

УДК 631.576.331.2:535

Н.М. ЗАЩЕПКИНА, О.А. НАКОНЕЧНИЙ

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКІСНИХ ТА КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОДНО- ТА БАГАТОПРОМЕНЕВОЇ СПЕКТРОМЕТРІЇ**

Метою роботи є аналіз методів контролю оптичних параметрів зернових культур із застосуванням засобів вимірювання спектральної яскравості зразків та їх коефіцієнтів відбиття і поглинання. Такі методи мають підвищені вимоги до швидкодії під час проведення вимірів, при забезпеченні точності і достовірності класичних фізичних, хімічних та фізико-хімічних методів контролю. Проведено аналіз вимог та технічних аспектів застосування спектрометричних методів аналізу органічних речовин із застосуванням електромагнітного випромінювання різної довжини хвиль. Визначення вказаних вище параметрів дозволяє зробити комплексний висновок про якісний та кількісний хімічний склад зерна і його сортові якості.

Ключові слова: спектрометрія, зернові культури, пшениця, кількісний аналіз, якісний аналіз, оптична щільність, коефіцієнт відбиття, коефіцієнт поглинання.

Н.М. ЗАЩЕПКИНА, А.А. НАКОНЕЧНИЙ

Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"**МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВЕННЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНО- И МНОГОЛУЧЕВОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

Целью работы является анализ методов контроля оптических параметров зерновых культур с применением средств измерения спектральной яркости образцов, а так же их коэффициентов отражения и поглощения. Такие методы имеют повышенные требования к быстродействию при проведении измерений, при обеспечении точности и достоверности классических физических, химических и физико-химических методов контроля. Проведен анализ требований и технических аспектов применения спектрометрических методов анализа органических веществ с применением электромагнитного излучения различной длины волн. Определение указанных выше параметров позволяет сделать комплексный вывод о качественном и количественном химическом составе зерна и определять его сортовые качества.

Ключевые слова: спектрометрия, зерновые культуры, пшеница, количественный анализ, качественный анализ, оптическая плотность, коэффициент отражения, коэффициент поглощения.

N.M. ZASHCHEPKINA, O.A. NAKONECHNYI

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**METHODS OF CONTROL OF QUALITY AND QUANTITATIVE INDICATORS OF GRAIN WHEAT WITH APPLICATION OF ONE AND MULTIPLE-SPECTROMETRY**

The purpose of the work is analyze the methods of controlling the optical parameters of grain crops using the means of measuring the spectral brightness of the samples and their coefficients of reflection and absorption. Such methods have increased requirements for the performance during measurements, while ensuring the accuracy and reliability of classical physical, chemical and physico-chemical methods of control. The analysis of requirements and technical aspects of application of spectrometric methods of analysis of organic substances with the use of electromagnetic radiation of different wavelengths is carried out. Determination of the above parameters allows us to make a comprehensive conclusion about the qualitative and quantitative chemical composition of the grain and its varietal qualities.

Key words: spectrometry, grain crops, wheat, source of illumination, quantitative analysis, qualitative analysis, optical density, reflection coefficient, absorption coefficient.

Постановка проблеми

В останній час, у багатьох галузях виробництва, широкого розповсюдження набули експрес-методи контролю інформативних показників об'єктів, що діагностуються. Такі методи мають підвищені вимоги до швидкодії під час проведення вимірів, при забезпеченні точності і достовірності класичних фізичних, хімічних та фізико-хімічних методів контролю. Це завдання досить актуальне для сільського господарства,

де існують державні стандарти, що регламентують сортові показники, вміст білку, жирів, вологи, клітковини та інших складових у вхідній сировині та вихідній продукції.

Розробка та впровадження сучасних методів та засобів вимірювання для швидкого оцінювання якості зернових культур та готової продукції, для оперативного контролю технологічних процесів переробки та зберігання зерна є однією з задач підвищення ефективності виробництва, виготовлення якісної продукції, безпечної для людини. Загальновідомо, що Україна входить в п'ятірку головних зернових експортерів світу. Так, як агропромисловий комплекс країни є однією з найбільших галузей економіки, що динамічно розвиваються, надійна та об'єктивна оцінка якості зерна та продуктів його переробки в даний час набула особливого значення. Гостро постає питання про створення простих універсальних та швидкісних методів і засобів вимірювання, для об'єктивної оцінки якості зерна, замість візуальних та фізико-хімічних оцінок.

Колір, розміри та конфігурація зернини являються головними сортовими ознаками більшості зернових культур. Їх враховують в стандартах при класифікації зерна на типи, підтипи. Найбільш інформативним параметром із вищевказаних є колір – ознака свіжості зерна, його якості, дотримання правил післязбиральної обробки та зберігання. Несприятливі умови вирощування зерна, його збирання та зберігання викликають потемніння або знебарвлення оболонки зерна у видимому світлі, та відповідні зміни спектральної яскравості його ділянок при дії ультрафіолетового (УФ) випромінювання і в процесах контролю із застосуванням випромінювання в ближньому інфрачервоному (БІЧ) спектрі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Якість пшениці в Україні відповідно до ДСТУ 9353-90 залежить від цілого ряду показників: запах, колір, масова частка сирової клейковини, якість клейковини, вологість, число падіння, скловидність, натура, вміст домішок, вміст пророслих зерен та ін. Визначення вказаних вище параметрів дозволяє робити комплексний висновок про якісний та кількісний хімічний склад зерна і його сортові якості. Для контролю показників існують стандартизовані методики та відповідні інструментальні засоби. Проблема полягає в тому, що більшість з них є трудомісткими, тривалими, потребують складної та багатоступінчастої пробопідготовки та обробки результатів аналізу [3, 9].

Тому перспективною є заміна класичних фізико-хімічних методів аналізу на прямі інструментальні прийоми, що є в основному відносними фізичними методами, у яких вимірювані величини, що визначаються, представляють собою електричні параметри, обумовлені, припустимо, пучками електронів, фотонів, нейтронів і іонів. Шукана концентрація сполуки або наявність компоненту певної природи, відповідно, стає таким чином функцією калібрувальної моделі обладнання. Отриманий таким чином сигнал вимірювальної інформації, може бути відображений в знаковій формі на шкалі вимірювального засобу у відносних одиницях, та придатний до подальшої обробки із застосуванням сучасної обчислювальної техніки.

Наприклад, для визначення якісних оптичних характеристик (кольору) зерна пшениці при візуальному огляді (у видимому спектрі) прийнята описова форма, наприклад, "світло-коричневий колір". Відсутність кількісних характеристик випромінювання відбитого конкретним зразком зерна пшениці у різних спектральних діапазонах, призводить до суб'єктивності визначення його оптичних показників. В такому випадку оцінка ряду важливих показників якості зерна, наприклад, типового складу, ступеня пошкодження зерна поширеними захворюваннями, ступеня знебарвлення зерна, наявності ділянок із пошкодженою оболонкою, кількості пророслих зерен (на ранніх стадіях) зазвичай відсутні. Зерно пшениці в нативному стані – надзвичайно складний об'єкт для вимірювання кольорових (колориметричних) та спектрофотометричних показників [6].

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є аналіз методів контролю оптичних параметрів зернових культур із застосуванням засобів вимірювання спектральної яскравості зразків та їх коефіцієнтів відбиття і поглинання.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано та вирішено наступні задачі:

- огляд та характеристика існуючих в даний час хімічних, фізичних та фізико-хімічних методів діагностики інформативних показників зернових культур, визначення їх переваг та недоліків;
- проведено вибір методів та засобів аналізу органічних речовин, що мають найкращі показники по відношенню затрати/отриманий результат, та відповідають вимогам експрес діагностики, із забезпеченням достатньої чутливості, селективності, та точності вимірів;
- аналіз вимог та технічних аспектів застосування спектрометричних методів аналізу органічних речовин із застосуванням електромагнітного випромінювання різної довжини хвиль, як методів, що дозволяють проводити комплексну діагностику зернових культур та відповідають вимогам експрес аналізу.

Викладення основного матеріалу дослідження

За умови правильно виконаного калібрування приладів, переваги інструментальної оптичної аналітики полягають у можливості реєструвати дуже малі (слідові) концентрації, причому з використанням порівняно невеликої кількості речовини; в швидкості проведення аналізу та забезпеченні передумов для автоматизації процесу і багаторазового використання однієї і тієї ж проби, оскільки досліджувана речовина в ході аналізу не зазнає ніяких змін.

В аналітичних дослідженнях зернової продукції, на перше місце виступає можливість проводити комплексну експрес-діагностику параметрів із залученням мінімальної кількості ресурсів і часу. Цим вимогам в повній мірі відповідають оптичні методи аналізу енергетичних і спектральних характеристик відбитого, заломленого чи послабленого зразком випромінювання, який піддається аналізу. Для об'єктивного контролю оптичних показників зерна пшениці (і зернових культур в цілому) останні десятиліття все більше використовуються спектрометричні та фотометричні методи контролю із застосуванням випромінювання різного спектрального діапазону. Спектроскопія за визначенням займається аналізом характеристичних відгуків атомів, іонів, радикалів і молекул на основі реєстрації і розшифровки їх спектрів, які одержують за допомогою різних вимірювальних пристроїв [1, 6].

Загалом спектроскопію можна поділити на атомну та молекулярну. Атомні спектри є лінійчатими. Їх поглинання і емісійне випромінювання знаходяться в області видимого і ультрафіолетового світла, оскільки різниці між зовнішніми електронними оболонками, де відбуваються відповідні переходи, якраз еквівалентні цьому діапазону частот електромагнітного випромінювання. В силу більш складної структури у молекул можливі більш різноманітні енергетичні переходи, ніж у атомів. Молекулярні спектри є смугастими. Вони утворюються в результаті того, що у молекул, на відміну від атомів, електронний перехід є єдино можливим способом зміни кількості енергії. Таким чином, кожен коливальний і, відповідно, електронний перехід складається з послідовності майже прилягаючих одна до одної ліній, які у молекулі зі складною структурою зливаються в смуги поглинання і зазвичай вже не піддаються визначенню візуально за допомогою звичайних спектрометрів.

Для перетворення спектрограми необхідна ЕОМ. Електронний спектрометр завжди сканує повний спектр, і на кожну довжину хвилі витрачається однаковий час, тому не можна сканувати швидше за рахунок пропуску тих областей спектра, які не представляють інтересу або де поглинання відсутнє. Помилковий електричний сигнал або пропущена точка може зробити помітний вплив на спектр, що проявляється у вигляді спотворення контурів смуг або втрати дозволу. Також, іноді, при інтегральному перетворенні може виникнути хибне спектральне поглинання [8].

Спектр поглинання, тобто графічний запис процесу поглинання випромінювання щодо довжини хвилі або, відповідно, частоти світла, дає інформацію щодо того, про яку саме речовину йдеться. Різні речовини, описані через формули хімічної сполуки, розрізняються своїми структурами – атомною, просторовою та електронною. Тому кожна речовина по-своєму реагує на електронне, коливальне або обертальне збудження, формуючи характерний тільки для неї спектр. Оскільки зерно є неоднорідним продуктом, як за величиною окремих зерен, так і за хімічним складом, то для різних зразків величина максимуму спектра пропускання може відрізнитися в 10-15 і більше разів (рис. 1) [9].

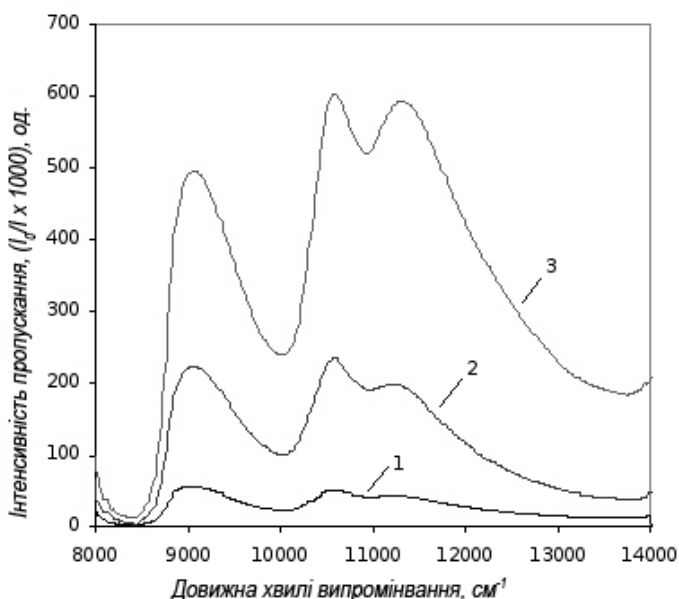


Рис. 1. Спектри пропускання зразків зерна різних сортів

В основі кількісного аналізу лежить закон Ламберта-Бера, тобто визначення оптичної щільності E при тій довжині хвилі, при якій досліджувана речовина поглинає світло. Закон Ламберта стверджує, що кількість світла, яке поглинається речовиною, не залежить від інтенсивності джерела випромінювання, а є пропорційною числу поглинаючих молекул. Тому [1]:

$$D = \log\left(\frac{1}{T}\right) = \varepsilon Cd, \tag{1}$$

де ε – коефіцієнт пропорційності, що залежить від довжини хвилі випромінювання і природи зразка;
 C – концентрація компонента що поглинає випромінювання, моль/л;
 d – товщина поглинаючого шару, см;
 T – коефіцієнт пропускання речовини, що визначається за формулою [1]:

$$T = \frac{I}{I_0}, \tag{2}$$

де I – інтенсивність випромінювання, що пройшло через зразок,
 I_0 – інтенсивність випромінювання, що падає на зразок.

Аналізуючи рівняння (1), можна стверджувати, що, знаючи оптичну щільність, коефіцієнт екстинкції і довжину шару, можна визначити концентрацію показника. А, якщо є спектр, що характеризує величину оптичної щільності в деякому діапазоні довжин хвиль, то можна визначити концентрації декількох показників, якщо дані показники мають свої характерні смуги поглинання. Таким чином, реалізується кількісний аналіз зразків (рис. 2) [10].

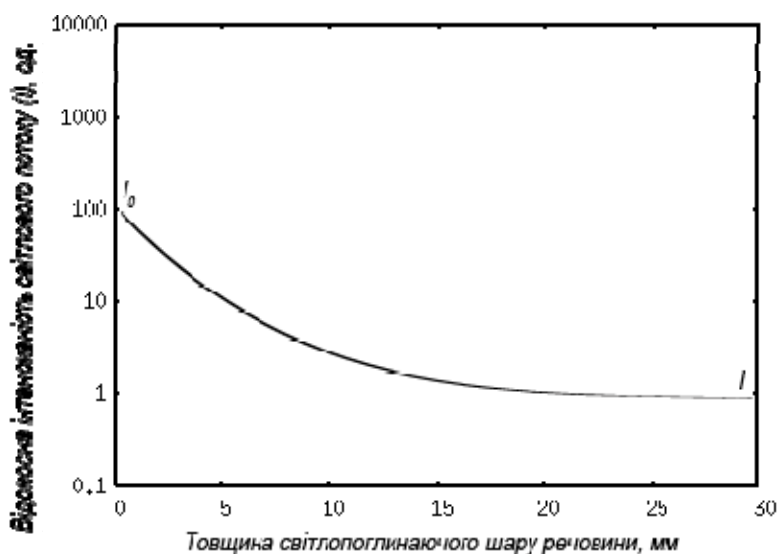


Рис. 2. Залежність між інтенсивністю світлового випромінювання та його проходженням в речовині

Однак це можливо, лише коли об'єкт оптично однорідний і середовище прозоре, що вимагає одноразового вимірювання оптичної щільності при довжині хвилі, що відповідає максимуму поглинання речовини, що зустрічається рідко. У більшості випадків середовище поглинає випромінювання, тому смуги поглинання перекриваються, що змушує проводити вимірювання при декількох довжинах хвиль, в залежності від числа поглинаючих компонентів суміші і застосовуваного методу вимірювання [9].

Таблиця 1

Приклади залежності між поглинанням A , пропусканням T і оптичною щільністю E

Інтенсивність світла, I	Поглинання світла, A	Пропускання світла, T	Оптична щільність світла, E
$I = I_0$	0 %	100 %	0,000
$I = 1/10 I_0$	90 %	10 %	1,000
$I = 1/100 I_0$	99 %	1 %	2,000

Можлива також реалізація якісного аналізу, який полягає у віднесенні зразка до заданого виду або класу. Оскільки зразки різного складу мають відмінні, індивідуальні спектри, то порівнюючи схожість спектрів аналізованого зразка із спектрами деякої групи зразків, що точно відносяться до даного типу, можна відповісти на питання, чи належить даний зразок до цієї групи чи ні. В той же час, практична реалізація як якісного, так і кількісного аналізу вимагає використання досить складних математичних алгоритмів

На практиці в більшості випадків можна отримати адекватну лінійну залежність між оптичною щільністю і концентрацією до величини оптичної щільності порядку 1,000: вище цього значення відзначається все зростаюче відхилення від лінійного закону. При необхідності результатів дуже високої точності аналізу найкраще проводити з оптичними густинами $<0,5$. Застосування закону Ламберта-Бера здійснюється згідно з таким рівнянням [2]:

$$\varepsilon = \frac{E}{c \cdot d}, \quad (3)$$

Таке рівняння дозволяє обчислити концентрацію з речовини на основі вимірної оптичної щільності E , якщо відомий молярний коефіцієнт поглинання цієї речовини [11].

Однак на практиці найчастіше дослідження проводяться таким чином, що визначають оптичну щільність E на розчинах різних відомих концентрацій з і графічно наносять на діаграму величини E щодо величин c . При дії закону Ламберта-Бера, якщо прийняти товщину шару d за сталу величину, маємо пряму лінію (так як ε є константа), і в ідеальному варіанті ця пряма проходить через нульову точку, як видно на рис.3 [2].

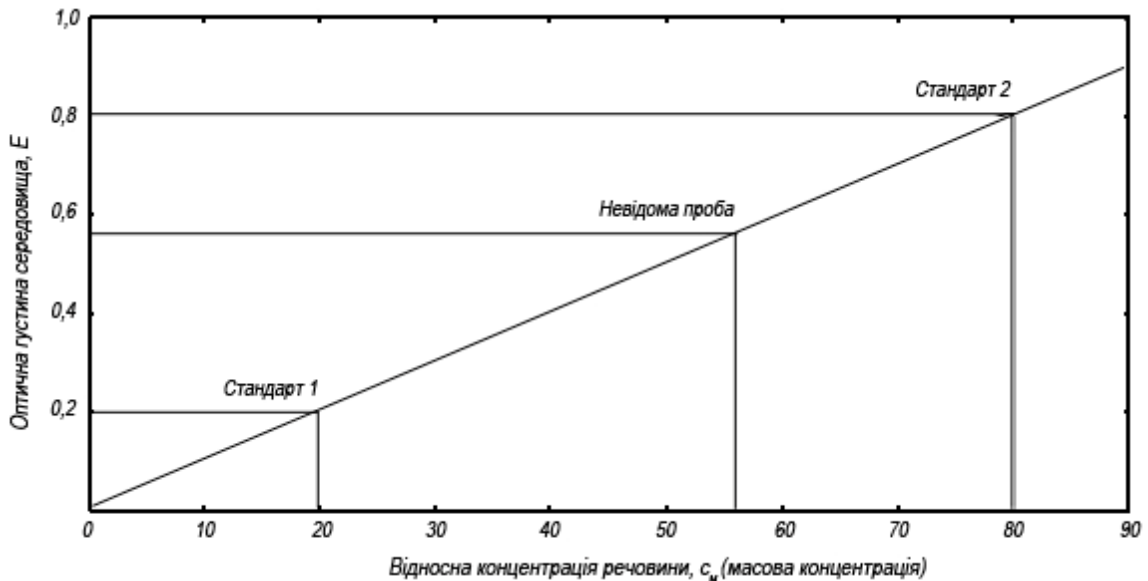


Рис. 3. Градувальний графік для кількісного аналізу на основі двох стандартів

Оскільки в молекулярній спектроскопії визначають коефіцієнт послаблення чи відбиття світла I щодо вихідної інтенсивності I_0 , то завжди доводиться проводити два окремих вимірювання для обох інтенсивностей світла. Тобто визначають спочатку I_0 , вимірюючи інтенсивність емісійного випромінювання, що надходить на детектор від джерела без проби (рис. 4).



Рис. 4. Принцип кількісного аналізу (визначення відгуків I_0 та I_1)

При проходженні випромінювання через оптично неоднорідне середовище, наприклад, тверді речовин, розміри частинок яких значно перевершують довжину хвилі, процес поглинання ускладнюють явища відбиття від поверхонь частинок, заломлення на границі розділу середовищ і дифракції на краях частинок.

При взаємодії випромінювання із сипучими матеріалами (рис.5), до яких, зокрема, можна віднести зернові продукти частина променів, яка взаємодіє з першої фронтальною поверхнею зовнішнього шару частинок (промінь 2) віддзеркалюється в напрямках під кутами по відношенню до первинного пучку променів. Частина відбитого таким чином випромінювання при інших рівних умовах залежить від крупності частинок, що визначає площу поверхні, що відбиває. Частина променів проходить всередину шару, заломлюючись та відбиваючись від поверхонь розділу середовищ та проходить певний шлях крізь частинки зразка, частково поглинаючись, відповідно до хімічного складу зернин та наявності в них певних хімічних сполук. Деяка частка таких променів при цьому виходить з опроміненого шару назад під тим або іншим кутом до вихідного пучку (промінь 3), утворюючи дифузне відбиття. При досить тонкому шарі який просвічується, частина променів може пройти крізь нього, пройшовши певний шлях крізь частки (промінь 4), втрачаючи частину енергії внаслідок поглинання частинками речовини. Частина променів повністю

поглинається шаром, частина йде в сторони. Найбільш важливу для кількісного аналізу інформацію несуть промені 3 і 4, що проходять той чи інший шлях крізь частинки, так як викликане при цьому поглинання специфічно і залежить від концентрації поглинаючих речовин, з яких складаються частинки (Рис. 4).

Тому з метою кількісного аналізу використовують не тільки визначення інтенсивності випромінювання, що пройшов крізь опромінений шар (промінь 4), а й існує цілий ряд приладів, заснованих на визначенні інтенсивності коефіцієнту дифузного відбиття (промінь 3) [2, 4, 5].

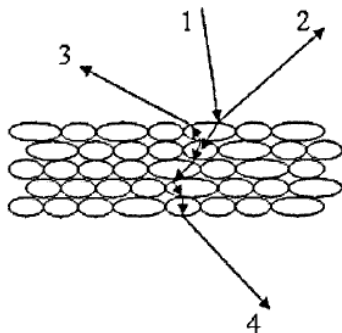


Рис. 5. Взаємодія випромінювання із речовиною в порошковому стані: 1 – падаючий промінь; 2 – промінь, відбитий від фронтальної поверхні зовнішнього шару зернин; 3 – дифузно відбитий промінь; 4 – промінь, що пройшов через шар зернин.

Для кількісного опису дифузного відбиття використовують теорію Кубілки-Мунка. На практиці дифузне відбиття вимірюють за допомогою порівняння із еталоном – імітатором білого тіла, коефіцієнт відбиття від якого приймають рівним одиниці. Це може бути, наприклад, полірована пластинка з кераміки або іншого матеріалу з матовою поверхнею з високим коефіцієнтом відбиття. Зв'язок інтенсивності поглинання із концентрацією поглинаючого компонента, при вимірюванні дифузного відбиття, досить точно описується рівнянням (4) [5].

$$\log\left(\frac{R_0}{R}\right) = \log\left(\frac{1}{R}\right) + \log(R_0) \approx \frac{a \cdot C}{s}, \quad (4)$$

де R_0 – коефіцієнт відбиття еталону;

R – коефіцієнт відбиття аналізованої проби;

$\log\left(\frac{1}{R}\right)$ – оптична щільність аналізованої проби;

a – коефіцієнт, що характеризує поглинальну здатність речовини,

C – концентрація компонента в опромінюється матеріалі що поглинає випромінювання, %;

s – коефіцієнт, що характеризує розсіювальну здатність частинок (зернин).

Для монохроматичного випромінювання коефіцієнт відбиття еталону є константою, тому R_0 у формулі (4) можна прийняти рівним одиниці і, додавши вираз для коефіцієнту поглинання речовини, що містить компонент, вміст якого визначається, можна записати вираз для концентрації у вигляді (5) [4]:

$$C = k + \frac{s}{a} \log\left(\frac{1}{R}\right), \quad (5)$$

де k – коефіцієнт поглинання речовини, що приймається постійним для даного вимірювання.

Рівняння (5) показує, що між концентрацією компонента, що поглинає випромінювання і оптичною щільністю аналізованої проби є лінійна залежність. В реальних умовах лінійність може не дотримуватися. Однак у переважній більшості випадків вимірюваний діапазон значень оптичної щільності відносно невеликий, так що відхилення від лінійності не настільки значні. Крім того, використання багатовимірних методів градування в тій чи іншій мірі може знижувати нелінійність, що полегшує виконання кількісного аналізу.

Необхідно відзначити, що розсіювальна здатність зразка залежить від ряду умов, найбільш важливими з яких є крупність його частинок і вологості. Вода, яка присутня в пробі, дає інтенсивні характеристичні смуги поглинання, що істотно спотворює смуги поглинання інших абсорбентів.

Висновки

Норми забезпечення якості зерна вимагають високоєфективних аналітичних досліджень в ході усіх виробничих процесів, що мають місце в процесі прийому, сертифікації, зберігання та первинної переробки зернових культур. Методи та засоби аналізу повинні бути готові до напливу все більшого обсягу проб, а обробка багаторазово збільшеного обсягу зразків які необхідно аналізувати, можлива тільки на у разі застосування автоматизації та експрес-методів аналізу.

Сучасна інструментальна спектроскопія володіє потужними інформативними можливостями, що дозволяє вирішувати багато аналітичних задач, особливо в поєднанні із електронними обчислювальними засобами та автоматизацією експериментальних досліджень. Суть будь-якого контролю якості має три взаємопов'язаних компоненти: ідентифікація ("випробування на справжність") – визначення сортової та видової приналежності досліджуваного зразка, якісний (визначення наявності певної компоненти) та кількісний (концентрація досліджуваної речовини у зразку) аналіз. Для практичної роботи контрольної лабораторії потрібні вимірювально-технічні способи, що забезпечують відтворювані параметри. Якщо ж мова йде про хімічні відмінності, селективності таких способів виявляється явно недостатньо. З іншого боку, хімічні аналізи, вироблені відомим "мокрим способом", нерідко займають занадто багато часу, особливо якщо потрібно отримати кількісні показники.

Тому перспективним є застосування спектральних методів експрес-аналізу харчових продуктів (в лабораторних та виробничих умовах). Дані методи діагностики відносяться до неруйнівних, вони можуть застосовуватися дистанційно, особливо при поєднанні із засобами об'єктивного контролю з використанням телевізійних інформаційно-вимірювальних систем та телеметрії.

В даний час стрімко зростає попит на продуктивні, більш гнучкі автоматичні системи підготовки та обробки проб. Щоб уникнути помилок і похибок обладнання забезпечується автоматичною системою контролю результатів, яка видає повідомлення про помилку, якщо вимірювання виходять за межі поля допуску.

Список використаної літератури.

1. Вечкасов М. А. Приборы и методы в ближней инфракрасной области / М. А. Вечкасов, К. А. Кручинин – М.: Химия, 1977. – 280 с.
2. Кеслер Н. Методы инфракрасной спектроскопии в химическом анализе / Н. Кеслер. – М.: Мир, 1984. – 287 с.
3. Крищенко В. П. Контроль качества зерна озимой пшеницы / В. П. Крищенко, Ю. Г. Сазонов, Л. А. Чуйкова // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. – № 9. – С. 61-68.
4. Лузанов П. А. Создание градуировочной модели, устойчивой к конструктивным изменениям инфракрасного анализатора / П. А. Лузанов, К. А. Жаринов // Научное приборостроение. – 2006. – Т. 16, №4. – С. 80-84.
5. Лузанов П. А. Стандартизация анализаторов на основе Фурье-спектроскопии в ближней инфракрасной области для контроля показателей качества зерна : дисс. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук : спец. 05.11.13 "Приборы и методы контроля природной среды, материалов и изделий" / П. А. Лузанов. – Санкт-Петербург, 2006. – С. 19-20.
6. Норрис К. Х. Приборы для ближней инфракрасной спектроскопии / К. Х. Норрис // Применение спектроскопии в ближней инфракрасной области для контроля качества продукции [4-й сборник научных трудов по ИКС] : тезисы докл. – М.: Интерагротех, 1989. – С. 5-10.
7. Панкратов Г. Н. Определение состава ржано-пшеничных компонентов в муке с помощью ИК-спектроскопии / Г. Н. Панкратов, И. Д. Берещ, В. П. Изосимов // Пищевая промышленность России на пороге XXI века : междунар. науч.-техн. конф. : тезисы докл. – М.: МГАПП, 1996. – С. 38-41.
8. Петрова Е. В. Определение состава ржано-пшеничной муки из зерносмесей методом инфракрасной спектроскопии / Е. В. Петрова, Г. Н. Панкратов // Индустрия продуктов здорового питания – третье тысячелетие (человек, наука, технология, экономика) : междунар. науч.-техн. конф. : тезисы докл. – М.: МГУПП, 1999. – Т. 24. – С. 13-16.
9. Хуршудян С. А. Применение оптических анализаторов в пищевой промышленности / С. А. Хуршудян // Пищевая промышленность. – 2000. – № 11. – С. 76-78.
10. Cassells J.A., Reuss R., Osborne B.G. and Wesley I.J. Near infrared spectroscopic studies of changes in stored grain (2007) // J. Near Infrared Spectrosc. 15 (3), P. 161-167.