів:* складність проведення в лабораторних умовах.

Контроль розчинів електролітів можна здійснювати із застосуванням спектроскопічних методів. Проте, надійні спектроскопічні дані можна одержати тільки у достатньо концентрованих розчинах і ці дані не завжди поширюються на слабкоконцентровані розчини [38], а вміст аналізованих речовин в овочевих соках якраз є незначним. При застосуванні спектроскопічних методів контролю проблемним є виділення ефектів, які стосуються окремих наявних в розчинах іонів, особливо, якщо ці іони створюють взаємокомпенсуючу дію на властивості розчину. Для цього потрібно проводити порівняльне дослідження серій розчинів, що відрізняються природою тільки одного типу іонів. Додатково співставляють експериментальні спектральні результати з квантово-хімічними розрахунками, що стосуються окремих іонів та порівняно простих комбінацій іонів [38].

Для застосування спектроскопії ядерного магнітного резонансу (ЯМР) ядра досліджуваних іонів повинні мати ненульовий магнітний момент, а іони – діамагнітні властивості [38]. В останні роки інтенсивно розвиваються спектроскопічні методи, засновані на комбінації випромінювань високих і низьких частот [126]. Обладнання для таких досліджень є досить дорогим.

*Електрохімічні методи* ґрунтуються на електрохімічних явищах у досліджуваному середовищі або на межі поділу фаз і пов'язані зі зміною структури, хімічного складу та концентрації та забезпечують якісний і

кількісний аналіз речовин у газуватому, рідкому або твердому стані. Інформативним параметром є електричний параметр (потенціал, сила струму, опір тощо), який функціонально пов'язаний з концентрацією компонента, який потрібно визначити, і піддається правильному вимірюванню [106, 107].

Електрохімічні методи є *об'ємні та поверхневі*. До об'ємних методів відноситься *кондуктометричний метод* та *метод кондуктометричного титрування*.

Кондуктометричний метод заснований на вимірюванні електричної провідності речовин рідинного та газового стану [2]. Кондуктометрія – це сукупність електрохімічних методів, заснованих на вимірюванні електропровідності розчинів – це метод визначення електропровідності речовини і на цій підставі спосіб кількісного визначення речовини. Метод ґрунтується на зміні концентрації провідної речовини або хімічного складу середовища у просторі між електродами.

Оскільки предметом дослідження є розчини електролітів, то провідниками струму у них є заряджені іони у електричному полі між електродами. Це є відмінним від металів, у яких провідниками струму є електрони. Електропровідність електролітів характеризується питомою або молярною електропровідністю.

Питома електропровідність електролітів визначається природою іонів, їх концентрації, заряду, швидкості руху і температури. Із збільшенням числа іонів питома електропровідність збільшується прямопропорційно до досягнення максимуму. Після цього електропровідність починає зменшуватися через утворення асоціатів іонів. Електропровідність також пропорційно збільшується із зростанням температури через зменшення ступеня гідратації іонів і вязкості середовища.

До *переваг* кондуктометричного методу відносять [107]:

- високу чутливість, яка дозволяє аналізувати розчини з концентрацією електроліту до  $10^{-5}$  моль/л;



- високу точність (відносна погрішність визначення під час аналізу звичайно не перевищує 1 %);
- простоту визначення і доступність обладнання;
- можливість аналізувати забарвлені, каламутні і навіть непрозорі розчини в полярних і неполярних розчинниках;
- можливість здійснювати аналіз за присутності в розчині окисників та відновників;
- можливість працювати у агресивних середовищах, оскільки аналіз можна здійснювати без контакту електродів з досліджуваним розчином;
- відсутність необхідності здійснювати підготовку проб;
- легкість визначення еквівалентної точки під час кондуктометричного титрування графічним методом по перетинанню двох прямих;
- можливість здійснювати аналіз в автоматичному або дистанційному варіантах.

*Недолік* кондуктометричного методу - електропровідність є адитивною величиною, і на її величину впливають усі присутні в розчині іони.

Частотно-дисперсійний метод передбачає аналіз отриманих у результаті вимірювання амплітудо-частотних (АЧХ) або фазочастотних (ФЧХ) характеристик об'єкта дослідження, поміщеного в коло змінного струму

*Поверхневі електрохімічні методи* поділяються на *статистичні (рівноважні)* та *динамічні (нерівноважні)* методи.

До статистичних відноситься *потенціометрія* та *потенціометричне титрування*.

*Переваги* потенціометричних методів:

- швидкість і простота вимірювання величини електродних потенціалів;
- простота методик аналізу;
- дешевизна вимірювальних приладів;
- зручність для автоматичного контролю технологічних процесів;

- можливість проводити дослідження в каламутних та забарвлених розчинах, в'язких пастах, твердих продуктах без операцій екстракції, фільтрації або фракційної перегонки;
- можливість визначати вміст різноманітних іонів та розчинені у водних розчинах газу безпосередньо в польових умовах;
- є неруйнівними способами контролю і досліджувана система може бути використана для подальших аналізів.

Пряма потенціометрія (іонометрія) полягає у визначенні концентрації іонів за величиною електродного потенціалу та їх розрахунки по рівнянню Нернста, а потенціометричне титрування ґрунтується на вимірюванні ЕРС для знаходження точки еквівалентності під час перебігу електродних реакцій.

*Переваги* методу прямої потенціометрії:

- під час вимірювань склад і об'єм розчину не змінюється;
- у більшості випадків не потрібно попереднє виділення компоненту з системи;
- процес вимірювання легко автоматизувати, що дозволяє використовувати потенціометричні методи для безперервного контролю технологічних процесів.

Метод потенціометричного титрування дає точніші результати, ніж при використанні прямої потенціометрії, оскільки поблизу точки еквівалентності навіть незначна зміна концентрації досліджуваних іонів призводить до стрімкої зміни потенціалу індикаторного електрода.

Потенціометричний метод є стандартизованим методом визначення в харчових продуктах вмісту нітратів і нітритів, деяких важких металів тощо.

Динамічні поверхневі електрохімічні методи поділяються на потенціостатичні (з контрольованим потенціалом) та гальваностатичні (з контрольованою силою струму).

Потенціостатичні (з контрольованим потенціалом) поділяються на вольтамперометрію, потенціостатичну кулонометрію, амперометричне

титрування та електрогравіметрію, а гальваностатичні (з контрольованою силою струму) – на кулонометричне титрування та електрогравіметрію.

Суть методу амперометричного титрування полягає в тому, що точка еквівалентності визначається за зміною граничного дифузійного струму в процесі титрування. Для реалізації цього методу, зазвичай, використовують установку з ртуть-капаючим чи платиновим електродом, що обертається.

*Перевагою* амперометричного титрування над прямою амперометрією є можливість визначати не лише електрохімічно активні речовини.

Особливість кулонометричного титрування - відсутність розчину титранта. Речовина, яка вступає в реакцію титрування з визначуваною речовиною генерується в розчині на робочому електроді. Визначувані речовини можуть бути і неелектроактивними, і електроактивними.

*Переваги* кулонометричного титрування:

- немає необхідності приготування і стандартизації розчину титранту;
- можна використовувати для титрування речовини, стандартні розчини яких нестабільні;
- розчин під час титрування не розбавляється;
- в одному і тому ж розчині допоміжного електроліту можливе проведення титрування декількох зразків;
- титрування може бути повністю автоматизоване;
- в одному розчині можна визначати кілька речовин.

Узагальнений аналіз електрохімічних методів подамо у таблиці 1.3.

*Таблиця 1.3*

### Електрохімічні методи аналізу

Методи аналізу		Інформативний параметр
Кондуктометричний метод		електрична провідність досліджуваного розчину
Дієлькометричний метод		діелектрична проникність міжелектродного простору та геометричні розміри конденсатора
Імітансний метод	адмітансний	об'єкт вимірювання подається як комплексна провідність, практикується для дослідження рідин і газів.
	імпендансний	об'єкт дослідження подається як повний комплексний опір. Інформативним параметром

		є складові дійсної і уявної частини цього опору і тангенс кута втрат. Використовується для дослідження твердих матеріалів.
Частотно-дисперсійний метод		амплітудо-частотні (АЧХ) чи фазочастотні (ФЧХ) характеристики об'єкта дослідження, поміщеного в коло змінного струму
Метод кондуктометричного титрування		електропровідність розчину електроліту після додання до нього порцій титранту
Потенціометричний метод:		електрорушійна сила потенціометричної комірки
- пряма потенціометрія (іонометрія)		- концентрація іонів за величиною електродного потенціалу та їх розрахунки по рівнянню Нернста,
- потенціометричне титрування		- ЕРС для знаходження точки еквівалентності під час перебігу електродних реакцій
Вольтамперометричний метод		вольт амперна характеристика, яка будується для досліджуваного розчину
Потенціостатичний кулонометричний метод		кількість електрики, що пройшла через розчин за час його електролізу
Метод амперометричного титрування		точка еквівалентності, що визначається за зміною граничного дифузійного струму в процесі титрування
Електрогравіметрія (електроаналітичний метод кількісного аналізу)		За різницею мас електрода після і до осаджування визначають вміст досліджуваної речовини
Кулонометричне титрування		кількість електрики, яка пішла на електроліз за час, коли вся досліджувана речовина прореагує (точка еквівалентності)

**Хроматографічні методи** – дозволяють ідентифікувати компоненти багатокомпонентні суміші та визначати їх кількісний і якісний склад, розділяючи багатокомпонентні суміші.

**Переваги:** аналіз багатокомпонентних сумішей, кількісна та якісна оцінка кожної складової суміші, висока точність, здатність розпізнавати компоненти малих концентрацій, препаративний і промисловий метод виділення речовин у чистому вигляді.

**Недоліки:** дороге обладнання, складність аналізу, велика тривалість аналізу, тривалість підготовки проб, потреба у великій кількості реактивів, висококваліфіковані кадри, спеціалізовані лабораторії, вибірковість.

З усіх видів хроматографічного аналізу лише деякі види ПХ, ТШХ можна певною мірою віднести до експрес-методів аналізу. При дослідженні харчових продуктів найбільш тривалою стадією цих методів є підготовка проб.

**Біохімічні методи** дозволяють визначити харчову та біологічну цінність харчової продукції, відслідити зміну якості продукції, використовуючи ферменти. Класичні мікробіологічні методи дозволяють виявляти, ідентифікувати та визначати кількість мікроорганізмів, які містяться у харчових продуктах. Проте ці методи потребують наявності значної кількості лабораторного посуду, набору поживних середовищ, умов для забезпечення стерильності під час проведення дослідження та термостатів для культивування мікроорганізмів. Визначення мікробіологічних показників класичними методами триває досить довго. Для виявлення продукції, виготовленої із ГМО, використовують молекулярний метод полімеразної ланцюгової реакції.

Імуноферментний метод аналізу дозволяє визначати токсичні речовини у продуктах харчування у дуже низьких концентраціях.

*Переваги:* унікальність досліджень харчової та біологічної цінності продукції.

*Недоліки:* обмежене коло показників якості, які можна визначати за їх допомогою.

**Біологічні методи** використовують для визначення токсичних речовин (якісного і кількісного) за допомогою мікроорганізмів. По суті з їх допомогою оцінюють тільки безпечність продукції, зокрема ступінь заплідненості мікроорганізмами також вивчають вплив продуктів на системи життєдіяльності споживача.

Імунологічні методи знайшли широке застосування у мікробіології, медицині та інших галузях, а також визначення залишків антибіотиків, наявності певних патогенних мікроорганізмів або мікотоксинів у продуктах.

*Переваги:* унікальність досліджень мікроорганізмів, бактерій. Інші методи не проводять дослідів на наявність мікроорганізмів.

*Недоліки:* висока вартість досліджень, обмежене коло показників якості.

У більшості сучасних тест-систем у чистому вигляді ніякий з методів не застосовується, а використовується в комбінації з іншими варіантами аналізу.

**Товарозначні методи** – використовують для визначення оптимального використання сировини: для реалізації, переробки чи зберігання.

За даними досліджень 70% токсичних металів в організм людини попадає з їжею, тому необхідно жорстко контролювати вміст цих металів у їжі і, зокрема, в овочах. На сьогоднішній день в Україні контролюють вміст таких небезпечних токсичних металів, які шкідливі навіть у малих дозах, зокрема Hg, Pb, Sn, Cd, Cu, Zn, Fe, As. Одним з напрямів підвищення якості продукції овочівництва є забезпечення її безпеки, яку можна реалізувати зокрема наступним чином:

- Виявлення та кількісне оцінювання небезпечних для організму споживача важких металів та інших шкідливих елементів;
- Розробка і вдосконалення методів та пристроїв оцінювання кількісних характеристик шкідливих елементів;
- Розробка експрес-методів оцінювання безпечності продукції овочів;
- Удосконалення нормативних документів щодо безпеки із врахуванням світового досвіду.

Вміст металів в овочах залежить від умов вирощування овочів, ботанічних сортів рослин, технологічної обробки. Наявність важких металів в овочах є токсичним і негативно впливає на споживача.

Для оцінювання наявності та кількості важких металів в овочах використовують ряд фізико-хімічних методів:

- Фотометричні методи - для визначення та кількісного оцінювання малих концентрацій важких металів у досліджуваних овочах; ці методи потребують градування та виконання «холостого» дослідження;
- Методи атомної спектрометрії – використовуються для вимірювання вмісту металів у речовині; проте ці методи вимагають складної підготовки проб, так як метали в овочах присутні у вигляді хімічних сполук з іншими елементами, а не у вільному стані. Тому спочатку

досліджувану речовину подрібнюють до молекул, далі прожарюючи видаляють органіку, а не органіку, яка після прожарювання набуває вигляду золи, розчиняють у водному розчині кислоти. Отриманий розчин розпорошують у полум'ї газового лічильника. Тут розчинник випаровується, як і розчинена тверда речовина. Тверда речовина дисоціює на атоми (інформативна частина), відбувається процес іонізації та утворюються нові сполуки (негативний вплив на результати вимірювання). Для вимірювання використовуються спеціальні джерела збудження, причому для кожного металу, вміст якого хочуть оцінити, потрібно використовувати іншу спеціальну лампу. Тут на точність результату вимірювання впливають фізичні властивості розчину, зокрема температура, а також сторонні речовини, які додають до розчину золи. Щоб уникнути впливу домішок проводять декілька вимірювань при різних концентраціях проби.

- Потенціометричні методи – полягають у вимірюванні різниці потенціалів індикаторного електроду та електроду порівняння, яка зумовлена зміною концентрації іонів металів, які є у досліджуваному розчині.
- Хроматографічні методи ґрунтуються на переведенні аналізованої речовини в іншу фазу, внаслідок чого між нею та іншими сполуками з'являється межа розподілу. Ці методи використовують для ідентифікації та кількісного оцінювання органічних сполук.
- Радіометричні методи базуються на вимірюванні параметрів  $\alpha$  і  $\gamma$  випромінювань, що спричинені іонізацією та збудженням атомів і молекул аналізованої речовини при дії на неї радіоактивного випромінювання. На точність вимірювання впливає вірогідність спрацьовування лічильника, придатність апаратури, адсорбція, поглинання.
- Специфічні методи: експресне визначення об'ємної та питомої активності  $\gamma$ -випромінюючих нуклідів за допомогою радіометра, експрес-визначення об'ємної та питомої активності  $\beta$ -випромінюючих нуклідів методом

прямого вимірювання товстих проб, визначення радіонуклідів радіохімічними методами, визначення стронцію-90 фосфатним методом, визначення цезію-137 з попереднім концентруванням у вигляді ферроціаніду нікелю-цезію, визначення цезію-137 сурм'яно-йодидним методом.

Атомно-абсорбційне визначення Cu, Zn, Pb, Cd у харчових продуктах відповідно ГОСТ 30178-96 – ґрунтується на розпиленні азотнокислого розчину мінералізату досліджуваної проби, отриманої сухим або мокрим озоленням в ацетиленово-повітряному полум'ї. Під впливом полум'я метали у розчині з мінералізату переходять в атомарний стан. Атоми металу поглинають світло випромінювача при довжині хвилі, яка відповідає їх резонансній лінії. Поглинання пропорційне концентрації аналізованого металу.

Для проведення випробувань приготують спеціальний розчин або використовують готові комерційні азотнокислі розчини з гарантованою концентрацією елементів  $1000 \text{ мкг/см}^3$  (ГСО 4145-87, ГСО РМ-23 або ДСЗУ 022.47-96) [152, 153]. Готують 5 розчинів порівняння. Далі готують проби до аналізу відповідно до ГОСТ 26929-94. Будують градувальні графіки. Кількісне вимірювання металу проводять методом градувального графіка або методом добавок. Потім обробляють результати вимірювань.

Атомно-абсорбційний метод визначення важких металів у соках (ГОСТ 26929-94) ґрунтується на здатності різних атомів поглинати певні притаманні тільки їм довжини хвиль.

Спочатку потрібно підготувати досліджувану речовину, щоб важкі метали були у розчині. Далі проводять мінералізацію проб – розчин розпорошують у полум'ї, розчинник випаровується, розчинена речовина дисоціює на атоми. Атоми поглинають випромінювання, яке направляють на полум'я випромінювача. За ослабленням інтенсивності випромінювання обчислюють концентрацію атомів у розчині або у плазмі полум'я. Причому, готують і досліджуваний розчин, і розчини для градування. Вимірювання



абсорбції кожного розчину проводять не менше 2 разів. Далі результати вимірювань опрацьовує комп'ютер.

Відповідно до ГОСТ 26931-86 можна проводити фотометричне визначення Cu у вигляді комплексної сполуки з диетилдитіокарбамату натрію. Метод полягає у мінералізації проби для вивільнення Cu. Внаслідок проведення хімічної реакції утворюється жовтий розчин комплексної сполуки Cu з диетилдитіокарбаматом натрію. Вимірюють оптичну густину цього абарвлення. Спочатку готують розчини: основний стандартний розчин Cu з концентрацією  $1\text{мг/см}^3$ ; розчин диетилдитіокарбамату натрію; змішаний розчин трилону Б і амонію лимонічного. Мінералізують пробу сухим способом (ГОСТ 26929-94). Із отриманої при мінералізації золи готують досліджуваний розчин. Готують градувальні розчини, розчини порівняння і будують градувальні залежності. Оптичну густину досліджуваного розчину вимірюють відносно розчину порівняння. По вимірюваному значенні оптичної густини за допомогою градувального графіка знаходять кількість Cu. Має бути не більше 2 вимірювань, береться їх середнє арифметичне.

Важкі метали Pb, Cu, Zn та ін. в результаті хімічної реакції осаджують у вигляді сульфідів. Осад випарюють, висушують, обвуглюють, озолують. Після озолення додають хлоридну кислоту, пергідроль і випарюють. Сухий залишок обробляють кислотою і водою, фільтрують, пропускають струмінь сірководню. Інтенсивність забарвлення досліджуваного розчину порівнюють із забарвленням стандартних розчинів і по інтенсивності забарвлення роблять висновок про кількість важких металів. Недоліками цієї технології є низька точність, складна підготовка проб.

## **1.2. Засоби контролю якості харчових продуктів**

Сьогодні для ідентифікації продукції чи оцінювання рівня її якості пропонують багато різноманітних технічних засобів. Це як стаціонарні та дорогі, розраховані на лабораторне застосування органами Держстандарту, так і портативні та дешеві засоби, орієнтовані на масового споживача у різних умовах застосування [46]. Оскільки такі засоби призначені переважно для

контролю об'єктів електричної природи, то основна їх відмінність у разі застосування їх для контролю неелектричних величин полягає в опрацюванні електричного інформативного параметра (чи параметрів), що містить інформацію про їхні фізико-хімічні та інші властивості. Результатом переважно є виявлення кількісного вмісту того чи іншого компонента у продукції з метою порівняння з гранично-допустимими нормами такого виробу чи нормованими значеннями щодо того чи іншого рівня його якості. Тобто, за результатами контролю технічними засобами одиничних показників об'єктів порівняння (контрольованого та еталонного) оцінюють рівень якості продукції. Реалізувати диференційний метод оцінювання можна як безпосередньо використаним засобом, так і додатковими розрахунками у вигляді відносних одиничних показників чи комплексного показника, поданого одним числом.

У практиці поширений допусковий контроль, суть якого полягає у встановленні через вимірювання значення контрольованого параметра об'єкта і порівняння отриманого результату з допустимим значенням. Здійснювати допусковий контроль найдоцільніше за допомогою порівняння електричних величин, які пропорційні до параметрів контрольованої та базової (еталонної чи заданої) фізичних величин. Це дає можливість застосовувати вимірювальний метод. Через різноманітність вимірювальних об'єктів контролю вимірювальні методи як в теорії так і в практиці поділяють на кондуктометричні, імпедансні, діелькометричні, частотно-дисперсійні.

Для проведення вимірювань рефрактометричним методом використовують рефрактометри моделі Аббе, на основі яких розроблені традиційні конструкції рефрактометрів типу РЛУ, РПЛ, ИРФ та ін.

Портативні ручні іноземні рефрактометри REF, PTR, VBR, VEM, VND, VHN, VWN, VSA, Goldberg Rhino, RSG, RHBS та вітчизняні рефрактометри ИРФ, РР, «Карат – МТ» спеціалізовані на конкретні види продукції. Рефрактометри моделі REF спеціалізовані для вимірювання показників якості овочів – контролюють сахаристість фруктів та овочів, концентрацію спирту у

виноградних винах, ступінь зрілості плодів, визначаючи таким чином оптимальний період збору врожаю.

На-сьогодні використовують фотоелектроколориметри серії КФК (колориметри фотоелектричні концентраційні) – КФК – 2 МП, КФК – 3 – 01, КФК – 5М – проводять аналіз води і водних розчинів, визначають загальний вміст білків, іонів калію, Са, Fe, Mg, Mn, глюкози.

Фотометри серії Direct вимірюють вміст алюмінію, аміаку, бору, бромиду, ціаніду, Zn, F, Fe, фосфатів, хлоридів I, K, Mn, нітратів, нітритів, сульфатів, сульфідів, Cu та ін. – води. Фотометри Maxi Directu – Mini Directu, Checkit Direct, Checkit Direct Plus аналізують стічні води. Спектрофотометр SpectroDirect призначений для аналізу вод, мінеральних напоїв, соків.

Відома тест-система «ЕКОТЕСТ – 2020-РС», яка працює на базі сучасного мікропроцесорного фотоколориметру, призначена для експрес-аналізу природних і стічних вод, технологічних розчинів, екстрактів проб рослинної продукції. Вона дозволяє визначити вміст у водних розчинах іони, макро- і мікроелементи у великому діапазоні концентрацій.

Фотоколориметричним методом досліджують багато харчових продуктів, зокрема фруктові і овочеві соки:

- 1) вміст бета-каротину – ґрунтується на фотометричному визначенні концентрації каротиноїдів у розчині етанолу. Концентрацію розраховують за оптичною густиною розчину;
- 2) вміст лимонної кислоти – ґрунтується на ферментативному перетворенні іонів цитрату в оксалоацетат за допомогою цитратліази, і наступному спектрофотометричному вимірюванні витраченого нікотинамідаденіндинуклеотиду, еквівалентну кількість лимонної кислоти.

Люмінесцентний метод реалізовано за допомогою люміноскопів, флуорометрів, люмінометрів.

Відомі люміноскопи марки «Оріон», «Філін», «Експерт» [46] досліджують рослинні олії, картоплю, овочі, фрукти, гриби, зерно, борошно і т.д.

Люмінометри призначені для визначення безпеки харчових продуктів мікробіологічними методами. Люмінометр «ЛЮМ - 1» призначено для контролю бактеріальної зараженості харчових продуктів та води шляхом реєстрації біолоюмінесценції (оптичне світіння, яке виникає у живих організмах під час біохімічних реакцій) у видимій області спектра. Застосовують для оцінки якості води, для контролю чистоти технологічного устаткування, обладнання.

Від природи, складу, фізико-хімічних властивостей білків, жирів та вуглеводів залежать відтінки люмінесцентного світіння. За відтінком світіння встановлюють природу і вміст поживних речовин у харчових продуктах, зокрема овочах. Проте, кількісні вимірювання цих поживних речовин є не достатньо точними.

За допомогою люмінесцентної діагностики виявляють початкові ознаки псування харчового продукту, наявність домішок, забруднень.

Люмінесцентними методами визначають наявність вітамінів у харчових продуктах, зокрема вітамінів В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>. Вітамін В<sub>1</sub> не має власної флуоресценції, проте у лужному середовищі він окислюється і утворює тіохром, який світиться синім кольором. Вітамін В<sub>2</sub> у харчових продуктах є у формах вільного рибофлавіну, мононуклеотиду, флавінаду, міцно зв'язаного з білком нуклеотиду, розчини яких світяться жовто-зеленим кольором. Саме по характеру світіння дають оцінку наявності вітамінів В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>.

За допомогою потенціометричного методу визначають концентрацію речовин у розчинах на підставі виміряних значень електродних потенціалів. Проте, потенціометричний метод забезпечує нижчу точність вимірювань, ніж спектрофотометричний. Значення електродного потенціалу залежить від природи металу та концентрації іонів в електроліті.

Використовують 2 класи електродів: електронообмінні – на міжфазних границях електродів проходять реакції при участі електронів; іонообмінні – на міжфазних границях електродів відбуваються іонообмінні реакції.

Відомі такі електроди: хлор-срібний електрод, окисно-відновні електроди (Red-Ox-електрод), іоноселективні електроди (ISE з твердофазною мембраною, ISE з рідинною мембраною, ISE з плівковими мембранами, ISE зі скляною мембраною), скляний електрод, комбіновані скляні електроди суміщені з хлорсрібним електродом, нітрат-селективний електрод (застосовують для контролю якості сільськогосподарської сировини; проте визначенню нітратів заважає наявність хлоридів, тому вплив хлоридів усувають за допомогою іонообмінної смоли Dowex 50-X8, а чутливість до нітрит-іонів усувають за допомогою сульфамінової кислоти) [46].

Існують різні моделі промислових, лабораторних, портативних та кишенькових рН-метрів та іонометрів. Аналіз харчових продуктів проводять за допомогою рН-метрів та іонометрів моделі «МАРК – 901», «МАРК – 902», «рН-011», «рН-150», «рН-305», «АНИОН-4100», «АНИОН-7000», «И-160», «И-510», «ЭВ-74», «Эксперт-001», «SX 711», «KL-03», «Ezodo 6011AF», «Testo 205», «Testo 206», серії приладів «Hanna HI». «SevenGo», «Meter», «Мультитест» та інші. Більшість вказаних моделей випускаються у різних варіантах: лабораторних, портативних, кишенькових. Серед кишенькових рН-метрів поширені прилади, які виконують обмежену кількість операцій, наприклад визначають кислотність молока або вміст нітратів у плодоовочевій продукції.

Іонометр професійний AI-125 – методом прямої потенціометрії та методом стандартної добавки (де потрібна підвищена точність) вимірює концентрацію 26 хімічних елементів у водних розчинах.

Серед засобів, які реалізують потенціометричний метод, відомі рН-метри німецької фірми «Hanna instruments», зокрема промислові – серії BL (BL981411, BL 931700, BL 7916), серії HI (HI991401), стаціонарні лабораторні – серії «рН» (рН-209, рН-210, рН-211, рН-212, рН-213), портативні – серії HI (HI8314, HI9024, HI9025, HI 99121, HI 99161 та ін.), кишенькові – серії «рНер», «Checker», «Psccolo».

Потенціометричний метод найчастіше використовують для визначення рН, тому є спеціалізовані рН-електроди, призначені для аналізу харчових продуктів. Для аналізу харчових продуктів використовують відомі потенціометри серії HANNA, WTW, HAMILTON, AT, ЭС – електроди у них комбіновані – в одному корпусі є і індикаторний рН-електрод, і електрод порівняння.

Hanna Instruments створили пакет іоноселективних електродів Foodpacket для різних видів харчової продукції – зокрема рН-електроди загального призначення (FC200, FC201, FC202), рН-електрод для води (FC215D), рН-електрод для вина, соків, соусів (FC220).

Автоматичними універсальними титраторами AT-710 визначають вміст компонентів у рідких та твердих системах (до 10 компонентів у полярному і неполярному середовищі), кислотне і лужне число, бромне число.

Портативні ОВП-метри – визначають окисно-відновний потенціал як електричний потенціал, який виникає при зануренні платинового електроду в розчин, що має і окиснену, і відновлену форми. Вимірювання окисно-відновного потенціалу овочевих соків дає можливість контролювати їх свіжість, зміну якості під час зберігання. Водночас ОВП-метри дорогі, значно дорожчі за рН-метри.

Відомі зарубіжні портативні ОВП-метри серії ORP (фірма «HM Digital» (США), зокрема:

- ORP-200 визначає кількість антиоксидантів в овочевій продукції – шляхом вимірювання Red-Ox потенціалу рідини із вмістом алкоголю не більше 50%, питомою електропровідністю не менше 10мСм;
- ORP-169 здійснює аналіз питної води.

Для вимірювання Eh використовують ОВП-електроди серії «ЭРП», моделі ID (ID4411, 4421R, ID4511) 6000EO, 7000EO; серії Ezodo, ОВП фірми «Yokogawa».

Кондуктометричний метод реалізований рядом приладів. Відомий тестер на нітрат-іони – прилади фірми «SOEKS». Це – дорогий прилад, проте

неточний – показує завищений вміст нітратів внаслідок впливу на виміряне значення провідності солей, які є в овочах та фруктах, тобто цей прилад визначає загальний солевміст.

Взагалі, експлуатовані нині кондуктометри можна поділити на такі групи:

1) промислові кондуктометри – використовують для контролю технологічних процесів у промисловості (стаціонарні кондуктометри, кондуктометричні контактні перетворювачі і датчики). Широко відомими є давачі електропровідності Ендерс-Хаузера. За допомогою кондуктометричних комірок цих давачів здійснюють розділення харчових середовищ у трубопроводах.

2) лабораторні кондуктометри – використовують для експрес-контролю питної води та харчових продуктів. Кондуктометри серії PWT, АМІ – використовують для контролю чистої води, серії FАM – для контролю якості водних розчинів після обробки їх іонами, FАM Powercon Specific – для контролю якості водних розчинів у випадку зміни електропровідності у широкому діапазоні.

Для аналізів харчових продуктів використовують мультифункціональні системи, які контролюють електропровідність, величину рН, температуру, солевміст, окисно-відновний потенціал (ОВП), вміст кисню та інші показники. Відомі такі лабораторні мультифункціональні прилади:

- МР-551 – лабораторний мультипараметричний прилад – це універсальна компактна електрохімічна система з такими аналітичними пристроями: рН-метр-іонометр, потенціометр, кондуктометр, оксиметр, електронний термометр. Він вимірює рН, ОВП, концентрацію іонів і розчиненого кисню, електропровідність, загальний вміст розчинених речовин, солоність, температуру. На основі приладу МР-551 розроблені спрощені варіанти приладів, зокрема, компактні кондуктометри-солеміри МР-513, МР-515, комбіновані рН-метри-кондуктометри МР-521, МР-522, кондуктометр-оксиметр МР-526.

- Мультифункціональні системи серії Ezodo фірми «GonDO Electronic»: PL-700PC, PL-700ALS, PCT-407 використовують для експрес-аналізу параметрів води. Вони об'єднують рН-метр-іонометр, Eh-метр, оксиметр, кондуктометр-солемір, термометр. Ці системи вимірюють температуру, кислотність (рН), ОБП, електропровідність (Cond), TDS (total dissolved salts) і Salt.
- Лабораторні мультифункціональні прилади серії АМТ: зокрема, АМТ03R вимірює рН, електропровідність, ОБП, температуру, TDS і солоність.
- Багатоканальні прилади серії SevenExcellence: S975 включає рН-метр, іонометр, кондуктометр, аналізатор кисню, термометр. Прилад вимірює температуру, рН, опір, електропровідність, ОБП, концентрацію іонів, також здійснює розрахунок параметрів розчинів по електропровідності (солевміст, загальну мінералізацію, залежність провідності від зольності). У практиці використовують також і спрощені моделі: кондуктометр S470, рН-метр-кондуктометр S475, рН-метр-кондуктометр-оксиметр S479.

3) портативні, в т.ч. кишенькові кондуктометри - використовують для експрес-контролю питної води та харчових продуктів. Вони компактні, більшість з них мають вбудовані мікропроцесори і є високоточними, мають великі діапазони вимірювань, електронні дисплеї. Кишенькові кондуктометри – це однопараметричні прилади, які використовуються для експрес-аналізу.

Поширені промислові, лабораторні, портативні та кишенькові кондуктометри.

Для аналізу харчової продукції використовуються мультифункціональні системи, що включають вимірювання електропровідності, значення рН, температури, вмісту солей, окисно-відновного потенціалу, кисню тощо.

Ці прилади є комплексними вимірювальними лабораторіями. Наявні мультифункціональні прилади серій АМТ, МР, SevenExcellence, Ezodo, Edge, AL15, ProLab, Hanna HI, HM Digital, Mettler Toledo SG, АТОН, Sartorius, Crison, WTW, Nach Lange. Кондуктометри також називають TDS-метрами. Одиницею вимірювання є  $1 \text{ ppm} = 1 \text{ мг/кг}$  – розчинені речовини у 1 кг води. Прилади серії



МР сертифіковані і внесені до Дежреєстру засобів вимірювальної техніки України.

Зараз широко використовують такі експрес-методи вимірювання якісних показників харчових продуктів:

- експрес-методи вимірювання кислотності харчових продуктів – кислотність визначають методом кондуктометричного титрування.
- експрес-методи контролю якості води – вміст сульфат-іонів визначають методом кондуктометричного титрування, загальну твердість питної води визначають методом прямої кондуктометрії та кондуктометричного титрування.

Для дослідження якості овочів необхідно розробити методи, які б характеризувались широкою областю використання, високими чутливістю та роздільною здатністю, простотою підготовки проб та доступністю по вартості та легкості роботи з приладом у виробничих умовах, достатньою швидкістю проведення аналізу. Таким вимогам, в основному, відповідають кондуктометричні методи дослідження. На засадах кондуктометричного методу виконуються експериментальні дослідження, суть яких полягає у подачі синусоїдального сигналу на досліджуваний розчин і аналізі відгуку на виході.

### **1.3. Стандартизація продукції овочівництва на міжнародному, національному та регіональному рівнях**

Європейський Союз, після підписання Україною політичної частини угоди про асоціацію Україна - ЄС, в односторонньому порядку відкрив для української продукції вихід на європейські ринки. Це відкриває перед нашою країною безпрецедентні можливості виходу нашої продукції на європейський ринок. Найкращі перспективи в цьому плані є у сільськогосподарських товаровиробників, так як на сільськогосподарську продукцію знято ввізне мито. Проте продукція, яку вони виробляють та постачають, повинна відповідати вимогам споживачів щодо її якості та безпечності. Тому для товаровиробників та споживачів необхідною є інформація про стандарти якості та безпечності сільськогосподарської продукції.

На-сьогодні, експортний потенціал сільськогосподарської продукції України є недостатнім. Значною мірою такий стан речей зумовлений тим, що в Україні при виробництві продукції дотримуються не міжнародних стандартів якості та безпечності харчових продуктів, а встановлених ДСТУ та технічних умов. Водночас підприємства агропромислового комплексу, які хочуть орієнтуватися на ринок ЄС, повинні впроваджувати і виконувати вимоги, викладені у міжнародних та європейських стандартах. Важливою складовою сільськогосподарської продукції є овочі та продукти їх переробки. Саме овочі є невідомою складовою раціону людини, які забезпечують її організм вітамінами, вуглеводами, білками, корисними мінералами. Людина споживає овочі і у свіжому вигляді, і у вигляді продуктів переробки (засолка, консервація). Крім того, овочі підлягають процесу зберігання та транспортування. І кожен з цих етапів: вирощування, зберігання, транспортування, переробка – вимагає дотримання стандартів якості. Тому актуальним питанням є дослідження українських нормативних документів щодо якості та безпечності овочів та продуктів їх перероблення, їх аналіз та порівняння з чинними міжнародними нормативними документами і нормативними документами, які діють у Європейському Союзі.

На даний момент чинними нормативними документами контролю якості та безпечності овочів та продуктів їх переробки (код за ІС8 67.080.20) в Україні, є ДСТУ, ДСТУ ГОСТ (Державний стандарт України сформований на підставі відповідного ГОСТ); РСТ УРСР; ДСТУ ISO (державний стандарт України згармонізований з міжнародними стандартами), ДСТУ EN (державний стандарт України згармонізований з європейським стандартом), ДСТУ ЕЭК ООН FFV (державний стандарт України згармонізований з відповідним стандартом Європейської економічної комісії, що стосуються збуту і контролю товарної якості свіжих овочів та фруктів, які поступають у міжнародну торгівлю між країнами - членами ЕЭК ООН і які ними імпортуються) [54].

За останні роки на державному рівні багато робиться для наближення норм українського законодавства щодо безпечності харчових продуктів до норм міжнародного та європейського законодавства.

### **Висновки до розділу 1.**

1. Проаналізовано методи аналізу якісного та кількісного складу харчових продуктів. Встановлено, що вимірювальні методи аналізу базуються на фізичних, хімічних та біологічних властивостях речовини. Охарактеризовано вказані методи, визначено їх переваги та недоліки.

2. Встановлено, що ефективними методами визначення показників якості харчових продуктів є електрохімічні методи, які пов'язані зі зміною структури, хімічного складу та концентрації й забезпечують якісний і кількісний аналіз речовин у газовому, рідкому або твердому стані. Інформативними параметрами, при цьому, є електричні параметри.

3. 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.

4. Проаналізовано засоби контролю якості харчових продуктів та встановлено, що наявні засоби потребують вдосконалення, зокрема щодо підвищення чутливості та швидкості проведення аналізу, спрощення підготовки проб та зменшення їх вартості.

## **Розділ 2. Методологія підвищення якості продукції овочівництва**

Оскільки норми законодавства України щодо якості та безпечності овочів та продуктів їх переробки недостатньо наближені до норм міжнародного законодавства і є чинними застарілі стандарти, істотно відмінні від міжнародних щодо класифікації продукції за якістю, безпечністю та методами їх контролю, посилюється значення методологічних досліджень стосовно підвищення якості продукції овочівництва.

На відміну від окремих показників якості важливою стає, як така, сукупність показників якості овочів, які всебічно характеризують властивості овочів. Щоб визначити її, насамперед слід здійснити систематизацію згаданих показників. Для цього необхідно ввести пріоритетність вимог, що дає можливість враховувати потреби різних споживачів, закладає підґрунтя для розв'язання прикладних задач кваліметрії овочів. Далі охарактеризувати сукупність показників якості овочів, встановити одиниці їх вимірювання, згрупувати встановлені показники для забезпечення комплексного оцінювання властивостей овочів, враховуючи показники корисності та безпеки, органолептичні показники та показники технологічного призначення і транспортабельності.

Для оптимізації загального показника якості продукції нижче у розділі використовується математичний апарат нечіткої логіки, поза-як він показав свою ефективність у низці областей. При вирішенні завдань дисертаційної роботи комплексне оцінювання якості сільськогосподарської продукції здійснюється за нечітких обмежень і стосується декількох різних випадків вивчення, тому і реалізується на різних моделях, з допомогою яких можна вивчати вплив зміни однієї чи кількох змінних величин на інші, які діють в системі.

### **2.1. Гармонізація міжнародних, європейських та національних стандартів щодо продукції овочівництва і завдання методології**

Сільськогосподарська продукція має задовольняти вимоги споживачів щодо її якості та безпечності. Нижче у розділі проаналізовано міжнародні,

європейські та українські стандарти та інші нормативні документи щодо овочів та продуктів їх переробки, методики контролювання показників їх якості та вивчено можливості зміни національної нормативної бази по приведенні у відповідність її до європейського та міжнародного рівня, а також особливості методології досліджень, здатних забезпечити підвищення якості продукції овочівництва.

На даний момент чинними нормативними документами контролю якості та безпечності овочів та продуктів їх переробки (код за ІС8 67.080.20) в Україні, є ДСТУ (91 Державних стандартів України), ДСТУ ГОСТ (3 Державні стандарти України сформовані на підставі відповідних ГОСТів - стандартів СРСР або його правонаступниці Російської Федерації), РСТ УРСР (15 республіканських стандарти УРСР – застарілі, але все ще чинні, які поступово замінюють), ДСТУ ISO (33 державний стандарт України згармонізований з міжнародними стандартами - текст ідентичний з ISO), ДСТУ EN (2 державних стандарти України згармонізовані з європейськими стандартами - текст ідентичний з EN і 3 державних стандарти України згармонізовані з попередніми версіями європейських стандартів), ДСТУ ЕЭК ООН FFV (21 державний стандарт України згармонізований з відповідними стандартами Європейської економічної комісії, що стосуються збуту і контролю товарної якості свіжих овочів та фруктів, які поступають у міжнародну торгівлю між країнами - членами ЕЭК ООН і які ними імпортуються) [54].

Тобто, рівень гармонізації українських нормативних документів з європейськими та міжнародними на даний час є недостатнім; залишаються ще чинними застарілі стандарти, які мають істотні відмінності від європейських та міжнародних щодо класифікації продукції по якості, показників безпечності та методів контролю якості та безпечності продукції.

Конкретніше проаналізуємо вищезгадані нормативні документи в аспекті їх гармонізації з міжнародними та європейськими нормативними документами.

Чинними нормативними документами для оцінки якості продукції «Овочі та продукти їх переробки» (код за ІС8 67.080.20) є 12 стандартів Європейського

Союзу [52], 26 міжнародних стандартів [149]. Європейські стандарти стосуються не конкретного виду овочі, а безпеки всіх харчових продуктів категорії 67.080.20. Дані стандарти регламентують допустимі норми шкідливих речовин у харчових продуктах та різні методи їх визначення. Так зокрема, EN 12014-2:1997 (частина 2) регламентує визначення вмісту нітратів і нітритів в овочах та продуктах їх переробки методом із застосуванням рідинної хроматографії високої роздільної здатності. В Україні чинний ДСТУ EN 12014-2:2001 [41] є повністю гармонізованим з вищезгаданим європейським стандартом, який складається з 7-и частин. Перша частина EN 12014-1:1997 стосується загальних положень щодо визначення вмісту нітратів і нітритів у харчових продуктах і не належить до категорії 67.080.20. В Україні чинний ДСТУ EN 12014-1:2002. Третя та четверта частина цього стандарту стосується визначення вмісту нітратів і нітритів у м'ясних продуктах і вони теж не стосуються категорії 67.080.20. В Україні чинні згармонізовані ДСТУ ENV 12014-3:2003 та ДСТУ ENV 12014-4:2003. П'ята частина цього стандарту регламентує ензиматичне визначення вмісту нітратів і нітритів в овочевому дитячому харчуванні. Європейський стандарт EN 12014-5:1997, українського згармонізованого стандарту поки немає. Сьома частина цього стандарту EN 12014-7:1998 стосується визначення вмісту нітратів і нітритів в овочах і харчових продуктах, які складаються з овочів, після зменшення кадмію. Аналогічний згармонізований український стандарт ДСТУ EN 12014-7:2014 (EN 12014-7:1998, IDT). Таким чином, із 3 європейських стандартів серії 12014 для категорії 67.080.20 в Україні згармонізовано 2.

Європейські стандарти EN 12393-1:2008, EN 12393-2:2008, EN 12393-3:2008 стосуються методів багатокомпонентного аналізу для газохроматичного визначення залишків пестицидів (ч.1 – загальні положення, ч.2 – методом екстракції і очистки, ч.3 – визначення і дослідження на відповідність технічним умовам). В Україні є ДСТУ EN 12393-1:2003, EN 12393-2:2003, EN 12393-3:2003, проте вони згармонізовані із попередніми версіями цього європейського стандарту.

Стандарт EN 12955:1999 регламентує визначення вмісту афлатоксину В1 і суми афлатоксинів В1, В2, G1 і G2 в зернових, горіхах і продуктах їх переробки методом рідинної хроматографії високої роздільної здатності з постколонковою деривацією і очищенням по імунноафінній колонці. Межа кількісного для афлатоксину В1 і на суму афлатоксин В1, В2, G1 і G2, становить 8 мікрограмів на кілограм. В Україні діє згармонізований ДСТУ EN 12955-2001, що регламентує визначення вмісту афлатоксину В1 і суми афлатоксинів В1, В2, G1 і G2 у зернових культурах, фруктах із твердою шкірою та похідних від них продуктах методом високоефективної рідинної хроматографії за допомогою постколонкової дериватиції та очищення на імунній колонці. Як бачимо, цей український стандарт згармонізовано з європейським.

EN 14177:2003 регламентує визначення патуліну в освітленому та неосвітленому яблучному соці та пюре методом високоефективної рідинної хроматографії з розподілом очищеної рідини. В Україні аналогічного стандарту немає.

Стандарти EN 14333-1:2004, EN 14333-2:2004 та EN 14333-3:2004 стосуються визначення вмісту карбендазіма бензимидазольних фунгіцидів, тіабендазолу і беномілу (у вигляді карбендазіму) у харчових продуктах з очищення методом високоефективної рідинної хроматографії з твердофазною екстракцією (частина 1), з гельфільтрацією (частина 2) та з виділеною рідкою фазою (частина 3). В Україні аналогічних стандартів, на жаль, немає. А ці сполуки є токсикантами – дуже шкідливими сполуками для організму людини. І доцільно мати стандарт, який би регламентував методи їх визначення та допустимий вміст у харчових продуктах. Це сприяло б вилученню з ринку харчових продуктів із наявними у них токсикантами.

EN 15054:2006 регламентує визначення вмісту хлормеквату і мепиквату методом LC-MS (рідинної хроматографії і мас-спектрометрії) у харчових продуктах. Ці сполуки шкідливі для людського організму, проте в Україні

немає аналогічного стандарту, який би регламентував метод визначення їх вмісту та їх допустимі дози.

Отож, для оцінки якості продукції «Овочі та продукти їх переробки» (код за ІС8 67.080.20) є 12 стандартів Європейського Союзу щодо безпечності продукції, 21 стандарт Європейської економічної комісії, що стосуються збуту і контролю товарної якості свіжих овочів та фруктів, які поступають у міжнародну торгівлю між країнами - членами ЕЭК ООН і які ними імпортуються та 6 Європейських маркетингових стандартів. В Україні є аналогічні згармонізовані 21 стандарт Європейської економічної комісії, текст ідентичний. Проте, із 12 стандартів Європейського Союзу щодо безпечності продукції в Україні згармонізовано лише 3 і 3 згармонізовано із застарілими версіями стандартів.

Щодо гармонізації українських стандартів з Європейськими маркетинговими стандартами, то спостерігається низький ступінь відповідності. Зокрема, допустимі дози наявності в овочах важких металів у європейських стандартах є значно нижчі, ніж в українських. Наявність в овочах ртуті, міді, цинку та миш'яку згідно європейських стандартів взагалі не допускається, тоді як згідно українських – допускається. Проаналізуємо конкретніше відмінності українських та Європейських маркетингових стандартів у розрізі видів продукції овочів.

Порівнюючи Європейський маркетинговий стандарт на моркву (затверджений Положенням 46/2003 от 10 січня 2003 р.) та ДСТУ 286-91 [143], фіксуємо такі відмінності:

- європейський стандарт стосується тільки моркви для її споживання у свіжому вигляді, український - для споживання у свіжому вигляді й для промислової переробки;
- європейський стандарт регламентує поділ моркви за якісними параметрами на три класи: «Екстра» Клас, Клас I і Клас II, в українському стандарті поділ на класи або сорти відсутній; для кожного класу чітко регламентовані розмір та вага коренеплоду, в українському



стандарті вказано тільки мінімальний розмір коренеплоду;

- різний максимальний допустимий рівень наявності важких металів (згідно європейських стандартів наявність у моркві ртуті, міді, цинку та миш'яку взагалі не допускається, тоді як згідно українських – допускається; допустима доза наявності свинцю в Україні є в 5 разів вищою, ніж в Європі, а кадмію – навпаки, в Україні в 3,3 рази нижча).

Порівнюючи Європейський маркетинговий стандарт на цибулю (затверджений Положенням 1508/2001 від 24 липня 2001 р.) та ДСТУ 3234-95 [150], бачимо такі відмінності:

- європейський стандарт стосується тільки цибулі для її споживання у свіжому вигляді, український - для споживання у свіжому вигляді й для промислової переробки;
- Європейський стандарт передбачає поділ цибулі за якісними параметрами на два класи: Клас I і Клас II, а в українському стандарті цибулю поділяються на три якісних сорти: Вищий сорт, Перший сорт і Другий сорт;
- в українському стандарті не зазначено, яка має бути максимальна різниця між найменшою і найбільшою цибулиною в одній пакувальній одиниці;
- різний максимальний допустимий рівень наявності важких металів (згідно європейських стандартів наявність у цибулі ртуті, міді, цинку та миш'яку взагалі не допускається, тоді як згідно українських – допускається, допустима доза наявності свинцю в Україні є в 5 разів вищою, ніж в Європі, а кадмію – навпаки, в Україні на 40% нижча).

Порівнюючи Європейський маркетинговий стандарт на огірки (затвердженим положенням 1977/88 від 15 липня 1998 р. та доповнений положенням 46/2003 від 10 січня 2003р.) та ДСТУ 3247-95, бачимо такі відмінності:

- європейський стандарт стосується тільки огірків для їх споживання у свіжому вигляді, український - для споживання у свіжому вигляді й для

промислової переробки;

- щодо класифікації: згідно ДСТУ 3247-95 є I і II клас огірків (I клас - огірки повинні бути не довші 11 см, II клас - довжина огірків більша або рівна 25 см), згідно Європейського маркетингового стандарту є огірки «Екстра», I і II класи («Екстра» клас – огірки не довші 25 см, а Клас I – не довші 30 см);

- у європейському стандарті є вимоги, щодо мінімальної і максимальної ваги огірків різних класів, в українському стандарті такі вимоги відсутні;

- європейський стандарт має жорсткіші вимоги щодо упаковки огірків;

- за європейським стандартом допускається вміст в огірках лише таких металів, як свинець (0,1 мг/кг) і кадмій (0,05 мг/кг), а за українським стандартом опускається вміст в огірках свинцю (0,50 мг/кг), кадмію (0,03 мг/кг), ртуті, міді, цинку, миш'яку; за українськими стандартами вміст свинцю може бути в 5 разів вищим, а кадмію в 2 рази нижчим, ніж за європейськими.

Згармонізованих європейських та міжнародних стандартів для овочів та продуктів їх переробки немає.

На даний час є чинними 26 міжнародних стандартів категорії 67.080.20. Вони стосуються, в основному, вимог та рекомендацій щодо зберігання та транспортування різних овочів, зокрема капусти качанної та цвітної, цибулі, моркви, картоплі ранньої та продовольчої, спаржі, хрину, помідорів, огірків, часнику, солодкого стручкового перцю, грибів, салату, квасолі, кукурудзи та горошку. Крім того є стандарти ISO 1991-1:1982 і ISO 1991-2:1995, що регламентують номенклатурний список овочів, та ISO 3634:1979, який регламентує визначення хлориду в овочах. В Україні чинні 25 згармонізованих ДСТУ ISO, текст ідентичний. Лише ISO 23392:2006 «Кукурудза і горошок свіжі і швидкозаморожені. Метод визначення вмісту нерозчинних у спирті сухих речовин» не має аналогу в Україні. Отже, ступінь гармонізації українських стандартів категорії 67.080.20 з міжнародними є досить високий. Крім того в Україні чинні стандарти (ДСТУ, РСТ УССР, ГСТУ), що регламентують

технічні умови виробництва овочів та продуктів їх переробки). Багато з них є застарілими. Аналогічних міжнародних стандартів не існує. Тому такі стандарти доцільно гармонізувати із Європейськими маркетинговими стандартами, а також розробляти нові українські стандарти, враховуючи вимоги європейських стандартів щодо максимально допустимого рівня наявності важких металів, методів визначення шкідливих речовин, поділу на класи, вимоги до упаковки. Особливо це стосується таких овочів, як буряки, картопля, петрушка, селера, редька, редис, ревінь, шпинат, щавель, патисони, кабачки, баклажани та продуктів їх переробки, а також зберігання цих овочів.

Суттєвим недоліком українських стандартів є те, що спостерігається різний максимальний допустимий рівень наявності важких металів – згідно європейських стандартів наявність в овочах ртуті, міді, цинку та миш'яку взагалі не допускається, тоді як згідно українських – допускається, допустима доза наявності свинцю в Україні є в 5 разів вищою, ніж в Європі. Тобто, необхідно переглянути українські стандарти з метою посилення вимог щодо максимально допустимого рівня наявності важких металів.

Отже, важливими якісними показниками продукції овочівництва є показники безпечності продукції, зокрема рівень наявності в овочах важких металів. Тому важливо розробити методологічне забезпечення та інструментальну підтримку у вигляді засобів вимірювання та контролю саме цих показників. При цьому, засоби вимірювання можуть бути віртуальними, тобто реалізованими для оперативного відстеження таких показників, які ще знаходяться на стадії їх опробації, принаймні, в Україні.

## **2.2. Розроблення методики визначення комплексного показника оцінки якості продукції овочівництва**

Овочам притаманні специфічні властивості, які проявляються під час споживання, зберігання та перероблення овочів. Розглянемо показники якості овочів – кількісні оцінки їхніх властивостей. Спочатку встановимо номенклатуру та обґрунтуємо вибір показників якості, проаналізуємо нормативні документи, які характеризують показники якості, та одиниці

вимірювання цих показників, далі згрупуємо показники за певними ознаками, тобто здійснимо класифікацію показників якості овочів. Отож, проаналізуємо фізико-хімічні та біологічні показники овочів, умови їх вирощування та спосіб використання, які безпосередньо впливають на якість овочів: масова частка вуглеводів, масова частка клітковини, масова частка білків, масова частка органічних кислот, масова частка води, енергетична цінність, вміст вітамінів (вітамін А, вітамін С, вітамін В<sub>1</sub>, вітамін В<sub>2</sub>, нікотинова кислота РР), вміст мінеральних речовин (Na, K, Ca, Mg, P, Fe), вміст шкідливих сполук, забарвлення, розмір, індекс форми, вага на одиницю продукції, ступінь сухості, чистоти, ступінь свіжості, ступінь ураження шкідниками і хворобами, ступінь механічних пошкоджень, ступінь стиглості, смакові якості, наявність природного аромату, відсутність сторонніх запахів, біологічні властивості сорту, природно-кліматичні зони вирощування.

Вказані у [55] ДСТУ, РСТ УССР, ДСТУ ЕЭК ООН FFV характеризують значення показників якості для різних видів овочів. Проте у цих нормативних документах не нормовано значення всіх показників якості овочів. Зокрема, нормовано гранично допустимі концентрації (ГДК) наявності в овочах важких металів. ГДК свинцю – 0,5 мг/кг ваги, кадмію – 0,03 мг/кг ваги, ртуті – 0,02 мг/кг ваги, міді – 5,0 мг/кг ваги, цинку – 10,0 мг/кг ваги, миш'яку – 0,2 мг/кг ваги. Варто зазначити, що допустимі дози наявності важких металів у європейських стандартах значно нижчі, ніж в українських. ГДК свинцю – 0,1 мг/кг ваги, кадмію – 0,01 мг/кг ваги, а наявність в овочах ртуті, міді, цинку та миш'яку згідно з європейськими стандартами взагалі не допускається. Також нормовано розміри, які притаманні певному ботанічному сорту овочів, або вагу одиниці овочів залежно від виду овочів. Зокрема, розмір коренеплодів моркви за найбільшим поперечним діаметром повинен бути не меншим за 1,5 см; чиста вага капусти білокачанної більша або дорівнює 250–600 г на одиницю продукції для ранньостиглої, більша або дорівнює 300–800 г на одиницю продукції для середньостиглої, середньопізньої та пізньостиглої; довжина цибулі І групи, не більша ніж 11 см, найбільший поперечний діаметр, не

більший за 5,5 см, довжина цибулі II групи не більша за 14 см, найбільший поперечний діаметр, не більший, ніж 5,5 см. Нормовано ступінь чистоти: частка землі, що прилипла до коренеплодів не більше за 1 %, наявність коренеплодів розгалужених, тріснутих, неправильно обрізаних – не більше за 10,0 %. Не допускаються тріснуті, з механічними ушкодженнями, ушкодженнями шкідниками й хворобами. Решта показників якості не нормовано, вказано лише, що коренеплоди мають бути свіжі, цілі, здорові. Качани свіжі, цілі, здорові, чисті, що цілком сформувалися, непророслі, типової для ботанічного сорту форми й кольору, без стороннього запаху й присмаку.

Крім вищезазначених нормативних документів, які характеризують значення показників якості овочів, є також стандарти, що описують методи визначення вмісту шкідливих елементів у овочах [35-41]. Проте, відсутнє нормативне забезпечення експрес-методів контролю безпечності овочів.

Встановивши номенклатуру показників якості продукції овочівництва, згрупуємо їх, виділивши такі групи показників якості:

- показники корисності;
- показники безпеки;
- органолептичні показники;
- показники технологічного призначення;
- показники транспортабельності.

Детально охарактеризуємо вказані групи показників якості овочів, наведені у табл. 2.1.

*Таблиця 2.1*

### **Класифікація показників якості овочів**

№	Групи показників якості	Показники якості	Одиниця вимірювання показника
1	Показники корисності	а) вміст поживних речовин Масова частка води Масова частка вуглеводів Масова частка білків Масова частка клітковини Масова частка органічних кислот Енергетична цінність б) вміст вітамінів	мл на 100 г сирової маси г на 100 г сирової маси г на 100 г сирової маси г на 100 г сирової маси г на 100 г сирової маси Ккал

		вітамін А вітамін С вітамін В <sub>1</sub> вітамін В <sub>2</sub> нікотинова кислота РР в) вміст мінеральних речовин (Na, K, Ca, Mg, P, Fe)	мкг на 100 г сирії маси мг на 100 г сирії маси мг на 100 г сирії маси мг на 100 г сирії маси мг на 100 г сирії маси мг на 100 г сирії маси
2	Показники безпеки	Відсутність опромінення для продовження зберігання Відсутність обробки з метою стимуляції свіжості ГДК токсинів (свинець, кадмій, миш'як, ртуть, мідь, цинк) ГДК мікотоксинів ГДК нітратів Відсутність генномодифікованих сортів	к-ть разів к-ть разів мг/кг мг/кг мг/кг %
3	Органолептичні показники	а) показники зовнішнього вигляду Забарвлення  Ступінь сухості, чистоти Ступінь свіжості Ступінь ураження шкідниками і хворобами Ступінь механічних пошкоджень б) показники фізичних розмірів Розмір Індекс форми Вага на одиницю продукції в) показники смаку Ступінь стиглості Смакові якості г) показники запаху Наявність природного аромату Відсутність сторонніх запахів	Одиниці шкали кольорів Бондарцева % % % % см см/см г % бали % %
4	Показники технологічного призначення	Лежкість Відповідність способу використання	добы бали
5	Показники транспортабельності	Тривалість перевезення Наявність відповідної тари	добы бали

А) Показники корисності. Корисність овочів залежить від їх фракційного складу. Свіжі овочі містять 70–90 % води, вуглеводів – 1,9–16,3 %, клітковини – 0,3–3,5 %, жирів – 0–0,6 %, білків – 0,6–6,0 %, органічних кислот – 0,1–1,0 % [112]. За вмістом поживних речовин, овочі відрізняються, але переважно вони містять дуже мало жирів, більше білків, вуглеводи у вигляді цукрів (цукрози, фруктози, глюкози), клітковину, яка є важливим компонентом харчування.

Багато сахарози в буряках (11 %), глюкози в моркві. Крім поживних речовин, овочі містять вітаміни (С, А, В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub>) та мінеральні речовини, зокрема солі калію, кальцію, натрію, фосфору, заліза. Тому до групи показників корисності належать показники складу овочів, які доцільно розділити на такі підгрупи: показники вмісту поживних речовин, показники вмісту вітамінів, показники вмісту мінеральних речовин, показники антиоксидантної активності.

*Показники вмісту поживних речовин* характеризують вміст в овочах вуглеводів, клітковини, білків, води, органічних кислот, а також енергетичну цінність овочів. Показник вмісту води доцільно використовувати, оскільки вода, як вказано вище, є переважною складовою овочів. Білки виконують структурну функцію. Вміст білків у овочах порівняно невеликий, але, зважаючи на важливість білкового харчування для відновлення організму, пропонуємо використовувати показник вмісту білків. Овочі є важливим постачальником вуглеводів, які своєю чергою є важливим енергетичним матеріалом. Крім енергетичної, вуглеводи виконують детоксикаційну та інші функції: зокрема, глюкоза є складовою плазми крові, зниження її концентрації призводить до порушення діяльності центральної нервової системи. Отож, пропонуємо використовувати показник вмісту вуглеводів. Показника вмісту жирів не пропонуємо, оскільки в овочах низький вміст жирів. Клітковина вбирає шкідливі речовини і виводить їх з організму людини; крім того вона стимулює травлення. Тому для оцінювання якості овочів доцільно ввести показник вмісту клітковини. Енергетична цінність овочів зумовлена, передусім, наявністю в них вуглеводів. Проте залежність між вмістом вуглеводів та енергетичною цінністю не є прямо пропорційною, тому доцільно ввести показник енергетичної цінності.

*Показники вмісту вітамінів* характеризують вміст в овочах вітамінів А, С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> та нікотинової кислоти РР. Саме ці вітаміни є в овочах. Вони необхідні для життєдіяльності людини, оскільки беруть участь у ферментативних операціях.

*Показники вмісту мінеральних речовин* характеризують вміст в овочах Na, K, Ca, Mg, P, Fe. Натрій сприяє водно-сольовому обміні організму, утворенні буферних систем крові, соляної кислоти соку шлунка. Калій підвищує тонус м'язів серця, регулює виділення води з організму, збуджує органи кровообігу. Кальцій сприяє зсіданню крові, бере участь у формуванні кісток, зубів, збуджує і гальмує діяльність кори головного мозку, активізує ферменти шлунка, гормони. Магній регулює кальцієвий і холестериновий обмін, посилює жовчовиділення, знижує артеріальний тиск. Фосфор відіграє важливу роль у функціонуванні багатьох систем організму. Він входить до складу білків, кісткової тканини, аденозинтрифосфату (АТФ) та інших сполук. Залізо входить до складу гемоглобіну крові, ферментів, бере участь в окиснювальних процесах [23].

Хімічний склад овочів залежить від біологічних властивостей сорту, природно-кліматичних зон вирощування, він змінюється у разі тривалого зберігання овочів. Так наприклад, що більший світловий день, то більша кількість сухих речовин є в овочах і то менше води. Тому овочі одного сорту, вирощені у різних природно-кліматичних зонах, мають різну кількість поживних речовин, вітамінів, мінеральних речовин, а отже, і різну якість. Те саме стосується і овочів різних сортів. У нормативних документах не регламентовано граничну межу наявності в овочах вказаних корисних речовин, проте вважаємо, що під час оцінювання якості овочів масову частку корисних речовин враховувати необхідно.

*Б) Показники безпеки.* Показники цієї групи характеризують безпеку споживачів овочів. До показників безпеки насамперед доцільно зарахувати показники, що характеризують ступінь наявності в овочах токсинів, мікотоксинів та нітратів. Це гранично допустимі дози наявності шкідливих елементів в овочах і вимірюються вони у мг/кг. До цієї групи показників також зарахуємо відсутність опромінення для продовження зберігання, відсутність обробки з метою стимуляції свіжості. Ці показники характеризуються кількістю разів такої обробки. Крім того, необхідно оцінити, чи аналізовані овочі є



генномодифікованими, тому наступним показником цієї групи є показник відсутності генномодифікованих сортів. Він набуває лише двох можливих значень: так або ні.

Показники безпеки та корисності є найважливішими для здоров'я споживача, тому, на думку авторів, саме ці показники доцільно аналізувати в експрес-методах контролю якості овочів.

В) *Органолептичні показники*. Показники цієї групи характеризують ті властивості овочів, які визначаються за допомогою органів відчуттів людини. Це такі характеристики, як забарвлення, ступінь сухості, чистоти, ступінь свіжості, ступінь ураження шкідниками і хворобами, ступінь механічних пошкоджень, розмір, індекс форми, вага на одиницю продукції, ступінь стиглості, наявність природного аромату та відсутність сторонніх запахів. Їх також можна поділити на підгрупи: показники зовнішнього вигляду, показники фізичних розмірів, показники смаку, показники запаху.

*Показники зовнішнього вигляду*. Забарвлення зумовлене наявністю в овочах пігментів, є важливим показником якості овочів, оскільки свідчить про ступінь стиглості овочів (змінюється залежно від стиглості), про їхню збереженість, про відсутність захворювань. Проте у стандартах вимоги до забарвлення регламентовані лише як притаманні ботанічному сорту [53]. Колір забарвлення вказано лише для деяких видів овочів, зокрема для томатів – червоне, рожеве забарвлення, для цвітної капусти – біле або злегка кремове, для червоноголової капусти – від червоно-фіолетового до синьо-червоного забарвлення [55]. Вважаємо, що у стандартах доцільно регламентувати колір забарвлення відповідно до шкали А. Бондарцева. Шкала містить 105 тонових відтінки кольорів і є єдиною для визначення кольору всіх біологічних об'єктів.

У стандартах [55] вказано, що овочі мають бути свіжі, чисті, цілі, здорові, нетріснуті, без механічних ушкоджень, ушкоджень шкідниками й хворобами, допускається частка землі, що прилипла до коренеплодів – 1 %. Це важливі показники, оскільки сухість і чистота перешкоджають розвитку на поверхні овочів шкідливих патогенних організмів. Овочі зовсім не повинні мати

механічних ушкоджень та уражень шкідниками і мікробіологічними фізіологічними хворобами. Крім того, овочі мають бути свіжими, не зів'ялими. Тому вважаємо, що ці показники доцільно враховувати під час оцінювання якості продукції овочівництва, використовуючи одиницю вимірювання – відсотки.

*Показники фізичних розмірів.* У кожного виду овочів є характерний розмір або вага. Наприклад, для коренеплодів моркви характерним розміром є найбільший поперечний діаметр (1,5 см), у капусти – вага на одиницю продукції (250–600 г на одиницю продукції для ранньостиглої та 300–800 г на одиницю продукції для середньостиглої, середньопізньої та пізньостиглої). Одиницею вимірювання для лінійних розмірів є сантиметри, для ваги – грами. Деякі овочі характеризуються двома лінійними розмірами. Фізичні розміри таких овочів оцінюють за індексом форми, який є відношенням характерних лінійних розмірів. Це безрозмірний показник.

До *показників смаку* зарахуємо ступінь стиглості та смакові якості овочів. Ступінь стиглості пропонуємо обчислювати у відсотках (0–100 %), а смакові якості, які залежать від біологічних властивостей сорту овочів та від природно-кліматичної зони їх вирощування, у балах (1–10). Суть застосування системи бальних оцінок полягає в тому, що характеристика оцінюється певною кількістю балів – у нашому випадку 10 балів. Вищий бал показує вищу якість характеристики.

До *показників запаху* належить наявність природного аромату, що притаманний аналізованому сорту овочів, та відсутність сторонніх запахів. Ці показники пропонуємо обчислювати у відсотках (0–100 %).

*Г) Показники технологічного призначення.* До цієї групи показників якості належать показники, що характеризують можливість та доцільність певного способу використання овочів. Взагалі існують такі способи використання овочів: негайне споживання, зберігання та промислова переробка. Тому в межах цієї групи виділимо лежкість, що характеризує

тривалість збереження овочів і визначається у добах, та відповідність способу використання, який пропонуємо визначати у балах.

*Д) Показники транспортабельності.* До цієї групи показників належать показники якості овочів, які характеризують можливість їх транспортування. Такими показниками є тривалість перевезення, що виражається у добах, та наявність відповідної тари для транспортування, яка визначається у балах. Наявність відповідної тари дає змогу краще зберегти овочі під час транспортування.

Такі характеристики овочів як біологічні властивості сорту та природно-кліматичні зони вирощування, не відображено у згрупованих показниках якості продукції овочівництва (табл.2.1), оскільки ці характеристики повністю відображаються у інших показниках якості.

### **2.2.1. Дослідження та розвиток системи оцінювання якості окремих видів овочів на прикладі моркви.**

Встановивши групи показників якості продукції овочівництва, складемо таблицю оцінювання якості моркви. У таблиці адаптовано показники якості продукції овочівництва до конкретних характеристик якості моркви, подано граничні значення кожного показника, вказано пріоритетність вимог, яку можуть встановлювати споживачі відповідно до своїх потреб, та значення показника під час оцінювання якості моркви. У табл. 2.2 подано приклад пріоритетності за групами вимог.

*Таблиця 2.2*

#### **Оцінка якості моркви**

Показник	Пріоритетність вимог, %	Граничні значення	Значення показника
Масова частка вуглеводів (г на 100 г сирої маси)	2	$\geq 7,2$	$0,02 \cdot m_{\text{в}} / 7,2$
Масова частка клітковини (г на 100 г сирої маси)	5	$\geq 1,2$	$0,05 \cdot m_{\text{к}} / 1,2$
Масова частка білків (г на 100 г сирої маси)	2	$\geq 1,3$	$0,02 \cdot m_{\text{б}} / 1,3$

Масова частка води (мл на 100 г сирії маси)	2	$\leq 88$	$0,02*(1-m_{\text{во}}/88)$
Масова частка органічних кислот (г на 100 г сирії маси)	3	$\geq 0,3$	$0,03*m_{\text{оп}}/0,3$
Енергетична цінність (Ккал)	2	$\geq 34$	$0,02*m_{\text{ен}}/34$
Вміст вітамінів:	7 в т.ч.		
вітамін А (мкг на 100 г сирії маси)	2	$\geq 9,0$	$0,02*m_a/9,0$
вітамін С (мг на 100 г сирії маси)	2	$\geq 5,0$	$0,02*m_c/5,0$
вітамін В <sub>1</sub> (мг на 100 г сирії маси)	1	$\geq 0,06$	$0,01*m_{\text{в1}}/0,06$
вітамін В <sub>2</sub> (мг на 100 г сирії маси)	1	$\geq 0,07$	$0,01*m_{\text{в2}}/0,07$
нікотинова кислота РР (мг на 100 г сирії маси)	1	$\geq 0,10$	$0,01*m_{\text{рр}}/0,1$
Вміст мінеральних речовин	7		
Na (мг на 100 г сирії маси)	1	$\geq 21$	$0,01*m_{\text{Na}}/21$
K (мг на 100 г сирії маси)	1	$\geq 200$	$0,01*m_{\text{K}}/200$
Ca (мг на 100 г сирії маси)	1	$\geq 51$	$0,01*m_{\text{Ca}}/51$
Mg (мг на 100 г сирії маси)	1	$\geq 38$	$0,01*m_{\text{Mg}}/38$
P (мг на 100 г сирії маси)	2	$\geq 55$	$0,02*m_{\text{P}}/55$
Fe (мг на 100 г сирії маси)	1	$\geq 0,7$	$0,01*m_{\text{Fe}}/0,7$
Оцінка за групою показників корисності	30		Підсумок оцінок групи
Відсутність опромінення для продовження зберігання (к-ть разів)	2	0	$-0,02*\text{оп}/1$
Відсутність обробки з метою стимуляції свіжості (к-ть разів)	2	0	$-0,02*\text{ст}/1$
ГДК токсинів	12		
Свинець, мг/кг	2	$\leq 0,5$	$0,02*(1-m_{\text{pb}}/0,5)$
Кадмій, мг/кг	2	$\leq 0,03$	$0,02*(1-m_{\text{Kd}}/0,03)$
Арсен, мг/кг	2	$\leq 0,2$	$0,02*(1-m_{\text{As}}/0,2)$
Ртуть, мг/кг	2	$\leq 0,02$	$0,02*(1-m_{\text{Hg}}/0,02)$
Мідь, мг/кг	2	$\leq 5$	$0,02*(1-m_{\text{Cu}}/5)$
Цинк, мг/кг	2	$\leq 10$	$0,02*(1-m_{\text{Zn}}/10)$
ГДК мікотоксинів, мг/кг	5	$\leq 0,05$	$0,05*(1-m_{\text{mi}}/0,05)$
ГДК нітратів, мг/кг	5	$\leq 400$ - рання $\leq 250$ - пізня	$0,05*(1-m_{\text{ni}}/400)$

Відсутність генномодифікованих сортів, так, +) або ні (-))	4	0 або 1*	$0,04*(1-m_{ген})$
Оцінка за групою показників безпеки	30		Підсумок оцінок групи
Забарвлення (одиниці шкали кольорів Бондарцева)	2	20-26	$0,02*\{$ 1 при $21 \leq заб \leq 25$ 0,5 при $20 < заб < 21$ , $25 < заб < 26$ , 0 при $заб < 20$ , $заб > 26\}$
Ступінь сухості, чистоти, %	2	$\geq 99$	$0,02*cle/99$
Ступінь свіжості, %	2	$\sim 100$	$0,02*св/100$
Ступінь ураження шкідниками і хворобами, %	2	0	$-0,02*шк/1$
Ступінь механічних пошкоджень, %	2	0	$-0,02*мб/1$
Розмір (найбільший поперечний діаметр), см	2	$\geq 1,5$	$0,02*р/1,5$
Індекс форми, см/см		-	
Вага на одиницю продукції, г		-	
Ступінь стиглості (%)	2	$\sim 100$	$0,02*ст/100$
Смакові якості, балів	2	$\sim 10$	$0,02*смак/10$
Наявність природного аромату, %	2	$\sim 100$	$0,02*ар/100$
Відсутність сторонніх запахів, %	2	$\sim 0$	$-0,02*зп/1$
Оцінка за групою органолептичних показників	20		Підсумок оцінок групи
Лежкість, діб	5	$\leq 4$ – для свіжої	$0,05*(1-л/4)$
Відповідність способу використання, балів	5	$\sim 5$	$0,05*вик/5$
Оцінка за групою показників технологічного призначення	10		Підсумок оцінок групи
Тривалість перевезення, діб	5	$\leq 4$ – для свіжої	$0,05*(1-пер/4)$
Наявність відповідної тари, бали)	5	$\sim 5$	$0,05*тар/5$
Оцінка за групою показників	10		Підсумок оцінок

транспортабельності			групи
Загальна оцінка якості	100		Підсумок оцінок по всіх групах

\* Характеристика має лише два значення (так або ні).

Аналізуючи дані табл. 2.2, бачимо, що показники якості продукції овочівництва за їх граничними значеннями можна поділити на три групи: показники, значення яких має бути менше за граничне значення або дорівнювати їм (зменшення значень цих показників веде до збільшення рівня якості овочів), показники, значення яких має бути більше або дорівнювати граничному значенню (збільшення значень цих показників підвищує рівень якості овочів), та показники, значення яких має бути в певних межах (до збільшення рівня якості овочів веде наближення до середнього значення характеристики). Такий поділ показників якості овочів є передумовою для моделювання комплексної оцінки якості овочів.

### **2.3. Розвиток математичної моделі оцінювання якості продукції овочівництва за нечітких обмежень**

Як встановлено вище, сільськогосподарська продукція, зокрема овочі, характеризується сукупністю різних показників якості. Вище, у п.2.2 ці показники характеризовані та згруповані. Така систематизація показників якості овочів дає можливість підійти до виконання основних етапів кваліметричних вимірювань:

I етап – вимірювання різних одиничних характеристик (показників якості) овочів – технологічні вимірювання.

II етап – оцінювання якості продукції загалом, спираючись на результатах вимірювання окремих характеристик – опрацювання результатів вимірювань.

Характеризуючи I етап (вимірювання одиничних характеристик продукції) треба відзначити, що частину характеристик можна виміряти за допомогою технічних засобів, а частину можна ідентифікувати, проаналізувати, оцінити шляхом залучення експертів.

Часто висловлюючи суб'єктивну думку [119], експерти надають інформацію, які використаємо шляхом перетворення у показники, придатні для математичного опрацювання.

Поняття якісної харчової продукції може визначатися не конкретними числовими показниками певних її характеристик, а належністю значень характеристик продукції до певного інтервалу. Так, наприклад, для пізньої капусти є такі вимоги до якості: вміст сухої речовини повинен бути не менше 9-10%, вміст вуглеводів – не менше 5-6%, вміст вітаміну С – не менше 40-50 мг на 100 г сухої речовини, вміст нітратів – не більше 400 мг/кг.

На II етапі – етапі опрацювання результатів вимірювань для оптимізації загального показника якості продукції запропонуємо використовувати математичний апарат нечітких множин (оскільки характеристики продукції мають знаходитися в певному інтервалі), за допомогою якого побудуємо математичні моделі комплексного оцінювання якості сільськогосподарської продукції.

Математичні моделі в кваліметрії повинні мати оптимізаційний характер, тобто необхідно досягнути екстремальних значень цільової функції (мети, яка стоїть перед дослідником) при обмеженнях, в множині допустимих рішень.

Першим етапом розроблення математичної моделі є вивчення об'єкта дослідження, виділення його окремих компонентів, їх аналіз. Дослідження об'єкта здійснено в п. 2.1.

Другий етап розроблення математичної моделі – на підставі проведеного аналізу об'єкта досліджень проводимо постановку задачі; визначаємо цільову функцію; вводимо обмеження на певні показники, встановлюємо взаємозв'язки показників з чинниками, які на них впливають. Далі визначаємо алгоритм розрахунку параметрів моделі.

Третій етап математичного моделювання – аналіз моделі, аналіз розв'язку, системний аналіз.

Аналіз моделі: модель повинна відповідати таким вимогам: адекватність, повнота, адаптованість до залучення нових елементів, простота та наочність.

Аналіз розв'язку: на підставі припущень і розроблених правил приймаються рішення щодо висновків про якість продукції.

Системний аналіз: на підставі принципу оберненого зв'язку проводиться спрощення моделі, модель розглядається у сукупності з іншими задачами.

Метою кваліметричних досліджень може бути не лише оцінювання наявного рівня якості продукції, а й надання рекомендацій щодо забезпечення прогресивних норм якості для задоволення потреб населення та вимог переробної промисловості до сировини.

Тому визначимо фактори, на які можна впливати для підвищення якості продукції овочівництва. Далі опишемо ці фактори і складемо математичну модель оцінки якості продукції овочівництва, яка б встановлювала взаємозв'язок між якістю продукції та показниками, які формують цю якість. Таким чином, зреалізуємо ідею математичного моделювання комплексного показника якості. Багатокритеріальну модель оцінювання якості зведемо до задачі оптимізації із цільовою функцією, яка представляє собою комплексний показник якості продукції, та нечітко описаними потрібними характеристиками продукції, тобто сформуємо нечітку задачу оптимізації (задачу з нечітко визначеними обмеженнями), яку зведемо до задачі класичного лінійного програмування, використовуючи підхід Беллмана-Заде. Цей напрям досліджень є перспективним; тож розвиваю його в аспекті зворотнього зв'язку, тобто на підставі багатокритеріальної моделі якості продукції розроблю рекомендації щодо забезпечення норм її якості.

У роботі розроблено декілька математичних моделей для оцінки якості сільськогосподарської продукції:

I модель – математична модель оцінки якості продукції овочівництва. Мета – визначити продукцію з найбільшим вмістом в овочах клітковини, вуглеводів, білків - залежно від кількості мінеральних добрив, тобто знайти максимальне значення функції, що визначає комплексний показник якості (корисності) по наявності в овочах клітковини, вуглеводів, білків в залежності від кількості мінеральних добрив.



II модель – математична модель для досягнення максимальної ваги сільськогосподарської продукції, тобто знайти максимальне значення функції маси в залежності від мінеральних добрив.

III модель – математична модель для забезпечення вирощування сільськогосподарської продукції із заданими параметрами питомої ваги поживних речовин (вуглеводів, білків). Мета – досягти заданих параметрів питомої ваги поживних речовин при найменшій кількості мінеральних добрив, тобто знайти мінімальне значення функції кількості добрив.

IV модель – математична модель безпечності овочів, тобто функція для оцінювання безпечності продукції щодо наявності у ній важких металів.

Критерій якості розв'язку для детермінованих задач залежить від множини детермінованих параметрів  $c$  та керованих змінних  $x$ , і в загальному обернена задача формується наступним чином:

$$\begin{aligned} Q(c,x) \rightarrow \max \\ x \in X \end{aligned} \quad (2.1)$$

Пошук максимального значення критерію не звужує умови задачі, оскільки, якщо задача формується у вигляді  $Q'(c,x) \rightarrow \min, x \in X$ , то її легко перетворити до еквівалентної задачі (2.1) шляхом підстановки  $Q(c,x) = -Q'(c,x)$ .

Розв'язком оберненої задачі (2.1) є таке значення вектора керованих змінних, яке забезпечує досягнення найбільшого значення критерію якості (ефективності) серед всіх можливих значень вектора керованих змінних – це  $x^* = \operatorname{argmax} Q(c, x), x \in X$ .

Загальна задача нелінійного програмування формується наступним чином [113]: потрібно відшукати  $n$ -вимірний вектор  $x=(x_1, \dots, x_n)$ , який мінімізує (максимізує) функцію

$$f^0(x) \quad (2.2)$$

за умов, що  $f^{(i)}(x)$  – нелінійні функції:

$$f^{(i)}(x) \leq 0, i = \overline{1, m} \quad (2.3)$$

$$x \in X \quad (2.4)$$

Обмеження (2.3), взагалі кажучи (це видно із (2.1)), можна записати у формі (2.4), але запис (2.2) – (2.4) більш доцільний, оскільки в (2.4) ми в змозі включати обмеження спеціального вигляду, наприклад, вимогу невід’ємності змінних, яких не має сенсу записувати у формі (2.3).

Функцію (2.2) називають цільовою функцією, функцією мети (критерій якості, ефективності), а функції  $f^{(i)}$ ,  $i = \overline{1, m}$  – функціями обмежень задачі нелінійного програмування. Керований  $n$ -вимірний вектор (план)  $x$ , що задовольняє обмеженням (2.3) і (2.4), називають допустимим вектором (планом). Множину всіх допустимих векторів  $x$  називають допустимою множиною (областю) і позначають буквою  $D$ . Допустимий вектор, що мінімізує функцію мети  $f^{(0)}(x)$ , називають оптимальним розв’язком задачі нелінійного програмування. Позначається він, як і для (2.1), через  $\operatorname{argmin} f^{(0)}(x)$ ,  $x \in D$ . Відповідне  $x^*$  для нового значення функції мети називають оптимальним значенням.

Якщо в (2.2) – (2.3) функції  $f^{(i)}(x)$ ,  $i = \overline{0, m}$  лінійні за  $x$ :

$$f^{(0)}(x) = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \quad (2.5)$$

$$f^{(i)}(x) = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j - b_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (2.6)$$

$$X = \{x = (x_1, \dots, x_n): x_j \geq 0, j = \overline{1, n}\}, \quad (2.7)$$

то задачу (2.2) – (2.4), зведену до задачі (2.5) – (2.7), називають задачею лінійного програмування.

Класична (чітка) теорія множин використовує закон Архімеда про виключення третього, за яким елемент або належить множині або їй не належить. Якщо належить, то розглядуваному елементу привласнюється цифра 1, якщо ні – то 0. Тобто, вводимо певну функцію належності до множини  $X$ :

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \in X \\ 0, & \text{якщо } x \notin X \end{cases}, \quad (2.8)$$

де  $X$  – певна базова шкала (множина).

Проте такий підхід є непридатним при дослідженні задач, які оперують якісними характеристиками об’єктів. В такому випадку доцільно нечітку множину  $\tilde{A}$  визначити через базову (універсальну множину) шкалу  $X$  і функцію

належності  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ , що приймає значення у відрізку  $[0, 1]$ . Отже, нечітка множина  $\tilde{A}$  – це сукупність пар вигляду:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)), x \in X\} \quad (2.9)$$

Якщо базова шкала дискретна і скінченна, тобто  $X = \{x_i\}_{i=1}^n$ , то нечітку множину можна записати наступним чином:

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n x_i / \mu_{\tilde{A}}(x_i), \quad (2.10)$$

де  $x_i$  –  $i$ -те значення базової шкали.

Функція належності  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  визначає міру впевненості дослідника, що конкретне значення базової шкали відповідає нечіткій множині [114]. На відміну від дискретного випадку, неперервні функції належності можуть бути: трикутними: функції належності  $\mu_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$  визначається ядром  $q_c$ ; трапецієподібними: функції належності  $\mu_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$  визначається ядром  $[q_1, \overline{q_1}]$ ;  $[q_1]$  – оптимістична оцінка параметра – ядро параметра;  $[q_1]$  – песимістична оцінка параметра – носій параметра; дзвоноподібними: функції належності  $\mu_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$  виражаються залежністю:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + (\frac{x-b}{c})^2} \quad (2.11)$$

Якщо універсальна множина  $X$  є множиною дійсних чисел  $R$ , то нечітку множину  $\tilde{A}$  називають нечітким числом.

I модель – математична модель оцінки якості продукції овочівництва.

Якість продукції визначається сукупністю її характеристик, які можуть бути вимірні. Задачу оцінювання якості сільськогосподарської продукції можна подати у формі нечіткої лінійної моделі [114]:

$$Z(x) = c \cdot x \rightarrow \min \quad (2.12)$$

Характеристики  $x = (x_1; \dots; x_n)$  вибирають з обмежень

$$\begin{aligned} g_i(x) &\equiv a_i \cdot x \lesseqgtr b_i, & b_i + d_i & \quad i = \overline{1, m_1} \\ g_i(x) &\equiv a_i \cdot x \leq b_i, & i & = \overline{m_1 + 1, m} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Вектори  $x = (x_1; \dots; x_n)$ ,  $C = (c_1; \dots; c_n)$ ;  $a_i = (a_{i1}; \dots; a_{in})$  та числа  $b_i$   $i = \overline{1, m}$ ,  $d_i > 0$   $i = \overline{1, m_1}$  дійсні.

Конкретну задачу оцінки якості сільськогосподарської продукції з оптимізацією при цьому кількості мінеральних добрив при її вирощуванні здійснено на підставі дослідів із впливу добрив на пивоварну якість зерна ярого ячменю сорту Вакула, які проводились в ЛНАУ у 2010-2012рр.

$$Z(x) = x_1 + x_2 + x_3 \rightarrow \min \quad (2.14)$$

Структурна матриця, складена на підставі даних дослідів, що характеризує лінійну оптимізаційну задачу, має вигляд

$$A = \begin{pmatrix} -0,247 & -0,247 & 0,207 \\ 0,247 & 0,247 & -0,207 \\ 0,08 & 0,08 & 0,054 \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

Необхідно забезпечити вирощування зерна ярого ячменю пивоварного сорту Вакула, який відповідає наступним показникам якості: вміст крохмалю у зерні має бути більшим за 60-70%; вміст білка у зерні має бути більшим за 8%, але меншим за 9-12% (функції належності трапецієвидної форми). Визначимо ядра і носії параметрів.

[9;12] – оптимістична оцінка параметра – ядро параметра білка;

[63;79] - оптимістична оцінка параметра – ядро параметра крохмалю;

[8;13] - песимістична оцінка параметра – носій параметра білка;

[51;84] - песимістична оцінка параметра – носій параметра крохмалю.

Виходячи з цих вимог до якості, запишемо наступні гнучкі обмеження:

$$\begin{aligned} g_1(x) &= -0,247 \cdot x_1 - 0,247 \cdot x_2 + 0,207 \cdot x_3 \leq -0,03 \\ g_2(x) &= 0,247 \cdot x_1 + 0,247 \cdot x_2 - 0,207 \cdot x_3 \leq 0,13; 0,13 + 0,3 \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$g_3(x) = 0,08 \cdot x_1 + 0,08 \cdot x_2 + 0,054 \cdot x_3 \leq 0,78$$

$$g_4(x) = x_1 \geq 0,1$$

$$g_5(x) = x_1 \leq 0,3 \quad (2.17)$$

$$g_6(x) = x_2 \geq 0,1$$

$$g_7(x) = x_2 \leq 0,3$$

$$g_8(x) = x_3 \geq 0,15$$

$$g_9(x) = x_3 \leq 0,4$$

$$x \geq 0;$$

Згідно підходу Беллмана-Заде розв'язок є перетином цілей та обмежень [118].

Для дефазифікації поставленої задачі треба розв'язати такі задачі:

$$\underline{w} = x_1 + x_2 + x_3 \rightarrow \min \quad (2.18)$$

за умов

$$\begin{aligned} -0,247 \cdot x_1 - 0,247 \cdot x_2 + 0,207 \cdot x_3 &\leq -0,03 \\ 0,247 \cdot x_1 + 0,247 \cdot x_2 - 0,207 \cdot x_3 &\leq 0,13 \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} 0,08 \cdot x_1 + 0,08 \cdot x_2 + 0,054 \cdot x_3 &\leq 0,78 \\ 0,1 \leq x_1 &\leq 0,3 \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$0,1 \leq x_2 \leq 0,3$$

$$0,15 \leq x_3 \leq 0,4$$

$$\bar{w} = x_1 + x_2 + x_3 \rightarrow \min \quad (2.21)$$

за умов

$$\begin{aligned} -0,247 \cdot x_1 - 0,247 \cdot x_2 + 0,207 \cdot x_3 &\leq -0,03 \\ 0,247 \cdot x_1 + 0,247 \cdot x_2 - 0,207 \cdot x_3 &\leq 0,43 \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} 0,08 \cdot x_1 + 0,08 \cdot x_2 + 0,054 \cdot x_3 &\leq 0,78 \\ 0,1 \leq x_1 &\leq 0,3 \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$0,1 \leq x_2 \leq 0,3$$

$$0,15 \leq x_3 \leq 0,4$$

$$x \geq 0;$$

Таким чином, одержимо значення  $\underline{w} = z(x_1, x_2, x_3) = z(1; 1; 1,5) = 3,5$  та  $\bar{w} = z(x_1, x_2, x_3) = z(1; 1; 1,75) = 3,75$ . Запишемо функції належності

$$\mu_z(x) = \begin{cases} 0 & w = z(x) < \underline{w} \\ \frac{z(x) - \underline{w}}{\bar{w} - \underline{w}} & \underline{w} \leq w = z(x) < \bar{w} \\ 1 & w = z(x) \geq \bar{w} \end{cases}$$

$$\mu_z(x_1, x_2, x_3) = \begin{cases} 0 & x_1 + x_2 + x_3 < 3,5 \\ \frac{x_1 + x_2 + x_3 - 3,5}{0,25} & 3,5 \leq x_1 + x_2 + x_3 < 3,75 \\ 1 & x_1 + x_2 + x_3 \geq 3,75 \end{cases}$$

$$\mu_z(x_1, x_2, x_3) = \begin{cases} 1 & 0,247x_1 + 0,247x_2 - 0,207x_3 \leq 0,13 \\ 1 - \frac{0,247x_1 + 0,247x_2 - 0,207x_3 - 0,13}{0,3} & 0,13 < 0,247x_1 + 0,247x_2 - 0,207x_3 \leq 0,43 \\ 0 & 0,247x_1 + 0,247x_2 - 0,207x_3 > 0,43 \end{cases}$$

Використовуючи одержані значення, зведемо нечітку задачу оптимізації до детермінованого вигляду

$$Z(x) = x_1 + x_2 + x_3 \rightarrow \min \quad (2.24)$$

за умов

$$\begin{aligned} 0,25 \cdot \lambda - (x_1 + x_2 + x_3) &\leq -3,5 \\ -0,247 \cdot x_1 - 0,247 \cdot x_2 + 0,207 \cdot x_3 &\leq -0,03 \\ 0,3 \cdot \lambda + 0,247 \cdot x_1 + 0,247 \cdot x_2 - 0,207 \cdot x_3 &\leq 0,43 \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} 0,08 \cdot x_1 + 0,08 \cdot x_2 + 0,054 \cdot x_3 &\leq 0,78 \\ 0,1 \leq x_1 &\leq 0,3 \end{aligned} \quad (2.26)$$

$$0,1 \leq x_2 \leq 0,3$$

$$0,15 \leq x_3 \leq 0,4$$

$$\lambda \geq 0 \quad x \geq 0;$$

Розв'язавши задачу лінійного програмування та детермінований вигляд за вказаних умов, одержимо наступний розв'язок  $x_1=1$ ,  $x_2=1$ ,  $x_3=1,6$ . За даними цього розв'язку подамо рекомендації щодо вирощування рослинницької сільськогосподарської продукції, зокрема зерна ярого ячменю сорту Вакула з метою його використання у пивоварінні. Зерно ячменю є якісним і придатним до пивоваріння із застосуванням добрив  $N_{30} P_{30} K_{45}$ ,  $N_{45} P_{45} K_{60}$  та  $N_{60} P_{60} K_{95}$ . Проте задача одержання якісного зерна за мінімальної кількості добрив досягається при використанні добрив  $N_{30} P_{30} K_{50}$ .

II модель – математична модель для досягнення максимальної ваги сільськогосподарської продукції, тобто знайти максимальне значення функції маси в залежності від мінеральних добрив.

Задачу оцінки якості сільськогосподарської продукції з максимізацією при цьому маси зернин розв'язано аналогічно. Цільова функція має вигляд:

$$Z(x) = 2,93 \cdot x_1 + 2,93 \cdot x_2 - 2,33x_3 + 37,23 \rightarrow \max \quad (2.27)$$

Структурна матриця, яка характеризує лінійну оптимізаційну задачу, має вигляд (2.15), при цьому, повинні виконуватись умови (2.16)-(2.17). Розв'язавши таку задачу, маємо  $x_1=3$ ,  $x_2=1,5$ ,  $x_3=4$ . Отже, якісне зерно із максимальною масою зернин можна одержати, застосувавши добрива  $N_{60} P_{45} K_{120}$ .

Проблему оцінювання якості сільськогосподарської продукції доцільно вирішити шляхом побудови багатокритеріальної моделі оцінки якості. Апробацію багатокритеріальної моделі оцінювання якості сільськогосподарської продукції з оптимізацією, при цьому, кількості мінеральних добрив при її вирощуванні здійснено на підставі аналізу впливу добрив на пивоварну якість зерна ярого ячменю сорту Вакула.

Подано рекомендації щодо застосовуваних мінеральних добрив при вирощуванні продукції зерна пивоварного ячменю потрібної якості.

III модель – математична модель для забезпечення вирощування сільськогосподарської продукції із заданими параметрами питомої ваги поживних речовин (вуглеводів, білків).

Розглянемо оцінювання продукції одного сорту у невизначених природно-кліматичних умовах. Керованими факторами будуть обсяги макро- та мікроелементів, які потрібно внести у ґрунт для одержання безпечної та якісної продукції овочівництва. Безпечною є продукція, яка задовольняє вимоги стандартів щодо її безпечності, тобто немає вмісту шкідливих речовин вище гранично допустимих концентрацій. Щодо якості овочів, то чим більший вміст поживних речовин, тим вищий рівень якості продукції. Отже, потрібно визначити такий набір макро- та мікроелементів, який забезпечив би вирощування овочів якнайвищої якості. Тобто, треба вибрати таку стратегію з множини допустимих значень, щоби функція оцінки якості продукції досягала максимального значення. Водночас якісною є не лише та продукція, яка задовольняє певним конкретним значенням характеристик, а й продукція, якісні характеристики якої знаходяться у певних межах значень. Той факт, що якісні характеристики не прив'язані до певного значення, а можуть варіювати у певних межах, дає змогу розширити множину допустимих значень для досягнення максимальної величини комплексної оцінки якості.

Враховуючи вищеприведене, для оцінювання якості продукції овочівництва сформулюємо математичну модель оцінки якості продукції як нечітку лінійну модель:

$$Z(x) = c \cdot x \rightarrow \max \quad (2.28)$$

за умов:

$$\begin{aligned} g_i(x) &\equiv a_i \cdot x \lesseqgtr b_i, b_i + d_i \quad i = \overline{1, m_1} \\ g_i(x) &\equiv a_i \cdot x \leq b_i, \quad i = \overline{m_1 + 1, m} \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

з дійсно значними векторами  $x = (x_1; \dots; x_n)$ ;  $C = (c_1; \dots; c_n)$ ;  $a_i = (a_{i1}; \dots; a_{in})$ ,  $i = \overline{1, m}$  і дійсними числами  $b_i \quad i = \overline{1, m}$ ,  $d_i > 0 \quad i = \overline{1, m_1}$

Позначимо множину альтернатив, які задовольняють обмеження із «твердо» закріпленими границями обмежень

$$X = \{x \in R_+^n | g_i(x) = a_i \cdot x \leq b_i \quad \forall i = \overline{m_1 + 1, m}\}$$

де  $R_+^n$  – n-вимірний простір дійсних невід'ємних значень.

Якість продукції овочівництва оцінимо за вмістом в овочах вуглеводів, клітковини, білків. Їх вміст можна регулювати кількістю внесених мінеральних добрив. Тому представимо функцію оцінювання якості продукції овочівництва (на прикладі оцінювання якості моркви) як лінійну функцію залежності оцінки якості від внесених мінеральних добрив.

$$Z(x) = w_j \cdot c \cdot x \rightarrow \max \quad (2.29)$$

де  $x$  – кількість мінеральних добрив, яку необхідно внести, щоб забезпечити максимальне значення функції якості;  $w_j$  – коефіцієнт вагомості вмісту вуглеводів, клітковини, білків.

На підставі даних дослідів із впливу кількості внесених мінеральних добрив на вміст вуглеводів, клітковини, білків складемо структурну матрицю для характеристики лінійної оптимізаційної задачі оцінки якості моркви.

$$A = \begin{pmatrix} 1,599 & -1,35 & -0,355 \\ 0,227 & -0,185 & -0,056 \\ 0,246 & -0,211 & -0,05 \end{pmatrix} \quad (2.30)$$

Тоді цільова функція матиме вигляд:

$$Z(x) = 0,7777x_1 - 0,6536x_2 - 0,175x_3 \rightarrow \max \quad (2.31)$$

при обмеженнях:

$$\begin{aligned} g_1(x) &= -1,599 \cdot x_1 + 1,35 \cdot x_2 + 0,355 \cdot x_3 \leq -7; -7 + 0,2 \\ g_2(x) &= -0,227 \cdot x_1 + 0,185 \cdot x_2 + 0,056 \cdot x_3 \leq -1,1; -1,1 + 0,1 \end{aligned}$$



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

Розв'язок цієї задачі, згідно ідеї Белмана-Заде, - це перетин цілей та обмежень [113]. Далі побудуємо оптимізаційну модель:

$$\begin{aligned}
\lambda &\rightarrow \max \\
\lambda &\leq \mu_z(x) \\
\lambda &\leq \mu_i(x) \quad \forall i = \overline{1, m_1} \\
0 &\leq \lambda \leq 1; x \in U
\end{aligned} \tag{2.32}$$

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

$$\lambda = \min(\mu_z(x), \mu_1(x), \dots, \mu_{m_1}(x)) \tag{2.33}$$

Якщо припустити, що всі функції належності лінійні

$$\mu_z(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } z(x) \leq w_0 - d_0 \\ 1 - \frac{z(x) - (w_0 - d_0)}{d_0} & \text{при } w_0 - d_0 < z(x) \leq w_0 \\ 1 & \text{при } w_0 \leq z \end{cases} \tag{2.34}$$

Тоді нечітка задача оптимізації зведеться до детермінованого вигляду

$$\begin{aligned}
\lambda &\rightarrow \max \\
d_0 \lambda - c \cdot x &\leq -(w_0 - d_0) \\
\lambda d_i + a_i \cdot x &\leq b_i + d_i \quad \forall i = \overline{1, m_1} \\
a_i \cdot x &\leq b_i \quad \forall i = \overline{m_1 + 1, m} \\
&x \geq 0; \lambda \geq 0.
\end{aligned} \tag{2.35}$$

$$\begin{aligned}
\underline{w} &= \max z(x) \\
a_i \cdot x &\leq b_i \quad \forall i = \overline{1, m}
\end{aligned} \tag{2.36}$$

$$x \geq 0;$$

$$\begin{aligned}
\bar{w} &= \max z(x) \\
a_i \cdot x &\leq b_i + d_i \quad \forall i = \overline{1, m_1}
\end{aligned} \tag{2.37}$$

$$a_i \cdot x \leq b_i \quad \forall i = \overline{m_1 + 1, m}$$

$$x \geq 0$$

Для дефазифікації поставленої задачі треба розв'язати такі задачі:

$$\underline{w} = 0,7777x_1 - 0,6536x_2 - 0,175x_3 \rightarrow \max \quad (2.38)$$

за умов

$$\begin{aligned} -1,599 \cdot x_1 + 1,35 \cdot x_2 + 0,355 \cdot x_3 &\leq -7 \\ -0,227 \cdot x_1 + 0,185 \cdot x_2 + 0,056 \cdot x_3 &\leq -1,1 \end{aligned} \quad (2.39)$$

$$\begin{aligned} -0,246 \cdot x_1 + 0,211 \cdot x_2 + 0,05 \cdot x_3 &\leq -1,2 \\ 0 \leq x_1 &\leq 200 \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$\begin{aligned} 0 \leq x_2 &\leq 180 \\ 133 \leq x_3 &\leq 210 \end{aligned}$$

$$\bar{w} = 0,7777x_1 - 0,6536x_2 - 0,175x_3 \rightarrow \max \quad (2.41)$$

за умов

$$\begin{aligned} -1,599 \cdot x_1 + 1,35 \cdot x_2 + 0,355 \cdot x_3 &\leq -6,8 \\ -0,227 \cdot x_1 + 0,185 \cdot x_2 + 0,056 \cdot x_3 &\leq -1,0 \end{aligned} \quad (2.42)$$

$$\begin{aligned} -0,246 \cdot x_1 + 0,211 \cdot x_2 + 0,05 \cdot x_3 &\leq -1,1 \\ 0 \leq x_1 &\leq 200 \end{aligned} \quad (2.43)$$

$$\begin{aligned} 0 \leq x_2 &\leq 180 \\ 133 \leq x_3 &\leq 210 \end{aligned}$$

$$x \geq 0;$$

Запишемо функції належності

$$\mu_z(x) = \begin{cases} 0 & w = z(x) < \underline{w} \\ \frac{z(x) - \underline{w}}{\bar{w} - \underline{w}} & \underline{w} \leq w = z(x) < \bar{w} \\ 1 & w = z(x) \geq \bar{w} \end{cases} \quad (2.44)$$

Розв'язавши задачу лінійного програмування та детермінований вигляд за вказаних умов, одержимо наступний розв'язок  $x_1=200$ ,  $x_2=0$ ,  $x_3=133$ .  $Z=132,125$ .

За даними цього розв'язку бачимо, що для вирощування якісної і безпечної

продукції моркви треба застосувати добрива  $N_{180} K_{120}$  плюс здійснювати позакореневе підживлення. Оцінка якості моркви у цьому випадку 132,125.

IV модель – математична модель безпечності овочів, тобто функція для оцінювання безпечності продукції щодо наявності у ній важких металів.

Якість продукції залежить від багатьох характеристик. Змоделювати ж складну систему важко. Тому при моделюванні системи враховують лише найважливіші характеристики, а не важливі – ігнорують. Тоді приймають рішення на підставі спрощеної моделі. Є й інший підхід: несуттєві характеристики у математичну модель не вводять явно, а враховують їх вплив наближено, апроксимуючи нелінійні задачі лінійними задачами з нечіткими коефіцієнтами. При такому математичному описі можна вводити кількісні і якісні характеристики. Якісні характеристики інтерпретують, як якісні змінні. Таким чином, приймають рішення на підставі побудови моделі, в якій цілі та обмеження можуть бути сформульовані нечітко. Нечітко можуть бути описані обмеження, коефіцієнти в математичних описах обмежень. Нечіткими можуть бути і обмеження, і коефіцієнти в обмеженнях (загальний випадок). При дослідженні якості продукції необхідно розв'язати задачу лінійного програмування з рухомими межами обмежень, які не є класичними задачами лінійного програмування. Розглядається випадок, коли нечітко визначені лише межі обмежень.

Цільова функція для оцінювання безпечності продукції щодо наявності у ній важких металів:

$$z(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 + c_6x_6 \rightarrow \min \quad (2.45)$$

$x_1$ - вміст Cu;  $x_2$ - вміст Pb;  $x_3$ - вміст Cd;  $x_4$ - вміст Hg;  $x_5$ - вміст Zn;  $x_6$ - вміст As;

$c_1 \dots c_6$  – вагові коефіцієнти шкідливості вмісту важких металів.

$$\begin{aligned} x_1 &\leq 0-5 \text{ мг/кг ваги}; & x_2 &\leq 0,1-0,5 \text{ мг/кг ваги}; \\ x_3 &\leq 0,03-0,1 \text{ мг/кг ваги}; & x_4 &\leq 0-0,02 \text{ мг/кг ваги}; \\ x_5 &\leq 0-10 \text{ мг/кг ваги}; & x_6 &\leq 0-0,2 \text{ мг/кг ваги} \end{aligned} \quad (2.46)$$

Обмеження (2.46) сформовано на підставі допустимих концентрацій важких металів відповідно до Європейських маркетингових стандартів та Державних стандартів України.

Таблиця 2.3

**Порівняльна характеристика європейських і українських стандартів на гранично допустимі концентрації важких металів та миш'яку в овочах.**

Європейські маркетингові стандарти на овочі (зокрема на моркву (затверджений положенням 46/2003 от 10 січня 2003 р.)		Українські стандарти (зокрема ДСТ України 286-91 «Морква столова молода свіжа. Технічні умови» (введений в дію з 01.07.1992 р.))	
Важкі метали та миш'як	Максимальний рівень	Важкі метали та миш'як	Максимальний рівень
Свинець	0,1 мг/кг ваги	Свинець	0,5 мг/кг ваги
Кадмій	0,1 мг/кг ваги	Кадмій	0,03 мг/кг ваги
Ртуть	Не допускається	Ртуть	0,02 мг/кг ваги
Мідь	Не допускається	Мідь	5,0 мг/кг ваги
Цинк	Не допускається	Цинк	10,0 мг/кг ваги
Миш'як	Не допускається	Миш'як	0,2 мг/кг ваги

Як бачимо, в Європейських маркетингових стандартах на овочі, зокрема на моркву, містяться значно жорсткіші вимоги щодо концентрації важких металів та миш'яку. Допускається вміст в моркві лише свинцю і кадмію, в той же час як український стандарт допускає, крім всього, вміст таких шкідливих для здоров'я людини речовин, як ртуть, мідь, цинк та миш'як.

Для оцінювання безпечності продукції та отриманні комплексного показники якості необхідно експериментальними методами оцінити вміст важких металів у продукції овочівництва.

На нашу думку, основним показником якості продукції є її безпечність, тому зосередимося на показниках безпечності продукції, зокрема на показниках наявності в овочах важких металів.

Для визначення комплексного показника у подальшому пропонується модель ІУ, а експериментальне визначенню вмісту важких металів в овочах та соках із них здійснено у наступному розділі.

### **Висновки до розділу 2.**

1. На основі проведеного порівняльного аналізу нормативно-методичної бази України щодо якості і безпечності продуктів категорії 67.080.20 «Овочі та продукти їх переробки» та відповідних міжнародних і європейських нормативних документів виявлено, що рівень гармонізації українських нормативних документів з міжнародними є недостатнім. Залишаються чинними застарілі стандарти, яким притаманні істотні відмінності від міжнародних стандартів щодо класифікації продукції за якістю, безпечністю та методами їх контролю. Відзначено незадовільну відповідність нормативної бази України Європейським маркетинговим стандартам; зокрема, допустимі дози з наявності важких металів у європейських стандартах значно нижчі, ніж в українських. Наявність в овочах ртуті, міді, цинку та миш'яку згідно європейських стандартів взагалі не допускається, на відміну від українських стандартів.

2. Запропоновано ввести сукупність показників якості овочів, які всебічно характеризують властивості овочів. Введено пріоритет вимог, що дає можливість враховувати потреби різних споживачів, закладає підґрунтя для розв'язання прикладних задач кваліметрії овочів. Згруповано встановлені показники для забезпечення комплексного оцінювання властивостей овочів, враховуючи показники корисності та безпеки, органолептичні показники та показники технологічного призначення і транспортабельності.

3. Встановлено, що доцільно здійснювати комплексне оцінення якості овочів, для чого необхідно внести зміни до нормативних документів, регламентувавши граничні межі окремих характеристик якості овочів.

4. Для оптимізації загального показника якості продукції запропоновано використати математичний апарат нечіткої логіки. Побудовано наступні математичні моделі для комплексного оцінювання якості сільськогосподарської продукції за нечітких обмежень: модель визначення овочів з найбільшим

вмістом клітковини, вуглеводів та білків, залежно від кількості мінеральних добрив (максимальне значення функції, що визначає комплексний показник якості); модель для досягнення максимальної ваги сільськогосподарської продукції (максимальне значення функції маси залежно від мінеральних добрив); модель для забезпечення вирощування сільськогосподарської продукції із заданими параметрами питомої ваги поживних речовин (вуглеводів, білків); модель для оцінювання безпечності продукції щодо наявності у ній важких металів.

### **Розділ 3. Експериментальні дослідження якості продукції овочівництва.**

Існує низка методів вивчення якості продукції овочівництва. Кондуктометрія вважається перспективним методом, оскільки це – електричний метод, який застосовується для швидкого визначення наявності та концентрації розчинів солей, кислот, основ, тощо. У даній роботі виконувалися експериментальні дослідження вибраних зразків продукції овочівництва на основі залучення кондуктометричного методу, суть яких полягає у подачі синусоїдального сигналу на досліджуваний розчин і аналізі відгуку на виході.

#### **3.1. Кондуктомеричний метод, як метод дослідження продукції овочівництва**

Переважно кондуктометричні методи використовують для контролю одиничних показників якості речовин рідинного стану або газового середовища [2, 139]. Показники, що характеризують неелектричні властивості продукції, вимірюють, перетворюючи фізико-хімічні властивості речовин та матеріалів на електричний сигнал за допомогою різних первинних перетворювачів [86, 126, 134, 138, 142, 144, 145].

Зосередимося на показниках безпечності продукції, зокрема на показниках наявності в овочах важких металів. Для виявлення важких металів скористаємося кондуктометричним методом, що ґрунтується на вимірюванні електричної провідності об'єктів контролю, зокрема розчинів.

Дослідження із виявлення важких металів у продукції овочівництва у лабораторних умовах базується на вивченні кондуктометричних характеристик соків, отриманих з вказаної продукції. Насамперед, створюються експериментальні рідини, які складаються з овочевого соку та солей важких металів відомої маси. Вивчаються їх електропровідність у певному діапазоні частот. Далі досліджується на тому самому приладі в тих самих умовах сік, отриманий з досліджуваної продукції овочівництва. Результати 2-х серій експериментів порівнюються між собою. Зразкам природних соків приписують наявність тих чи інших домішок за збіжністю характеристик електропровідності (за значеннями адмітансу).

На першому етапі, при проведенні досліджень з виявлення важких металів у лабораторних умовах, створюємо експериментальні рідини, що складаються з овочевого соку та солей важких металів відомої маси, що в овочевому соці дисоціюють на йони. Тоді експериментальна рідина стає об'єктом вимірювання з відомими фізичними чи хімічними характеристиками. Її поміщають у кондуктометричну комірку. Остання є скляною посудиною із установленими електродами, між якими знаходиться досліджуваний розчин.

Необхідним є визначення константи кондуктометричної комірки, що залежить від матеріалу електродів, їх площі, відстані між ними, температури. При вимірюванні константа комірки не змінюється. Електроди під'єднуються до джерела тестового сигналу, а також з їх допомогою вимірюють значення напруги та струму, що характеризують об'єкт дослідження.

Метод прямої кондуктометрії полягає у побудові графіка залежності електропровідності від концентрації. При аналізі калібрувального графіка знаходять концентрацію розчину. Вимірювання здійснюються за сталого або змінного струму, використовуючи мостові схеми. Через поляризацію електродів за постійного струму важко визначити значення електропровідності, тому такі вимірювання здійснюють рідко. Кондуктометр складається з електролітичної комірки, магнітної мішалки та приладу вимірювання сили струму (електропровідності).

З допомогою даного методу визначають наступні характеристики:

- Еквівалентна електропровідність  $\lambda$ , що дорівнює електропровідності такого об'єму розчину, який знаходиться між двома паралельними електродами, розміщеними на відстані 1 см, який містить 1 г-екв речовини [31]:

$$\lambda = \frac{\chi}{C} \quad (3.1)$$

де  $\chi$  – питома електропровідність;  $C$  - еквівалентна концентрація розчину електроліту.

- Питома електропровідність – електропровідність розчину електроліту, що міститься між двома електродами площею по  $1\text{ см}^2$  кожний, розташованими на відстані 1 см один від одного.



- Гранична еквівалентна електропровідність  $\lambda$  дорівнює сумі граничних еквівалентних електропровідностей іонів.

Залежність електропровідності від температури виражають рівнянням:

$$\chi_t = \chi_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2) \quad (3.2)$$

Підвищення температури на 1°C викликає збільшення електропровідності розчину на 2-2,5%.

Одним із видів кондуктометрії є діелькометрія. Діелектрична проникність зумовлюється орієнтацією в електричному полі частинок (молекул, іонів з дипольним моментом). При зміні складу діелектрика або будови його молекул, змінюється діелектрична проникність і тангенс кута діелектричних втрат, що робить можливим використання діелькометрії для оцінки чистоти речовин. Тобто, діелькометрія полягає у кількісному визначенні речовини і дослідженні їх молекулярної структури, яке засноване на вимірюванні діелектричної проникності і тангенсу кута діелектричних втрат. Об'єкт дослідження подається конденсатором. Ємність конденсатора визначається діелектричною проникністю досліджуваної речовини його міжелектродного простору або зміною його геометричних параметрів. Діелектричні методи використовують для вимірювання вологості різних хімічних сполук, таких як продукти харчування (м'ясо, молоко, хліб, жири, чай тощо), вологі сільськогосподарські продукти (трави, силосу, зерна тощо), дерево, пісок, глина, вугілля, гума.

Іншим методом дослідження якості об'єктів неелектричної природи є імітансний метод [103], який застосовується у даній праці при вивченні безпечності продукції овочівництва. Якість об'єкту дослідження оцінюють через порівняння параметрів об'єкту дослідження з параметрами базового зразка, який прийнятий за еталон.

При цьому, параметри еталону відповідають показникам відомої якості. Значення базових показників продукції відомої якості наведені в нормативній документації. Рівень якості продукції оцінюють на підставі порівняння, використовуючи прийнятими в кваліметрії шкали.

Для вимірювання об'єктів неелектричної природи застосовують тестовий сигнал, що подається на об'єкт вимірювання. Зокрема у імітансних дослідженнях тестовий сигнал є змінною напругою амплітудою в десятки mV. Таким чином, пасивна величина (овочевий сік) характеризується з допомогою вимірювань напруги та струму. Тестовий сигнал обов'язково є синусоїдою, частота якої входить у розрахунки імітансу.

Показники, що характеризують неелектричні властивості продукції, вимірюють, перетворюючи фізико-хімічні властивості речовин та матеріалів на електричний сигнал за допомогою різних первинних перетворювачів [128]. Серед них поширені параметричні сенсори, а саме імітансні [18]. Застосовуючи їх, об'єкт дослідження (речовину чи матеріал), поміщений в електричне коло, розглядають як комплексну пасивну величину (імітанс). Таке описування більшості вимірювальних об'єктів змістовніше від виконаного за допомогою передавальних функцій або часових характеристик [15,16]. Особливо це стосується оцінювання якості речовин та матеріалів, оскільки для оцінювання якості продукції важливішим є відображення її внутрішньої структури. Такі об'єкти в колі змінного струму подають певними схемами заміщення [28, 51]. Для цього використовують первинні імітансні перетворювачі (сенсори) ємнісного, індуктивного чи резистивного характеру.

Імітансним сенсором є перетворювач неелектричної величини, узагальненою вихідною електричною величиною якого може бути імпеданс (комплексний опір) або адмітанс (комплексна провідність) об'єкта контролю. В частковому випадку це активні опір або провідність, ємність або індуктивність, реактивні опір (провідність) або співвідношення між активними та реактивними складовими імітансу (добротність чи тангенс кута втрат) [55, 25]. Ємнісні, індуктивні та резистивні сенсори є частковими варіантами імітансних сенсорів за певних умов.

Залежно від способу подання об'єкту вимірювання (як комплексні провідність або опір) імітансний метод поділяється на адмітансний і

імпендансний. З них адмітанс практикується для дослідження рідин і газів (кондуктометрія), імпеданс – для твердих матеріалів.

На підставі порівняння встановлюють рівень якості об'єкту дослідження. Варто відзначити, що не всі об'єкти вимірювань мають встановлені базові показники продукції, зазначені в нормативній документації. Це ускладнює оцінювання якості продукції.

З теорії кваліметрії відомо, що узагальнений показник якості продукції записується наступним чином [103]:

$$P = F [ X(Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n); q_1, q_2, q_3, \dots, q_n ], \quad (3.3)$$

де  $X$  - сукупність електричних параметрів імпедансу,  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$  - одиничні показники якості продукції,  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$  - коефіцієнти вагомості. Сукупність електричних параметрів імпедансу  $X$  залежить від одиничних показників якості продукції із коефіцієнтами вагомості.

Імпеданс електричної схеми, якою подається об'єкт контролю, включає складові схеми (резистори, конденсатори, індуктивності) у різній кількості та з різними значеннями, а тому є багатопараметричним.

Вимірювальними складовими імпедансу є :

- активна складова провідності  $Re(Y)$ , реактивна складова провідності  $Im(Y)$ , активна складова опору  $Re(Z)$ , реактивна складова опору  $Im(Z)$ , де  $Re(Y)$ ,  $Im(Y)$ ,  $Re(Z)$  та  $Im(Z)$  є функціями від значення резисторів  $R$ , конденсаторів  $C$  та індуктивностей  $L$ ,
- добротність, тангенс кута втрат.

За допомогою первинних перетворювачів показники продукції, а насамперед якості продукції описують в електричний спосіб, діючи тестовим сигналом і вимірюючи імпеданс. Згідно імпедансного контролю якості, об'єкт дослідження представляється у вигляді електричної схеми заміщення з параметрами резисторів  $R$ , індуктивностей  $L$  та конденсаторів  $C$ . Цей об'єкт має опір (провідність), що залежить від параметрів схеми: резисторів, конденсаторів, індуктивностей та частоти; і завжди є комплексною величиною.

Під дією тестового сигналу на об'єкт контролю пасивна величина (об'єкт оцінювання якості) перетворюється на активну, яку вимірюють. Чимало електричних схем заміщення речовин, матеріалів, є відомими, що полегшує дослідження.

Переважають працюють на одній, двох, трьох частотах, що спрощує експериментальні дослідження. Тому під час дослідження нової речовини необхідним є встановлення частот, на яких проводити вимірювання. Наприклад, це частота, на якій результат вимірювання є незалежним або частота найбільшої чутливості.

Коли схема заміщення об'єкту контролю відома, параметри  $R$ ,  $L$ ,  $C$  легко обчислити як розв'язок системи рівнянь  $\text{Re}(Y)$ ,  $\text{Im}(Y)$  на кількох частотах. Відомі два способи встановлення вимірюваних значень імпедансу [103]:

- прямого перетворення із залежністю результату від ДТС і зрівноважування, де вплив ДТС усувається через лінійну залежність;
- порівняння об'єкту і моделі (відомої) під час експерименту з однаковими умовами і однаковим ДТС.

Узагальнено розділяють низькочастотну і високочастотну кондуктометрії [106, 64]. Для того щоб електрохімічну систему можна було подати лінійним електричним колом, амплітуда на електродах електрохімічної комірки повинна бути в межах 1-20 мВ. Застосування ємнісних первинних перетворювачів у контактній кондуктометрії, зокрема для дослідження чи ідентифікації рідин, зумовлено простотою реалізації та оперативністю.

Оскільки імпеданс двополюсника, яким подається об'єкт контролю, характеризується кількома параметрами, то такий контроль є багатовимірним або багатопараметричним. Контроль якості об'єктів неелектричної природи за електричними параметрами з використанням засобів прямого перетворення передбачає два вимірювальні перетворення: перетворення «речовина-імпеданс» та «імпеданс-напруга». Перше вимірювальне перетворення імпедансного контролю якості виконує первинний перетворювач (сенсор), інформативним параметром

якого є пасивна величина. Друге – дією тестового сигналу на об'єкт контролю пасивну величину перетворюють на активну [103].

У роботі застосовано пряму кондуктометрію для здійснення якісного та кількісного аналізу (визначення концентрації електроліту безпосереднім вимірюванням електропровідності розчину, так як в певних межах існує прямолінійна залежність між концентрацією і електропровідністю). Вона застосовується для визначення індивідуальних електролітів в розчині; визначення електролітів в сумішах в тих випадках, коли концентрації домішок не змінюються; здійснення неперервного контролю виробництва; визначення вмісту солей у воді; контролю операції промивки осадів і регенерації іонітів; визначення вологості органічних розчинників, газів, твердих солей; детектування при хроматографічному розділенні.

### **3.2. Дослідження електричних характеристик соків та оцінювання їх якості**

Для дослідження якості овочів необхідні методи, яким притаманна широка область використання, висока чутливість, роздільна здатність, проста підготовка проб та доступна по вартості та легкості робота з приладом у виробничих умовах, значна швидкість проведення аналізу. Таким вимогам, в основному, відповідають кондуктометричні методи дослідження.

В основу досліджень показників якості овочевого соку покладено інформативні параметри  $\text{Im}(Y)$ ,  $\text{Re}(Y)$ ,  $\text{Im}(Z)$ ,  $\text{Re}(Z)$ . Реалізація даних вимірювань проводиться за допомогою експериментальної установки, структуру якої подано на рис. 3.1. Основними вузлами вимірювального засобу для імітансного контролю показників якості овочевого соку є ємнісний перетворювач, RLC-метр та блок опрацювання результатів та керування (комп'ютер). Досліджуваними показниками є вміст іонів міді та натрію у моркв'яному соці.

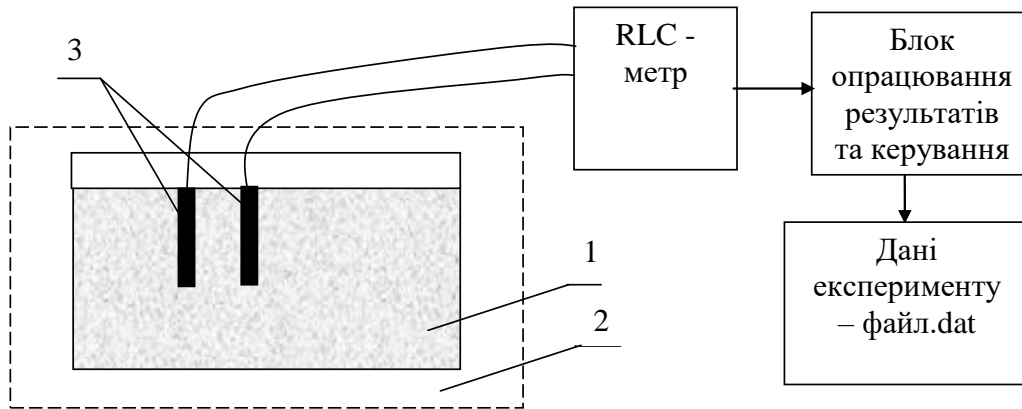


Рис. 3.1. Структура вимірювального засобу для імітансного контролю показників якості овочевого соку: 1 – ємність, заповнена соком; 2 – кондуктометрична комірка; 3 – графітові електроди

Принцип роботи засобу вимірювання полягає в наступному:

- у лабораторних умовах створено експериментальні рідини – моркв'яні соки відомих характеристик;

- експериментальні рідини поміщалися в кондуктометричну комірку 2 з квадратними графітовими електродами 3, які повністю занурювалися у рідину 1 (об'єм рідини не впливав на ємність перетворювача);

- RLC-метр подавав тестовий сигнал на комірку, що електрично еквівалентна ємнісному перетворювачу;

- При подаванні тестового сигналу на RLC-метр з комірки знімають електричний сигнал, що несе характеристики досліджуваної експериментальної рідини (складові електропровідності соку). Вимірюється активна  $G$  і реактивна  $B$  складові провідності (адмітансу);

- дані з RLC-метра надходять на блок опрацювання результатів та керування; їх опрацьовує комп'ютер і подає дані експерименту у вигляді файлу з розширенням `dat`;

- порівнюються результати вимірювань та робляться висновки стосовно кількісного складу мінеральних речовин у експериментальній рідині.

Діапазон частот, на яких здійснюється вимірювання складових електропровідності, а також амплітуда тестового сигналу (10 mV) задаються у блоці опрацювання результатів та керування.

Контролювався вміст іонів міді та натрію у моркв'яному соці. У дослідах діапазон контрольованих речовин  $Cu$  та  $Na$  складав від 0,002 до 1,9 г/л соку. Залежно від складу речовин з допомогою ємнісного сенсора оцінювалась зміна активної  $G$  і реактивної  $B$  складових електропровідності (адмітансу) у частотному діапазоні від 50 Гц до 100 кГц.

Коротко сформулюємо основні засади дослідження зміни активної  $G$  і реактивної  $B$  складових електропровідності (адмітансу). Як вхідний тестовий сигнал подається сигнал синусоїдної форми. В асинхронному режимі одержується вихідний сигнал. Тоді для перетворювача вихідна електропровідність подається співвідношенням [86]:

$$G_{\text{вих}} = \frac{1}{Z_{\text{вих}}} = j\omega C_x + \frac{1}{R_x} \quad (3.4)$$

де  $R_x$  – активна складова опору та  $C_x$  – ємність конденсатора комірки. Частота тестового сигналу прямо впливає на значення електропровідності.

Ємність конденсатора досліджуваної комірки  $C_x$  визначається як:

$$C_x = \varepsilon_p \varepsilon_0 \frac{S}{l} \quad (3.5)$$

де  $\varepsilon_p$  – діелектрична проникність розчину;  $\varepsilon_0$  – діелектрична проникність вакууму;  $l$  – відстань між графітовими електродами,  $S$  – площа електродів. При вимірюваннях постійними величинами є площа та відстань між електродами. Показ приладу на  $i$ -й частоті становить:

$$N_G = k_A \frac{1}{R} \quad (3.6)$$

$$N_B = k_A \omega C \quad (3.7)$$

де  $N_G$  – активна складова електропровідності;  $N_B$  – реактивна складова електропровідності;  $k_A$  – коефіцієнт перетворення АЦП. Результати досліджень активної  $G$  і реактивної  $B$  складових електропровідності у частотному діапазоні від 50 Гц до 100 кГц, залежно від концентрації  $CuSO_4$  у експериментальній рідині, представлено у табл. 3.1 та рис. 3.2-3.3.

Таблиця 3.1

**Дослідження активної  $G$  і реактивної  $B$  складових електропровідності у частотному діапазоні 50 Гц - 100 кГц залежно від складу рідин**

f, Гц	Активна $G$ складова електропровідності (адмітансу)				Реактивна $B$ складова електропровідності (адмітансу)			
	Морквяний сік	Морквяний сік + 0,5 г $\text{CuSO}_4$	Морквяний сік + 0,8 г $\text{CuSO}_4$	Морквяний сік + 1,9 г $\text{CuSO}_4$	Морквяний сік	Морквяний сік + 0,5 г $\text{CuSO}_4$	Морквяний сік + 0,8 г $\text{CuSO}_4$	Морквяний сік + 1,9 г $\text{CuSO}_4$
50	0.0164	0.0173	0.0182	0.0189	0.0054	0.0057	0.0058	0.0069
60	0.0171	0.0179	0.0188	0.0198	0.0050	0.0053	0.0054	0.0065
100	0.0184	0.0193	0.0202	0.0216	0.0039	0.0041	0.0041	0.0052
120	0.0188	0.0197	0.0206	0.0221	0.0035	0.0038	0.0037	0.0047
200	0.0195	0.0205	0.0214	0.0232	0.0026	0.0028	0.0027	0.0035
400	0.0202	0.0212	0.0220	0.0241	0.0017	0.0019	0.0017	0.0024
500	0.0204	0.0214	0.0223	0.0244	0.0015	0.0016	0.0015	0.0021
1000	0.0207	0.0218	0.0225	0.0249	0.0011	0.0011	0.0010	0.0015
2000	0.0210	0.0221	0.0228	0.0253	0.0007	0.0008	0.0007	0.0010
4000	0.0212	0.0224	0.0230	0.0256	0.0005	0.0006	0.0005	0.0007
5000	0.0213	0.0224	0.0230	0.0256	0.0005	0.0005	0.0004	0.0006
10000	0.0214	0.0226	0.0232	0.0258	0.0003	0.0003	0.0003	0.0005
20000	0.0215	0.0227	0.0232	0.0260	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003
40000	0.0216	0.0227	0.0233	0.0261	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002
50000	0.0216	0.0228	0.0233	0.0261	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002
100000	0.0217	0.0228	0.0234	0.0262	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001



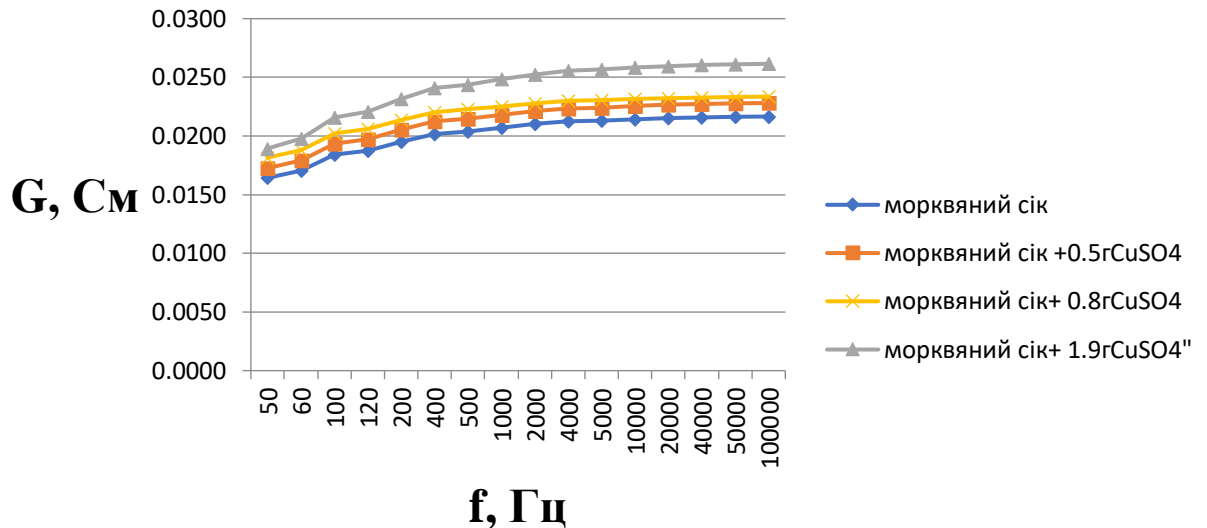


Рис. 3.2. Залежність активної складової  $G$  електропровідності від частоти тестового сигналу для соків з різним вмістом домішок  $\text{CuSO}_4$ .

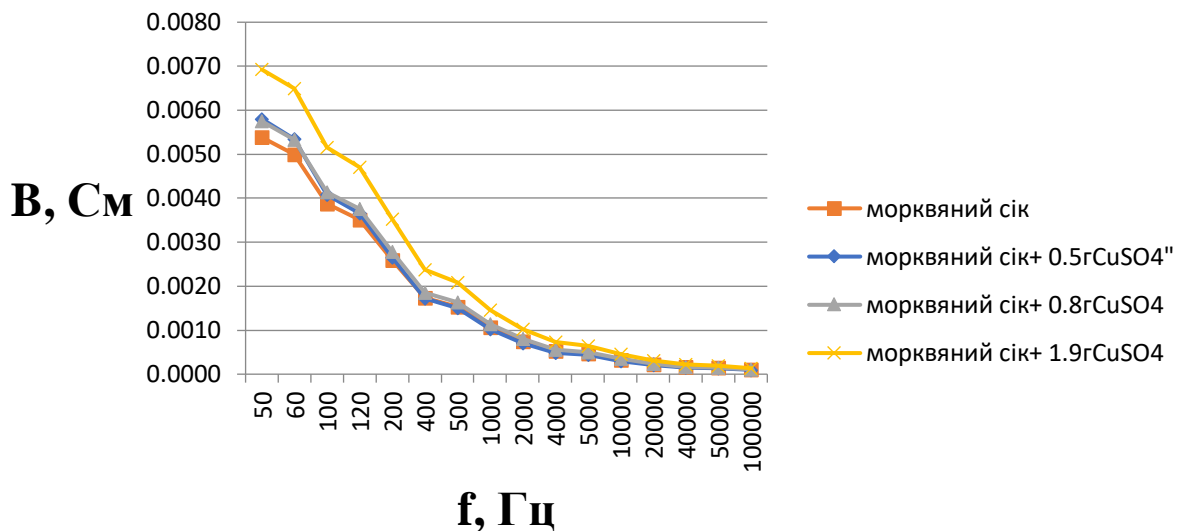


Рис. 3.3. Залежність реактивної складової  $B$  електропровідності від частоти тестового сигналу для соків з різним вмістом  $\text{CuSO}_4$ .

В результаті досліджень експериментальних рідин одержано залежності активної і реактивної складової електропровідності від частоти тестового сигналу для соків з різним вмістом домішок  $\text{CuSO}_4$ . Встановлено, що присутність в морквяному соці  $\text{CuSO}_4$ , яка в розчині дисоціює на іони, впливає на залежність і активної і реактивної складових електропровідності від частоти електромагнітного поля. Щодо активної складової, то спостерігається зміна амплітуди залежно від зміни концентрації  $\text{CuSO}_4$  на всьому діапазоні досліджуваних частот. Значення реактивної складової суттєво відрізняються за

амплітудою лише на низьких частотах, проте це може бути результатом впливів зовнішніх електромагнітних полів на досліджувану речовину. На високих частотах порядку 5 - 100 кГц значення реактивної складової для соку з різною концентрацією  $\text{CuSO}_4$  за амплітудою практично не відрізняються. Отже, дослідження реактивної складової електропровідності на цих частотах є неінформативним.

Результати досліджень зміни активної  $G$  і реактивної  $B$  складових електропровідності у частотному діапазоні від 50 Гц до 100 кГц залежно від концентрації  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  у експериментальній рідині представлено у табл. 3.2 та на рис. 3.4 - 3.5.

Таблиця 3.2

**Дослідження активної  $G$  і реактивної  $B$  складових електропровідності (адмітансу) у частотному діапазоні 50 Гц - 100 кГц залежно від складу рідин**

f, Гц	активна $G$ складова електропровідності (адмітансу)				реактивна $B$ складова електропровідності (адмітансу)			
	Морквяний сік	Морквяний сік + 0,5 г $\text{Na}_2\text{SO}_4$	Морквяний сік + 0,8 г $\text{Na}_2\text{SO}_4$	Морквяний сік + 1,9 г $\text{Na}_2\text{SO}_4$	Морквяний сік	Морквяний сік + 0,5 г $\text{Na}_2\text{SO}_4$	Морквяний сік + 0,8 г $\text{Na}_2\text{SO}_4$	Морквяний сік + 1,9 г $\text{Na}_2\text{SO}_4$
50	0.0182	0.0197	0.0254	0.0557	0.0058	0.0067	0.0119	0.0383
60	0.0188	0.0205	0.0269	0.0610	0.0054	0.0062	0.0114	0.0380
100	0.0202	0.0223	0.0305	0.0752	0.0041	0.0049	0.0095	0.0349
120	0.0206	0.0227	0.0315	0.0798	0.0037	0.0045	0.0087	0.0332
200	0.0214	0.0238	0.0338	0.0906	0.0027	0.0034	0.0067	0.0271
400	0.0220	0.0247	0.0358	0.1001	0.0017	0.0023	0.0044	0.0186
500	0.0223	0.0250	0.0362	0.1025	0.0015	0.0021	0.0039	0.0162
1000	0.0225	0.0255	0.0372	0.1063	0.0010	0.0015	0.0026	0.0105
2000	0.0228	0.0259	0.0378	0.1088	0.0007	0.0011	0.0018	0.0070
4000	0.0230	0.0262	0.0384	0.1107	0.0005	0.0007	0.0013	0.0048
5000	0.0230	0.0263	0.0385	0.1111	0.0004	0.0007	0.0011	0.0043
10000	0.0232	0.0265	0.0388	0.1124	0.0003	0.0005	0.0008	0.0029

20000	0.0232	0.0266	0.0390	0.1132	0.0002	0.0003	0.0005	0.0019
40000	0.0233	0.0267	0.0392	0.1137	0.0001	0.0002	0.0003	0.0012
50000	0.0233	0.0268	0.0392	0.1139	0.0001	0.0002	0.0003	0.0009
100000	0.0234	0.0268	0.0393	0.1143	0.0001	0.0001	0.0002	0.0003

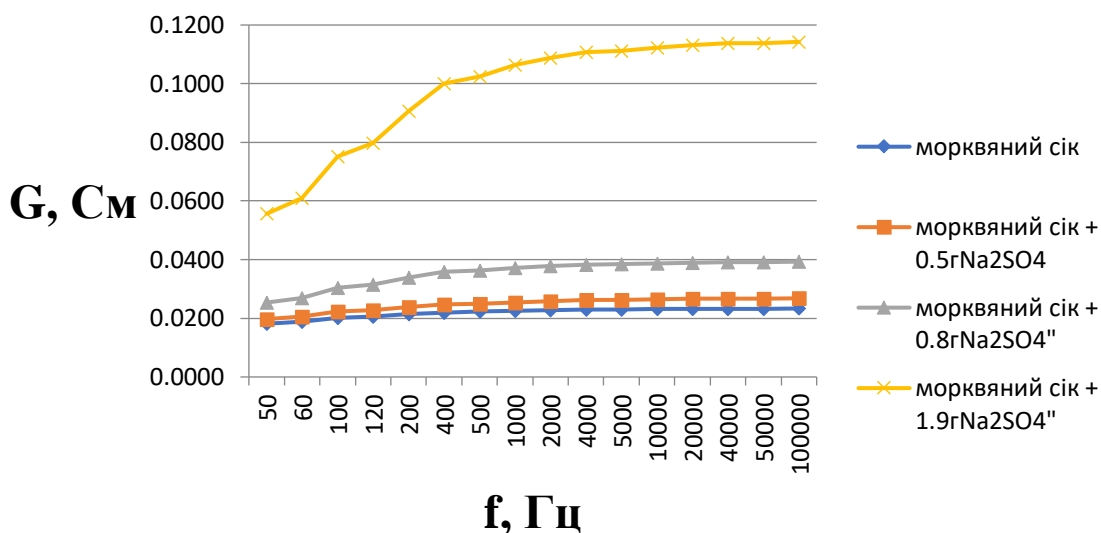


Рис. 3.4. Залежність активної складової електропровідності  $G$  від частоти тестового сигналу для соків з різним вмістом  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

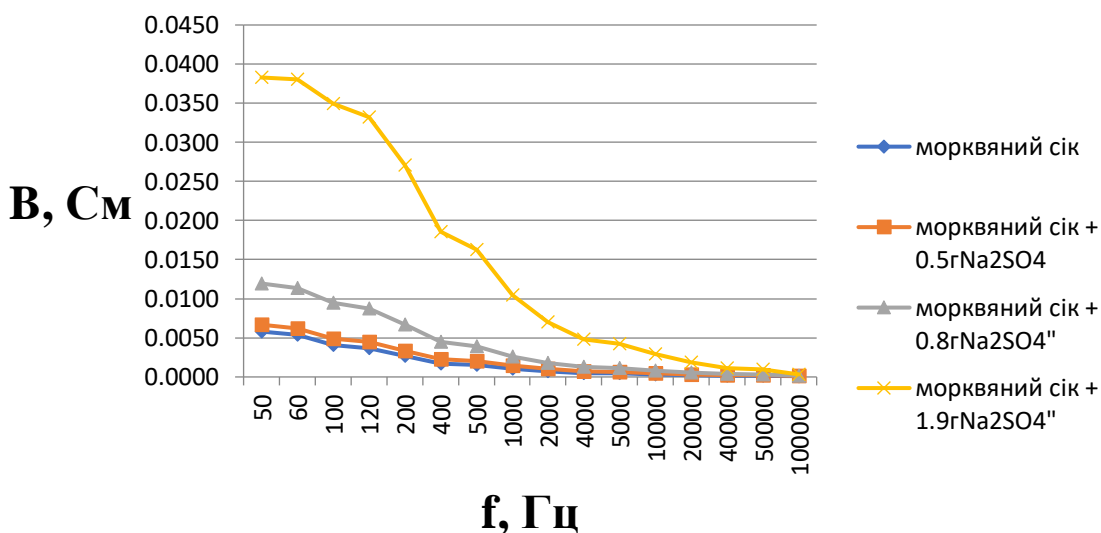


Рис. 3.5. Залежність реактивної складової електропровідності  $B$  від частоти тестового сигналу для соків з різним вмістом домішок  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Як видно із представлених залежностей, присутність в морквяному соці  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , яка в розчині дисоціює на іони, також, як і  $\text{CuSO}_4$ , впливає на

залежність активної і реактивної складових електропровідності від частоти електромагнітного поля. Аналіз активної складової електропровідності показує, що залежно від концентрації  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  змінюється амплітуда цієї складової на всьому діапазоні досліджуваних частот. Причому, чим більша концентрація  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в овочевому соці, тим більша різниця амплітуд активної складової електропровідності на границях досліджуваного діапазону частот.

Значення реактивної складової суттєво відрізняються за амплітудою лише на частотах 50-400 Гц. На вищих частотах значення реактивної складової для соку з різною концентрацією  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  за амплітудою практично не відрізняються; тому дослідження реактивної складової електропровідності на цих частотах є неінформативним.

Запропонований метод контролю якості овочів ґрунтується на вимірюванні активної та реактивної складових електропровідності овочевого соку у діапазоні частот 50 Гц – 100 кГц. Виміряні значення зівставляються із встановленими значеннями.

За результатами порівняння доходять висновку про вміст шкідливої речовини. Вимірювання виконується за декілька секунд і може використовуватись у реальних виробничих умовах для експрес-контролю якості овочів.

Контролюємо вміст йонів міді та натрію у моркв'яному соці. Для цього спочатку вимірюємо активну та реактивну складові електропровідності морквяного соку. Потім до соку додаємо добавки: в одній серії експериментів -  $\text{CuSO}_4$ , в другій серії -  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . У соці солі дисоціюють на йони  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{SO}_4^{-}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{SO}_4^{-}$ .

У першій серії експериментів вимірюють активну та реактивну складові електропровідності експериментальної рідини, додаючи 0,5 г, 0,8 г та 1,9 г  $\text{CuSO}_4$  (відповідно вага Cu у добавках становила 0,2 г, 0,32 г та 0,76 г) з розрахунку на 100 л рідини. Здійснювали по 10 вимірювань для кожної добавки.

У другій серії експериментів вимірювали активну та реактивну складові електропровідності експериментальної рідини, додаючи 0,5 г, 0,8 г та 1,9 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (вага Na у добавках 0,168 г, 0,259 г та 0,616 г відповідно). Тут також проводили по 10 вимірювань для кожної добавки.

За результатами експериментів, електропровідність посилюється пропорційно до вмісту йонів та їх зарядового числа у експериментальних рідинах. Зростання електропровідності помітніше для  $\text{Na}^{+1}$ , як для легшого, рухливішого йона, ніж  $\text{Cu}^{+2}$ . Розгляд даних рис. 3.2 - 3.5 по іонах дає змогу констатувати практично винятковий вплив іонів міді та натрію на питому електропровідність. Аналізом комплексної електропровідності експериментальних рідин відзначимо однакові форми кривих складових адмітансу, що свідчить про природу об'єкта морквяного соку. Відмінність полягає лише у амплітудних значеннях. Експериментальні рідини з домішками важких металів характеризуються вищими значеннями як активної, так і реактивної складових адмітансу. Тобто, вища провідність свідчить про більшу кількість іонів металів, зокрема, шкідливих. При створенні експериментальних розчинів усувається методична похибка, зумовлена впливом інших компонентів соку на електропровідність. Екстремальне значення відсутнє. Обидві складові  $\text{Re}(Y)$  та  $\text{Im}(Y)$  інформативні.

Порівнюючи графіки залежності активної складової  $G$  електропровідності від концентрації йонів  $\text{Na}^{+1}$  у експериментальній рідині (рис.3.2) та від концентрації йонів  $\text{Cu}^{+2}$  (рис.3.4), можна стверджувати, що із зростанням концентрації  $\text{Na}^{+1}$  амплітуда активної складової  $G$  електропровідності зростає швидше, ніж амплітуда активної складової із зростанням концентрації  $\text{Cu}^{+2}$ . Аналогічно порівнюючи графіки залежності реактивної складової  $B$  електропровідності від концентрації йонів  $\text{Na}^{+1}$  у експериментальній рідині (рис.3.3) та від концентрації йонів  $\text{Cu}^{+2}$  (рис.3.5), бачимо, що амплітуда реактивної складової  $B$  електропровідності спадає швидше, ніж амплітуда реактивної складової із зростанням концентрації  $\text{Cu}^{+2}$ . Тобто, швидкість

зростання активної складової та швидкість спадання реактивної складової електропровідності можна використати для якісного аналізу наявності металів.

### 3.3. Аналіз результатів досліджень комплексної електропровідності

Аналіз результатів досліджень комплексної електропровідності базується на наступних графіках: модуль адмітансу, фаза адмітансу, годограф, чутливість зміни складових адмітансу.

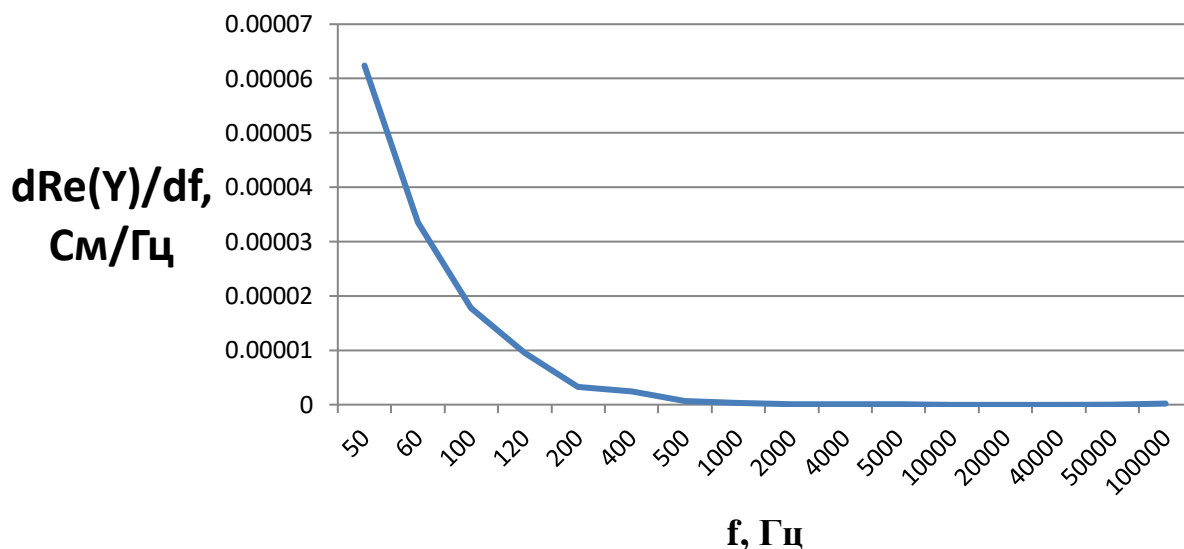


Рис. 3.6. Залежність швидкості зміни активної складової  $G$  ( $\text{Re}(Y)$ ) електропровідності від частоти тестового сигналу для овочевого соку

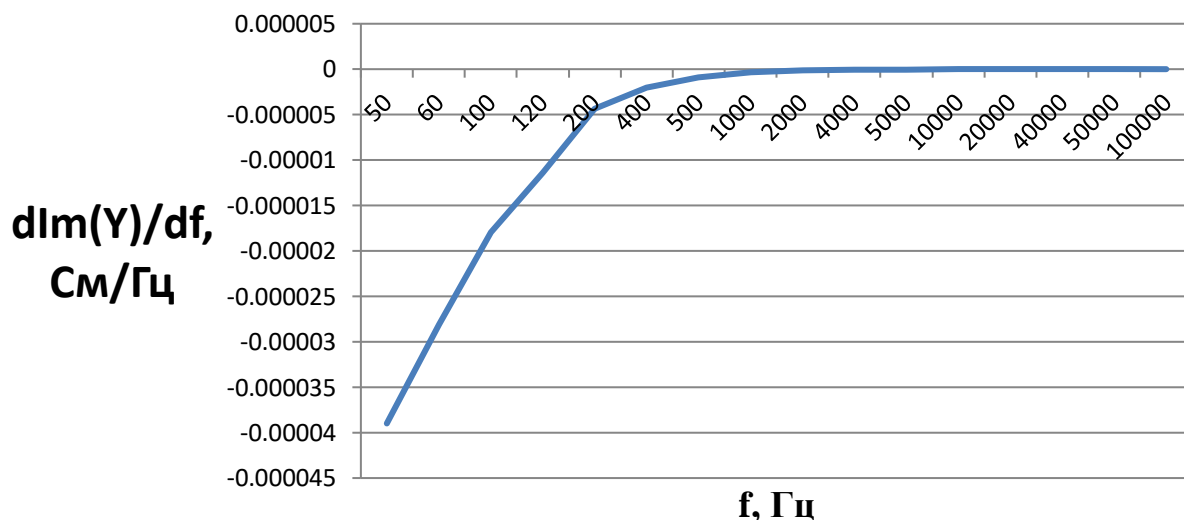


Рис. 3.7. Залежність швидкості зміни реактивної складової  $B$  ( $\text{Im}(Y)$ ) електропровідності від частоти тестового сигналу для овочевого соку

За результатами аналізу активних складових провідності, наявність важких металів у експериментальних рідинах доцільно вивчати на частотах 1000-2000 Гц. Саме на них співвідношення концентрації важких металів та амплітуд активних складових електропровідності є однаковими.

З аналізу активної і реактивної складових електропровідності експериментальних рідин видно, що максимальне значення  $Re(Y)$  досягається на високій частоті, а  $Im(Y)$  - на низькій. Мінімальне значення  $Re(Y)$  досягається на низькій частоті, а  $Im(Y)$  - на високій частоті. Найвища чутливість існує на низьких частотах, яким притаманні малі значення активної складової  $Re(Y)$  та високі значення реактивної складової  $Im(Y)$  електропровідності.

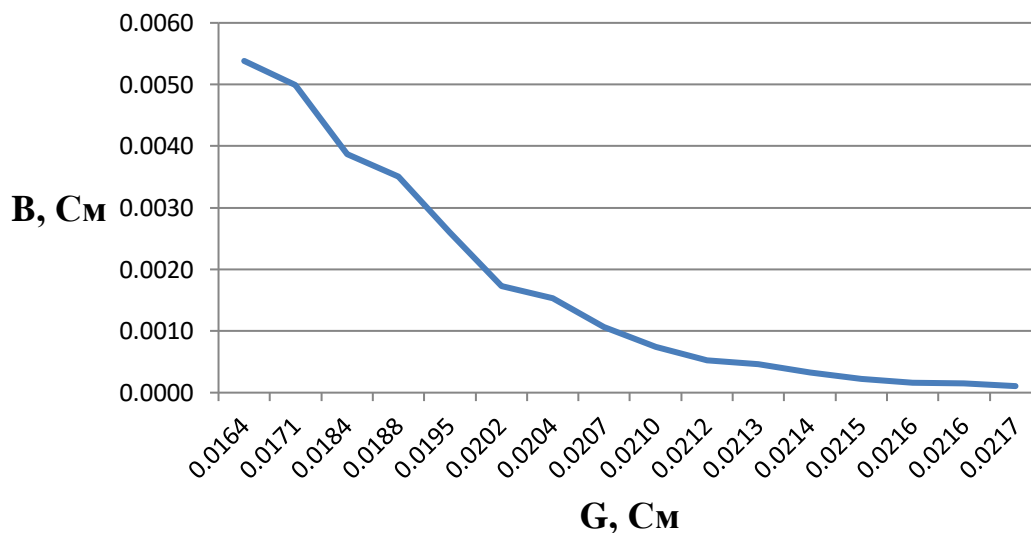


Рис. 3.8. Годограф-залежність складових імпедансу від частоти тестового сигналу для овочевого соку

Дані годографу свідчать про обернену залежність складових імпедансу, тобто із зростанням активної складової електропровідності реактивна складова спадає і навпаки.

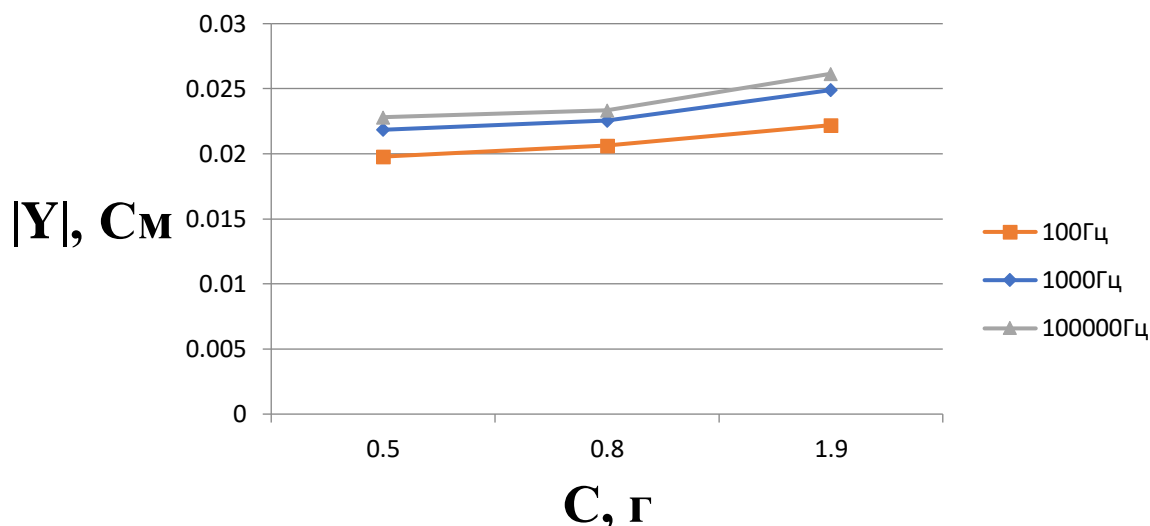


Рис. 3.9. Залежність модуля адмітансу від концентрації  $Cu$  у соках на різних частотах тестового сигналу

Вищенаведений графік показує лінійну залежність модуля адмітансу від вмісту важкого металу. Залежно від частоти тестового сигналу, модуль адмітансу відрізняється по амплітуді у напрямку вищої частоти тестового сигналу.

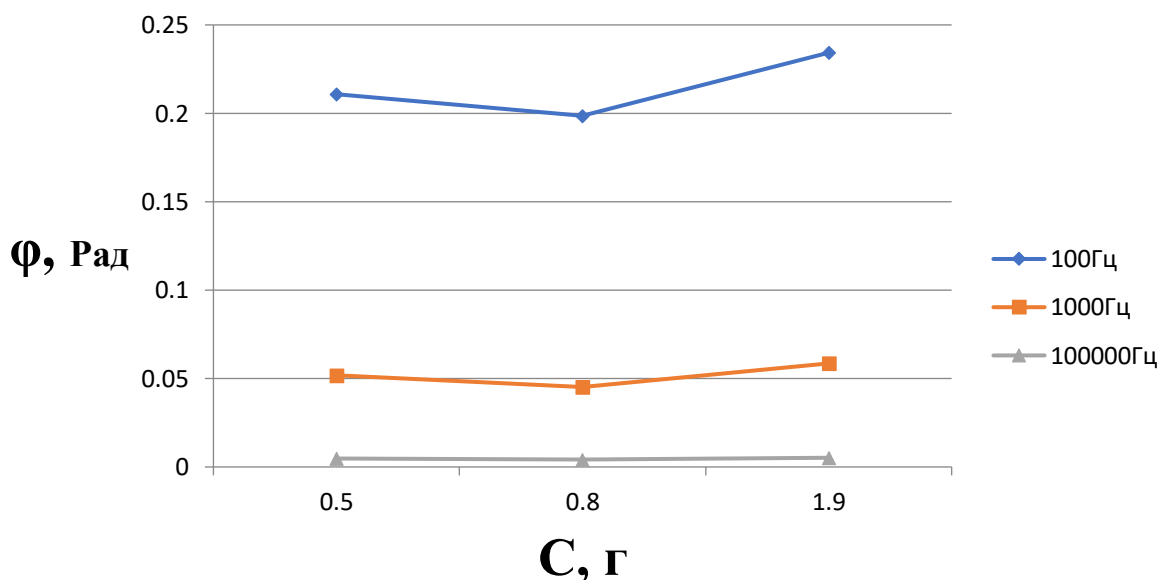


Рис. 3.10. Залежність фази адмітансу від концентрації  $Cu$  у соках на різних частотах тестового сигналу

Графік залежності фази адмітансу від концентрації показує незначну зміну фази, тобто активна та реактивна складові електропровідності



змінюються пропорційно. Натомість, зростання частоти тестового сигналу призводить до падіння фази комплексної електропровідності, що відповідає падінню реактивної складової (а також зростанню активної складової) електропровідності.

Тобто, методом дослідження питомої електропровідності можна ефективно вивчати лише вищевказані іони, нехтуючи при цьому незначним впливом інших можливих компонентів-забруднень.

За результатами проведених досліджень активних і реактивних компонентів електричної провідності зразків морквяного соку з різним вмістом іонів міді та натрію відзначено наступне. Плавність зміни активної складової електропровідності від частоти тестового сигналу (рис. 3.2, 3.4) свідчить про відсутність частото-виражених ефектів. Разом з тим, зі збільшенням вмісту штучно введених додатків провідність морквяного соку зростає пропорційно до вмісту. Це підкреслює його іонну природу. При цьому, реактивна складова змінюється обернено-пропорційно, корелюючи з вмістом домішок (рис. 3.3, 3.5).

#### 3.4. Дослідження контролю якості овочів. Електричне та математичне моделювання

Для дослідження електрофізичних параметрів овочевих соків використаємо узагальнену електричну схему заміщення системи «сенсор-вимірювальний засіб» (рис.3.11) [27].

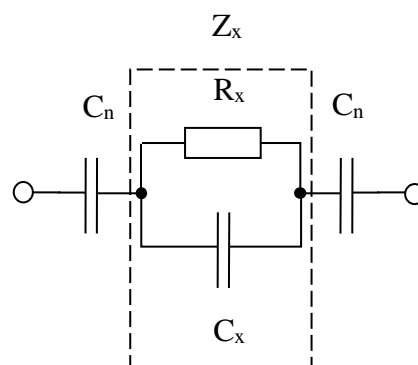


Рис.3.11. Схема заміщення системи «сенсор-вимірювальний засіб»:  $Z_x$  – імпеданс об'єкта контролю;  $C_n$  – приелектродний імпеданс.

У представленій схемі імпеданс  $Z_x$  – це імпеданс об'єкта контролю (овочевого соку). Схема заміщення враховує приелектродні ефекти на межі «електрод-об'єкт», а саме приелектродний імпеданс  $C_n$ , утворений ємністю подвійного шару. Імпеданс Варбурга усувається, оскільки цей імпеданс є суттєвим на низьких частотах (до 50 Гц), а за результатами експерименту [71] інформативними для аналізу електричних параметрів овочевого соку є частоти вищі від 100 Гц. Інформативними електричними параметрами є складові імітансу (активна та реактивна складова) первинного перетворювача з овочевим соком.

На підставі побудованої схеми заміщення системи «сенсор-вимірювальний засіб» сформуємо математичну модель первинного перетворювача з об'єктом контролю. При послідовному з'єднанні ємності подвійного шару  $C_n$  двоелектродного сенсора та параметрів об'єкта (паралельне з'єднання опору  $R_x$  та ємності  $C_x$ ) комплексну провідність  $Y_x$ , схема заміщення подається у вигляді:

$$Y_x = \frac{j\omega C_n(1+j\omega C_x R_x)}{1+j\omega C_x R_x+j\omega C_n R_x} \quad (3.9)$$

Виділимо активну та реактивну складові провідності і представимо їх такими виразами:

$$Re(Y) = \frac{\omega^2 R_x C_n^2}{1 + \omega^2 R_x^2 (C_x + C_n)^2} \quad (3.10)$$

$$Im(Y) = \frac{\omega C_n (1 + \omega^2 C_x^2 R_x^2 + \omega^2 C_x C_n R_x^2)}{1 + \omega^2 R_x^2 (C_x + C_n)^2}$$

Використовуючи результати експериментальних досліджень зміни активної  $Re$  та реактивної  $Im$  складових провідності (адмітансу) у частотному діапазоні від 50 Гц до 100 кГц у моркв'яному соці [75], запишемо рівняння:

$$\frac{3943840000R_x C_n^2}{1 + 3943840000R_x^2(C_x + C_n)^2} = 0.0214$$

$$\frac{62800C_n(1 + 3943840000C_x^2R_x^2 + 3943840000C_x C_n R_x^2)}{1 + 3943840000R_x^2(C_x + C_n)^2} = 0.0003$$

$$\frac{39438400R_x C_n^2}{1 + 39438400R_x^2(C_x + C_n)^2} = 0.0207$$
(3.11)

Представлені рівняння записані на частотах 1000 і 10000 Гц. Дана система дробово-раціональних рівнянь розв'язана за допомогою Solve Block у програмному пакеті MathCad Prime 3.1. Лістинг подано на рис. 3.12.

У першій графі представлені початкові наближення, в другій – обмеження, тобто запис самих рівнянь з використанням логічного оператора порівняння. У третій – розв'язок за допомогою функції Find. Початкові наближення необхідні, оскільки рівняння розв'язуються методом ітерацій.

Guess Values	$R_x := 100$ $C_x := 0.0000000001$ $C_n := 0.0000001$
Constraints	$\frac{3943840000 \cdot R_x \cdot C_n^2}{1 + 3943840000 \cdot R_x^2 \cdot (C_x + C_n)^2} = 0.0214$ $\frac{62800 \cdot C_n \cdot (1 + 3943840000 \cdot C_x^2 \cdot R_x^2 + 3943840000 \cdot C_n \cdot C_x \cdot R_x^2)}{1 + 3943840000 \cdot R_x^2 \cdot (C_x + C_n)^2} = 0.0003$ $\frac{39438400 \cdot R_x \cdot C_n^2}{1 + 39438400 \cdot R_x^2 \cdot (C_x + C_n)^2} = 0.0207$
Solver	$vec := \mathbf{Find}(R_x, C_x, C_n)$

Рис.3.12. Лістинг розв'язку системи дробово-раціональних рівнянь за допомогою Solve Block у програмному пакеті MathCad Prime 3.1.

Одержано результати, які представляють параметри морквяного соку:

$$R_x = 46 \text{ Ом}$$

$$C_x = 1.522 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$C_n = 1.844 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

Крім отриманих результатів на частотах 1000 і 10000 Гц, доцільно провести математичне моделювання активної та реактивної складових адмітансу при змінах параметрів складових у широкому діапазоні частот [26].

Математичне моделювання проводилося на підставі експерименту, дані якого представлені на кожному з графіків. Досліджено вплив зміни параметрів  $R_x$ ,  $C_x$ ,  $C_n$  на результуючий адмітанс. При кожному моделюванні за основу брали результати експерименту, змінюючи, при цьому, лише один параметр. Окрім цього, для в'яснення характеру кривих на високих частотах, діапазон частоти при моделюванні розширено до 100 МГц. У результаті видно, як криві виходять на паралелі і подальшої зміни в графіках не прогнозується.

Дана робота проводилася на підставі прототипу найпоширенішої електричної схеми заміщення об'єкту контролю [99]. На графіках проведена нумерація щодо моделювання змін параметрів  $R_x$ ,  $C_x$ ,  $C_n$ .

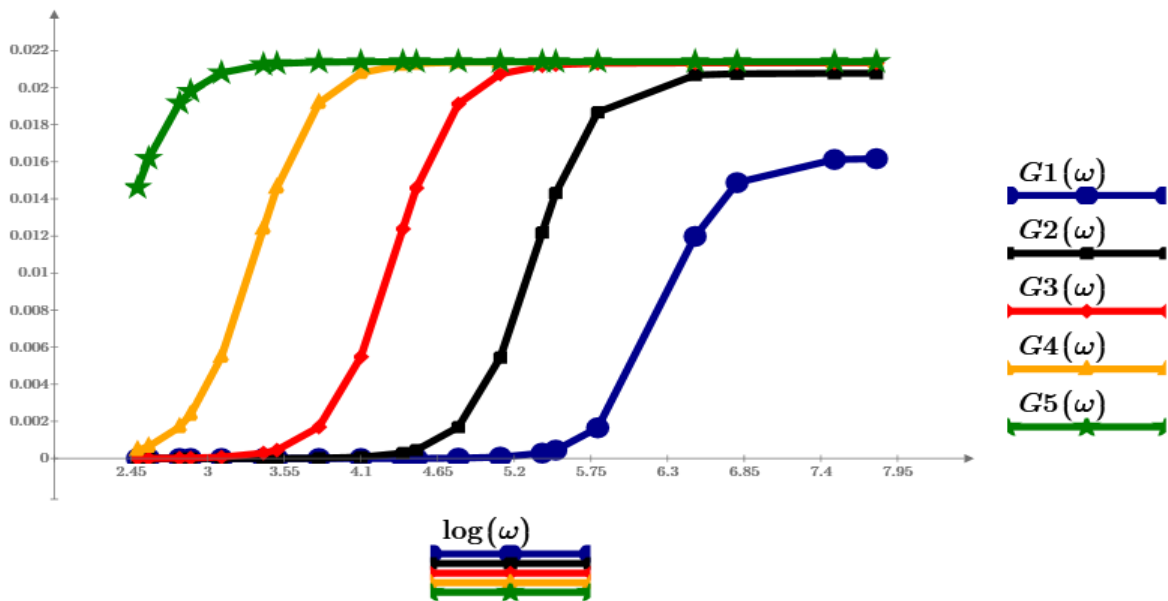


Рис. 3.13. Залежність активної складової  $G(\omega)$  від частоти тестового сигналу, Гц, при різних значеннях приелектродної ємності ( $R_x = 46 \text{ Ом}$ ,  $C_x = 1500 \text{ пФ}$ ).

Враховуючи отримані результати, проведено математичне моделювання складових адмітансу при змінах опорю та ємності об'єкта неелектричної природи, ємності приелектродного шару у частотному діапазоні тестового сигналу.

Для об'єкта контролю з опором  $R_x=46$  Ом та ємністю  $C_x=1500$  пФ при  $C_n=0,01$  мкФ,  $C_n=0,1$  мкФ,  $C_n=1$  мкФ,  $C_n=10$  мкФ,  $C_n=100$  мкФ отримано залежності активної складової від частоти тестового сигналу в діапазоні від 50 Гц до 10 ГГц (рис. 3.13).

З аналізу отриманих залежностей видно, що при зростанні ємності приелектродного шару  $C_n$  криві активної складової адмітансу зміщуються ліворуч за частотою.

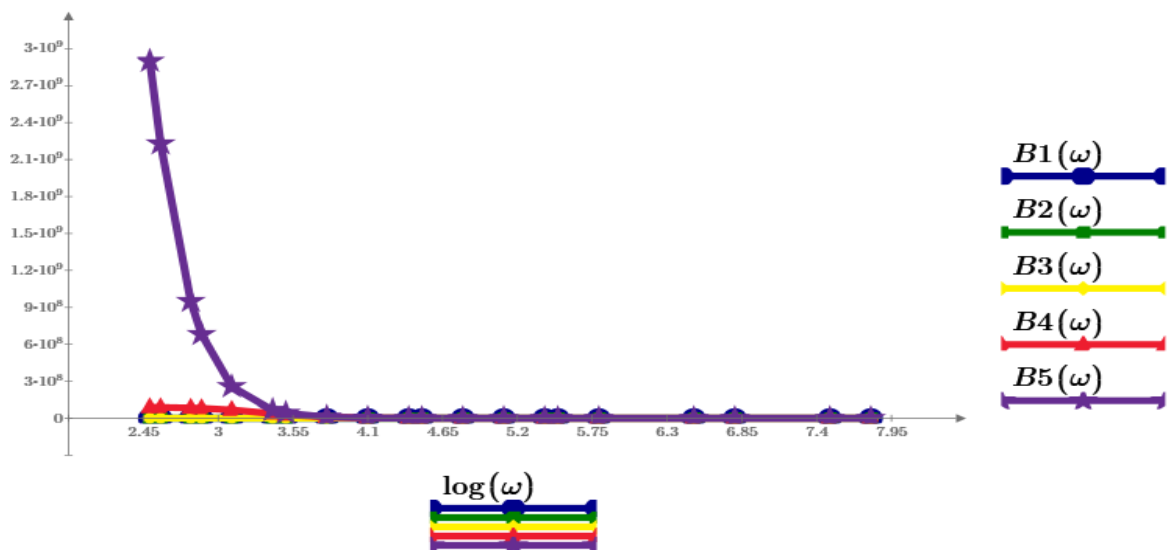


Рис. 3.14. Залежність реактивної складової  $B(\omega)$  від частоти тестового сигналу, Гц, при різних значеннях приелектродної ємності ( $R_x = 46$  Ом,  $C_x = 1500$  пФ).

Отримані залежності реактивної складової від частоти тестового сигналу (Гц) при різних значеннях приелектродної ємності  $C_n$  : 0,01; 0,1; 1,0; 10,0; 100,0 мкФ - для  $R_x = 46$  Ом,  $C_x = 1500$  пФ. Реактивна складова на низьких частотах і за великого значення  $C_n$ , досягає великого значення.

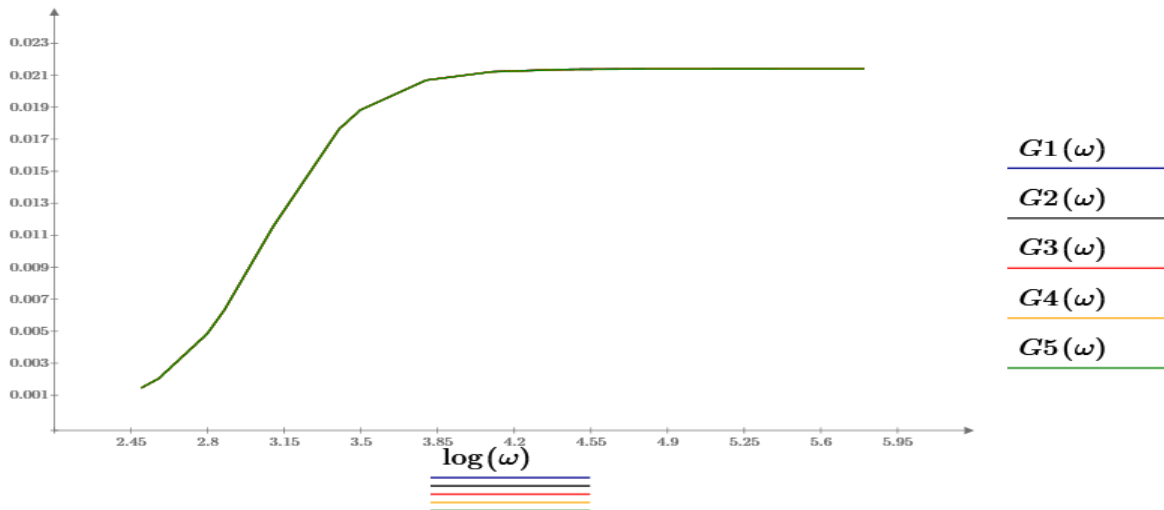


Рис. 3.15. Залежність активної складової  $G(\omega)$  від частоти тестового сигналу, Гц, при різних значеннях ємності об'єкта контролю ( $R_x = 46$  Ом;  $C_n = 18$  мкФ).

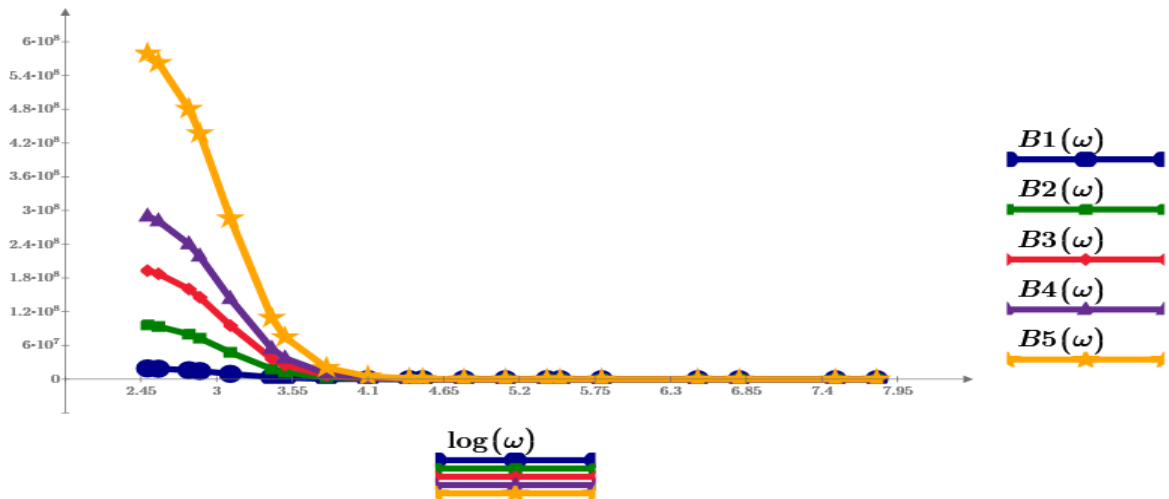


Рис. 3.16. Залежність реактивної складової  $B(\omega)$  від частоти тестового сигналу, Гц, при різних значеннях ємності об'єкта контролю ( $R_x = 46$  Ом;  $C_n = 18$  мкФ).

З рис. 3.15 видно, що для  $C_n = 18$  мкФ,  $R_x = 46$  Ом, при ємностях об'єкта контролю  $C_x$  : 100; 500; 1000; 1500; 3000 пФ, криві залежності активної складової від частоти тестового сигналу накладаються. Отже, зміна  $C_x$  не впливає на значення імітансу, що пояснюється при аналізі формули активної складової, оскільки  $C_n \gg C_x$ .

З рис.3.16 видно, що для  $C_n = 18$  мкФ,  $R_x = 46$  Ом при значеннях ємності об'єкта контролю  $C_x$  : 100; 500; 1000; 1500; 3000 пФ, на частоті нижче 4кГц

спостерігається амплітудна різниця. Реактивна складова зростає із зростанням ємності об'єкта контролю  $C_x$ .

Зміна ємності об'єкта контролю впливає на реактивну складову лише на малих частотах. При цьому, більша ємність призводить до більшого значення реактивної складової провідності.

Для об'єкта контролю з ємністю  $C_x = 1500$  пФ та  $C_n = 18$  мкФ при  $R_x = 20, 40, 60, 80, 100$  Ом (цей діапазон значень опору відповідає різним овочевим сокам) отримано залежності активної складової від частоти тестового сигналу в діапазоні від 50 Гц до 100 МГц (рис. 3.17).

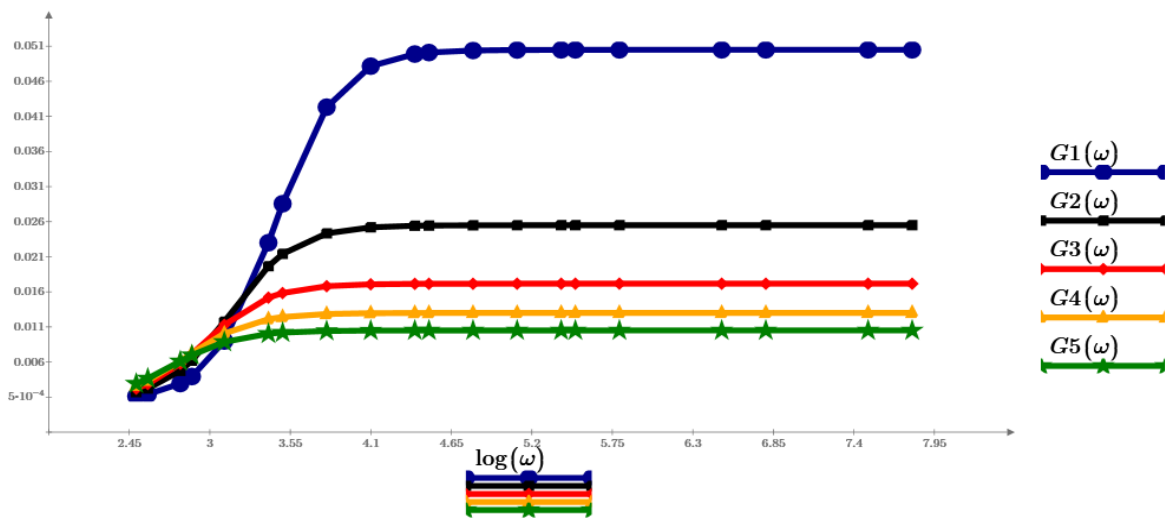


Рис. 3.17. Залежність активної складової  $G(\omega)$  від частоти тестового сигналу, Гц, при різних значеннях опору об'єкта контролю  $R_x = 20; 40; 60; 80; 100$  Ом ( $C_n = 18$  мкФ,  $C_x = 1500$  пФ).

Аналізуючи отримані залежності (рис.3.17), бачимо, що із зростанням опору об'єкта контролю  $R_x$  активна складова спадає, а вище частоти 4 кГц вона не змінюється. Отже, при зростанні опору  $R_x$  частота, починаючи з якої активна складова від частоти не залежить (стає частотно незалежною), зменшується. Так при опорі 20 Ом частота становить 39,81 кГц, а при опорі 100 Ом вона зменшується до 3,16 кГц.

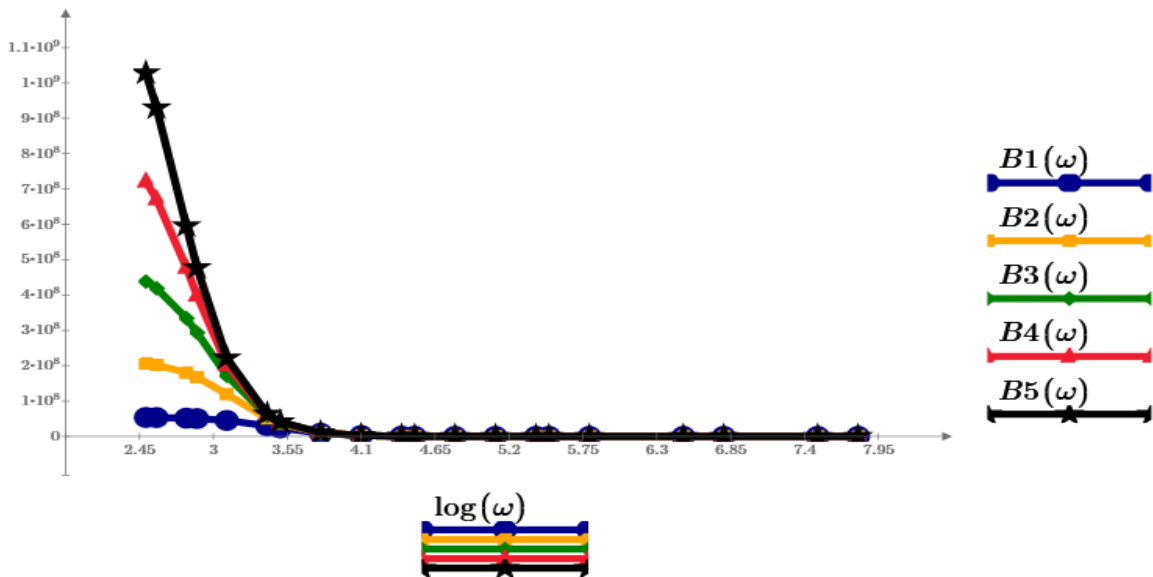


Рис. 3.18. Залежність реактивної складової  $B(\omega)$  від частоти тестового сигналу, Гц, при різних значеннях опору об'єкта контролю  $R_x = 20; 40; 60; 80; 100$  Ом ( $C_n = 18 \text{ мкФ}$ ,  $C_x = 1500$  пФ).

При різних значеннях опору об'єкта контролю, реактивна складова на частоті, вищій ніж 4 кГц, практично відсутня, а збільшення опору об'єкта контролю призводить до її вищого значення на частоті нижчій за 4 кГц.

Провівши математичне моделювання складових адмітансу при змінах опору та ємності об'єкта неелектричної природи, ємності приелектродного шару у частотному діапазоні тестового сигналу, одержані дані порівнювали з даними експерименту [71]. Результати збігаються в околі значень  $R_x = 46$  Ом,  $C_x = 1.522 \cdot 10^{-9}$  Ф,  $C_n = 1.844 \cdot 10^{-5}$  Ф. Тому за результатами математичного моделювання складових адмітансу можна дати рекомендації щодо покращення результатів контролю якості об'єктів неелектричної природи.

Складено електричну та математичну модель контролю якості об'єктів неелектричної природи, враховуючи відомі на сьогодні прототипи та результати проведених експериментальних досліджень зміни активної та реактивної складових провідності (адмітансу) у частотному діапазоні тестового сигналу для моркв'яного соку. Використовуючи дану модель, проведено математичне моделювання складових адмітансу при змінах опору та ємності об'єкта неелектричної природи, ємності приелектродного шару у частотному діапазоні тестового сигналу.



За результатами математичного моделювання складових адмітансу можна дійти висновку, що при зростанні ємності приелектродного шару  $C_n$  частота, починаючи з якої активна складова стає частотно незалежною, зменшується. Для отримання незалежності результату вимірювання від частоти об'єкта неелектричної природи з опором  $R_x=46$  Ом та ємністю  $C_x =1500$  пФ (наприклад моркв'яного соку) на нижчих частотах необхідно збільшувати ємність приелектродного шару, використовуючи сенсор з більшою площею електродів.

Зміна ємності об'єкта контролю  $C_x$  не впливає на значення імітансу (це також слідує з аналізу активної складової адмітансу, оскільки  $C_n \gg C_x$ ). Частота, починаючи з якої реактивна складова практично не змінюється, дещо збільшується із зростанням ємності об'єкта контролю  $C_x$ .

Із зростанням опору об'єкта контролю  $R_x$  активна складова падає, а вище частоти у 4 кГц не змінюється. Реактивна складова на частоті вище 4 кГц практично відсутня, а збільшення опору об'єкта контролю призводить до її вищого значення.

### Висновки до розділу 3.

1. Для експериментальних досліджень показників якості овочевого соку використано структуру вимірювального засобу, що складається з кондуктометричної комірки, RLC-метра, блок керування та опрацювання результатів. Вивчено залежності активної та реактивної складових провідності овочевого соку з домішками міді та натрію в частотному діапазоні 50 Гц-100 кГц. Отримані дані підтверджують, що провідність посилюється пропорційно вмісту йонів та їх зарядовому числу. Зростання помітніше для  $Na^{+1}$  як для легшого, рухливішого йона ніж для  $Cu^{+2}$ . Як наслідок, отримані залежності дають змогу здійснювати експрес-контроль вмісту домішок в овочевому соці за електричними параметрами.

Показано, що дослідженням питомої електропровідності можна ефективно вивчати лише вищевказані йони, нехтуючи при цьому незначним впливом інших можливих йонів компонентів додатків та забруднень.

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

3. Формування експериментальних розчинів усуває методичну похибку, зумовлену впливом додаткових до досліджуваного, компонентів соку на електропровідність. Екстремальне значення відсутнє. Обидві складові  $Re(Y)$  та  $Im(Y)$  інформативні. Вміст важких металів у експериментальних рідинах доцільно оцінювати за даними результатів аналізу активних складових провідності на частотах 1000-2000 Гц, оскільки саме на цих частотах співвідношення концентрації важких металів та амплітуд активних складових провідності є однаковими. Максимальне значення активної складової імітансу досягається на високій частоті, а реактивної складової імітансу - на низькій. Мінімальне значення активної складової імітансу досягається на низькій частоті, а реактивної складової імітансу - на високій частоті. Найвища чутливість зафіксована на малих частотах; їм притаманні малі значення активної складової та високі значення реактивної складової електропровідності.

Використання експериментальних рідин підтверджує доцільність імітансного методу для оцінки якості моркви. За результатами досліджень виявлено, що сік з домішками має вищу провідність, що характеризується іонами важких металів. Варто зазначити, що адмітанс є пропорційний вмісту домішок, а отже експериментальна рідина апробує імітансний контроль якості.

У роботі досліджено вплив вмісту домішок іонів купруму на адмітанс експериментальної рідини. Це є актуально, оскільки мідь має дуже високу провідність серед інших металів. Натрій теж має високу провідність, хоч навідрізу від купруму є корисним для організму людини. Таким чином,

імітансний контроль якості для виявлення вмісту важких металів, а також корисних, у соках овочевої продукції цілком доцільний. Проте, важливим є вибір частот, на яких проводити вимірювання імітансу. За результатами досліджень з експериментальними рідинами виявлено: вимірювання вмісту домішок важких металів та натрію доцільно проводити на частотах вище 4кГц. Нижчі частоти є неінформативні для визначення вмісту домішок важких металів.

4. Розглянуто відомі прототипи моделей та наявні результати експериментальних досліджень активної та реактивної складових провідності (адмітансу) у частотному діапазоні тестового сигналу. За результатами моделювання виявлено:

- В усіх випадках моделювання, на частотах вище 4кГц реактивна складова відсутня. Це свідчить про недоцільність імітансного методу на вказаних частотах. На частотах нижче 4кГц спостерігається падіння реактивної складової. Зміни параметрів  $C_n$ ,  $C_x$ ,  $R_x$  впливають на амплітудні відхилення.
- При зростанні ємності приелектродного шару  $C_n$  криві активної складової адмітансу зміщуються ліворуч за частотою. Реактивна складова на низьких частотах і за зростання значення  $C_n$ , досягає максимального значення.
- Зміна ємності об'єкта контролю  $C_x$  не впливає на значення активної складової адмітансу, проте впливає на реактивну складову лише на малих частотах. При цьому, більша ємність призводить до більшого значення реактивної складової провідності.
- Із зростанням опору об'єкта контролю  $R_x$  активна складова падає, а вище частоти у 4 кГц не змінюється. Реактивна складова на частоті вище 4 кГц практично відсутня, а збільшення опору об'єкта контролю призводить до її вищого значення.

Плавність зміни активної складової електропровідності від частоти тестового сигналу свідчить про відсутність частотно-виражених ефектів. Разом

з тим, зі збільшенням концентрації введених додатків провідність морквяного соку зростає пропорційно вмісту. Це підкреслює його іонну природу. При цьому, реактивна складова змінюється обернено пропорційно, також корелюючи з вмістом домішок.

5. Порівняння між собою різних морквяних соків показали незмінність сутності і характеру отриманих кривих. Це дало змогу сконцентрувати увагу на результатах дослідження електропровідності зразків за певних конкретних частот (50 Гц; 1000 Гц; 100.000 Гц), причому залежно від вмісту домішок. Вони принципово схожі, що підтверджує вплив саме зазначених домішок. Дані годографу свідчать про обернено-пропорційний взаємозв'язок складових імпедансу, тобто із зростанням активної складової спадає реактивна складова, і навпаки. Спостерігається лінійна залежність модулю адмітансу від вмісту важких металів.

#### **Розділ 4. Автоматизація програмованого лабораторного обладнання та розроблення віртуального приладу для вимірювання імітансу на базі графічної платформи LabVIEW**

LabVIEW - це середовище розробки і платформа для виконання програм, створених на графічній мові програмування «G» фірми National Instruments (США). Вони використовуються у системах збирання й опрацювання даних, а також для управління технічними об'єктами й технологічними процесами, тобто ідеально придатні для використання у новостворюваних підсистемах кібер-фізичних систем, зв'язаних з засобами вимірювання. Завдяки інтерактивності та можливості використання оптимізованих доступних багатофункціональних пристроїв введення-виведення – типу NI USB-6009, LabVIEW максимально спрощує розробку та створення унікальних віртуальних засобів вимірювання (за наявності ПК з установленим програмним забезпеченням), інакше за наявності вищеприписаного апаратно-програмної платформи LabVIEW.

При цьому, пристрій типу NI USB-6009 має цифровий ввід / вивід, аналоговий ввід / вивід та 32-розрядний лічильник. USB-6009 є ідеальним рішенням для таких задач, як портативні вимірювання, проста реєстрація даних та експериментальні дослідження в академічній лабораторії, що відповідають дослідженням, викладеним у розділі 3 даної дисертаційної роботи.

Оскільки LabVIEW забезпечує підключення практично до будь-якого засобу вимірювання, можна підключати нові програми LabVIEW в існуючі засоби, не інвестуючи в додаткове обладнання.

Незалежно від вимог до обладнання, LabVIEW надає інтерфейс для підключення до введення-виведення. При залученні NI USB-6009, здатного працювати від шини ПК і забезпечити надійне з'єднання з сенсорами з допомогою гвинтових клем, реалізується необхідний віртуальний засіб вимірювання, до прикладу віртуальний засіб вимірювання адмітансу, необхідний для визначення вмісту шкідливих домішок у овочевому соці.

Для виконання зазначеного завдання доцільно скористатися NI-DAQmx програмним інтерфейсом платформи LabVIEW, який можна використовувати для зв'язку з пристроями збирання даних. Explorer (MAX) - це інструмент, який автоматично встановлюється за допомогою NI-DAQmx і використовується для налаштування апаратного та програмного забезпечення National Instruments.

Так, для імітансного контролю показників якості овочевого соку у роботі запропоновано і реалізовано віртуальний засіб вимірювання, розроблений на основі апаратно-програмної платформи LabVIEW та сумісного з нею блоку NI USB 6009. Це дає змогу здійснювати експрес-аналіз соку на вміст домішок металів на вміст мінеральних речовин за електричними параметрами, внаслідок чого можна оперативно контролювати якість овочів, з яких отримують досліджуваній сік, у виробничих умовах при незначних витратах.

#### **4.1. Блок-схема засобу вимірювання імітансу**

Оскільки актуальним є виробництво безпечної харчової продукції, вільної, зокрема, від важких токсичних металів, розроблення віртуального пристрою для оцінювання їх наявності в овочах набуває ваги.

Вище у розділі 3 проведені експериментальні дослідження стосовно виявлення важких металів в овочевому соці та отримано дані, що відображають фізичні параметри (комплексні напруги), пропорційні імітансу. Нагадаємо, що там схема складалась з ємнісного перетворювача (кондуктометрична комірка, заповнена модельною рідиною – овочевий сік з різними домішками), RLC-метра для подання тестового сигналу на ємнісний перетворювач; блоку опрацювання результатів та керування.

Проте, вищеописані вимірювання, проведені з допомогою стандартного RLC-метра, обмежуються можливостями вказаного приладу на відміну від віртуального засобу вимірювання, створеного з допомогою платформи LabVIEW. Остання вважається оптимальною для забезпечення програмну підтримку автоматизованих систем управління та наукових досліджень.

Середовище LabVIEW багатofункціональне і забезпечує:

- а) обмін інформацією із зовнішніми вимірювальними, управляючими пристроями;
- б) аналіз і опрацювання отриманої інформації;
- в) нагромадження, зберігання і передання інформації;
- г) роботу з віртуальними інструментами;
- д) забезпечення призначеного для користувача інтерфейсу, в тому числі для наукових досліджень.

Поєднання двох і більше функцій LabVIEW дозволяє створити ефективну систему управління, контролю та передачі даних. Головна особливість LabVIEW з точки зору користувача – графічна інтерпретація мови програмування. Графічна мова – мова функціональних блок-діаграм – дозволяє значно спростити створення, наприклад, програм управління зовнішнім об'єктом або обробки даних, отриманих від зовнішнього пристрою. У межах LabVIEW для користувача управління експериментом зводиться до роботи з панеллю віртуального засобу на екрані монітора ПК, де спостерігають за необхідними параметрами і керують програмно-апаратним комплексом. У середовищі LabVIEW створюють віртуальні прилади, що моделюють окремі функції вимірювального або управляючого комплексу. При цьому, користувач працює із, так-званими, віртуальними інструментами, що забезпечують достатню міру адекватності модельованих процесів реальним.

Створення віртуального приладу для контролю вмісту важких металів в овочевому соці у дисертаційній роботі базується на платформі LabVIEW із залученням блоку NI USB 6009 [127]. Останній приєднується до ПК за допомогою інтерфейсу full-speed USB і має 8 каналів введення аналогових сигналів (A1) для генерування та збирання вимірюваних даних; 12 каналів цифрового введення/виведення (DIO) та 32-розрядний лічильник, а також 2 канали генерації аналогових сигналів (AO), завдяки яким виконується функція джерела тестового сигналу.

Графічна платформа LabVIEW керує NI USB 6009 за допомогою **NI-DAQ** (National Instruments - **data acquisition**) задачі. У процесі вимірювання

використовується розроблене у роботі графічне програмне забезпечення: програма тестового сигналу (розділ 4.1.1) та програми опрацювання результатів вимірювань (розділи 4.2, 4.3, 4.4).

Для вимірювання і розрахунку імітансу моркви потрібно генерувати тестовий сигнал – змінну напругу амплітудою 10-20 мВ. Для цього необхідно виконати наступні кроки:

- 1) Генерування тестового сигналу (синусоїда);
- 2) Зчитування комплексних значень імітансу.

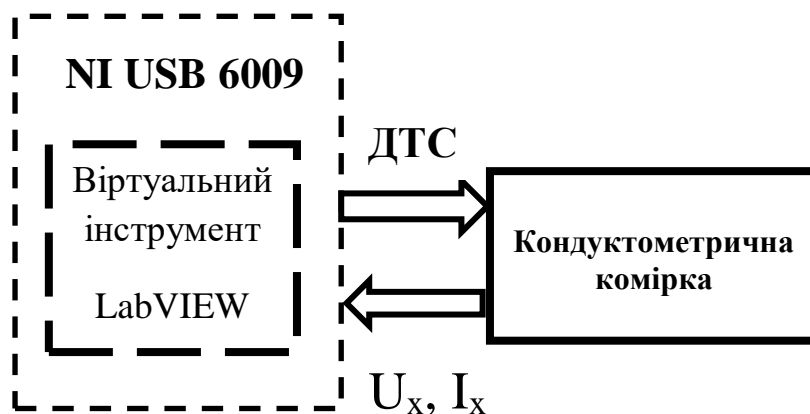


Рис.4.1. Блок-схема вимірювання імітансу соку овочевої продукції: ДТС – джерело тестового сигналу;  $U_x, I_x$  — струм та напруга на об'єкті вимірювання.

Для підключення приладів та інтерфейсів у програмі **NI MAX** необхідно:

- сконфігурувати пристрої та програмне забезпечення;
  - повернути або скопіювати дані конфігурації;
  - створити та редагувати канали, завдання, інтерфейси, одиниці вимірювання та віртуальні інструменти;
  - виконати системні діагностики;
  - переглянути пристрої та інструменти під'єднані до системи;
  - оновити програмне забезпечення

Для того, щоб імітувати пристрій NI USB 6009 в дереві конфігурації **NI MAX**, вибираємо пункт **Devices and Interfaces** і натискаємо **Create New**. Далі вибираємо доступні прилади, а саме NI-DAQmx Simulated Device. Натискаємо на кнопку Finish (рис.4.2).



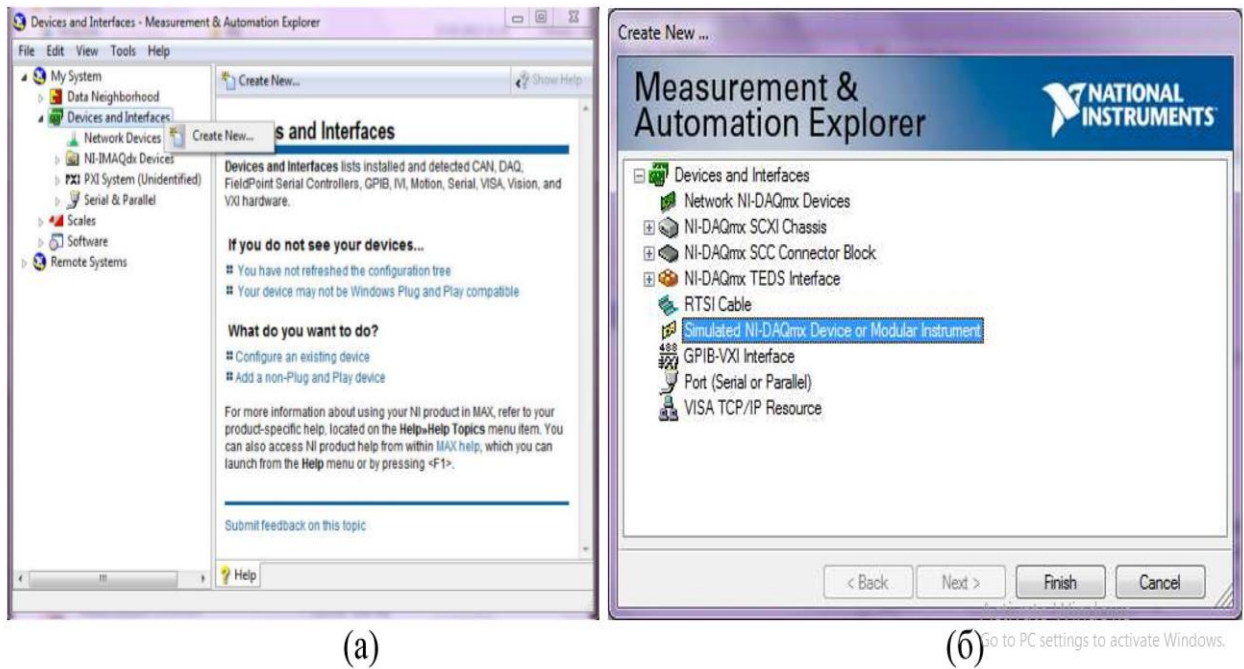


Рис.4.2. Головне вікно Measurement & Automation Explorer:

а) дерево конфігурації приладів та інтерфейсів; б) вікно вибору доступних для користувача приладів та інтерфейсів.

Програма, написана із використанням графічної мови G, містить два вікна: **Front Panel (фронтальна панель)** та **Block Diagram (блок діаграм)**. Фронтальна панель будується, використовуючи контролери та індикатори, які є інтерактивними терміналами входу та виходу віртуального інструменту відповідно. Контролерами є ручки, кнопки натискання, циферблати та інші механізми входу (зчитування). Індикаторами є графіки, лампочки та інші покази виходу. Контролери симулюють інструмент механізмів входу і подають дані на блок діаграму віртуального інструменту. Індикатори симулюють (імітують) механізми виходу (виведення) і показують дані, які сприймає або генерує блок-діаграма.

Після того, як побудована фронтальну панель, додають код, використовуючи графічні представлення функцій для контролю об'єктів фронтальної панелі. Блок-діаграма містить графічне джерело коду, також відоме як G-код або код-блок діаграми. Об'єкти фронтальної панелі з'являються, як термінали на блок-діаграмі.

Наступні віртуальні інструменти містять декілька первинних об'єктів блок-діаграми – термінали, функції та лінії (з'єднання). [53]

Оскільки блок NI USB 6009 не генерує змінної напруги, у програмі використані окремі елементи DAQ-задачі та цикл While Loop with Stop Button. Опишемо окремі елементи DAQ-задачі, які використано у процесі написання програми, зокрема: 1.DAQmx Create Virtual Channel (VI), 2.DAQmx Start Task (VI), 3.DAQmx Write (VI), 4.DAQmx Clear Task (VI).

**DAQmx Create Virtual Channel (VI)** створює віртуальний канал або встановлює віртуальні канали і додає їх до завдання. Так створено фізичні канали блоку NI USB 6009 для генерування напруги (рис.4.3). Приклади цього поліморфного віртуального інструменту відповідають типу вводу-виводу каналу (аналогове введення, цифровий вихід або лічильник-вихід); вимірювання або генерація для виконання (вимірювання температури, генерація напруги або підрахунок подій). В деяких випадках як сенсор для вимірювання температури можна використовувати термопару або RTD.

Якщо використати цей віртуальний інструмент у циклі, не вказуючи вхідного завдання, NI-DAQmx створює нове завдання в кожній ітерації циклу. Щоб уникнути розподілу непотрібної пам'яті, використовуємо DAQmx Clear Task VI у циклі після завершення завдання.

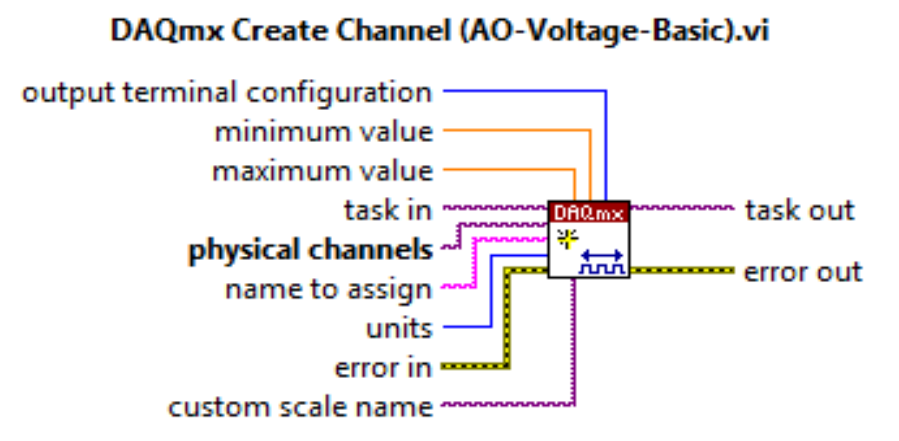


Рис. 4.3. Створення фізичних каналів блоку NI USB 6009 для генерування напруги.

Всі елементи NI-DAQ-задачі зв'язані між собою. Цей зв'язок здійснюється за допомогою входів і виходів шляхом передачі завдання від одного елемента (**task out**) до іншого (**task in**) та передачі інформації про помилку (**error in / out**) від одного елемента NI-DAQ-задачі до іншого. На

рисунку 4.3 показано схему генерування напруги – це перший елемент NI-DAQ-задачі (**DAQmx Create Virtual Channel (VI)**). Тут позиція **task in** визначає завдання - створення каналу генерації тестового сигналу - до нього додають віртуальні канали, які створюють віртуальний інструмент. Якщо б не задали завдання, то NI-DAQmx автоматично створило би завдання і додало віртуальні канали, які створюють віртуальний інструмент для цього завдання. Вихід **task out** першого елемента Create Channel з'єднується із входом **task in** наступного елемента Start VI.

Позиція **physical channels** визначає імена фізичних каналів, які використовуються для створення віртуальних каналів. Фізичний канал DAQmx встановлює список всіх фізичних каналів на пристроях та модулях, встановлених у системі. Наприклад можна встановити канал AO0 – analog out 0. За умови встановлення не одного каналу, а масиву фізичних каналів, то для перетворення масиву в список використали б DAQmx Flatten Channel String VI.

Позиція **maximum value** визначає в одиницях максимальне значення, яке очікується виміряти або генерувати. Для нашого експерименту – 20 мВ.

Позиція **minimum value** визначає в одиницях мінімальне значення, яке очікується виміряти або генерувати. Для нашого експерименту – 0 В.

Позиція **name to assign** вказує назву для призначення віртуального каналу, який створює віртуальний інструмент. У разі не під'єднання значення до цього входу, NI-DAQmx використовує ім'я фізичного каналу як ім'я віртуального каналу. Якщо використовувати цей вхід для надання власних імен для віртуальних каналів, то необхідно використовувати ці імена при звертанні до цих каналів і у інших NI-DAQmx віртуальних інструментах та вузлах власності, наприклад, джерело входу DAQmx Trigger VI.

Якщо створювати кілька віртуальних каналів за допомогою одного DAQmx Create Virtual Channel VI, то можна вказати список імен, розділених комами, для призначення віртуальних каналів. Якщо надати менше імен, ніж кількість створюваних віртуальних каналів, то NI-DAQmx автоматично призначає імена віртуальних каналів.

Позиція **units** визначають одиниці вимірювання для повернення вимірювань напруги.

Позиція **error in** описує умови помилок, що виникають до початку виконання цього віртуального інструменту або функції. За замовчуванням немає помилок. Якщо виникла помилка перед тим, як запускається цей віртуальний інструмент або функція, то віртуальний інструмент або функція передає значення **error in** до **error out**. Якщо при виконанні цього віртуального інструменту або функції виникає помилка, віртуальний інструмент або функція працює нормально і встановлює власний статус помилки **error out**. **Error out** першого елемента передає інформацію про помилку на **error in** наступного елемента і так аж до четвертого елемента. Щоб перевірити помилку та вказати виконання замовлення шляхом з'єднання **error out** від одного вузла і **error in** в наступному вузлі, використовують **error in** та **error out**. Крім того, є інструменти Simple Error Handler or General Error Handler, які описують код помилки, для того щоб дослідник міг виправити помилку і уникати її в майбутньому. **Error in** має параметр **Status**, який набуває значення TRUE при виникненні помилок перед запуском віртуального інструменту або функції. Значення FALSE (перевірка оцінки) показує попередження або свідчить про не виникнення помилок перед запуском віртуального інструменту або функції. За замовчуванням значення відповідає FALSE. Параметр **Code** відповідає коду помилок або попередження. За замовчуванням – 0. Якщо **status** = TRUE, **code** значиться негативною помилкою коду. Якщо **status** = FALSE, **code** є 0 або кодом попередження. Ми використовували ці параметри, щоб впевнитися, що програма працює правильно. Параметр **Source** ідентифікує, де трапляється помилка. Стрічка джерела включає ім'я віртуального інструменту, що продукує помилку, які входи є у помилці та як усунути помилку. Ми це використовували для виправлення поточних помилок.

Позиція **output terminal configuration** визначає конфігурацію вихідного терміналу для каналу, який використовується.

Позиція **custom scale name** визначає ім'я індивідуальних одиниць вимірювання для каналу. У випадку використання custom scale для каналу вимірювання, з'єднуємо ім'я custom scale до входу та встановлюємо одиниці **units** до **From Custom Scale**.

У першому елементі DAQmx Create channel створюється фізичний канал вимірювання, в нашому випадку – фізичний канал генерації напруги. Другий елемент DAQmx Start Task розпочинає роботу вимірювання, а в нашому випадку початок генерації напруги. Третій елемент DAQmx Write генерує конкретну напругу. Четвертий – Clear Task завершує роботу та очищує пам'ять [137].



Рис.4.4. Віртуальний інструмент для початку вимірювання або генерації.

Цей віртуальний інструмент створює перехід завдання до запуску програми та початку вимірювання або генерації. Використання цього віртуального інструменту вимагається для деяких застосунків (аплікацій) і є за бажанням для інших.

На рисунку 4.4 подано перетворення завдання для запуску побудованої програми і початку вимірювання або генерації. Використання віртуального інструменту вимагає аплікацій і є необов'язковим для решти завдань. Якщо не використовувати цей віртуальний інструмент, вимірювання починається автоматично при запуску зчитування DAQmx Read VI. Автостарт входу DAQmx Write VI визначає чи автоматичний старт завдання генерації при запуску DAQmx Write VI.

Якщо не використати DAQmx Start Task (VI) та DAQmx Stop Task (VI) декілька разів в циклі під час використання DAQmx Read VI або DAQmx Write VI, завдання стартує і зупиняється повторно. Старт та зупинка завдання повторно знижує виконання аплікації.

Позиція **task/channels in** є ім'ям завдання або списком віртуальних каналів до яких застосовується операція. Якщо створено список віртуальних каналів, NI-DAQmx створює завдання автоматично.

Позиція **error in** описує умови помилки, що виникають до початку виконання цього віртуального інструменту або функції. Помилка передається з першого елемента, якщо вона там виникла. Якщо виникла помилка перед тим, як запускається цей віртуальний інструмент або функція, віртуальний інструмент або функція передає значення **error in** до **error out**. Якщо вхідна помилка показує, як помилка відбувається перед запуском віртуального інструменту або функції; вихідна помилка містить аналогічну інформацію про помилку. Крім того, вихідна помилка описує статус помилки - який віртуальний інструмент або функція спричинює. Позиція **task out** є посиланням до завдання після запуску віртуального інструменту. Якщо приєднати канал або список каналів до **task/channels in**, NI-DAQmx автоматично створює завдання, що відзначено в LabVIEW help [137].

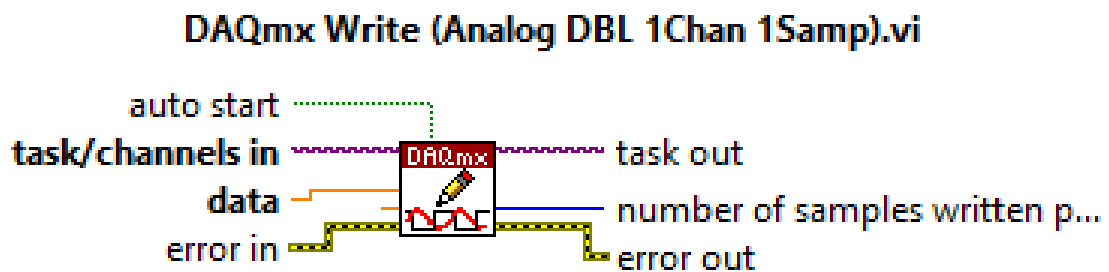


Рис.4.5. Віртуальний інструмент для генерування одиночного зразка напруги

Елемент, зображений на рис.4.5, записує зразки до завдання або віртуальних каналів, які раніше визначені. Варіанти роботи цього поліморфного віртуального інструменту специфікують формат зразків для запису, тобто запис одного чи багатьох зразків, або запис одного чи багатьох каналів. Якщо завдання використовує таймінг на вимогу, цей віртуальний інструмент повертає значення тільки після того як пристрій згенерує усі зразки. При не використанні DAQmx Timing VI вимагається таймінг типу за замовчуванням. Якщо завдання використовує будь-який тип таймінгу окрім за вимогою, віртуальний інструмент повертає середнє значення і не чекає, коли пристрій

згенерує усі зразки. Аплікація повинна визначати чи завдання виконане для запевнення, що пристрій згенерував усі зразки.

Цей віртуальний інструмент записує (генерує) зразок напруги з плаваючою крапкою до завдання, що містить одиночний аналоговий канал виходу.

Властивості DAQmx Write включають додаткові опції конфігурації для запису операцій. Зокрема позиція **Data** містить зразок для запису до завдання. Дані, котрі записують, мають бути в одиницях вимірювання генерації, включно за замовленими розмірами одиниць вимірювання. Так як генерується напруга, то одиниці вимірювання – В. DAQmx Create Virtual Channel VI або the DAQ Assistant використовуємо для специфікації цих одиниць вимірювання.

Позиція **Timeout** вказує час (у секундах) очікування віртуального інструменту для запису усіх зразків. NI-DAQmx виконує перевірку вичерпання часу в тому випадку, якщо віртуальний інструмент зобов'язаний чекати перед записом даних. По ходу експеримента час не вказується; віртуальний інструмент повертає помилку при закінченні часу за замовчуванням - 10 секунд. Якщо встановлено Timeout = 1, то віртуальний інструмент очікує невизначений час. При Timeout=0, віртуальний інструмент пробує один раз записати подані зразки. Якщо він не зможе записати усі подані зразки, то поверне помилку та число зразків, успішно записаних на виході (number of samples written per channel).

Позиція **auto start** визначає чи цей віртуальний інструмент стартує автоматично. Якщо старт був не точний, то завдання виконається за допомогою DAQmx Start Task VI.

Позиція **task out** є посиланням до завдання після запуску віртуального інструменту або функції. Якщо приєднати канал чи список каналів до task/channels in, NI-DAQmx створить завдання автоматично.

Позиція **number of samples written per channel** дає число зразків успішно записаних цим віртуальним інструментом [137].



- Рис. 4.6. Віртуальний інструмент для очищення завдання.

Цей віртуальний інструмент очищує завдання, перед цим вимкнувши його і за потреби звільняє ресурси, закріплені за завданням. Не можна використовувати завдання після очищення допоки завдання не відновлене.

На рис. 4.6 подано віртуальний інструмент, який очищує завдання. Спочатку віртуальний інструмент закінчує завдання, і за необхідності звільняє усі ресурси зарезервовані завданням. Потім очищується завдання. Не можна використовувати завдання після очищення допоки завдання не відтворене. Завдання очищується для того, щоб ресурси могли виконувати нове завдання.

При використанні DAQmx Create Task VI або DAQmx Create Virtual Channel VI всередині циклу, потрібно використовувати цей віртуальний інструмент всередині циклу після закінчення завдання для уникнення розподілу непотрібної пам'яті.

Позиція **task in** вказує ім'я завдання, яке очищують [137].

Апаратно-програмна платформа LabVIEW передбачає Explorer & Measurement & Automation Explorer (MAX), який встановлює всі параметри конфігурації пристроїв і каналів. До прикладу, DAQ Assistant - це графічний інтерфейс для інтерактивного створення, редагування та запуску віртуальних каналів і завдань NI-DAQmx (набір функцій для збирання даних). Віртуальний канал NI-DAQmx складається з фізичного каналу на пристрої DAQ і інформації щодо конфігурації для цього фізичного каналу, такої як вхідний діапазон і спеціальне масштабування. NI-DAQmx - це сукупність віртуальних каналів, часу та запуску інформації, а також інших властивостей, що стосуються прийому або генерації [132].

Для попереднього налаштування DAQ-задачі потрібно вибрати прийом чи генерацію сигналу та вид вимірювань (до прикладу можливі вимірювання напруги, струму, температури, тиску, прискорення, тиску звуку, частоти тощо)



-рис. 4.7, б. А також фізичний канал, по якому дане вимірювання здійснюється - рис. 4.7, в.

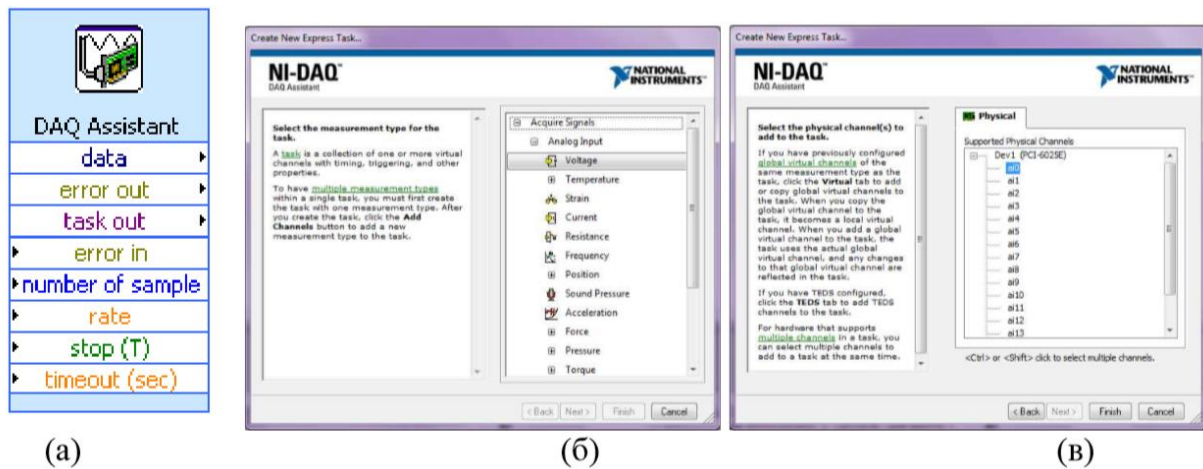


Рис. 4.7. Налаштування імітованого пристрою за допомогою NI-DAQ Assistant:

а) піктограма NI-DAQ Assistant; б) вікно NI-DAQ-Assistant, де обирається прийом чи генерація сигналу та вид фізичних вимірювань (напруга); в) вікно з переліком фізичних каналів NI-USB 6009, які використовуються.

DAQ-задача для генерування та збирання даних вибирається з палітри Functions у вікні Блок-діаграми. Для початку роботи DAQ-задачі потрібно налаштувати імітований пристрій, задавши такі дані: Прийом чи генерація сигналу; Вид фізичних вимірювань (напруга, струм); Фізичні канали NI-USB 6009, які планують використати (рис. 4.7).

Нижче, для зчитування напруг згідно схеми вимірювання, представленої на рис.4.1, подано вікно налаштування NI-DAQ-задачі (рис.4.8). У вікні характеристик вимірювального каналу (рис.4.8) встановлюють наступні параметри: Діапазон вхідного сигналу; Режим збирання даних (виконання N вимірювань чи безперервний режим); Частота вимірювань.

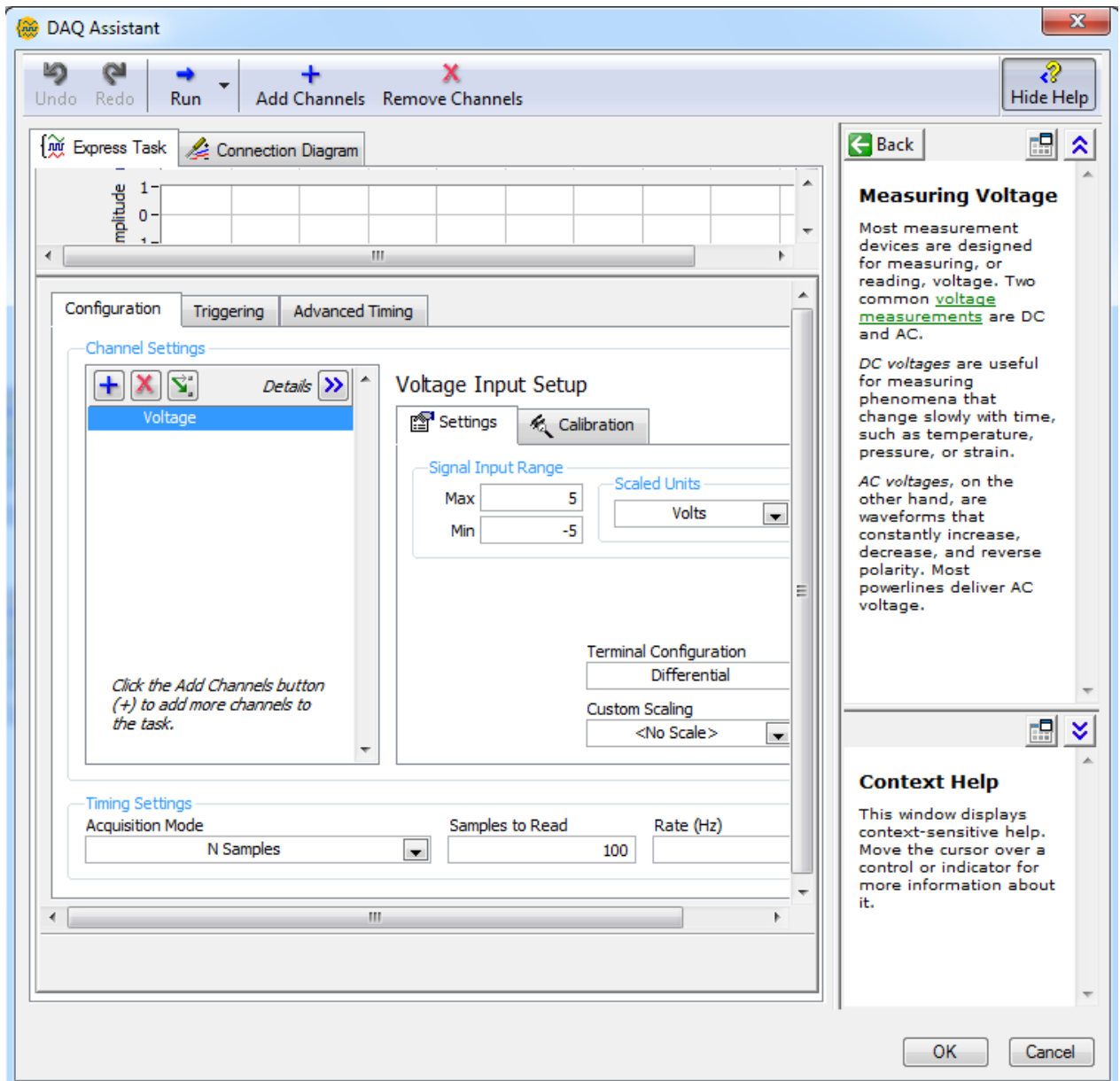


Рис.4.8. Вікно налаштування характеристик вимірювального каналу.

#### 4.1.1. Програмно-технічне генерування тестового сигналу для імітансних вимірювань

Нижчеприведена програма демонструє, як виконувати задачі неперервного аналогового виведення на NI USB-6009, а також включає відомості стосовно часового аналогового виходу (виведення) програмного забезпечення. Остання опція щодо безперервного часового аналогового виведення програмного забезпечення означає, що аналоговий канал оновлюється лише один раз для кожної ітерації циклу програми. Пристрій дає змогу забезпечити максимальну швидкість оновлення на швидкості 150 зразків

в секунду на кожному каналі; тому цикл під час запуску основної програми може ітеруватися не швидше, ніж 1 раз на 6 мсек (рис.4.9-4.10).

Блок NI USB 6009 призначений для генерування постійної напруги 5 В при максимальному струмі 5 мА. Згідно методики вимірювання імітансу (п.4.1), тестовий сигнал є синусоїдою. Оскільки даний блок не генерує змінної напруги, у програмі були використані окремі елементи NI-DAQ-задачі та цикл While Loop with Stop Button. Крім цього у програмі записана команда Wait, котра задає інтервал між ітераціями циклу. Кількість точок синусоїди задається на індикаторі Points per cycle (рис.4.9-4.11).

Створений пристрій дає змогу генерувати електричну напругу в діапазоні 0 ... 5 В. При цьому, програма виводить синусоїдальний сигнал зі зміщенням по напрузі й дозволяє користувачеві вибрати кількість точок за цикл. Збільшення точок за цикл збільшує роздільну здатність вихідного сигналу, але зменшує його частоту. Апроксимаційний період вихідного сигналу рівний кількості точок за цикл, помноженій на норму часу (рис 4.9-4.10).

Практично частота синусоїдального тестового сигналу задавалася опосередковано через інтервал та кількість точок. Вона оцінювалась у програмі апроксимаційно.

Кроки для реалізації чи виконання коду.

1. Відкрити Test signal NI USB-6009 VI
2. Налаштувати елементи керування передньої (фронтальної) панелі:
  - Фізичний канал
  - Максимальне значення
  - Мінімальне значення
  - Швидкість виведення
  - Кількість точок на цикл
3. Запустити Test signal NI USB-6009 VI (рис.4.9).

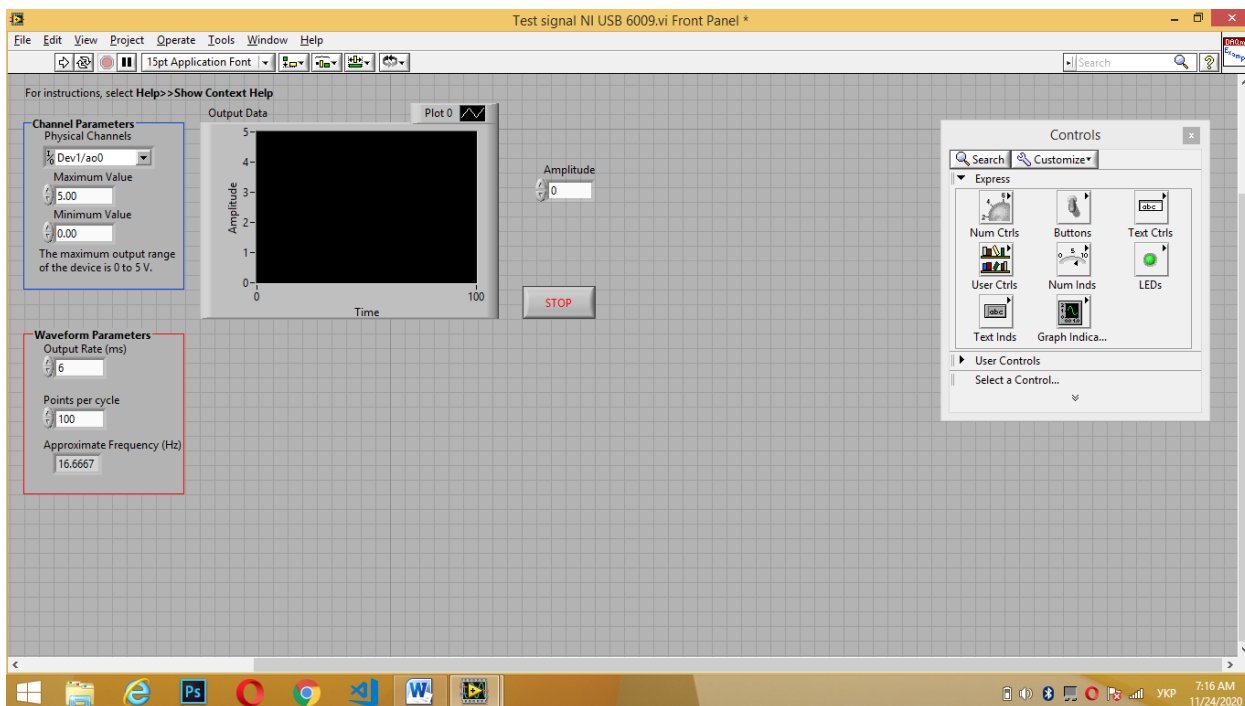


Рис. 4.9. Тестовий сигнал, фронтальна панель

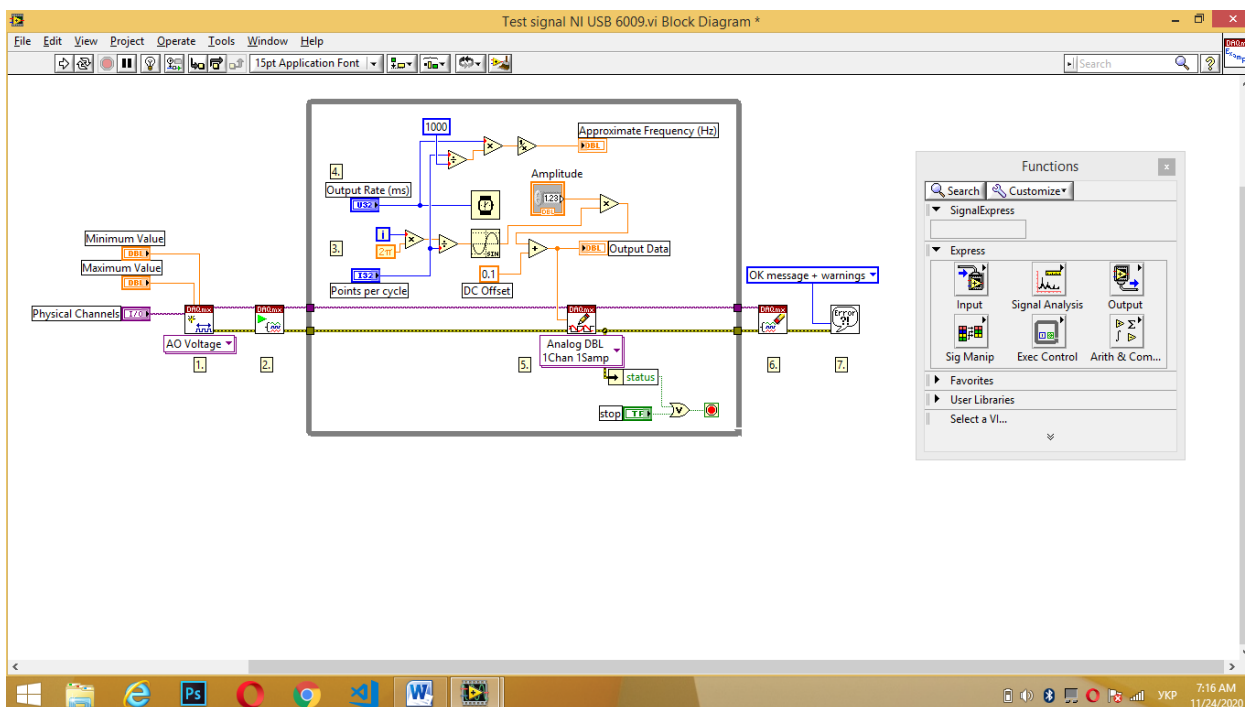


Рис. 4.10. Тестовий сигнал, блок-діаграма

Усі кроки виконуються у програмному пакеті LabVIEW. Отримані експериментальні дані опрацьовуються за допомогою засобів графічної платформи LabVIEW.

Створений віртуальний засіб вимірювання імпедансу об'єктів неелектричної природи показано на рис.4.11, справа. Тут зокрема, видно ПК з установленим програмним забезпеченням, блок NI USB 6009, який

використовується для генерування синусоїдального сигналу та його подачі на ємність з електродами, заповнену соком або модельним розчином; Цей самий блок застосовують для вимірювання імпедансу.

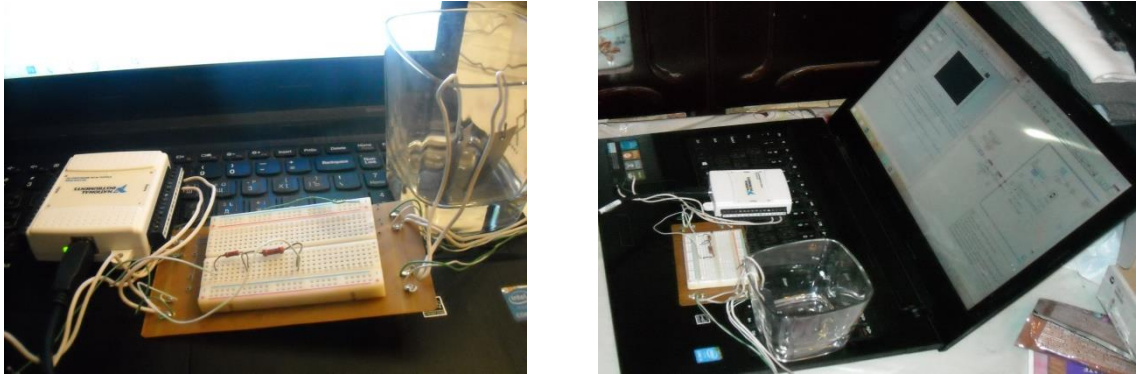


Рис. 4.11. Віртуальний засіб генерування синусоїдальної напруги та вимірювання імпедансу об'єктів неелектричної природи (соків)

#### 4.2. Вимірювання імпедансу за допомогою блоку NI USB 6009

Типове вимірювання імпедансу вимагає одного вимірювального датчика для вимірювання напруги на клеммах навантаження, а другого датчика - для вимірювання струму, що проходить через об'єкт.

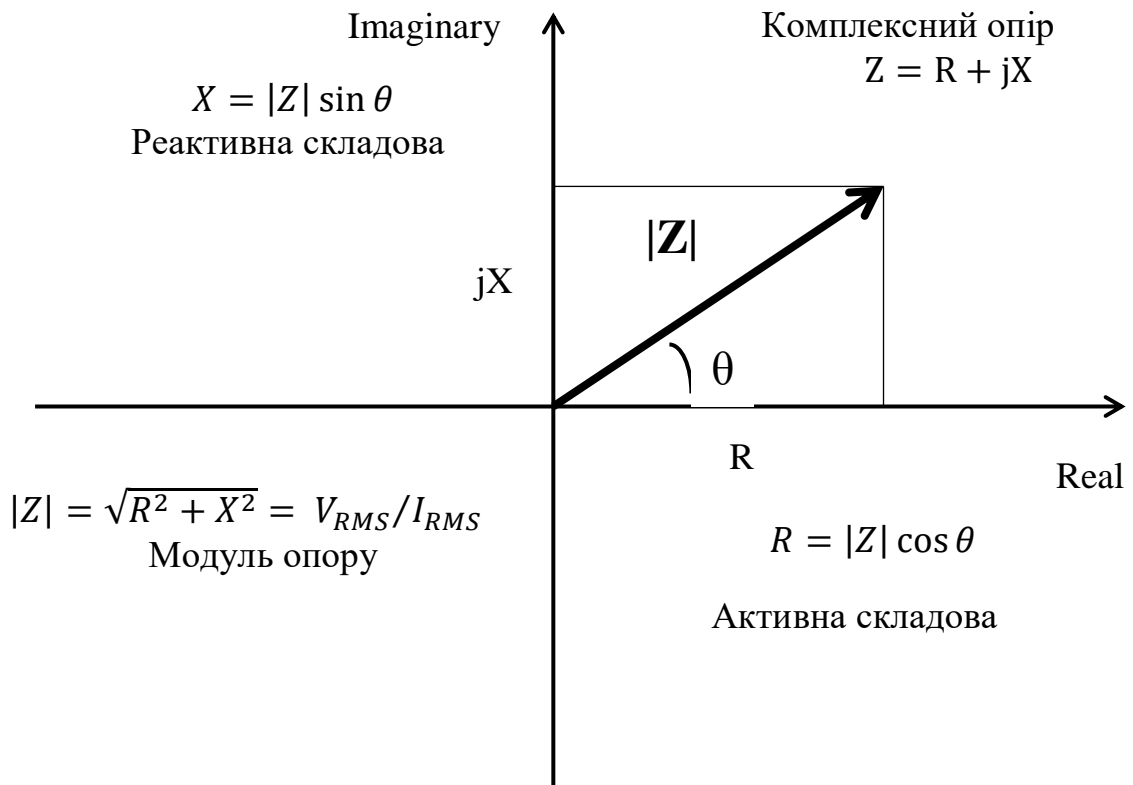


Рис. 4.12. Трикутник імпедансу.

Однак фактичний розрахунок імітансу залежить від резистивних і реактивних компонентів (конденсаторів та / або індукторів) в колі. Реактивні компоненти призводять до фазового зсуву (до 90 градусів) між сигналами напруги і струму. Це явище представлено трьома різними представленнями імітансу: активної складової, модуля та реактивної складової. Ці три складові мають фазові зв'язки, які можна візуалізувати в трикутнику імітансу, показаному на рис. 4.12 [59].

#### 4.2.1. Вимірювання імітансу через комплексну потужність

Насправді існують два різні способи, які використовують для вимірювання активної складової імпедансу. Перший спосіб полягає в тому, щоб взяти середнє значення по часу миттєвого добутку напруги і струму для розрахунку активної потужності і потім поділити його на квадрат діючого значення струму. Іншим способом є використання кута імпедансу, зображеного у трикутнику імітансу. Косинус кута імпедансу, прямопропорційний активному опору в колі, називається коефіцієнтом імпедансу.

Реактивні компоненти зумовлюють зсув фази (до 90 градусів) між напругою та струмом. Сигнали струму і напруги мають фазовий зсув у діапазоні 0 і 90 градусами. Щоб виміряти реактивну складову, потрібні такі можливості: можливість отримання сигналу напруги та струму; одночасне отримання обох вимірювальних сигналів; обидва вимірювальні прилади повинні приймати сигнали одночасно. Програмно-апаратна платформа LabVIEW включає в себе низку віртуальних пристроїв, які працюють з апаратними пристроями DAQ. Для однофазної схеми, сигнали напруги і струму мають наступні вирази:

$$u(t) = U\sqrt{2} \sin \omega t \quad (4.1)$$

$$i(t) = I\sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi) \quad (4.2)$$

Співвідношення - активна потужність відносно квадрату діючого значення струму [10]:

$$R = \frac{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} u(t) \cdot i(t) dt}{I^2} \quad (4.3)$$

Ця операція обчислення вказаного співвідношення вимагає виконання двох операцій, а саме помножити миттєві значення струму і напруги; обчислити і привести результат опосередкованого вимірювання та поділити його на значення квадрату діючого значення струму. Модуль комплексного опору,  $|Z|$ , який визначається як ділення середньоквадратичних (діючих) значень напруги і струму, отримують за співвідношенням [10]:

$$|Z| = U_d / I_d \quad (4.4)$$

З урахуванням цих зв'язків визначені два вимірювальні контакти: один - для напруги та другий - для струму.

Для обчислення середньоквадратичних значень напруги і струму використано віртуальні інструменти, які знаходяться в субпалітрі функцій «VI Express» Аналіз сигналу, шляхом ділення середньоквадратичних значень напруги і струму отримується модуль імпедансу  $Z$  (рис. 4.13).

Шляхом множення миттєвих значень напруги і струму і проходження через фільтр низьких частот (Express Filter VI), отримуємо активну потужність, а далі активну складову  $R$  (рис. 4.14).

Реактивна складова визначається співвідношенням:

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (4.5)$$

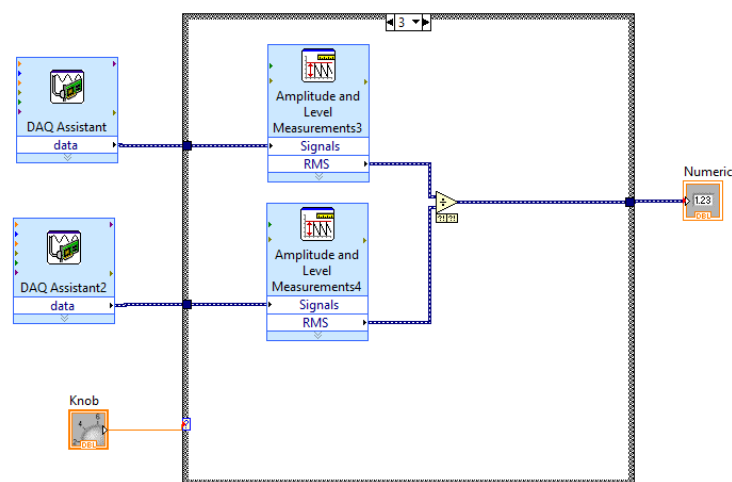


Рис. 4.13. Блок-діаграма для розрахунку модуля імпедансу  $Z$

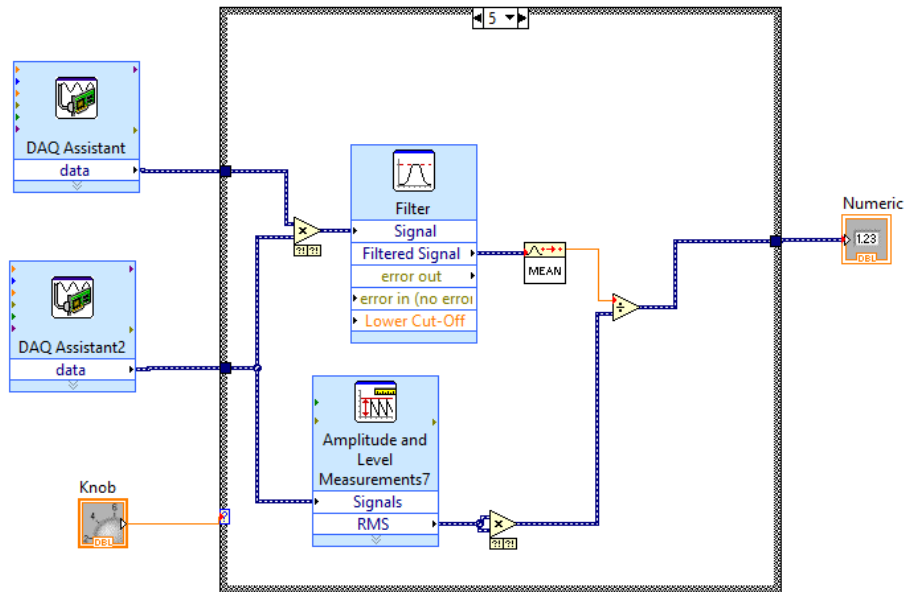


Рис. 4.14. Блок-діаграма для розрахунку активної складової імпедансу  $Z$ .

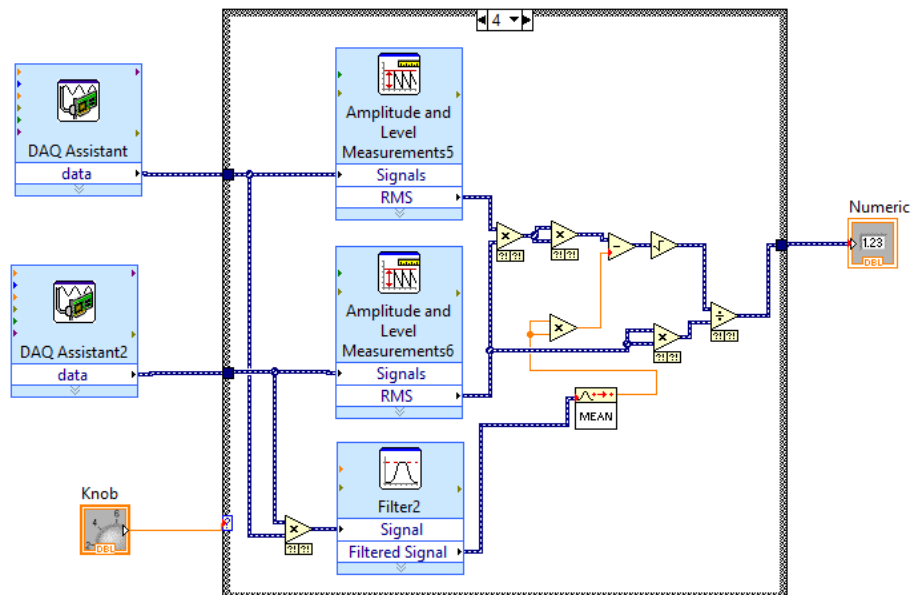


Рис. 4.15. Блок-діаграма для розрахунку реактивної складової імпедансу.  
У приладі (рис. 4.14-4.15) використано:

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



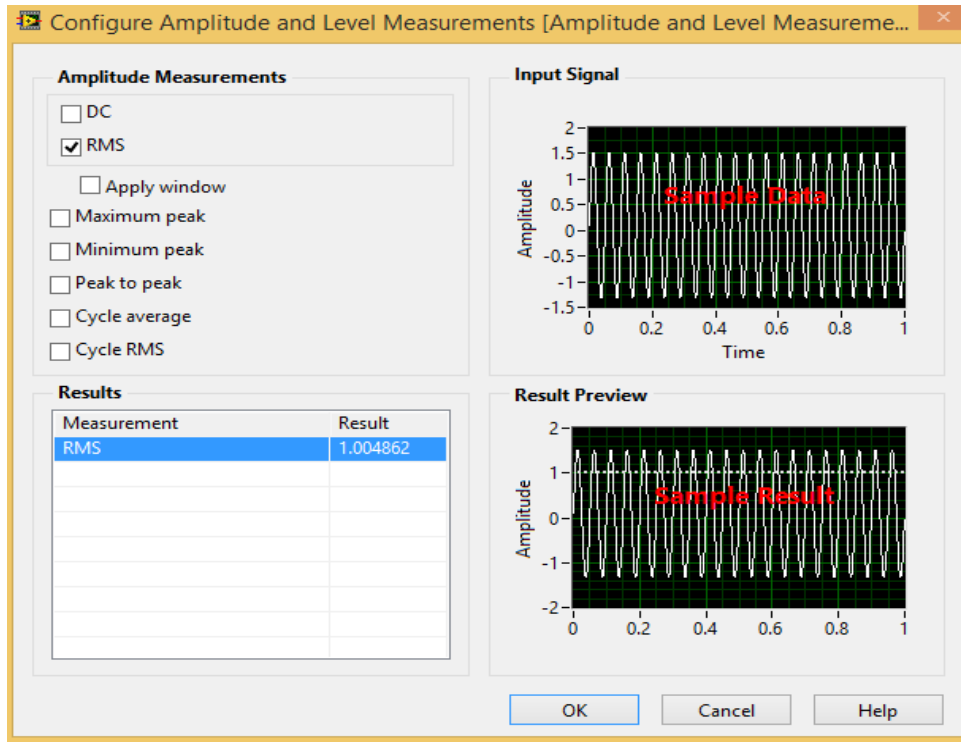


Рис. 4.16. Вікно налаштування амплітудних вимірювань

Даний аналіз вимірювальних значень напруги та струму використовується для розрахунку модуля адмітансу. У цьому вікні вибрано опцію СКЗ (RMS). На виході отримано середньоквадратичне значення сигналу напруги або струму.

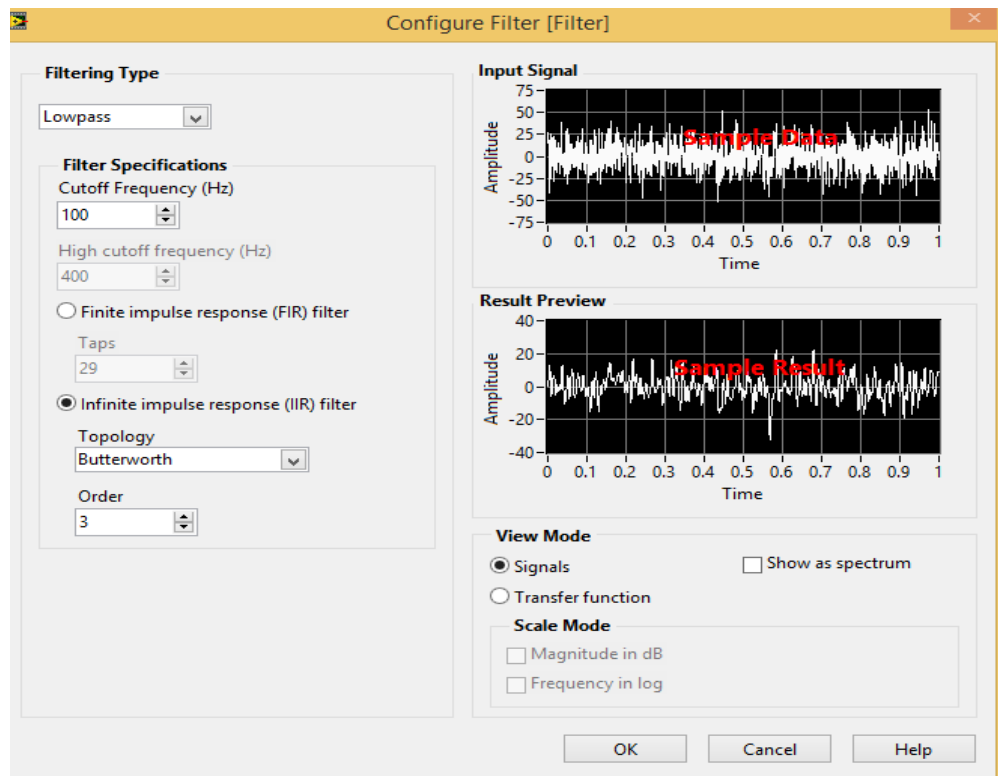


Рис. 4.17. Вікно налаштування електричного фільтра

Конструкція віртуального фільтра у складі: фільтр, вимірювач СКЗ та середнього значення на виході фільтра, використовується для розрахунку активної складової імпедансу. У вікні можна вибрати налаштування фільтра, діапазон робочої частоти тощо.

#### 4.2.2. Обчислення імітансу за допомогою рівняння Ейлера

Для представлення сигналів напруги та струму комплексними значеннями використаємо закони електротехніки [10]. Так, змінні напруга або струм:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i), \quad (4.6)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \quad (4.7)$$

виглядають наступним чином:

$$i = I_m \cos(\omega t + \psi_i) + j \cdot I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (4.8)$$

$$\dot{u} = U_m \cos(\omega t + \psi_u) + j \cdot U_m \sin(\omega t + \psi_u) \quad (4.9)$$

Використовуючи рівняння Ейлера:

$$i = I_m e^{j(\omega t + \psi_i)} \quad (4.10)$$

$$\dot{u} = U_m e^{j(\omega t + \psi_u)}, \quad (4.11)$$

запишемо імпеданс об'єкту вимірювання:

$$\bar{Z} = \frac{U_m e^{j(\omega t + \psi_u)}}{I_m e^{j(\omega t + \psi_i)}} \quad (4.12)$$

Отже, для вимірювання імпедансу необхідно виміряти амплітуди і фази сигналів напруги та струму [10].

У створюваному приладі (рис. 4.19) 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

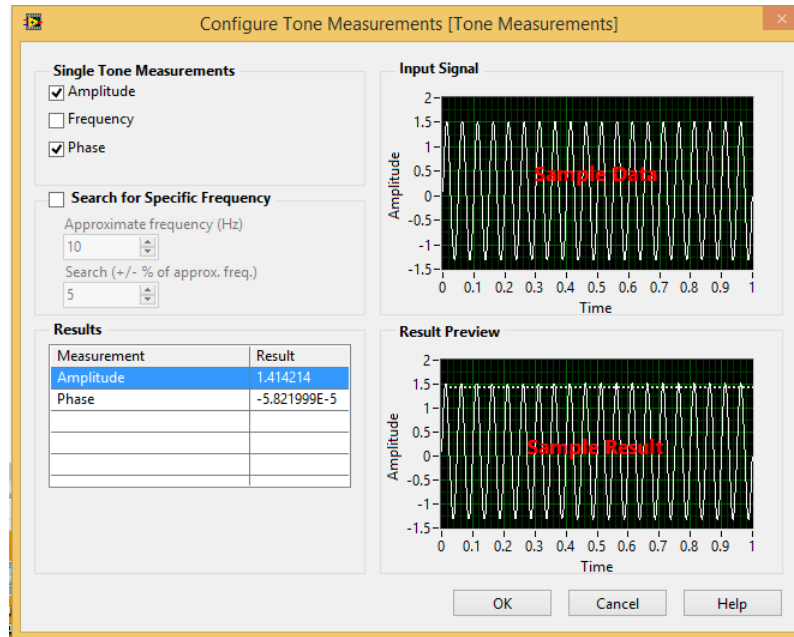


Рис. 4.18. Вікно налаштування вимірювання амплітуди та фази вимірювальних сигналів напруги та струму

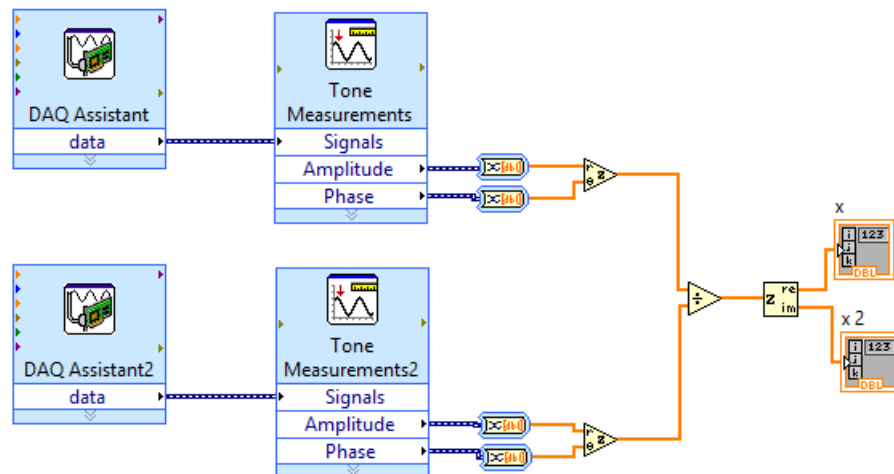


Рис. 4.19. Програма вимірювання імпедансу згідно рівняння Ейлера

#### 4.2.3. Використання перетворення Фур'є для вимірювання імпедансу

Нехай функція  $f(t)$  дійсної змінної  $t \in [-\pi, \pi]$  відповідає умовам Діріхле, визначена, неперервна і кусково-монотонна на вказаному проміжку. Дану функцію можна розбити на окремі частини, у кожній з яких функція монотонно зростатиме або спадатиме. У такому випадку функцію можна розкласти у ряд Фур'є [59, 146].

Позначимо період функції через  $T$ , а основну частоту

$$\omega_0 = 2\pi/T \quad (4.13)$$

Ряд Фур'є можна записати у двох формах. Перша форма запису:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot t + \Psi_k) \quad (4.14)$$

Друга форма запису:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cdot \cos(k \cdot \omega_0 \cdot t) + b_k \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot t) \quad (4.15)$$

де  $A_0$  – стала складова ряду;  $A_k$  – амплітуда  $k$ -ї гармоніки ряду;  $\Psi_k$  – початкова фаза  $k$ -ї гармоніки;  $a_k = A_k \cos(\Psi_k)$ ;  $b_k = A_k \sin(\Psi_k)$ .

Коефіцієнти ряду Фур'є розраховуються за формулами:

$$A_0 = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T f(t) dt \quad (4.16)$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T f(t) dt \quad (4.17)$$

$$a_k = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot \cos(k \cdot \omega_0 \cdot t) dt \quad (4.18)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot \sin(k \cdot \omega_0 \cdot t) dt \quad (4.19)$$

де  $k=0,1,\dots$ . Використавши рівняння Ейлера, отримуємо перетворення Фур'є в експоненційній формі:

$$f(t) = \sum_{k=0}^{\infty} C_k \cdot e^{i \cdot k \cdot \omega_0 \cdot t} \quad (4.20)$$

$$C_k = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot e^{-i \cdot k \cdot \omega_0 \cdot t} dt \quad (4.21)$$

Для вимірювання імпедансу використовуємо першу гармоніку сигналів напруги та струму.

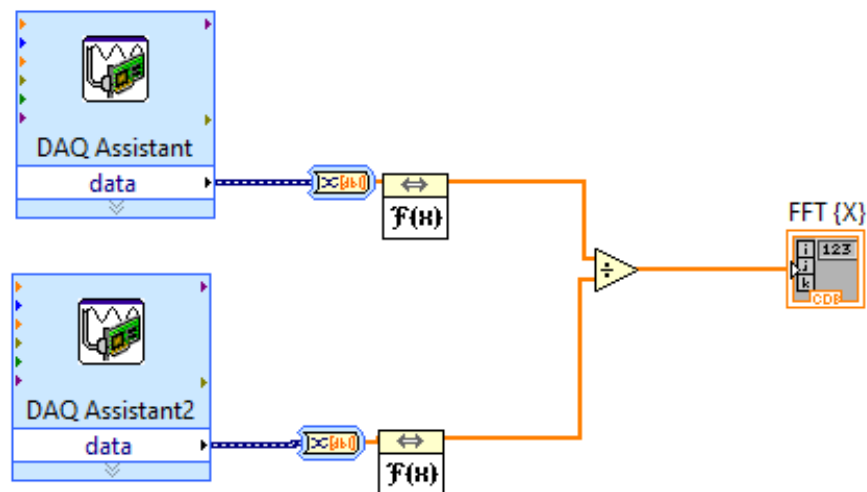


Рис. 4.20. Програма вимірювання імпедансу з використанням швидкого перетворення Фур'є

У приладі (рис. 4.20) 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

#### **Висновки до розділу 4.**

1. Для імітансного контролю показників якості овочевого соку запропоновано, розроблено і реалізовано віртуальний засіб вимірювання на основі апаратно-програмної платформи LabVIEW та сумісного з нею блоку NI USB 6009.
2. 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.
3. Зчитування та опрацювання комплексних складових імітансу здійснено 3-ма способами:
  - За допомогою рівняння Ейлера;
  - 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 i mean). При цьому, реактивну складову імітансу обчислено алгебраїчно:
  - за допомогою швидкого перетворення Фур'є.
4. Розроблено структуру, яка дозволяє перемикає на потрібний вид вимірювання, на основі зафіксованих миттєвих значень напруги та струму кондуктометричної комірки, тобто на вимірюваннях СКЗ напруги,

вимірюваннях СКЗ струму, вимірюваннях модулю, вимірюваннях активної та реактивної складових.

5. Віртуальний прилад у складі: ПК з програмним забезпеченням LabVIEW, блоку NI USB 6009 та кондуктометричної комірки з соком вжито для визначення вмісту важких металів у цьому соці Це дало змогу проводити експрес-аналіз соку на вміст мінеральних речовин за електричними параметрами. Тим самим, у виробничих умовах при незначних витратах можна оперативно контролювати якість овочів, з яких отримують досліджуваний сік.

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено сукупність показників якості овочів, проведено їх систематизацію, введено пріоритетність вимог, що дало змогу сформувавши 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 кондуктометричний 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  $\rightarrow$  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.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии). – М.: Экономика, 1982. – 256 с.
2. Андреев, В. С. Кондуктометрические методы и приборы в биологии и медицине [Текст] / В. С. Андреев. – М.: Медицина, 1973. – 335 с.
3. Андрейцев В.І. Екологічне право. – К.: Вентурі, 1996. – 411с.
4. Атабеков Г.И. Основы теории цепей: учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – М.: Энергия, 1969. – 434с.
5. Бадевич З. Математическая оптимизация в социалистическом сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1982. – 549с.
6. Бакушинский А.Б. Гончарский А.В. Итерационные методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1989. – 128с.
7. Барабаш О. Ю. Овочівництво: підручник /О. Ю. Барабаш.– К.: Вища школа, 1994. – 374 с.
8. Батюк А.Є., Дзуліт З.П., Обельовська К.М., Огородник І.М., Фабрі Л.П. Інформаційні системи в менеджменті. Навчальний посібник. – Львів: «Інтелект-Захід» 2004. - 520с.
9. Бергстром А. Построение и применение математических моделей. – М.: Прогресс, 1970. – 176с.
10. Бобало Ю.Я. та ін. Основы теорії електронних кіл: Підручник (друге видання: доопрацьоване і доповнене) / Ю.Я. Бобало, Б.А. Мандзій, П.Г. Стахів, Л.Д. Писаренко, Ю.І. Якименко; За ред. проф. Ю.І. Якименка. – Київ: Видавництво Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, 2011. – 332 с..
11. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу електронних кіл: навч. Посібник / Ю.Я. Бобало, Р.І. Желяк, М.Д. Кіселичник, З.О. Колодій, Б.А. Мандзій, В.М. Якубенко; за ред. Д-ра техн. Наук, проф. Ю.Я. Бобала та д-ра техн. Наук, проф. Б.А. Мандзія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 320 с.



12. Бобер А.В. Зміна якості зерна ячменю залежно від умов та тривалості зберігання [Електронний ресурс] / А.В. Бобер, А.В. Скебало. – Наукові доповіді НУБіП – 2010-5(21). – режим доступу : <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2010-5/10bavcds.pdf>
13. Бубела Т.З. Побудова національної системи оцінювання якості / Т.З. Бубела // Харків, Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал. – 2013. – №1(80). – с.49-53.
14. Бубела Т.З. Методи та засоби визначення показників якості продукції: навч. посібник / Т.З. Бубела, П.Г. Столярчук, Е.В. Походило, М.С. Міхалева, В.М. Ванько. – Львів: Вид-во Львівської Політехніки, 2012. – 292с.
15. Бубела Т.З. Фізико-хімічні вимірювання. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. – 150с.
16. Бубела Т.З., Бойко Т.Г., Походило Є.В., Столярчук П.Г. Метод визначення параметрів вагомості показників якості продукції // Методи та прилади контролю якості. – 2007. – № 18. – С. 76-79.
17. Бубела Т.З., Столярчук П.Г. Дослідження контактних первинних перетворювачів для контролю водних розчинів // Методи та прилади контролю якості. – 2010. - № 24. – С. 35-40.
18. Бухгольц В.П. Емкостные преобразователи в системах автоматического контроля и управления / В.П. Бухгольц, Є.Г. Тисович. – М.: Энергия, 1972. – 80с.
19. Васильев В.А. Теоретические основы физико-химических методов анализа. – М.: Висш. шк., 1989. – 320с.
20. Величко О.М., Коцюба А.М., Новіков В.М. Основи метрологія та метрологічна діяльність: Ч. 1: навч. Посіб. – К.: Вид-во Нора-прінт, 2000. – 228с.
21. Виглеб Г. Датчики: пер. с нем. / Г. Виглеб. – М.: Мир, 1989. – 196 с.
22. Володарський Є.Т., Кухарук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 420с.

- 23.Вороніна, Л. М. Біологічна хімія [Текст] / Л. М. Вороніна, В. Ф. Десенко, Н. М. Мадієвська та ін. – Харків: Основа, Видавництво НФАУ, 2000. – 608 с. ISBN 966-615-053-0.
- 24.Воронков О.Г. Уровень качества продукции как объект оптимизации: Препр./ Воронков О.Г. - АН УССР, Ин-т кібернетики им. В.М. Глушкова – К.: 1988. – 14с. - (Препринт / АН УССР, Ин-т кібернетики им. В.М. Глушкова; 1988).
- 25.Гаврилюк М.А. Электронные измерители CLR /М.А.Гаврилюк, Е.П.Соголовский. – Львов: Вища школа, 1978. – 134с.
- 26.Генгало О.М. Позакореневе підживлення водорозчинними добривами з мікроелементами як спосіб оптимізації умов живлення пшениці озимої [Електронний ресурс] / О.М. Генгало, С.Д. Павлюк, А.А. Чумак, В.М. Кіщак - Наукові доповіді НУБіП – 2010-2(18) – режим доступу [:http://www.nbuuv.gov.ua/e-journals/Nd/2010-2/10gom.pdf](http://www.nbuuv.gov.ua/e-journals/Nd/2010-2/10gom.pdf)
- 27.Герасим М. Р. Математичне моделювання складових адмітансу контактних первинних перетворювачів / М. Р. Герасим, Є.В. Походило// Комп'ютерні науки та інформаційні технології: міжвідомчий науково-технічний збірник / Національний університет "Львівська політехніка"; відповідальний редактор Ю. М. Рашкевич. - Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – №751. – С. 193-198.
- 28.Головко Д.Б. Методи та засоби частотно-дисперсійного аналізу речовин та матеріалів: фізичні основи/ Д.Б.Головко, Ю.О.Скрипник. – К.: ФАДА, ЛТД, 2000. – 200с.
- 29.Головенко Т. Олійний льон: створення системи прогнозування властивостей волокон / Т. Головенко, Г. Тихосова, Л. Чурсіна // Харків, Стандартизація, сертифікація,якість. Науково-технічний журнал.– 2012. – №2(75). – с.55-59.

30. Грищенко Ф. Європейська система харчових продуктів. Історія створення / Ф. Грищенко // Харків, Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал.– 2013. – №1(80). – С.40-43.
31. Дамаскин Б. Б. Электрохимия/ Петрий О. А., Цирлина Г. А. – 2–е изд., испр. и перераб. — М.: Химия, Колос, 2006.—672 с
32. Должанський А. Метод максимізації комплексного показника якості об'єкта шляхом оптимізації керуючих дій / А. Должанський, О. Бондаренко // Харків, Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал.– 2012. – №4(79). – С.50-56.
33. Древаль О.Ю. Проблеми регулювання безпеки харчових продуктів у контексті екологічної національної політики України [Електронний ресурс] / О.Ю. Древаль, О.О. Павленко - Механізм регулювання економіки - 2009, № 2 с.19-23 – режим доступу [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/Soc\\_Gum/Mre/2009-2/1.1.2.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/Soc_Gum/Mre/2009-2/1.1.2.pdf)
34. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення.
35. [ДСТУ ISO 3634:2004](#) Продукти овочеві. Визначання вмісту хлоридів (контрольний метод) (ISO 3634:1979, IDT),
36. [ДСТУ ISO 6634:2004](#) Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Визначення вмісту миш'яку спектрометричним методом із застосуванням діетилдитіокарбамату (ISO 6634:1982, IDT),
37. [ДСТУ ISO 6635:2004](#) Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Визначення вмісту нітратів та нітритів спектрометричним методом молекулярної абсорбції (ISO 6635:1984, IDT),
38. [ДСТУ ISO 6636-2:2004](#) Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Визначення вмісту цинку. Спектрометричний метод атомної абсорбції (ISO 6636-2:1981, IDT),
39. [ДСТУ ISO 7466-2001](#) Продукти перероблення фруктів і овочів. Визначення вмісту оксиметилфурфуролу (ОМФ) (ISO 7466:1986, IDT),

40. [ДСТУ ISO 7952:2004](#) Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Визначення вмісту міді спектрометричним методом полуменевої атомної абсорбції (ISO 7952:1994, IDT),
41. [ДСТУ EN 12014-2-2001](#) Продукти харчові. Визначання вмісту нітрату і/або нітриту. Метод високоефективної рідинної хроматографії/іонообмінної високоефективної рідинної хроматографії для визначання вмісту нітрату в овочах та овочевих продуктах (EN 12014-2:1997, IDT)).
42. Евтихнеев Н.Н., Купершмидт Я.А. и др. Измерения электрических и неэлектрических величин. – М.: Энергоиздат, 1990. – 352с.
43. Электрические измерения неэлектрических величин / А.М. Туричин М.: - Л., 1954. – 290с.
44. Епштейн С.Л. Измерение характеристик конденсаторов / С.Л. Епштейн. – Л: Энергия, 1971. - 220с.
45. Ермольев Ю.М. и др. Математические методы исследования операций. – К.: Вища школа, 1979. – 312с.
46. Євлаш В.В. Експрес-методи дослідження безпечності та якості харчових продуктів [Електронний ресурс]: навч. посібник / В.В. Євлаш, С.О. Самойленко, Н.О. Отрошко, І.А. Буряк. – Х.: ХДУХТ, 2016. – 335с.
47. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. – В сб. «Математика сегодня». – М.: Знание, 1974. – С. 5-49.
48. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165с.
49. Зайченко Ю.П. Исследование операций. – К.: Вища школа, 1988. – 302с.
50. Закон України «Про безпечність та якість харчових продуктів» від 23.12.1997 №771/97-ВР [Електронний ресурс]// Офіційний веб-портал Верховної Ради України. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80>.
51. Засоби вимірювання автоматичного зрівноважування / за ред. П.М.Таланчука. – К.: Либідь, 1994. – 288с.

52. Законодательно-нормативные акты Европейского Союза (ЕС) в отношении пищевой промышленности [http://www.icc-iso.ru/upload/information\\_system\\_27/6/1/0/item\\_610/](http://www.icc-iso.ru/upload/information_system_27/6/1/0/item_610/Zakonodatelno_normat_akty_ES.pdf)  
Zakonodatelno\_normat\_akty\_ES.pdf
53. Измерения в LabVIEW Руководство по применению 2000-2003 National Instruments Corporation
54. Кісель С. Порівняння національної законодавчої бази України та Європейського Союзу щодо безпечності харчової продукції / С. Кісель // Харків, Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал.– 2012. – №4(79). – С.57-60.
55. Класифікація нормативного документа за ДК 004-2008/ ДП «УкрНДНЦ» [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://www.ukrndnc.org.ua/index.php?option=com\\_ushop&Itemid=69&grp=920&pgrp=925&lstdssu=928](http://www.ukrndnc.org.ua/index.php?option=com_ushop&Itemid=69&grp=920&pgrp=925&lstdssu=928)
56. Кнеллер В.Ю. Автоматическое измерение составляющих комплексного сопротивления / В.Ю. Кнеллер. – М. – Л.: Энергия, 1967. – 367с.
57. Кнеллер В.Ю. Определение параметров многоэлементных двухполюсников / В.Ю. Кнеллер, Л.Б. Боровских. – М.: Энергостройиздат, 1986. – 144с.
58. Комплексная оценка качества промышленной продукции / Под ред. А.В. Гличева. – М.: Экономика, 1975. – 183с.
59. Костробій П.П. Елементи теорії комплексної змінної. Інтегральні перетворення Фур'є і Лапласа. Збірник задач і вправ: підручник / П.П. Костробій, Д.В. Уханська, Т.М. Сало, О.М. Уханська, Б.М. Маркович. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 200 с.
60. Кравчук С.О., Шохін В.О. Основи комп'ютерної техніки. – К.: Політехніка, 2005. – 344с.
61. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы. – М.: Машиностроение, 1966. – 500с.

62. Куць В.Р. Кваліметрія: навч. посібник / В.Р. Куць, П.Г. Столярчук, В.М. Друзюк. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 256 с.
63. Литвак Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. – М.: Радио и связь, 1982. – 184с.
64. Лопатин, Б. А. Кондуктометрия [Текст] / Б. А. Лопатин. – Н.: СО АН СССР, 1964. – 182 с.
65. Матис И.Г. Электроемкостные преобразователи для неразрушающего контроля / И.Г. Матис. – Рига: Зинатне. 1982. – 243с.
66. Малишев В., Кущевська Н., Папроцька О., Жовнір М. Коливальні процеси в електричних та електронних ланцюгах. – К.: Університет «Україна», 2017. – 100 с.
67. Метод оцінки якості продукції та послуг за допомогою теорії матриць / В.М. Ванько, П.Г. Столярчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2007. – № 67. – С. 108-114.
68. Midyk I.-M. V. Lysa O. 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.
69. 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;
70. 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 «Technical Using of Measurement-2016», 1-5 лютого 2016 р., Славське. - С. 133-134;
71. 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;
- 72.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.
- 73.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;
- 74.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 «Technical Using of Measurement-2015», 2-6 лютого 2015 р., Славське. - С. 70-71;
- 75.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;
- 76.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;
- 77.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;
- 78.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;
- 79.Мідик І.-М..В. Проблемні аспекти оцінки якості сільськогосподарської продукції / І.-М..В. Мідик, О.В. Лиса // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Вимірювальна техніка та метрологія”. - 2014. - № 75. - С. 60-63;
- 80.Мідик І.-М.В. Лиса О.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.
- 81.Мідик І.-М.В. Лиса О.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.
- 82.Мідик І.-М.В. Лиса О.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.
- 83.Мідик І.-М.В. Лиса О.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. - с. 170-171.
- 84.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.
- 85.Мідик І.-М.В., Яцишин С.П., Лиса О.В. Розробка приладу для вимірювання іммітансу 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.
- 86.Міхалєва, М. С. Результати експериментальних досліджень модельних водних розчинів новим електричним імпедансним методом [Текст] / М. С. Міхалєва // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія Автоматика, вимірювання та керування. – 2010. – № 665. – С. 169–173.
- 87.Мотало В.П. Аналіз і дослідження основних проблем розвитку теорії міри якості продукції / В.П. Мотало - Харків, Український метрологічний журнал №3 – 2012.
- 88.Мотало В.П. Використання методології багатовимірного шкалювання у кваліметричних вимірюваннях / В.П. Мотало - Метрологія і прилади №9 – 2012.
- 89.Національні стандарти України 67.080.20 Овочі та продукти їх переробляння [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.leonorm.com/Default.php?Page=stlist&ObjId=927&CatId=1&code=&TableNum=9>
- 90.Негойце К. Применение теории систем к проблемам управления. – М.: Мир, 1981. – 180с.

91. Органолептические методы оценок пищевых продуктов: Терминология. – М.: Наука, 1990. – 38с.
92. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 208с.
93. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
94. Основы метрологии и электрические измерения: учеб. Пособ. Для вузов / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др.; под ред. Е.М. Душина. – 6-те изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 320с.
95. Парамонова Т.Н. Экспресс-методы оценки качества продовольственных товаров. – М.: Экономика, 1988. – 111с.
96. Пасічник В.В. Організація баз даних та знань. – К.: «Пітер», 2004. 342с.
97. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. Проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544с.
98. Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, Б.І. Стадник, О.В. Івахів, Т.Г. Бойко, А. Ковальчик: Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: Підручник / За ред. Проф. Є.С. Поліщука – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008. – 618с.
99. Посудін Ю.І. П63 Методи неруйнівної оцінки якості та безпеки сільськогосподарських і харчових продуктів: Навчальний посібник. - К.: Арістей, 2005. - 408 с ISBN 966-8458-61-36
100. Походило Є. Контроль якості питної води за електричними параметрами / Є. Походило, О. Гонсьор // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2008. - № 68. – С. 237-242.
101. Походило Є.В., Столярчук П.Г. Імітансний контроль якості продукції // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2002. - № 445. – С. 46-51.

102. Походило Є.В., Столярчук П.Г. Способи імітансного контролю якості. – 2003. - № 11. – С. 105-108.
103. Походило Є. В. Імітансний контроль якості [Текст]: монографія / Є. В. Походило, П. Г. Столярчук. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 164 с.
104. Почобут, В. Селен, медь и железо в организме. Влияние нехватки микроэлементов на здоровье человека [Электронный ресурс] / В. Почобут // Медицинская информационная сеть. – Режим доступа: \www/URL: [http://www.medicinform.net/human/biology/biology21\\_1.htm](http://www.medicinform.net/human/biology/biology21_1.htm)
105. Практикум по физико-химическим методам анализа / под ред. О.М. Петрухина. – М.: Химия, 1987. – 245с.
106. Профос, П. Измерение в промышленности [Текст]: справ. изд.; в 3 кн. / под. ред. П. Профоса. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – Кн. 2. – 305 с.
107. Ромоданова, В. О. Методи контролю продукції в галузі [Електронний ресурс] / В. О. Ромоданова // Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна». – Режим доступу: \www/URL: <http://vo.ukraine.edu.ua/mod/url/view.php?id=3568>
108. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: Инверсум-Винница, 1999. – 320с.
109. Сайко В.Г., Оксіюк О.Г., Дікарєв О.В. Основи цифрового оброблення сигналів в системах цифрового радіозв'язку. Частина 1. Навчальний посібник. – К.: ДУТ, 2016. – 107 с.
110. Севідова І. Вплив якості овочевої продукції на конкурентоспроможність овочівництва / І.Севідова - Вісник ЛНАУ. Економіка АПК №20(1) – 2013.- С. 302-305.
111. Сенсорный анализ // Пищевые ингредиенты – сырье и добавки. – 1999. - № 2. – С. 58-60.

112. Сирохман, І. В. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення [Текст]: навч. посіб. / І. В. Сирохман, В. М. Завгородня. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 544 с. - ISBN 978-966-364-803-3.
113. Система НАССР. Hazard Analysis and Critical Control Point – Львів: Леонорм, 2003-216с.
114. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів: ДСТУ ISO 9000:2007 – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2008. -35с. – (Державний стандарт України).
115. Ситниченко В. Тенденції якості у новому тисячолітті // Стандартизація. Сертифікація, якість. – 2000. - № 4. – С. 48-51.
116. Сыч З.Д. Критерии качества овощной продукции / З.Д. Сыч, И.А. Федосий, Г.И. Подпрятков //Післязбиральні технології доробки овочів для логістики і маркетингу [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [agromage.com/stat\\_id.php?id=20098](http://agromage.com/stat_id.php?id=20098).
117. Сявавко М., Рибицька О. Математичне моделювання за умов невизначеності. – Львів: Українські технології, 2000. – 320с.
118. Сявавко М.С. Математичне моделювання за умов невизначеності: навч. посібник / М.С.Сявавко, О.М.Рибицька. – Львів: НВФ «Українські технології», 2000. – 317 с.
119. Сявавко М.С. Основи економічної інформатики: Навч. посібник / М.С.Сявавко, Т.В.Пасічник. – Львів: «Магнолія Плюс», 2006. – 236 с.
120. Тиль Р. Электрические измерения неэлектрических величин / Р. Тиль. Пер. С нем. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 192с.
121. Тихонов А.Н., Рютин А.А., Агаян Г.М. Об устойчивом методе решения задачи линейного программирования с приближенными данными // Докл. АН СССР, 1983. – 272, № 5. – С. 1058-1063.
122. Федюкин В.К. Основы кваліметрії. – М.: Филинь, 2004. -292с.
123. Федюкин В.К., Дурнев В.Д., Лебедев В.Г. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции: учеб. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: ИИД «Филинь», Рилант, 2001. – 328с.

124. Фомин В.Н. Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация. Курс лекций / В.Н. Фомин – М.: Ассоциация «Тандем»; ЕКМОС, 2000. – 320с.
125. Форейт И. Емкостные датчики неэлектрических величин / И. Форейт. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 160с.
126. Форейт, И. Емкостные датчики неэлектрических величин [Текст] / И. Форейт. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 160 с.
127. Циба В.Т. Основы теорії кваліметрії: навч. Посіб. – К.: Рута, 1997. – 167с.
128. Чернецов В.И. Принципы построения одноканальных преобразователей параметров датчиков / В.И. Чернецов // Цифровая информационно-измерительная техника. Пенз. политехн. ин-т. –1984. – Вып. 14.- С.29-32.
129. Шишкин И.Ф. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества: учеб. Пособ. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 320с.
130. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення: ДСТУ 2925-94. - [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 27с. – (Державний стандарт України).
131. Bard A.J., Faulkner L.R. Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications. N.Y.: Wiley, 2001.
132. Hans-Peter Halvorsen Data Acquisition in LabVIEW N-3918 Porsgrunn, Norway Telemark University College [https://www.academia.edu/25303149/Data\\_Acquisition\\_in\\_LabVIEW](https://www.academia.edu/25303149/Data_Acquisition_in_LabVIEW)
133. Ihor Midyk, Olga Lysa Development of 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
134. Ivakhiv, O. Production Quality Testing with Immitance Sensors Using Instrumentation [Text]: materialy konferencijne /O. Ivakhiv, Ye. Pokhodylo, P. Stolyarchuk // VII Konferencja naukowa «Czujniki optoelektroniczne i

- elektroniczne»(COE'2002), 5-8 czerwca 2002. – Rzeszow, 2002. – Vol. 2. – P. 297–300.
135. ISO 22000:2005 Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain (Системи управління безпечністю харчових продуктів – Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга) [Електронний ресурс] – Режим доступу : [www.iso.org/iso/ru/catalogue\\_detail?csnumber=35466](http://www.iso.org/iso/ru/catalogue_detail?csnumber=35466).
136. Kilcast D. (Ed.) Instrumental assessment of food sensory quality: A practical guide Woodhead Publishing Limited / D. (Ed.) Kilcast.- 2013. - 656 p.
137. [LabVIEW Help](#)
138. Majewski, J. Zastosowanie sensorów pojemnościowych do szybkiej kontroli parametrów roztworów wieloskładnikowych[Text] / J. Majewski, P. Malacziwskyj, V. Yatsuk, P. Stolyarczuk, M. Michalewa // PrzeglądElektrotechniczny. – 2010. – № 10. – P. 92–95.
139. Mazur A. Influence of the pre-dam reservoir on the quality of surface waters supplying reservoir „nielisz” / A. Mazur // TeKa Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr. – OL PAN– Lublin, 2010, Tom 7, C. 243–250.
140. Muhammad Aamir Predicting the Quality of Pasteurized Vegetables Using Kinetic Models: A Review Article International Journal of Food Science Volume / Aamir Muhammad, Ovissipour Mahmoudreza, S. Sablani Shyam, Rasco Barbara, 2013.- Article ID 271271ю- 29 pages. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/271271>.
141. Михальська О.М. Вплив систем удобрення на вміст нітратів в овочевих культурах [Elektronny resurs] / О.М. Михальська, О.С. Гавриленко. – Наукові доповіді НУБіП – 2011-7(29). – режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011-7/11mom.pdf>
142. Pohodylo, E. PC-based devices for immittance control of multidimensional objects [Text] / E. Pohodylo, P. Stolyarchuk, M. Chyrka // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2002. – Vol. 51, № 5. – P. 1133–1136. doi:[10.1109/tim.2002.806014](https://doi.org/10.1109/tim.2002.806014)

143. Rommelfanger H. Fuzzy Decisions Support-Systeme. Entscheiden bei Unschärfe-Springer-Verlag, 1996. – 309 p.
144. Stolyarchuk, P. Multicomponent Liquids' Research [Text] / P. Stolyarchuk, M. Mikhalieva, V. Yatsuk, Ye. Pokhodylo, O. Basalkevych // Sensors & Transducers Journal. – 2013. – Vol. 148, № 1. – P. 95–99.
145. Stolyarcuk, P. Electric Sensors for Express-Method Checking of Liquid Quality Level Monitoring [Text] / P. Stolyarcuk, V. Yatsuk, Y. Pokhodylo, M. Mikhalieva, T. Boyko, O. Basalkevych // Sensors & Transducers Journal. – 2010. – Vol. 8, № 2. – P. 88–98.
146. Trigub Roald M., Belinsky Eduard S. Fourier Analysis and Approximation of Functions, Dordrecht – Boston – London: Kluwer Academic Publishers, 2004, , УМ. Друк. Арк. 36,56.
147. Wojtyńska A. Periphyton community composition and water quality in rusalka lake inflows and outflow / A. Wojtyńska, R. Dondajewska, R. Goldyn // Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr. – OL PAN – Lublin, 2008. – Tom 5 A. 2008, - C. 164–169.
148. Zaden L.A., Bellman R.E. Decision-making in a fuzzy environment // Managem. Sci, 1970, 17. – P. 141-164.
149. [http://www.iso.org/iso/ru/products/standards/catalogue\\_ics\\_browse.htm?ICS1=67&ICS2=080&ICS3=20&](http://www.iso.org/iso/ru/products/standards/catalogue_ics_browse.htm?ICS1=67&ICS2=080&ICS3=20&)
150. [http://www.ukrndnc.org.ua/index.php?option=com\\_usshop&Itemid=69&grp=920&pgrp=925&lstdssu=928](http://www.ukrndnc.org.ua/index.php?option=com_usshop&Itemid=69&grp=920&pgrp=925&lstdssu=928)
151. <http://www.leonorm.com/Default.php?Page=stlist&ObjId=927&CatId=1&code=&TableNum=9>
152. <https://metrologia.nethouse.ru/products/333416>
153. [https://chemtest.com.ua/standartnye\\_obrazcy\\_sostava\\_rastvorov\\_ionov\\_metallor\\_i\\_nemetallov\\_dlya\\_metrologicheskogo\\_obespecheniya\\_spektroskopicheskix\\_i\\_elektrohimicheskix\\_metodov\\_analiza](https://chemtest.com.ua/standartnye_obrazcy_sostava_rastvorov_ionov_metallor_i_nemetallov_dlya_metrologicheskogo_obespecheniya_spektroskopicheskix_i_elektrohimicheskix_metodov_analiza)
154. LabVIEW Help

## **ДОДАТКИ**



## Додаток А

Порівняння європейських стандартів категорії 67.080.20 з українськими стандартами

Європейські стандарти	Українські стандарти	Стан відповідності
EN 12014-2:1997	ДСТУ EN 12014-2:2001 (EN 12014-2:1997, IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
EN 12014-5:1997	-	-
EN 12014-7:1998	<a href="#">ДСТУ EN 12014-7:2014</a> (EN 12014-7:1998, IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
EN 12393-1:2008	ДСТУ EN 12393-1:2003 (EN 12393-1:1998, IDT)	гармонізовано із застарілим
EN 12393-2:2008	ДСТУ EN 12393-2:2003 (EN 12393-2:1998, IDT)	гармонізовано із застарілим
EN 12393-3:2008	ДСТУ EN 12393-3:2003 (EN 12393-2:1998, IDT)	гармонізовано із застарілим
EN 12955:1999	ДСТУ EN 12955:2001 (EN 12955:1999, IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
EN 14177:2003	-	-
EN 14333-1:2008	-	-
EN 14333-2:2008	-	-
EN 14333-2:2008	-	-
EN 15054:2006	-	-
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-03:2003</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-03:2007</a> (ЕЭК ООН FFV-03:2003, IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-04:1999</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-04:2007</a> (ЕЭК ООН FFV-04:1999, IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-05:1998</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-05:2007</a> (ЕЭК ООН FFV-05:1998, IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-06:2001</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-06:2007</a> (ЕЭК ООН FFV-06:2001, IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-09:2000</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-09:2007</a> (ЕЭК ООН FFV-09:2000, IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-10:1998</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-10:2007</a> (ЕЭК ООН FFV-10:1998, IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний

<a href="#">ЕЭК ООН FFV-18:2003</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-18:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-18:1998</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-21:2002</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-21:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-21:2002</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-22:2001</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-22:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-22:2001</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-23:2002</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-23:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-23:2002</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-25:2003</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-25:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-25:2003</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-27:2000</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-27:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-27:2000</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-28:2001</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-28:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-28:2001</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-30:2001</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-30:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-30:2001</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-31:2001</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-31:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-31:2001</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-36:2000</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-36:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-36:2000</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-41:2003</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-41:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-41:2003</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-52:2001</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-52:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-52:2001</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-53:2004</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-53:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-53:2004</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ЕЭК ООН FFV-54:2006</a>	<a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-54:2007</a> ( <a href="#">ЕЭК ООН FFV-54:2006</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
<a href="#">ООН/ЕЭК FFV-11:2000</a>	<a href="#">ДСТУ ООН/ЕЭК FFV-25:2007</a> ( <a href="#">ООН/ЕЭК FFV-11:2000</a> , IDT)	Гармонізовано, текст ідентичний
Європейський маркетинговий стандарт на білокачанну капусту (затверджений положенням 634/2006 від 25 квітня 2006 р.)	ГОСТ 1724-85 «Капуста білокачанна свіжа для заготовлення та постачання. Технічні умови» ( введений в дію з 01.09.1986 р.)	Низький ступінь відповідності

	<i>ДСТУ 7037:2009</i>	
Європейський маркетинговий стандарт на моркву (затверджений положенням 46/2003 от 10 січня 2003 р.)	ДСТУ 286-91 «Морква столова молода свіжа. Технічні умови» (введений в дію з 01.07.1992 р.) <i>ДСТУ 7035:2009</i>	Низький ступінь відповідності
Європейський маркетинговий стандарт на цибулю (затверджений Положенням 1508/2001 від 24 липня 2001 р.)	ДСТУ 3234-95 «Цибуля ріпчаста свіжа. Технічні умови» (затверджений 01.07.1996 р.)	Низький ступінь відповідності
Європейський маркетинговий стандарт на огірки (затвердженим положенням 1977/88 від 15 липня 1998 р. та доповнений положенням 46/2003 від 10 січня 2003р.)	ДСТУ 3247-95 «Огірки свіжі. Технічні умови» від 1 січня 1997 року.	Низький ступінь відповідності
Європейський маркетинговий стандарт на помідори (затверджений Положенням 790/2000 від 14 квітня 2000 р.)	ДСТУ 3246-95 «Томати свіжі. Технічні умови» від 1 січня 1997 року.	Низький ступінь відповідності
Європейський маркетинговий стандарт на солодкий перець (затверджений Положенням 1455/1999 від 1 липня 1999 р.)	ДСТУ 2659-94 «Перець солодкий свіжий. Технічні умови» (затверджений 01.07.1995 р.).	Низький ступінь відповідності

## Додаток Б

## Основні фізико-хімічні та біологічні показники овочів

№ з/п	Показники	Нормативні документи, які характеризують значення показника
1	Масова частка вуглеводів	
2	Масова частка клітковини	
3	Масова частка білків	
4	Масова частка органічних кислот	
5	Масова частка води	
6	Енергетична цінність	
7	Вміст вітамінів (вітамін А, вітамін С, вітамін В <sub>1</sub> , вітамін В <sub>2</sub> , нікотинова кислота РР)	
8	Вміст мінеральних речовин (Na, К, Са, Mg, Р, Fe)	
9	Вміст шкідливих сполук	ДСТУ 286-91 Морква столова молода свіжа. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 7035:2009</a> Морква свіжа. Технічні умови ДСТУ 289-91 Селера коренева свіжа. Технічні умови ДСТУ 290-91 Редька літня та зимова свіжа. Технічні умови
10	Забарвлення	ДСТУ 292-91 Квасоля стручкова овочева свіжа. Технічні умови ДСТУ 293-91 Спаржа овочева свіжа. Технічні умови
11	Розмір	ДСТУ 294-91 Хрін-корінь свіжий. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 318-91</a> Кабачки свіжі. Технічні умови
12	Індекс форми	<a href="#">ДСТУ 343-91</a> Петрушка коренева свіжа. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 1915-91</a> Капуста брюссельська свіжа. Технічні умови
13	Вага на одиницю продукції	<a href="#">ДСТУ 1916-91</a> Капуста кольрабі свіжа. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 1919-91</a> Естрагон свіжий. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 1920-91</a> Хрін-листя свіжі. Технічні умови
14	Ступінь сухості, чистоти	<a href="#">ДСТУ ISO 1991-1-2002</a> Овочі. Номенклатура. Частина 1. Перший список (ISO 1991-1:1982, IDT) <a href="#">ДСТУ ISO 1991-2-2002</a> Овочі. Номенклатура. Частина 2. Другий список (ISO 1991-2:1995, IDT)
15	Ступінь свіжості	<a href="#">ДСТУ 2175-93</a> Овочі. Терміни та визначення <a href="#">ДСТУ 2177-93</a> Коренеплоди та бульбоплоди. Терміни та визначення
16	Ступінь ураження шкідниками і хворобами	<a href="#">ДСТУ 2642-94</a> Коріандр-зелень свіжий. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 2659-94</a> Перець солодкий свіжий. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 2660-94</a> Баклажани свіжі. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 3190-95</a> Гарбузи продовольчі свіжі. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 3233-95</a> Часник свіжий. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 3234-95</a> Цибуля ріпчаста свіжа. Технічні умови
17	Ступінь механічних пошкоджень	<a href="#">ДСТУ 3246-95</a> Томати свіжі. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 3247-95</a> Огірки свіжі. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 3280-95</a> Капуста цвітна свіжа. Технічні умови
18	Ступінь стиглості	<a href="#">ДСТУ 4154:2003</a> Капуста червоноголова свіжа. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 4993:2008</a> Картопля для промислового перероблення. Технічні умови
19	Смакові якості	<a href="#">ДСТУ 6009:2008</a> Редиска свіжа. Технічні умови
20	Наявність природного аромату	<a href="#">ДСТУ 6010:2008</a> Петрушка молода свіжа. Технічні умови <a href="#">ДСТУ 6011:2008</a> Цибуля зелена свіжа. Технічні умови <a href="#">ДСТУ ISO 6465:2003</a> Кмин цілий (Cuminum cyminum Linnaeus).

21	Відсутність сторонніх запахів	<p>Технічні умови (ISO 6465:1984, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ 7033:2009</a> Буряк столовий свіжий. Технічні умови</p> <p><a href="#">ДСТУ 7034:2009</a> Буряк столовий молодий свіжий з листками. Технічні умови</p> <p><a href="#">ДСТУ 7037:2009</a> Капуста білоголова свіжа. Технічні умови</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-03:2007</a> Артишок. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-03:2003, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-04:2007</a> Спаржа. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-04:1999, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-05:2007</a> Баклажани. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-05:1998, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-06:2007</a> Квасоля. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-06:2001, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-09:2007</a> Капуста головчаста. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-09:2000, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-10:2007</a> Морква. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-10:1998, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-18:2007</a> Часник. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-18:1999, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-21:2007</a> Цибуля-порій. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-21:2002, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-22:2007</a> Салат-латук кучерявий, ендівія та широколистяна ендівія (салат-ескаріолу). Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-22:2001, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-25:2007</a> Цибуля. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-25:2003, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-27:2007</a> Горох. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-27:2000, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-28:2007</a> Перець солодкий стручковий. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-28:2001, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-30:2007</a> Картопля рання. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-30:2001, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-31:2007</a> Картопля продовольча. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-31:2001, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-36:2007</a> Помідори. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-36:2000, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-41:2007</a> Кабачки. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-41:2003, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ЕЭК ООН FFV-52:2007</a> Картопля рання та продовольча. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-52:2001, IDT)</p> <p><a href="#">ДСТУ ООН/ЕЭК FFV-11:2007</a> Капуста цвітна. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ООН/ЕЭК FFV-11:2000, IDT)</p>
22	Біологічні властивості сорту	
23	Природно-кліматичні зони вирощування	

**СПОЖИВЧЕ ТОВАРИСТВО  
Підприємство «Антоній»  
Бібрського сільського споживчого товариства  
ЄДРПОУ 30651977**

*81227 Львівська область Перемишлянський район с. Суходіл*

«Затверджую»

Директор СТ Підприємство «Антоній»  
Бібрського сільського споживчого товариства



Сіняк А.С.

20 грудня 2020 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ  
результатів кандидатської дисертації  
Мідика Ігора-Михайла Володимировича у роботі СТ Підприємство  
«Антоній» Бібрського сільського споживчого товариства**

Даним актом підтверджується, що Підприємство «Антоній» реалізовано наступні результати дисертаційного дослідження здобувача НУ «Львівська політехніка» Мідика Ігора-Михайла Володимировича:

- розроблений здобувачем віртуальний засіб вимірювання на основі апаратно-програмної платформи LabVIEW та сумісного з нею блоку NI USB 6009, що дає змогу проводити експрес-аналіз соку на вміст важких металів за електричними параметрами і, як результат, оперативно контролювати якість овочів у виробничих умовах;
- діапазон частот, на яких доцільно здійснювати вимірювання для імітансного контролю показників якості овочевого соку.

Директор СТ Підприємство «Антоній»  
Бібрського сільського споживчого товариства

Сіняк А.С.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ****Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати 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.

### Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

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 «Technical Using of 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 «Technical Using of 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 іммітансу 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. - С. 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 Development of 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