

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА**  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024р.

Зав. кафедри к.т.н., доцент  
(науковий ступінь, вчене звання)

А.В. Войтік  
(підпис) (ініціали, прізвище)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)**

магістр  
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Обґрунтування структури та параметрів системи моніторингу  
вологості зерна на етапі його збирання»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 23м-ім  
освітньої програми магістр  
спеціальності 208 «Агроінженерія»  
Черепінський Б.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник доктор філософії, доцент Шевчук М.В.  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2024 рік





## ЗМІСТ

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                   | 7  |
| РОЗДІЛ 1 ВОЛОГІСТЬ ЗЕРНА, ЯК ФАКТОР ЕФЕКТИВНОГО<br>ВИКОРИСТАННЯ ЗБИРАЛЬНО–ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ<br>МАШИН.....              | 8  |
| 1.1 Вплив організаційно-експлуатаційних факторів використання<br>техніки на ефективність збору врожаю зернових культур ..... | 8  |
| 1.2 Аналіз стану і тенденції розвитку сучасних засобів та методів<br>вимірювання вологості зерна .....                       | 10 |
| 1.3 Висновки .....                                                                                                           | 19 |
| РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА ОПЕРАТИВНОЇ ОЦІНКИ<br>ВОЛОГІСТЬ ЗЕРНАВ ПОЛЬОВИХ УМОВАХ .....                                     | 20 |
| 2.1 Загальна структурна схема інформаційної системи моніторингу та<br>прогнозування вологості зерна .....                    | 20 |
| 2.2 Математична модель визначення вологості зерна електричними<br>приладами .....                                            | 28 |
| 2.2 Розробка індикатора вологості зерна для внутрішньогосподарського<br>використання .....                                   | 31 |
| 2.3 Виробнича перевірка індикатора вологості зерна .....                                                                     | 40 |
| 2.4. Результати виробничої перевірки інформаційної системи моніторингу та<br>прогнозування вологості зерна .....             | 42 |
| 2.5 Висновки.....                                                                                                            | 46 |
| РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                                                                  | 47 |
| 3.1 Особливості охорони праці для працівників в сільськогосподарському<br>підприємстві .....                                 | 47 |
| 3.2 Моделювання виробничих небезпек при роботі з обладнанням для<br>очищення, сушіння, зберігання зернових матеріалів .....  | 48 |
| 3.3 Висновки по роботі .....                                                                                                 | 48 |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РОЗДІЛ 4 ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ<br>МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА НА ЕТАПІ<br>ЙОГО ДОСТИГАННЯ ТА ЗБИРАННЯ..... | 50 |
| 4.1. Економічна оцінка ефективності оперативного визначення вологості<br>зерна на етапі його досягання та збирання в господарстві.....   | 50 |
| 4.2. Висновки .....                                                                                                                      | 52 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....                                                                                                                  | 53 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                                                                                         | 55 |

## РЕФЕРАТ

Черепінський Б.В. Обґрунтування структури та параметрів системи моніторингу вологості зерна на етапі його збирання (Дипломний проект, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 56 сторінках, у т.ч. 4 розділів, 18 рисунки, 9 таблиць, 17 джерела літератури).

У дипломному проекті виконується обґрунтування структури та параметрів системи моніторингу вологості зерна на етапі його збирання, що є актуальною науково-технічною задачею як для науки, так і для виробництва.

*Мета роботи* – є підвищення ефективності роботи зернозбирально-транспортного комплексу завдяки використанню оперативної інформації про вологість зерна на кожному конкретному полі.

*Об'єкт досліджень* – системи моніторингу вологості зерна на етапі його збирання..

*Предмет досліджень* – обґрунтування структури та параметрів системи моніторингу вологості зерна на етапі його збирання.

*Ключові слова:* ЗЕРНО, ВОЛОГІСТЬ, ОПЕРАТИВНА ОЦІНКА, АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕННЯ ЖНИВ.

## ВСТУП

*Актуальність дослідження.* Питання збереження вирощеного урожаю зерна для України на сьогодні має надзвичайно важливе значення.

Серед параметрів контролю і управління технологічними процесами в сільськогосподарському виробництві, які визначають кількісні і якісні втрати кінцевої продукції, а також енергетичні витрати на її отримання, важливе місце займає вологість зерна. Інформація про вологість необхідна для визначення початку збирання урожаю, для якісної підготовки зерна до продажу і зберігання насіння та інших цілей.

Оптимізація строків збирання зернових культур разом зі своєчасним та якісним його проведенням дозволяє суттєво зменшити втрати урожаю. При організації збиральних процесів слід враховувати, що збирання урожаю після стадії повної стиглості для всіх зернових культур призводить до значних втрат урожаю.

Величина витрат на доставку зерна пшениці з поля на елеватор в Україні доходить до 11–12% від загальних витрат на збір урожаю проти 7–8% у Франції та 6–7% у Німеччині та США.

Такий стан речей створює *народногосподарську задачу*, суть якої полягає в зменшенні втрат урожаю за рахунок ефективної організації його збирання - обмолочування хлібної маси при досягненні раціонального значення вологості зерна в колосі протягом 7–10 днів та вибору раціонального маршруту перевезення зерна з поля з урахуванням його реальної вологості.

## **РОЗДІЛ 1**

### **ВОЛОГІСТЬ ЗЕРНА, ЯК ФАКТОР ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗБИРАЛЬНО–ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ МАШИН**

#### **1.1 Вплив організаційно-експлуатаційних факторів використання техніки на ефективність збору врожаю зернових культур**

За результатами проведеного аналізу наукових праць провідних вчених встановлено, що для визначення раціональних періодів польових механізованих робіт, інтенсивно ведеться розроблення систем їх прогнозування, тісно пов'язаних з відповідними життєвими циклами конкретної зернової культури, які, в свою чергу, залежать від початкового запасу продуктивної вологи в ґрунті, тривалості світлового дня, середньої температури повітря, кількості опадів та інших факторів. Подальший розвиток технічного забезпечення сільськогосподарського виробництва повинен базуватися на його органічному насиченні новітніми інформаційними технологіями. Таким чином, інформаційне забезпечення сучасних «розумних» машин у рослинництві повинно включати:

- інформацію про стан об'єкта керованого впливу (ґрунт, насіння, рослина) за основним і додатковими параметрами;
- контроль факторів зовнішнього впливу на якість виконання технологічної операції;
- визначення раціональних термінів виконання технологічних операцій;
- контроль якості виконання технологічної операції;
- оцінювання впливу виконання конкретної технологічної операції на якість виконання подальших процесів;
- узгодження роботи різних елементів конкретної технології.

Реалізація інформаційного забезпечення інтелектуального землеробства передбачає використання та розроблення цілого ряду технологій [5].

Забезпечення необхідної якості виконання технологічних процесів дозволяє збільшити продуктивність праці – до 20%, зменшити витрати палива на 15-20%, одержати економічний ефект та зменшити шкідливий антропогенний вплив техніки на навколишнє середовище [11].

Оптимізація строків збирання зернових культур разом з якісним його проведенням дозволяє суттєво зменшити втрати врожаю. При організації збиральних процесів слід враховувати, що втрати зерна при збільшенні строків збирання на стадії повної стиглості для всіх культур різко збільшуються (табл.1.1).

Таблиця 1.1 - Залежність втрат зерна різних культур від тривалості збирання для умов Харківської області [1].

| Тривалість збирання після повної стиглості зерна, днів | Втрати при збиранні, % |               |             |        |      |
|--------------------------------------------------------|------------------------|---------------|-------------|--------|------|
|                                                        | жито озиме             | пшениця озима | пшениця яра | ячмінь | овес |
| 4 ÷ 7                                                  | 3,2                    | 4,1           | 6,7         | 2,8    | 16,1 |
| 8 ÷ 10                                                 | 8,4                    | 9,1           | 10,5        | 3,0    | 21,6 |
| 11 ÷ 13                                                | 14,2                   | 16,2          | 17,1        | 8,7    | 26,8 |
| 14 ÷ 16                                                | 15,2                   | 17,3          | 29,7        | 15,7   | 28,6 |
| 17 ÷ 20                                                | 18,4                   | 27,3          | 32,1        | 24,2   | 30,8 |

Виходячи з цього, організувати збирання необхідно так, щоб при обмолочуванні хлібної маси тривалість збирання культур (з мінімальними втратами зерна) не мала перевищувати 7÷10 днів.

За даними Інформаційного агенства «АПК-Інформ» [55] в даний час найбільшу частку витрат в експортній логістиці пшениці в Україні становить доставка зерна безпосередньо від сільгоспвиробника в порт, а також з елеватора в порт, вартість якої в середньому на 20% вище, ніж в США і більшості країн Європи (рис.1.1).

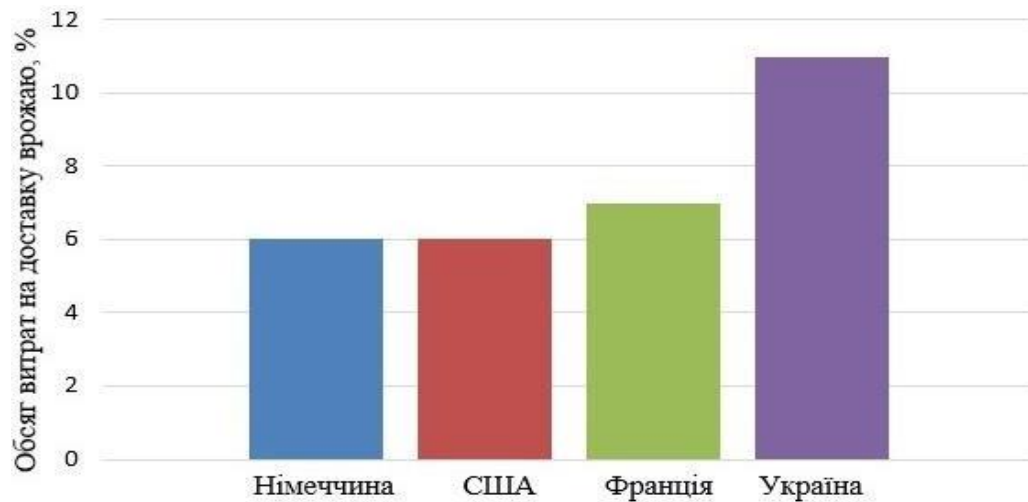


Рисунок 1.1 – Витрати на доставку врожаю зернових культур з поля на елеватор у різних країнах світу

## 1.2 Аналіз стану і тенденції розвитку сучасних засобів та методів вимірювання вологості зерна.

Україна традиційно є країною, яка посідає провідні позиції у світі щодо вирощування та перероблення зернових культур. У сучасних економічних умовах, коли значна кількість фермерських та індивідуальних господарств заснована на оренді майнових та земельних паїв і мають мінівиробництва з перероблення с.-г. продукції (млини, пекарні тощо), значно зросла важливість контролю якості продукції, яка заготовлюється [46]. Наявність контролю якості продукції стає для цих підприємств запорукою економії матеріальних та енергетичних ресурсів, причому точність результатів контролю та оперативність їх отримання вагомо впливають на кінцевий економічний результат господарювання [28].

Найважливішою проблемою агропромислового комплексу є зниження кількісних і якісних втрат продукції при збиранні, післязбиральній обробці, зберіганні та переробці. На даний час втрати продукції рослинництва і питомі енерговитрати на її виробництво значно перевищують аналогічні показники в

розвинених країнах. Потенційні можливості врожайності зернових культур використовуються лише на 20 - 40% [30].

Одним з ефективних способів підвищення прибутку підприємства та зменшення втрати є експрес-контроль вологості сировини, який дає змогу свідомо впливати на хід технологічних процесів виробництва, зберігання і переробки с.-г. продукції. Практика вітчизняних підприємств свідчить, що втрати від невідповідності рівня вологості с.-г. сировини стандартним вимогам на величину 5% становлять від 35 грн до 50 доларів США на одній тонні продукту, а за даними Інституту зернового господарства НААН, на операціях обробки і зберігання, витрати енергоресурсів дорівнюють 20-60%. У залежності від особливостей окремих культур вартість цих операцій у 2-4 рази перевищує науково обгрунтовані норми [5, 31].

Відхилення хоча б від одного з показників призводить до плісняви, згорання зерна, погіршення його якості. При неправильному зберіганні можна втратити весь урожай. Тобто порушення режиму зберігання зерна призводить до втрати його товарності. [8, 14].

Таблиця 1.2 – Вплив температури та вологості зерна на його збережність

Примітка. \* - збережність добра; \*\* - з'являється пліснява; \*\*\* - зерно необхідно перемішувати; \*\*\*\* - область початку підвищення температури; \*\*\*\*\* - сильне виділення тепла зерном.

| Вологість зерна, % | Температура, С° |            |            |            |
|--------------------|-----------------|------------|------------|------------|
|                    | 5               | 10         | 15         | 20         |
| 13                 | *               | *          | ****       | *<br>**    |
| 15                 | *               | ****       | ****       | *          |
| 17                 | **              | ****<br>*  | ****<br>** | *<br>***** |
| 19                 | **              | ****<br>** | ****<br>** | *<br>***** |

### *Вологість як показник стиглості зерна.*

Необхідність у визначенні вологості зерна виникає значно раніше того моменту, коли воно буде доставлене для обробки. Аналіз численних публікацій показав, що вплив травмування зерна на його посівні якості є визначальним, а одна з основних причин пошкоджень, що мають місце - невідповідність термінів, способів і режимів роботи збиральної та оброблювальної техніки біологічним і фізико-механічним властивостям зерна.

Стан зернової маси з високою вірогідністю визначається її вологістю. За показником вологості ідентифікують фази стиглості. Навіть у випадках нерівномірного дозрівання зерна вологість є надійним показником фаз стиглості та їх періодів.

*Контроль вологості при налаштуванні і визначенні режимів роботи комбайнів.*

Відомо, що оптимальний інтервал вологості зерна для обмолоту, при якому має місце мінімальне травмування, знаходиться між 12-14 та 21-23%. Інтервалу вологості з мінімальним травмуванням відповідає максимальна схожість насіння. Коефіцієнт кореляції між травмуванням та схожістю становить 0,90-0,92 [2]. Для зниження механічних пошкоджень зерна здійснюють налаштування робочих органів і регулювання режимів роботи комбайнів з урахуванням вологості зерна. При обмолоті вологість зерна може суттєво збільшитися за рахунок більш високої вологості соломи, виду та кількості бур'янів, за даними Секанова Ю. П. до 5,5%. У зв'язку з цим при налаштуванні і виборі режимів роботи комбайнів слід виходити з вологості зерна на корені. З метою оптимізації режимів роботи комбайнів число вимірювань вологості протягом дня може становити 2-12, що може бути забезпечено засобами автоматизації і швидкодіючими приладами.

*Контроль вологості при сушінні зерна.*

Широко відома визначальна роль інформації про вологість в якісному і економічному веденні процесів сушіння, визначені умови і вимоги до технічних засобів вимірювань.

Аналіз якості зернової маси, що надходить на обробку, показав, що в силу зазначених раніше причин її відрізняють велика неоднорідність за вологістю і засміченістю. Різниця за вологістю зерна, що надходить з одного поля протягом дня, може перевищувати 8%, засміченістю - 20%, а вологість компонентів незернової маси перевищувати вологість зерна в 1,5 - 2 рази. Безпечний термін зберігання такого зерна через інтенсивність протікання фізико-хімічних процесів, які супроводжуються зростанням температури, вельми обмежений. Підлогові сушарки, незважаючи на широке застосування і відпрацьовану технологію, використовуються неоптимально через відсутність засобів оперативного контролю параметрів зернової маси, в першу чергу, вологості [2, 21, 22].

#### *Сучасні методи вимірювання вологості зерна.*

Існує багато методів визначення вологості. У прямих методах розділяють матеріал на суху речовину та вологу, а в непрямих вимірюють певну величину, яка функціонально є пов'язаною з вологістю матеріалу. Непрямі методи потребують попередньої калібровки для встановлення залежності між вологістю матеріалу та фізичною величиною, що вимірюється. До числа прямих методів відносять різні модифікації методу висушування, хімічні та дистиляційні[10].

Як видно з вищенаведеної структурної схеми, спектр приладів з вимірювання вологості зерна достатньо великий.

#### *Сучасні прилади для вимірювання вологості зерна.*

Перші спроби створення приладів для експресного контролю вологості твердих і рідких матеріалів були зроблені приблизно 70 років тому. Однак в силу вельми істотних наукових і технічних труднощів протягом перших 35 років успіхи вчених і інженерів, що працюють в області вологометрії, були більш ніж скромні і лише останні 25-30 років теорія і практика вологометрії домоглася істотних успіхів, оскільки з'явилися серйозні роботи в області теорії вологометрії, що дозволили синтезувати і впровадити в різних галузях промисловості дрібні серії дискретних і безперервних вологомірів, що успішно експлуатуються протягом ряду років [13].

У розвинених країнах (США, Японії, Німеччини, Франції, Швеції,

Данії) виробництво приладів і установок для вимірювання вологості становить значну частину аналітичного приладобудування, серед вологомірів, що серійно випускаються, зернові займають домінуюче положення. Накопичено великий досвід їх застосування. Дієлькометричні вологоміри дозволяють вести вимірювання в широких діапазонах зміни вологості зерна від 4 до 45%. Ці діапазони охоплюють практично всі значення вологості, що зустрічаються при виробництві зерна.

Самоущільнення сипучих матеріалів призводить до кращого укладання їх у первинному вимірювальному перетворювачі. Однак реалізація даного способу тягне за собою ускладнення конструкції датчика. Тому його застосовують у приладах високої точності. У вологомірах, що використовуються у фермерських господарствах, застосовують вільне засипання. Способи самоущільнення і вільного засипання матеріалу отримали найбільш широке застосування в ємкісних зернових вологомірах.

#### *Порівняльна характеристика відомих електричних вологомірів.*

Враховуючи недоліки дієлькометричного методу в світі були створені і введені в експлуатацію електричні вологоміри із застосуванням в них мікропроцесорної техніки.

На сьогодні вже існує багато зразків експрес-вологомірів вітчизняного й закордонного виробництва. Відрізняються вони один від одного своїми можливостями, точністю, способами вимірювання, експлуатаційними особливостями і, звичайно ж, ціною [51].

Розглянемо моделі вологомірів зерна найбільш вдалі й поширені. Порівняльна характеристика деяких з них наведена в таблиці 1.3.

Як видно з таблиці 1.3 американський прилад “Multi–grain” і російський “Фауна” мають приблизно однакові показники і вони могли б використовуватись в господарствах України, але їхня висока ціна відлякує збіднілого потенційного покупця [117].

Таблиця 1.3 - Порівняльна характеристика відомих вологомірів зерна

| №<br>п/п | Показники<br>приладів                                      | Марка приладу, фірма-розробник, країна |                                                   |                                       |                                     |                                                       |                                                          |                                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                            | Multi-grain,<br>Dickey-joner,<br>США   | "Електроніка<br>ВЛК-01"<br>ВІМ,СРСР               | "Фауна"<br>фірма<br>"Лепта",<br>Росія | SAMAR-<br>O-NTST<br>Франція         | Експрес-<br>вологомір<br>"Варіант-<br>9к",<br>Україна | Вологомір<br>сипучих<br>продуктів<br>ВЦП-21К,<br>Україна | Вимірювач<br>вологості<br>зернових<br>культур,<br>ДПФ<br>"ЛАСК-<br>Сервіс",<br>Україна |
| 1        | Кількість<br>калібровок<br>(вимірюва<br>них<br>матеріалів) | 12                                     | Відсутні<br>(додаток-<br>градуваль<br>ні таблиці) | 8                                     | 40                                  | 9                                                     | 9                                                        | 7                                                                                      |
| 2        | Інтервал<br>виміру, %                                      | 1-35                                   | 10-40                                             | 7-34                                  | 1-50                                | 5-30                                                  | 5-25                                                     | 1-50                                                                                   |
| 3        | Система-<br>тична<br>складова<br>абс.<br>похибки           | 0,5                                    | 1,0                                               | 1,5-2                                 | 0,2                                 | 0,5-<br>1,0                                           | 1,0                                                      | 0,2                                                                                    |
| 4        | Маса, кг                                                   | 1,22                                   | 1,95                                              | 0,33                                  | 0,5                                 | 0,3                                                   | -                                                        | 0,2                                                                                    |
| 5        | Габарити,<br>мм                                            | 191x115x<br>197                        | 355x200x175                                       | -                                     | 160x70x<br>60                       | 202x80x30                                             | 240x150x90                                               | 160x75x60                                                                              |
| 6        | Живлення                                                   | Станда<br>ртна<br>батареї<br>ка        | 220В,50Гц і<br>акумулятор                         | Станд<br>артна<br>батареї<br>ка       | Батарея<br>9В                       | 4 батареї<br>по 1,5В                                  | -                                                        | Батарея<br>9В                                                                          |
| 7        | Температур<br>на корекція                                  | Автоматична                            | Автоматична                                       | -                                     | Термометр на<br>рідких<br>кристал.  | -                                                     | Вмонтована<br>на<br>аддитивна<br>корекція                | -                                                                                      |
| 8        | Об'єм вим.<br>камери, мл                                   | 290                                    | 1200                                              | 330                                   | 230 см <sup>2</sup>                 | 36,7                                                  | -                                                        | 300                                                                                    |
| 9        | Орієнтовна<br>ціна                                         | 500                                    | 200                                               | 200                                   | 350                                 | 100                                                   | -                                                        | -                                                                                      |
| 10       | Час<br>визначення,<br>хв                                   | -                                      | Градуір.<br>таблиці                               | -                                     | Відразу<br>після<br>включення       | 0,5                                                   | -                                                        | -                                                                                      |
| 11       | Відображен<br>ня<br>інформації                             | Цифрове<br>табло                       | Цифрове<br>табло                                  | -                                     | Дісплей<br>на<br>рідких<br>кристал. | Цифрове<br>табло                                      | -                                                        | -                                                                                      |

Розглянемо методи вимірювання більш детально для їх порівняння та визначення їх недоліків.

*Стандартний метод визначення вологості зерна в Україні та його недоліки* (відповідно до: ГОСТ 13586.5-93 Зерно. Метод определения влажности. Межгосударственный стандарт (дата актуалізації в Україні: 01.02.2020 р)) [9].

Дійсний стандарт поширюється на зернові та зерно-бобові культури (в подальшому – зерно), які призначені для продовольчих, кормових, технічних цілей, і встановлює повітряно-тепловий метод визначення вологості. Зараз в лабораторіях підприємств зі зберігання та переробки зерна (біля 800 в Україні) вимірюють вологість за допомогою сушарних електрошаф СЕШ - 3М. Суть методу полягає у визначенні масової частки води (відношення маси води до маси вологої речовини) – (в подальшому вологість) зерна вимірюванням зменшення маси навіски подрібненого зерна, яке висушене в повітряно-тепловій шафі при фіксованих параметрах: температурі та тривалості сушіння. Похибка методу визначення вологості складає для зернових культур  $\pm 0,5\%$  [9]. Недолік стандартного методу полягає в тому, що процес визначення вологості зерна займає близько 2 годин і потребує стаціонарних умов, а також багато спеціальних приладів. Для СЕШ-3М не встановлено, які його забракувальні рівні та за якими параметрами вони повинні контролюватися, щоб пройдені контроль догідні матеріали із взаємозаміною ідентично забезпечували потрібне відтворення зневоднення проб речовин. Не встановлено чи різними будуть вимоги для різних речовин, чи однакові. Відтворення зневоднення та точність зважування коректного узгодження не одержали. Шафа та терези не функціонують як елементи (складові частини) одного приладу та “розділені” діями оператора. Контроль інструментальних властивостей шафи та терезів не дає гарантії якості вимірювання через вплив на них дій оператора.

Повітряно-тепловий метод застосовують при визначенні вологості зерна на хлібоприймальних та переробних підприємствах при прийманні, відпуску та відвантаженні, а також при контрольних вимірюваннях.

*Аппаратура, матеріали та реактиви:*

- шафа сушарна електрична СЕШ-3М з терморегулятором, який забезпечує створення та підтримування в робочій зоні сушіння температури - 100-140°C з похибкою  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ;
- апарат для прискореного охолодження проб зерна після попереднього сушіння типу АУО;
- електровологоміри;
- ваги лабораторні ціною поділки 0,1 г (дозволена похибка зважування 0,01 г, межа зважування – 200 г);
- млин лабораторний ЛЗМ;
- контактний термометр згідно з ДСТУ 23932-79;
- кальцій хлористий та сірчана кислота – як висушувач, совок для проб;
- годинник сигнальний.

*Підготовка до вимірювання.*

Для визначення вологості з середньої проби, яка була виділена згідно з ДСТУ 135863-63, відбирають 300 г зерна. Відібране зерно вміщують до бюкси, що герметично закривається, заповнивши її на дві третини об'єму. На дні ретельно вимитого та висушеного ексикатора розміщують прокалений хлористий кальцій або інший поглинач. Чисті та просушені бюкси розміщують для повного охолодження в ексикатор на 20 хвилин. У відібраному зерні визначають вологість за допомогою електровологомірів для вибору варіанту методу та визначення часу підсушування. Якщо вологість зерна не перевищує 17%, то вимірювання вологості проводять без попереднього підсушування, а якщо більше 17% - тоді з попереднім підсушуванням.

*Проведення вимірювання.* Перед початком вимірювань зерно ретельно перемішують, для чого струшують посудину.

Визначення вологості з попереднім підсушуванням. В просушену та зважену бюксу з підготованого зерна відбирають совком наважку зерна масою 20 г. Бюксу закривають та зважують до другого десятинного знаку. Перед

підсушуванням зерна сушильну шафу розігрівають до температури 110°C. Бюкси розміщують у сушильній шафі та сушать при 105°C. Тривалість підсушування наважок зерна диференційована в залежності від культури, а у межах культури – від діапазону вологості, як показано в таблиці 1.4 [9].

Після закінчення попереднього підсушування бюкси з зерном виймають та охолоджують у відчиненому стані протягом 5 хвилин, після чого зважують і зерно подрібнюють. Сушарну шафу СЕШ-3М під час охолодження бюкс із зерном готують до подальшої роботи, розігрівають до температури 140°C.

Підсушену та охолоджену наважку зерна переносять до млина та подрібнюють протягом 30 – 60 сек. Крупність помолу періодично контролюють просіюванням вручну на ситах з номерами 1 та 0,8 протягом 3 хв.

Таблиця 1.4 – Тривалість підсушування різних культур в залежності від вологості

| Найменування культури          | Тривалість підсушування (з моменту закладання проб зерна до камери), хв., при вологості, % |              |              |              |          |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|----------|
|                                | до 20                                                                                      | від 20 до 25 | від 25 до 30 | від 30 до 35 | понад 35 |
| Пшениця, жито                  | 4                                                                                          | 5            | 7            | 10           | -        |
| Овес, просо, гречка            | 3                                                                                          | 4            | 5            | 10           | -        |
| Ячмінь, рис зерно              | 5                                                                                          | 7            | 8            | 12           | -        |
| Кукурудза, квасоля, горох, нут | 10                                                                                         | 15           | 20           | 25           | 40       |
| Чина, віка, чечевиця           | 7                                                                                          | 12           | 15           | 20           | 25       |

У подрібненому продукті частки розміром менше 0,8 мм повинні складати не менш ніж 50%, а розміром завбільшки, ніж 1 мм – не більше 5%. Подрібнене зерно одразу переносять до двох металевих бюксів і масу кожної наважки доводять до 5г, після чого зважені бюкси з зерном закривають та розміщують у ексикатор. Подрібнене зерно усіх культур, крім кукурудзи висушують протягом 60 хв., а кукурудзу у зерні – протягом 90 хв. Після закінчення висушування бюкси з подрібненим зерном виймають із шафи, закривають кришками і переносять до ексикатора для повного охолодження, приблизно на 20 хв. Охолоджені бюкси з подрібненим зерном зважують з точністю до сотих та ставлять в ексикатор до закінчення підрахунків.

### **1.3. Висновки за розділом 1**

1. Вивчено стан питання та на підставі аналізу літературних джерел встановлено, що збільшення строків збирання в стадії повної стиглості зерна для всіх культур може призводити до 30% збільшення втрат урожаю, тому тривалість збирання культур (з мінімальними втратами зерна) не повинна перевищувати  $7\div 10$  днів.

2. Встановлено, що оснащення сільськогосподарських підприємств необхідним комплектом технічних засобів з інформаційного забезпечення щодо вологості зерна на етапі його дозрівання та збирання дозволить зменшити втрати вирощеного урожаю та витрати паливно-енергетичних матеріалів на його виробництво.

3. Забезпечення необхідної якості виконання технологічних процесів дозволяє збільшити продуктивність праці – до 20%, зменшити витрати палива на 15-20%, одержати економічний ефект та зменшити шкідливий антропогенний вплив техніки на навколишнє середовище.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОПЕРАТИВНОЇ ОЦІНКИ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

#### 2.1 Загальна структурна схема інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна

Загальна структурна схема інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна приведена на рисунку 2.1.

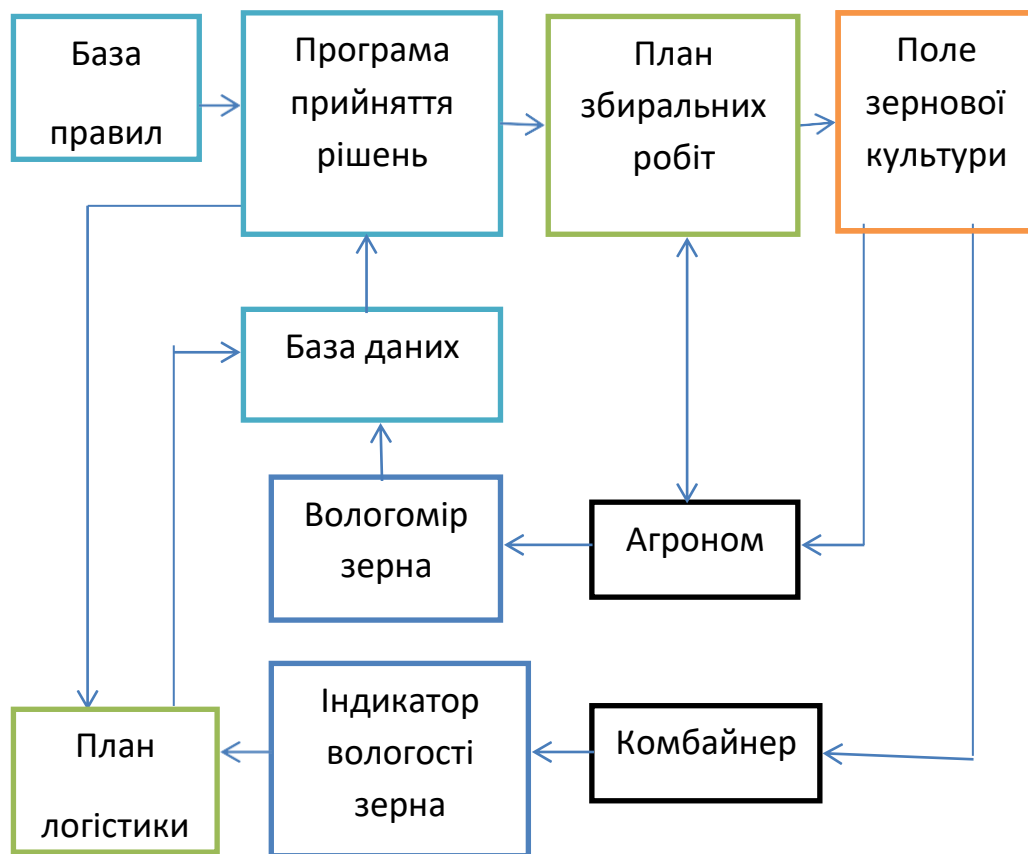


Рисунок 2.1 – Загальна структурна схема інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна

Об'єкт управління являє собою поле зернової культури та включає в себе керований технологічний процес жнив у вигляді планів виконання збиральних і транспортних робіт, органи регулювання у складі відповідних

фахівців і диспетчерської служби, оснащеної спеціальною розрахунковою програмою прийняття рішень, а також засоби вимірювання та оцінювання вологості зерна.

Алгоритм розрахунку плану збиральних робіт передбачає визначення раціональної дати початку та раціонального періоду проведення жнив на основі аналізу зміни вологості зерна в колосі з урахуванням реальних кліматичних умов та їх відмінності від попередніх років (рис.2.2).



Рисунок 2.2 – Алгоритм розрахунку плану збиральних робіт

Алгоритм раціонального переміщення зібраного зерна з поля передбачає трьохпорову оцінку вологості зерна (сухе, вологе, мокре) та прийняття відповідного логістичного рішення (рис.2.3).



Рисунок 2.3 – Алгоритм визначення логістики зерна

Виходячи з визначеного періоду жнив, а також реально можливої продуктивності збирального машинно-тракторного парку, розробляється графік роботи всього збирального комплексу машин.

Інтегральним фактором, що в певній мірі дозволяє враховувати вплив всього комплексу кліматичних показників і прогнозувати стан аграрних екосистем, а, відповідно, і раціональні терміни проведення жнив, є зміна вологості зерна в колосі. Функціональна залежність для опису часових параметрів збору врожаю може бути виражена у вигляді:

$$\Delta t = f(W_0^t, \Delta W), \quad (2.1)$$

де  $W_0^t$  – вологість зерна в колосі на даний момент виміру, %.

$\Delta W$  – середньодобова зміна вологості зерна за період вимірювання, %.

На базі розроблених алгоритмів та методичного підходу щодо прогнозування зміни вологості зерна розроблено програмне забезпечення

(рис. 2.4), яке написане на мові C# із використанням середовища Microsoft Visual Studio Community 2015.

Програмне забезпечення дає змогу за заданою користувачем інформацією щодо зміни вологості зерна відносно до планової, за якою планується розпочати збирання врожаю, визначити прогнозний раціональний термін початку збирання.

| День | Вологість, % |
|------|--------------|
| 1    | 19,2         |
| 2    | 22           |
| 3    | 18,8         |
| 4    | 20,2         |
| 5    | 16,1         |

Розрахувати

Прогнозований час досягнення кондиційної вологості, днів: 3

| День | Вологість, % |
|------|--------------|
| 6    | 15,33        |
| 7    | 14,56        |
| 8    | 13,79        |

Рисунок 2.4 – Інтерфейс інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна

Розрахунок проводиться так:

1) формується таблиця даних вологості зерна по днях із початку контролю;

2) розраховується щодобове зниження вологості зерна в колосі;

3) розраховується середня динаміка зменшення вологості зерна:

$$\Delta W = (4 + 2 + 2 + 1)/4 = 2,25;$$

5) розраховується прогнозне значення вологості зерна на  $n$ -добу від розрахункової:

$$\Delta W = 19 - 2,25n,$$

для  $n = 1$  прогнозне значення вологості зерна становитиме 16,75%;

для  $n = 2$  прогнозне значення вологості зерна становитиме 14,5% і т. д.

Однією з важливих складових інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна є вологомір зерна. Розробниками системи пропонується недорогий та надійний вологомір українського виробництва ВСП – 100 [112] для вимірювання вологості зерна, насіння соняшнику та інших сипучих матеріалів. За конструкцією і функціональними можливостями ВСП – 100 - аналог американського вологоміра Farmex (Grain Master) і фінського Wile-65.

### *Технічна характеристика вологоміра ВСП-100*

Діапазон вимірюваної відносної вологості зерна пшениці, % - 2 - 40 (до 50% і більше в залежності від досліджуваного матеріалу). Межа основної абсолютної похибки в усьому діапазоні вимірювання вологості, % - 0,8 (в зазначену похибку укладається 90% вимірів).

Час встановлення робочого режиму, с – 10.

Час одиничного вимірювання, хв - не більше 1.

Маса вимірюваного матеріалу, г - не більше 50.

Живлення здійснюється від вбудованої батареї 9В типу КРОНА або від зовнішнього стабілізованого джерела 9В.

Габаритні розміри, мм - 180x80.

Маса, кг - не більше 0,7.

Температура аналізованого зерна, °С - 5 - 35.

Температура навколишнього повітря, °С - 1 - 40.

Пам'ять вологоміра може містити 99 різних калібрувальних характеристик.

Інтерфейс приладу дозволяє користувачеві самостійно вносити до пам'яті вологоміра калібрувальні точки для будь-якого матеріалу, (маючи кілька зразків з відомою вологістю), при цьому мікропроцесор самостійно вибудовує градувальну криву. Електронна корекція градувальної характеристики незалежна для кожного каналу: крок - 0,1%, діапазон - +/- 5%. Є можливість стерти, набрати і запам'ятати назву кожної з 99 калібровок з подальшим відтворенням назви на дисплеї.

## 2.2 Математична модель визначення вологості зерна електричними приладами

Діелектричні характеристики зерна різних культур (при вимірюванні вологості електричними приладами) істотно відрізняються між собою як за інтенсивністю, так і за характером залежності від вологості, температури та цілого ряду інших факторів. Тому при створенні універсальних вимірювачів вологи розробники вимушені додавати до приладу великий об'єм довідкового матеріалу у вигляді таблиць переведення електричних вимірювань у вологість (РВ-10, Японія; Електроніка ВЛК-01, Україна), застосовувати змінні шкали чи програми для кожної культури (Grainmini, Великобританія) або використовувати мікропроцесорні системи з відповідним об'ємом електронної пам'яті (Multi-grain, США; FP Auto, Швеція).

Для найбільш характерних умов вимірювання математична модель визначення вологості зерна електричними приладами представлена у вигляді диференційного рівняння (2.2):

$$d\varepsilon_r = 1/\varepsilon_w \cdot (\partial\varepsilon_w/\partial W_3) dW_3 + 1/\varepsilon_T \cdot (\partial\varepsilon_T/\partial T_3) dT_3 + k_3 dD_3 \quad (2.2)$$

де:  $\varepsilon_r$  – діелектричної проникність зернової суміші,

$W_3$ ,  $T_3$  і  $D_3$  – відповідно вологість, температура і склад зернової суміші;

$k_3$  – коефіцієнт діелектричної проникності зернової суміші.

Коефіцієнт діелектричної проникності багатокомпонентної суміші  $k_3$  залежить від діелектричної проникності компонент та їх об'ємних концентрацій і для випадку двох компонент (зерно + зернова луска) визначається за формулою В. Н. Дахнова (2.3):

$$k_3 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_1 y_2 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\varepsilon_1 + \frac{1 - y_2}{3} (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}, \quad (2.3)$$

де:  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  - діелектричні проникності складових;  $y_1$ ,  $y_2$  - їх об'ємні концентрації.

Тобто, рівняння (2.2) можна представити наступним чином:

$$d\varepsilon_r = 1/\varepsilon_w \cdot (\partial\varepsilon_w/\partial W_3) dW_3 + 1/\varepsilon_T \cdot (\partial\varepsilon_T/\partial T_3) dT_3 + \\ + 1/\left( \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_1\gamma_2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\varepsilon_1 + \frac{1-\gamma_2}{3}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} \right) \cdot (\partial\varepsilon_D/\partial D_3) dD_3 \quad (2.4)$$

Із залежності (2.4) стає видно, що вимірювання вологості буде тим точніше, чим більшою мірою буде забезпечено виконання умов

$$\frac{\Delta C}{\Delta W} \rightarrow \max \text{ і } \Sigma \left( \frac{\Delta C}{\Delta T_3}; \frac{\Delta C}{\Delta P_3} \right) \rightarrow \min$$

Вологість зерна має найбільший вплив на його діелектричні характеристики, які суттєво відрізняються для різних культур як за інтенсивністю, так і за характером (рис.2.5).

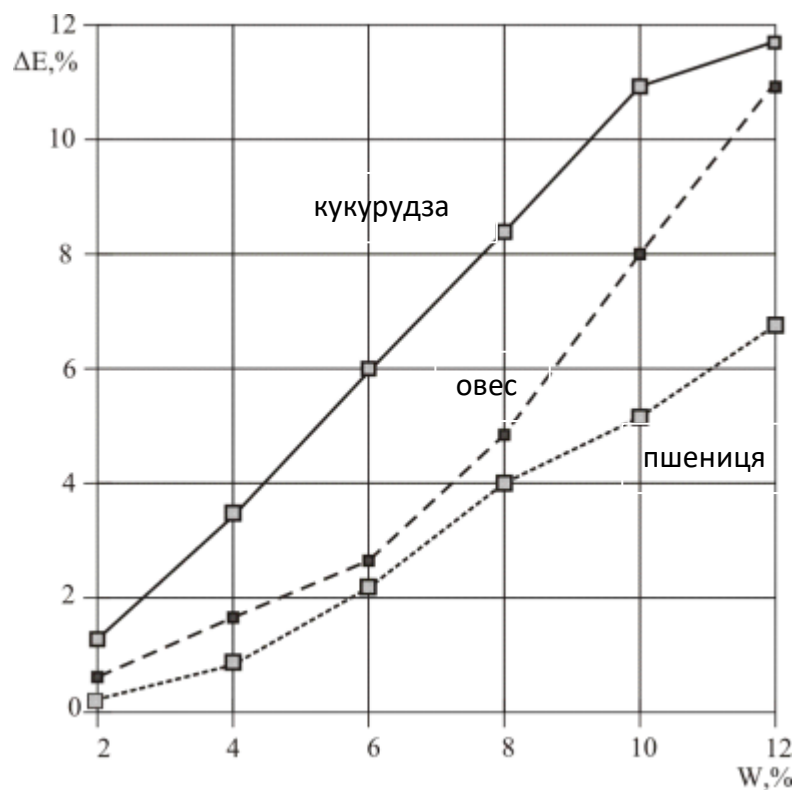


Рисунок 2.5 – Залежність діелектричної провідності зерна від його вологості

Значний вплив на похибку вимірювань вологості електричними вологомірами мають варіації щільності і температури технологічного матеріалу. Відмінності шпаристості зерна різних культур (рис. 2.6) вносять похибку вимірювань вологості електричними вологомірами. З метою компенсації впливу щільності матеріалу використовують нормалізацію маси проби (автономні або вмонтовані у прилад пристрої зважування) і способу її засипання в прилад та ущільнення проби у вологомірі.

Температурну поправку (як правило, лінійна в певних межах зміни температур) може вводити оператор або автоматично – за допомогою тих чи інших електричних схемних рішень. Наприклад, у вологомірі “Електроніка ВЛК-01” температурна поправка становить  $\pm 0,1\%$  на кожен градус температури відносно  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  [118].

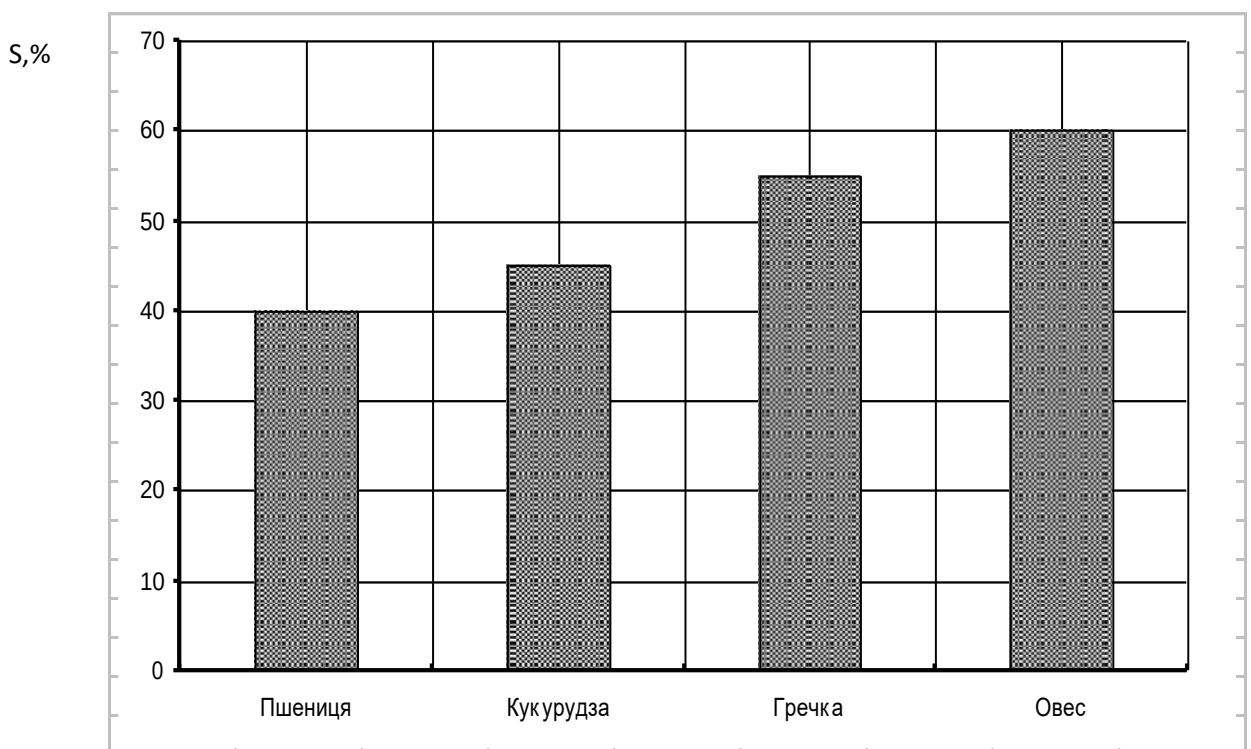


Рисунок 2.6 - Шпаристість зерна промислових культур:  $S$  – відношення об’єму, зайнятого проміжками між твердими частинами зернової маси і загального об’єму, зайнятого зерновою масою

Вводити необхідні поправки можна автоматично за допомогою відповідного інструментального та програмного забезпечення або додаткової підготовки зерна до вимірювань.

У випадку вимірювання вологості зерна приладами з невеликим об'ємом вимірювальної камери пробу зерна можна відбирати в спеціальний мішечок, що додається до вологоміра.[78, 81] Це усуває можливість попадання в пробу зернових оболонок, домішок землі, поверхневої вологи і т. ін. Мішечок з відібраною пробю необхідно затиснути в кулак на 3–5 хвилин (для надання зерну необхідної температури за рахунок температури тіла людини) після чого у вимірювальну камеру приладу насипають чисте і приведене до потрібної температури зерно.

### 2.3 Рациональні параметри чутливого елемента індикатора вологості

Для побудови математичної моделі залежності електричної ємності конденсатора від робочої площі пластин конденсатора чутливого елемента та відстані між його пластинами була використана розроблена план-матриця (табл. 2.1)[33,35, 36, 39, 40, 50].

Таблиця 2.1 – План-матриця двофакторного експерименту на трьох рівнях варіювання факторів

| № точки плану     | Порядок реалізації дослідів |       |       | Фактори процесу |       |       |          |         |         |
|-------------------|-----------------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|----------|---------|---------|
|                   | $m_1$                       | $m_2$ | $m_3$ | $X_0$           | $X_1$ | $X_2$ | $X_1X_2$ | $X_1^2$ | $X_2^2$ |
| 1                 | 1                           | 1     | 7     | 1               | -1    | -1    | 1        | 0,33    | 0,33    |
| 2                 | 3                           | 6     | 3     | 1               | 1     | -1    | -1       | 0,33    | 0,33    |
| 3                 | 7                           | 5     | 9     | 1               | -1    | 1     | -1       | 0,33    | 0,33    |
| 4                 | 2                           | 9     | 2     | 1               | 1     | 1     | 1        | 0,33    | 0,33    |
| 5                 | 8                           | 8     | 1     | 1               | -1    | 0     | 0        | 0,33    | -0,67   |
| 6                 | 6                           | 2     | 8     | 1               | 1     | 0     | 0        | 0,33    | -0,67   |
| 7                 | 5                           | 7     | 6     | 1               | 0     | -1    | 0        | -0,67   | 0,33    |
| 8                 | 4                           | 4     | 5     | 1               | 0     | 1     | 0        | -0,67   | 0,33    |
| 9                 | 9                           | 3     | 4     | 1               | 0     | 0     | 0        | -0,67   | -0,67   |
| Коефіцієнти $b_1$ |                             |       |       | 49,9            | -0,2  | 0,28  | -0,05    | -11,51  | -13,28  |

Результати перевірки значимості коефіцієнтів рівняння регресії  $b_i$  за  $t$  - критерієм Стюдента представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Перевірка однорідності дисперсій за критерієм Стюдента

| Перевірка значимості коефіцієнтів |        |                |        |          |              |        |        |        |
|-----------------------------------|--------|----------------|--------|----------|--------------|--------|--------|--------|
| $S^2\{Y\}$                        | 0,7037 | $S^2\{b_i\}$   | 0,5473 | 0,117284 | 0,117283951  | 0,1759 | 0,3519 | 0,3519 |
| $q, \%$                           | 5      | $S\{b_i\}$     | 0,7398 | 0,342467 | 0,32467445   | 0,4194 | 0,5932 | 0,5932 |
| $V_{zn}$                          | 18     | $t_i$          | 67,384 | 0,486664 | 0,811107106  | 0      | 19,575 | 22,384 |
| $t_{кр}$                          | 2,10   | $t_i - t_{кр}$ | 65,283 | -1,61426 | -1,289814935 | -2,101 | 17,474 | 20,283 |
| Висновок                          |        |                | Знач.  | Незн.    | Незн.        | Незн.  | Знач.  | Знач.  |

Результати перевірки адекватності моделі за критерієм Фішера  $F_p$  представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера

| Перевірка адекватності моделі |           |     |         |          |          |          |              |                  |
|-------------------------------|-----------|-----|---------|----------|----------|----------|--------------|------------------|
| $\Sigma(Y_n - \tilde{Y}_n)^2$ | $S_{2ad}$ | F   | $q, \%$ | $V_{1b}$ | $V_{2b}$ | $F_{кр}$ | $F - F_{кр}$ | Висновок         |
| 1,94                          | 0,97      | 1,4 | 5       | 6        | 18       | 2,66     | -1,28        | Модель адекватна |

Поверхня відгуку регресійної моделі залежності електричної ємності конденсатора від робочої площі пластин конденсатора чутливого елемента та відстані між пластинами представлена на рис. 2.7,[ 3, 9].

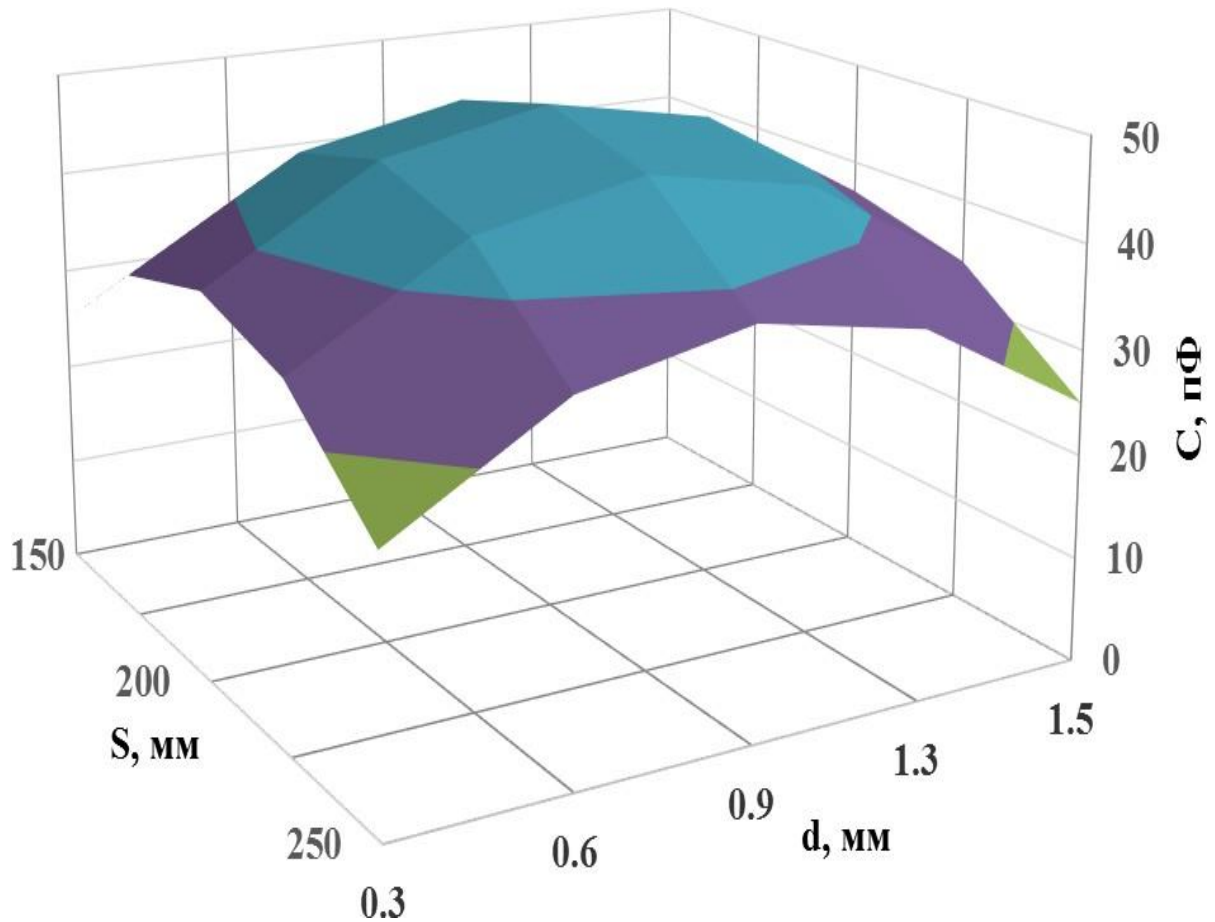


Рисунок 2.7 – Регресійна модель залежності електричної ємності конденсатора від робочої площі пластин конденсатора чутливого елемента та відстані між пластинами

Після побудови поверхні відгуку отримуємо рівняння регресії:

$$Y = 50 - 12 \cdot x_1^2 - 13 \cdot x_2^2. \quad (2.5)$$

Регресійна модель залежності електричної ємності конденсатора від робочої площі пластин конденсатора чутливого елемента та відстані між його пластинами дозволила визначити, що при площі пластин конденсатора 200 мм, раціональне значення відстані між пластинами конденсатора становить 0,69 мм.

- Порівняння експериментальних та теоретичних даних

На рис. 2.8 представлено діаграму порівняння експериментальних та теоретичних даних щодо визначення величини відстані між пластинами конденсатора.

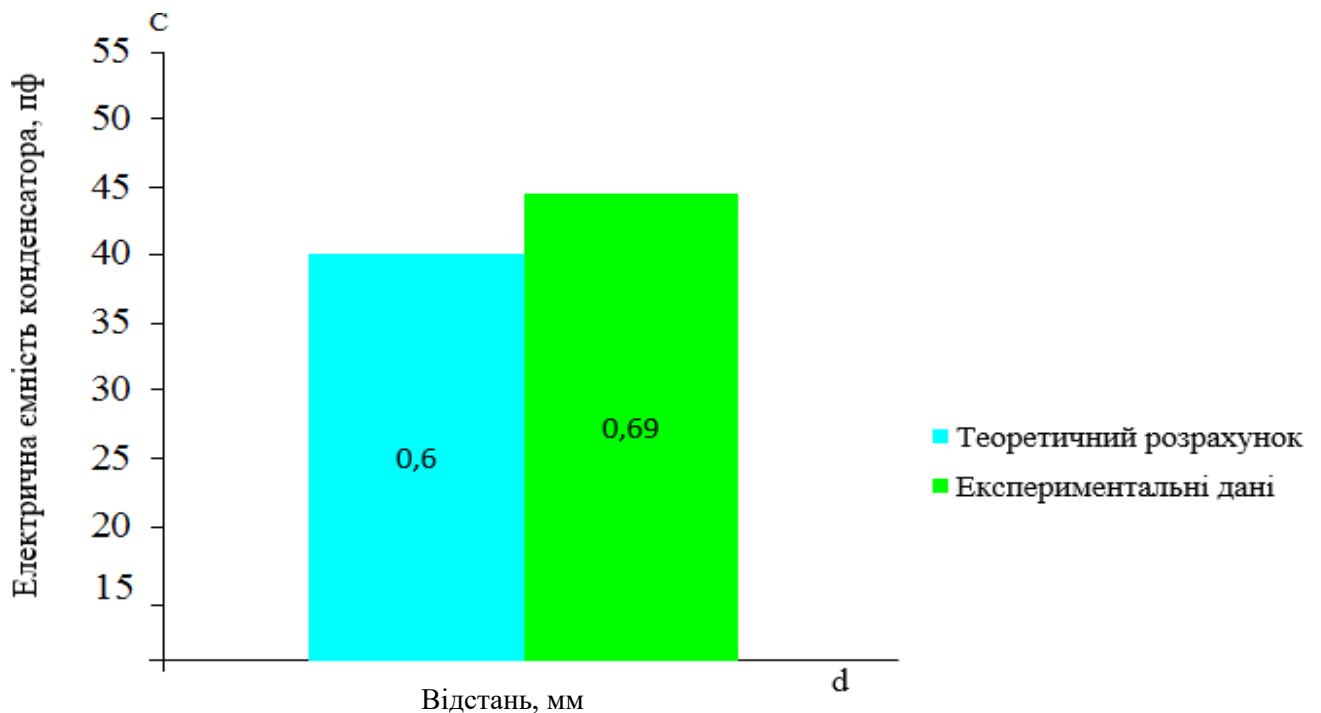


Рисунок 2.8 – Порівняння теоретичних та експериментальних даних визначення величини відстані між пластинам конденсатора

Рациональні значення відстані між пластинами конденсатора чутливого елемента індикатора вологості зерна, які отримані при теоретичних розрахунках та експериментальних дослідженнях, відрізняються на 15%.

### **2.3 Розробка індикатора вологості зерна для внутрішньогосподарського використання**

Виходячи з аналізу результатів експлуатації електричних вологомірів серійного виробництва, досліджень з розробки нових приладів, проведених у

нас в країні та за кордоном, а також практичної відсутності будь-яких засобів виміру вологості у більшості господарств та їх обмежених можливостей придбання дорогих вологомірів, нами розроблено простий і надійний індикатор вологості зерна.

### *Розроблення принципової схеми та конструкції індикатора вологості зерна*

Принцип дії індикатора вологості зерна ґрунтується на зміні діелектричної проникливості між пластинами конденсатора. Розроблення електричної схеми та конструкції індикатора вологості зерна виконувались на основі проведеного аналізу відомих технічних рішень, а також досліджень, які проводились за участю автора.

Структурна схема індикатора вологості зерна складається (рис.2.9) з чутливого елемента, генератора, інтегруючої ланки, 4- канального компаратора, інформаційного табло та блока живлення, який, в свою чергу, складається з батареї живлення напругою 9В, стабілізатора та дільника напруги. Блок живлення подає на електричну схему індикатора стабілізоване живлення напругою 6 В.

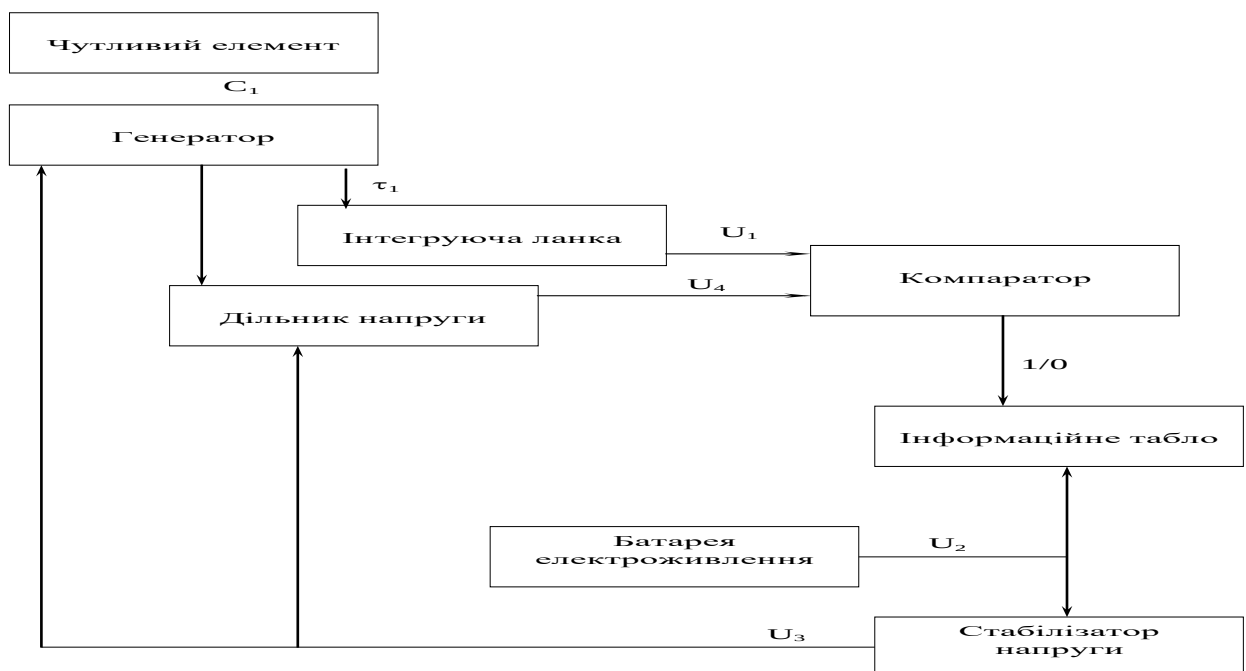


Рисунок 2.9 – Структурна схема індикатора вологості зерна

Принципова електрична схема та технічна документація на корпус індикатора вологості зерна представлені. Алгоритм роботи індикатора представлено на рис.2.10.

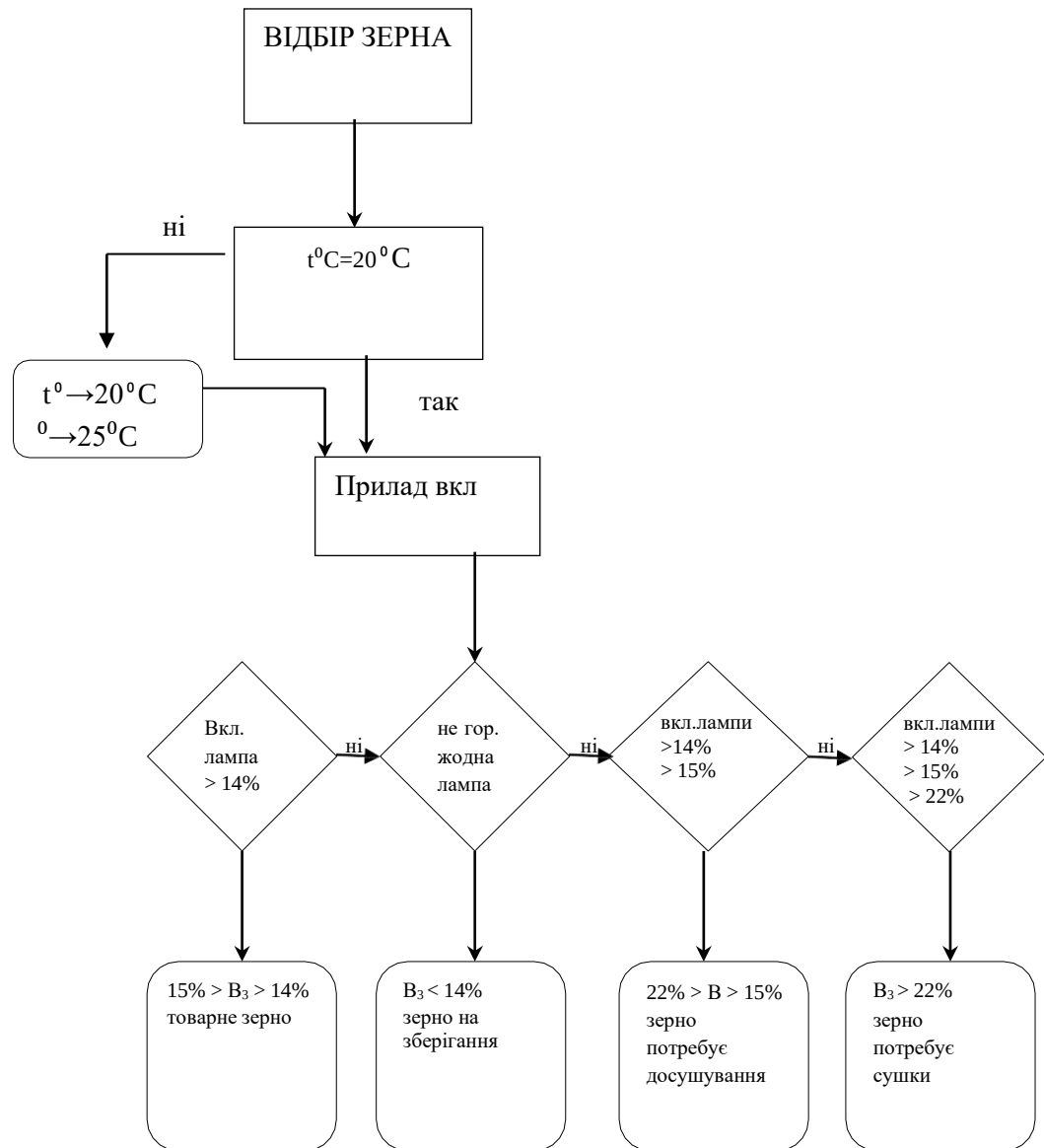


Рисунок 2.10 – Алгоритм роботи індикатора

*Результати лабораторних досліджень макетних зразків індикатора вологості зерна*

На рис.2.11 представлено залежність крутизни вихідної характеристики індикатора від відстані між пластинами чутливого елемента, тобто  $\kappa = f(d)$ :

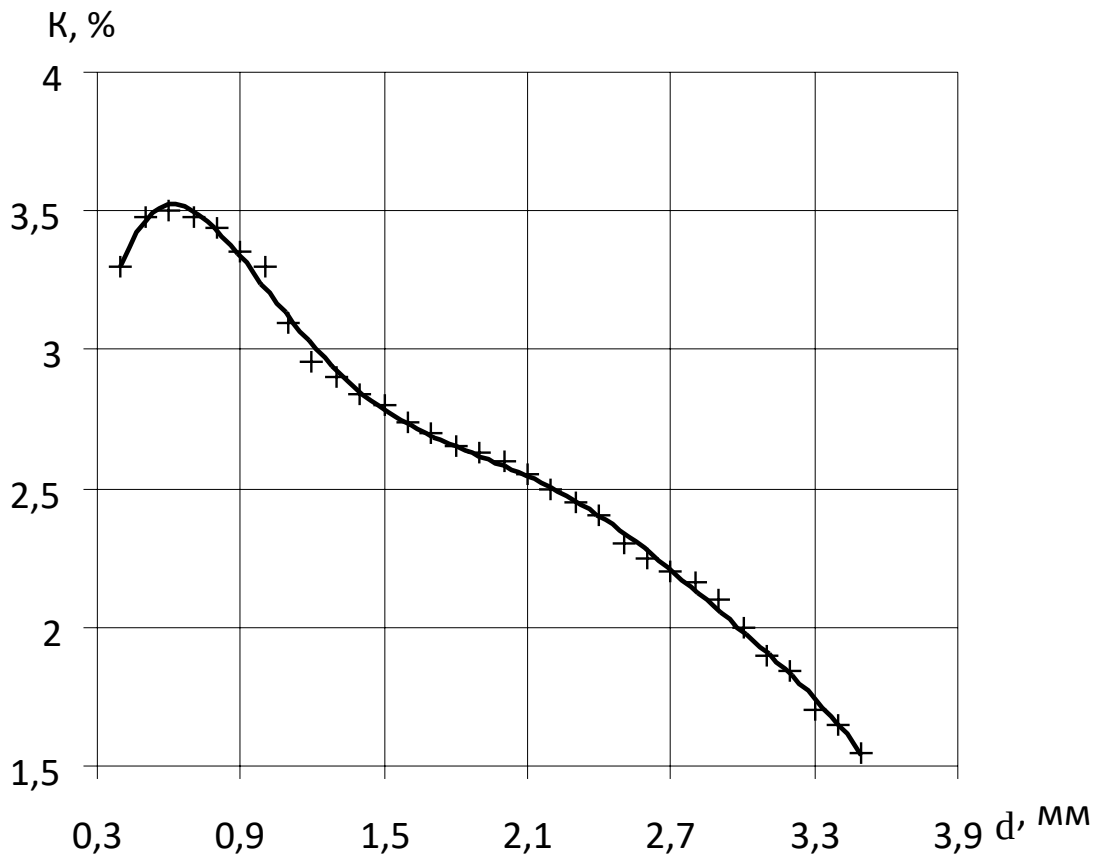


Рисунок 2.11 – Залежність крутизни вихідної характеристики індикатора від проміжку між пластинами чутливого елемента

$$K = \frac{U_{w_2} - U_{w_1}}{U_{w_1}} \cdot 100 \% \quad (2.7)$$

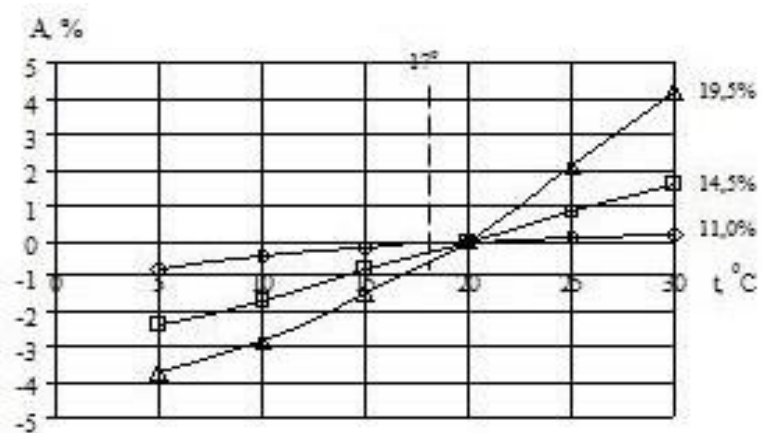
де:  $K$  – коефіцієнт, який характеризує крутизну вихідної характеристики,

$U_{w_1}$ ,  $U_{w_2}$  – напруга на виході первинного перетворювача при різних вологості зерна, В;

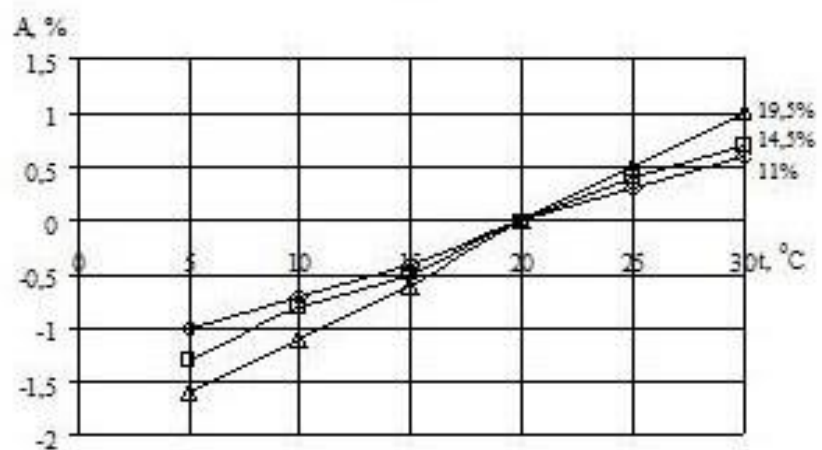
$d$  - відстань між пластинами чутливого елемента, мм.

Коефіцієнт  $k$  показує залежність зміни крутизни вихідної характеристики,  $U_W = f(W)$ , від величини проміжку  $d$  ( $U_W$ -напруга на виході ПП,  $W$  - вологість зерна). Тобто, коефіцієнт  $k$  характеризує чутливість приладу до зміни (як зміниться приріст чутливості від проміжку) вологості зерна в залежності від конструкційних особливостей ЧЕ (відстані  $d$ ).

Збільшення крутизни спаду характеристики  $k = f(d)$  (рис.2.11), після значення  $d = 2,0$  мм пояснюється тим, що крім впливу збільшення відстані між пластинами, починає сильніше проявлятися зменшення величини площі однієї (внутрішньої) з пластин при незмінних геометричних розмірах ЧЕ.



а)



б)

Рисунок 2.12 - Залежність похибки вихідного сигналу первинного перетворювача від температури - а) навколишнього середовища, б) зерна

Експериментальним шляхом конструкційні параметри підбирались так, щоб електрична ємність чутливого елемента була більшою вхідної ємності первинного вимірювального перетворювача, яка складає 8-15 пФ, тому що збільшення ємності дає змогу підвищити чутливість ЧЕ. Після підрахунків отримали, що електрична ємність конденсатора для данного ЧЕ дорівнює 50 пФ.

Лабораторні дослідження показали, що абсолютна похибка виміру вологості від щільності заповнення зерном вимірювальної камери може скласти до  $\pm 0,6\%$ .

На рис. 2.12 приведені залежності впливу температури на похибку вихідного сигналу первинного перетворювача індикатора. Характеристики приведені до температури 20°C, при якій проводилось налаштування та тарування індикатора. За допомогою цих характеристик можна визначити поправку щодо результату вимірювання вологості зерна та відповідно налаштувати прилад на більш точне її вимірювання [47-49].

Вплив температури зерна на результати вимірювання його вологості перевірявся на трьох зразках зерна пшениці з різною вологістю: 11, 14,5 та 19,5%.

Із наведених характеристик видно, що залежність похибки величини вихідного сигналу первинного перетворювача складає в середньому:

- від температури навколишнього середовища -  $\pm 0,08\%$  град<sup>-1</sup>;
- від температури зерна, вологість якого вимірюється -  $\frac{+0.22}{-0.15} \%$  град<sup>-1</sup>.

### Тарування індикатора вологості зерна

Як відомо, таріровка - це компенсація здебільшого систематичної похибки всієї вимірювальної системи від входу вимірюваної фізичної величини до виходу виміряного значення цієї величини. Таріровка робиться шляхом подачі на датчик еталонної величини фізичного впливу. Для таріровки індикатора вологості зерна було використано набір еталонних зразків діелектриків з різними характеристиками електричної провідності та проведено лабораторні дослідження приладу.

Як зазначалося вище, індикатор вологості зерна дозволяє проводити експресне оцінювання вологості зерна тільки однієї культури, але є можливість в лабораторних умовах налаштовувати його під різні зернові культури. За результатами лабораторних досліджень було побудовано тарувальні характеристики індикатора під три основні типи зернових культур – пшениця, гречка, кукурудза (рис. 2.13). За допомогою цих характеристик можна налаштувати індикатор на одну з цих трьох культур.

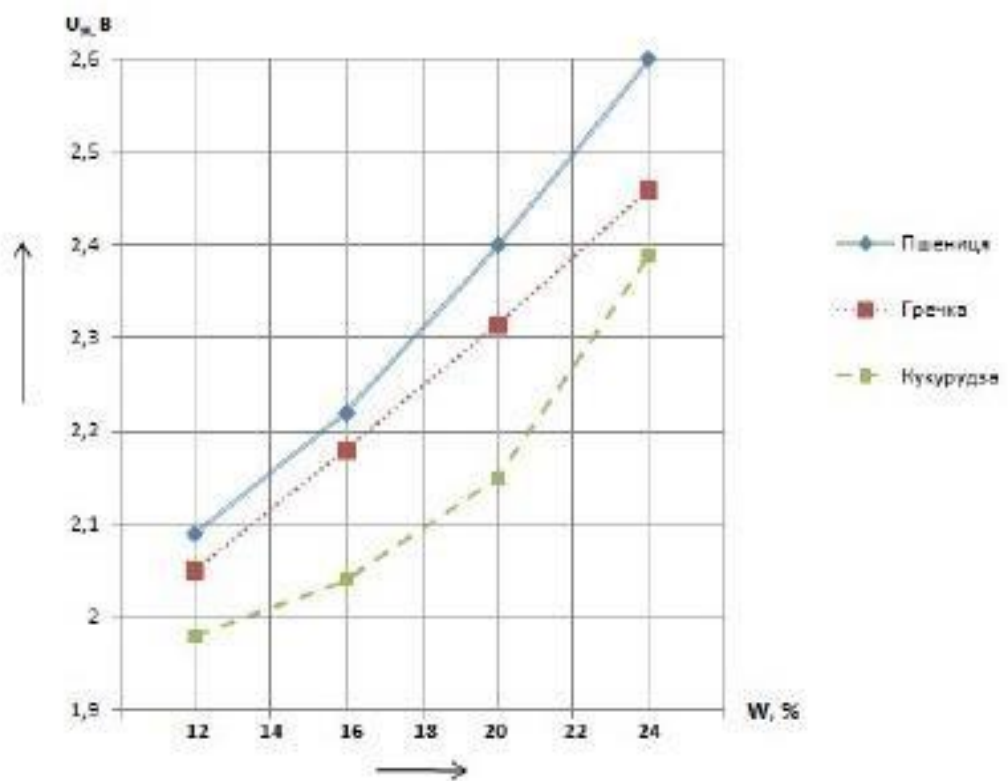


Рисунок 2.13 – Тарувальні характеристики індикатора вологості зерна

*Розробка та дослідження електричної схеми компенсації впливу температури навколишнього середовища на вимірювання вологості зерна*

Було розроблено та проведено дослідження електричної схеми компенсації впливу температури навколишнього середовища на вимірювання вологості зерна.

Компенсація впливу температури навколишнього середовища проводилась за рахунок доопрацювання електричної схеми приладу.

Аналіз електричної схеми приладу показав, що є декілька варіантів компенсації впливу температури, використовуючи для цієї мети як позистори так і термістори. Найбільш оптимальний – використання термістора в ланцюгу, що задає вимірювальні імпульси генератора.

Розрахунок, вибір типу та номіналу термістора проводився згідно з формулою (2.8):

$$R_{T_2} = R_{T_1} \times e^{\frac{B(T_1 - T_2)}{T_1 \times T_2}}, \quad (2.8)$$

де:  $T_1, T_2$  – початкова та кінцева абсолютні температури, °К;

$R_{T_1}, R_{T_2}$  – опір термістора при температурах відповідно  $T_1, T_2$ , Ом;

$B$  – коефіцієнт температурної чутливості, °К;

$e$  - основа натурального логарифму.

За результатами розрахунку обраний терморезистор ММТ-1 номіналом 3,3кОм.

Проведені дослідження показали, що при використанні компенсації впливу температури навколишнього середовища абсолютна похибка вимірювання вологості знижується в середньому при температурі 10°C – 0,98%, а при температурі 30°C - у середньому відповідно 0,08% та 0,11%.

### *Організація виробництва та виготовлення індикатора вологості зерна*

З метою виготовлення індикатора нами було розроблено та виготовлено обладнання для виливу корпусів індикатора. Воно складається з трьох сталевих пресформ для виливу корпусу, кришки корпусу та ручки прилада та спеціального станка для лиття. Зовнішній вигляд пресформ представлено на рис 2.14.



Рисунок 2.14 – Загальний вигляд пресформ для виливу корпусу, кришки корпусу та ручки індикатора

Вилив деталей відбувався за допомогою спеціального станка для лиття (рис 2.15).

Станок складається зі станини, на чотирьох стійках якої закріплена верхня нерухома плита з поршнем. На цих же стійках розташовані дві рухомі плити - нижня і верхня. Нижня плита з'єднана зі штоком гідроциліндра, а верхня має змогу рухатись вздовж стійок між обмежувальними шайбами. На нижній плиті розташована пресформа, а на верхній – ємкість з пластичною масою. На боковій поверхні ємності розміщений тен потужністю 1 кВт для нагріву пластичної маси. Шток поршня гідроциліндра рухається за допомогою масла, яке подається насосною станцією під тиском до 10 кПа. Нагрів пластичної маси проводиться в автоматичному режимі в межах 150-300°C



Рисунок 2.15– Загальний вигляд станка для лиття деталей індикатора

При виготовленні корпусних деталей індикатора використовувався поліетилен марки ПЕВД з температурою плавлення 200-240°C. Деталі виплавились за температури 220°C. При цьому для кращого заповнення пресформи пластичною масою пресформа підігрівалась до 50-60°C. Для того, щоб виплавлена деталь краще відокремлювалась від корпусу пресформи, внутрішню поверхню пресформи змащували воском. Після виливу деталей їх зачищали механічним способом від заусенців та литників. Написи для лицевої панелі індикатора виготовляли на папері друкованим способом, а потім заливали лаком ПФ-283.

#### **2.4 Виробнича перевірка індикатора вологості зерна.**

Для проведення виробничої перевірки підготовлений макетний зразок для експресної оцінки вологості зерна пшениці з контрольними точками вологості – 22, 15 та 14%.

Виробнича перевірка показала, що індикатор з високою точністю дозволяє робити експресне оцінювання вологості зерна пшениці у виробничих умовах, забезпечує ефективне визначення початку збирання врожаю пшениці (18-22%), якісну підготовку зерна до продажу (14-15%) та закладання на зберігання (до 14%).

## *Технічна характеристика та настанова з використання індикатора вологості зерна*

Оцінювання вологості зерна відносно заданих контрольних значень для прийняття рішення про доставку зерна від комбайна на зберігання, природне досушування, сушку тощо може бути проведене створеним простим і надійним польовим індикатором (рис. 2.16), яким оснащується кожен комбайн [20].



Рисунок 2.16 - Загальний вигляд індикатора вологості зерна

Індикатор дає можливість проводити експресну (6 с) оцінку вологості зерна однієї з культур у виробничих умовах (поле, тік, комора) без будь-яких додаткових пристосувань чи матеріалів. Невеликий об'єм вимірювальної камери вологоміра (близько 33 грам зерна) вирішує деякі похибки вимірювання вологості простими методичними прийомами. Пробу зерна відбирають в спеціальний мішечок, що додається до вологоміра. Це усуває можливість попадання в пробу домішок землі, поверхневої вологи тощо. Мішечок з відібраною пробю необхідно затиснути в кулак на 3–5 хвилин для надання зерну необхідної температури за рахунок температури тіла людини. Таким чином, у вимірювальну камеру приладу насипають чисте і приведене до потрібної температури зерно.

Прилад дозволяє ефективно визначати: початок збирання урожаю (оптимальна вологість зерна пшениці 18-22%), підготовку зерна до продажу (14-15%) та закладання на зберігання (менше 14%).

#### *Технічна характеристика індикатора*

Принцип роботи - ємнісний.

Контрольні рівні вологості, % - 22, 15, 14.

Межа допустимої систематичної складової абсолютної похибки визначення рівня вологості, % -  $\pm 0,3$ .

Повторюваність виміру, % - не гірше  $\pm 0,1$ .

Тривалість визначення вологості зерна, с - не більше 6.

Габарити, мм - 40×50×180.

Маса, г - 200.

Об'єм вимірювальної камери, мл - 60 ( $\approx 33$ г).

Температура середовища, °C - +15...+35.

Живлення, В - 9.

Сумарний час роботи до розрядження батареї живлення, годин - не менше 25.

Настанова з експлуатації розроблялась на основі проведення лабораторних досліджень та перевірки працездатності індикатора у виробничих умовах. У ній висвітлені всі положення, необхідні для правильного користування індикатором вологості й отримання достовірних результатів.

Розроблена технічна документація, підготовано необхідне обладнання та налагоджений випуск індикатора вологості зерна за замовленням.

### **2.5 Результати виробничої перевірки інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна**

Програмою досліджень передбачалось обґрунтувати структуру системи визначення вологості зерна в процесі проведення жнив.

Методика досліджень включала в себе: проведення аналізу можливостей зменшення втрат вирощеного врожаю, здійснення синтезу загальної структури системи інформаційного забезпечення стану вологості зерна у процесі підготовки та проведення жнив, розроблення алгоритмів розрахунку плану збиральних робіт і логістики потоків зерна, використання методів системного аналізу, методів теорії автоматизованого управління, методів проектування баз даних та баз знань, методів математичного програмування.

**Мета виробничої перевірки.** Оцінювання відповідності запланованої дати початку жнив з визначеною за допомогою інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна на етапі його досягання і збирання, а також прийняття рішень щодо його післязбиральної логістики.

**Результати досліджень.**

Збір урожаю пшениці сорту «Зимоярка» на полі 2,5 га проводився комбайном «Samro», а перевезення зібраного урожаю на післязбиральну переробку – автомобілем «ГАЗ-53».

Інформаційна система моніторингу та прогнозування вологості зерна на етапі його досягання і збирання включала:

- вологомір зерна ВСП 100;
- комп'ютерну програму розрахунку терміну початку жнив ДТМ-1;
- індикатор вологості зерна ІВЗ-1;
- рекомендації по використанню СВЗ у агропромисловому виробництві.

Строки виробничої перевірки – 9 липня – 12 серпня 2021 р.

Складові інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна на етапі його досягання і збирання представлено на рис. 2.17.

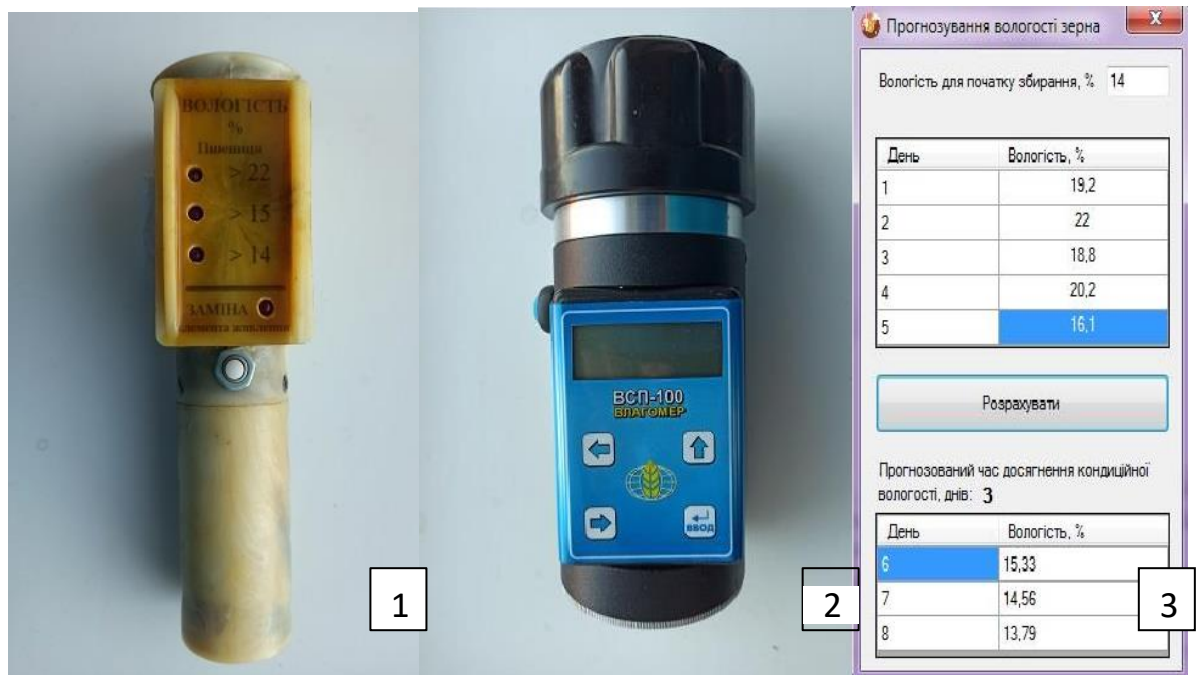


Рисунок 2.17 - Елементи системи інформаційного забезпечення щодо стану вологості зерна в процесі підготовки та проведення жнив: 1 - індикатор вологості зерна ІВЗ-1, 2 – вологомір зерна ВСП 100; 3 – інтерфейс інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна за розрахунковою програмою ДТМ-1

У попередньо визначених точках контрольного поля вибиралося зерно з колосків у вимірювальну камеру вологоміра і проводився замір вологості зерна. Дані вимірів заносилися в таблицю. За даними вимірів визначалося середнє значення вологості зерна, яке також заносилося в таблицю 4.5.

Таблиця 2.4 – Дані вимірювання вологості зерна

| № п/п | Дата проведення вимірювань | Вологість зерна в контрольних точках, % | Розрахункова вологість зерна, % |
|-------|----------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| 1     | 2                          | 3                                       | 4                               |
| 1.    | 09.07.2019р.               | 18,6                                    | 19,2                            |
|       |                            | 20,1                                    |                                 |
|       |                            | 20,2                                    |                                 |
|       |                            | 17,9                                    |                                 |

Визначені значення вологості зерна за п'ять днів були занесені в комп'ютерну програму, за допомогою якої розраховали раціональний термін початку жнив на даному полі (рис.2.18).

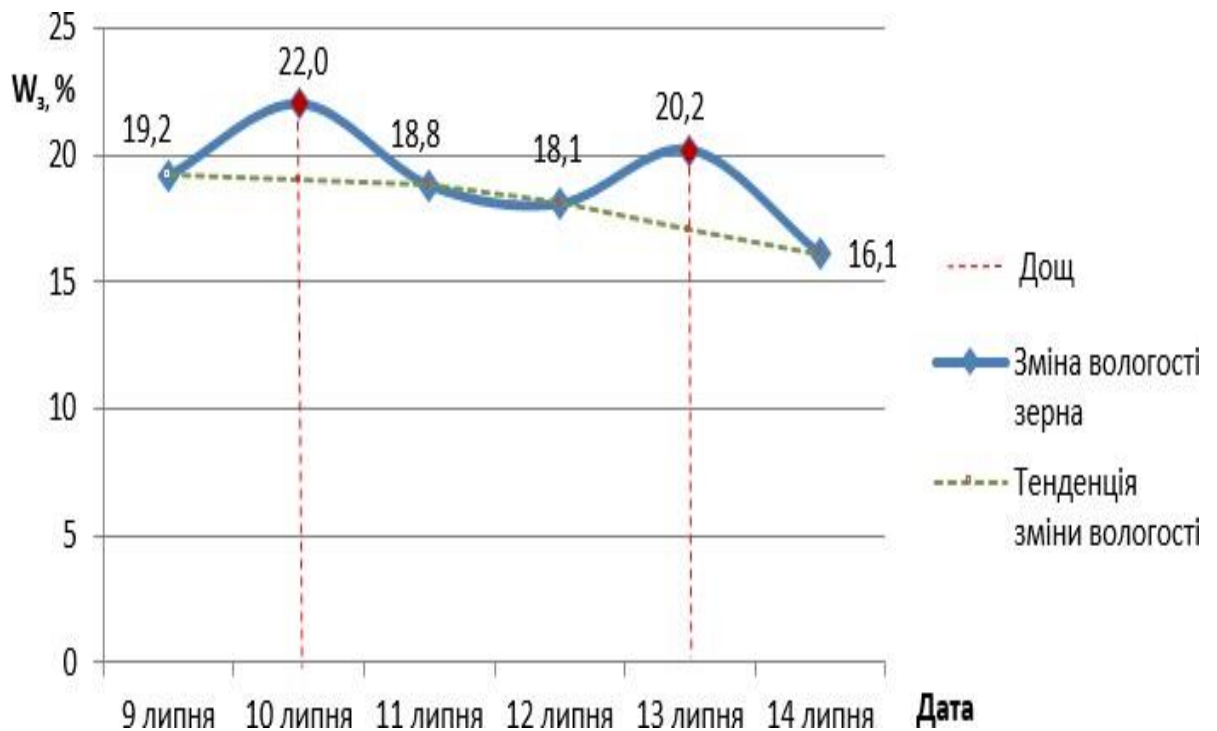


Рисунок 2.18 – Зміна вологості зерна в полі та розрахунок раціонального терміну початку жнив на даному полі

Із урахуванням розрахованого раціонального терміну початку жнив було проведено уточнення запланованого терміну та внесені необхідні корективи в план підготовки техніки і обладнання до початку жнив.

Після перевантаження зібраного зерна з бункера комбайна в кузов транспортного засобу, проводилася оцінка вологості зерна індикатором ІВЗ-1 та уточнювався попередньо передбачений транспортним завданням пункт доставки зерна з поля.

Оцінка ефективності використання інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна на етапі його досягання і збирання проводилася у відповідності з методикою.

У результаті проведеної виробничої перевірки встановлено наступне:

- за визначеною динамікою зміни вологості зерна в колосі та відповідними розрахунками початок збору урожаю скорегований на три доби – з 20 на 17 липня 2022 року, що зменшило потенційні втрати урожаю до 4%;
- контроль вологості зерна індикатором ІВЗ-1 дозволив змінити 6 з 28 маршрутів перевезення зібраного урожаю з поля на пункти післязбиральної переробки, що зменшило потенційні витрати на перевезенні урожаю до 20% .

### **Висновки за розділом**

1. Розроблено теоретичні основи використання оперативної інформації щодо вологості зерна для планування механізованих технологічних процесів збирання урожаю зернових колосових культур, зокрема, алгоритм розрахунку плану збиральних робіт, який передбачає визначення раціонального періоду проведення жнив на основі аналізу зміни вологості зерна; алгоритм раціонального переміщення зібраного зерна з поля, який передбачає трипорогову оцінку вологості зерна (сухе -  $\leq 14\%$ , вологе – 14-15%, мокре -  $\geq 15\%$ ) та прийняття відповідного логістичного рішення.

2. Розроблено програмне забезпечення розрахунку прогнозного (3-5 днів) раціонального терміну збирання урожаю на конкретному полі з урахуванням біологічних властивостей відповідного сорту.

3. У результаті проведення багатofакторного експерименту отримано регресійну модель залежності електричної ємності конденсатора від робочої площі пластин конденсатора чутливого елемента та відстані його пластинами, яка дозволила визначити, що при площі пластин конденсатора 200 мм, раціональне значення відстані між пластинами конденсатора становить 0,69 мм.

4. Розроблено і серійно впроваджено простий і надійний індикатор вологості зерна, принцип дії якого ґрунтується на зміні діелектричної проникливості між пластинами конденсатора. Індикатор вологості зерна дозволяє ефективно визначати: початок збирання урожаю (оптимальна вологість зерна пшениці 18-22%), підготовку зерна до продажу (14-15%) та закладання на зберігання (менше 14%) з абсолютною похибкою  $\pm 0,3\%$ .

## РОЗДІЛ 3

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 3.1 Особливості охорони праці для працівників в сільськогосподарському підприємстві

Агропромислове виробництво характеризується наявністю цілого ряду небезпечних факторів, які вже стали часто зустрічатися в господарствах: старіння основних фондів, підвищена кількість фізично зношеного та дуже старого обладнання, механізмів та машин, не відповідність безпечним умовам праці.

Основним особливостями побудування виробничого процесу в агро секторі економіки є:

- сезонність робіт, що створює труднощі реалізувати в окремі періоди року дотримання нормативної тривалості трудового дня, через те щорічно травматизм досягає пікових значень в одні і ті ж місяці року;

- нерівномірне навантаження працівників протягом року (кількість працівників в агропромисловому виробництві в липні перебільшує в середньому за рік на 12-15%);

- Використання праці підлітків і людей пенсійного віку у напружений період польових робіт (в липні їх кількість сягає 4-5% від загальної кількості працюючих).

Так, технологічні процеси пов'язані сушінням та максимальну температуру нагрівання зерна необхідно регулярно контролювати на вході до зони сушіння прямоочних сушарок.

Високий рівень небезпеки мають і механізовані роботи зерно перед сушкою в прямоочних та рециркуляційних шахтних сушарках (без додаткових пристроїв для нагрівання зерна) для уникнення загоряння потрібно очищувати на зерноочисних машинах від грубих та легких домішок, а перед сушкою у рециркуляційних сушарках з нагрівом зерна у камерах з падаючим потоком - від грубих домішок..

### **3.2 Моделювання виробничих небезпек при роботі з обладнанням для очищення, сушіння, зберігання зернових матеріалів**

1. Силоси та бункери для зерна, борошна, круп, комбікормів, висівок незалежно від місця їх розташування закривають суцільним перекриттям з облаштуванням в них завантажувальних та лазових люків із запобіжними ґратами, що щільно зачиняються та закриваються на замок.

2. Внутрішні поверхні стін залізобетонних силосів, бункерів, складів-куполів, їхні днища мають бути гладкими (без виступів, впадин тощо) і забезпечувати повний вихід з них продукту. Залишки зернопродукту допускаються при експлуатації металевих силосів та складів-куполів. Обробка внутрішньої поверхні силосів має сприяти кращому витіканню сипучого матеріалу. Для обробки внутрішньої поверхні силосів, а також випускних конусів необхідно застосовувати розчини, на які є висновки державної санітарно-епідеміологічної експертизи.

3. Усі залізобетонні силоси і бункери обладнуються аспіраційним обладнанням та іншими пристроями з таким розрахунком, щоб запилене повітря, яке витісняється під час заповнення силосів і бункерів зерном, готовою продукцією або відходами, не надходило до приміщень, де перебувають люди. Аспіраційне обладнання та оперативну ємність для збору і зберігання пилу допускається об'єднувати в одну аспіраційну установку з технологічним і транспортним обладнанням не інакше, як через шлюзові затори або через вибухозахисні клапани.

Оперативні ємності для збору і зберігання пилу слід аспірувати окремою установкою, їх об'єднання допускається лише з обладнанням, в якому відсутні обертові деталі (насипні лотки, поворотні труби тощо).

4. Перевірка температури продуктів, що зберігаються в силосах та бункерах, здійснюється стаціонарними або переносними установками (у випадках зберігання на підлозі). Опускатись у силоси та бункери працівникам заборонено.

5. Лазові люки прямокутного розрізу розміром не менше 0,47х0,65 м розміщують за можливості в центрі залізобетонного силосу.

6. Експлуатацію лебідок для спуску працівників у залізобетонні силоси необхідно здійснювати з дотриманням таких вимог:

діаметр сталевих канатів (тросів) для спуску одного працівника має бути не менше 7,7 мм;

співвідношення діаметрів барабана, направляючого барабана чи блока та діаметра каната має бути не менше 40 мм;

лебідка повинна бути оснащена справним гальмом, безпечною рукояткою, опускання працівника відбувається тільки під час обертання рукоятки у напрямку, зворотному підйому;

випробування лебідки проводиться щороку вантажем, який удвічі перевищує максимальне робоче навантаження, відповідно до інструкції заводу-виробника обладнання, що міститься у паспортній або експлуатаційній документації.

### **3.3 Висновки по розділу**

Наведено заходи з охорони праці працівників на підприємстві при виконанні робіт. Досліджено методику моделювання процесів при роботі з обладнанням для очищення, сушіння, зберігання зернових матеріалів, виникнення небезпечних ситуацій, а саме надані рекомендації по роботі з обладнанням для підвищення якості зернових матеріалів та процесу виникнення травми при роботі.

## РОЗДІЛ 4

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА НА ЕТАПІ ЙОГО ДОСТИГАННЯ ТА ЗБИРАННЯ

#### Економічна оцінка ефективності оперативного визначення вологості зерна на етапі його достигання та збирання в господарстві

Економічна ефективність використання інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна в процесі підготовки і проведення жнив у господарстві визначалася за формулою:

Економічна ефективність визначалася за формулою (4.1):

$$E = N \times Q \times \kappa_c \times C_z + a \times \Delta C \times M \times C_n + E - C_i, \quad (4.1)$$

де:  $N$  – кількість вирощеного зерна, т;  $Q$  – частка втрат зерна для даної технології збирання за його оптимальної вологості;  $\kappa_c$  – коефіцієнт збільшення втрат зерна при відхиленні вологості від оптимальної;  $C_z$  – ціна 1 т зерна, грн /т;  $a$  – кількість палива необхідна для висушування 1 т зерна на 1% вологості, кг/т;  $\Delta C$  – значення відсотків, на яку зменшилась вологість зерна за рахунок сушки;  $M$  – маса висушеного зерна, т;  $C_n$  – ціна 1 кг палива, грн/кг;  $E$  – можливі втрати від продажу зерна за рахунок неправильної оцінки його вологості, грн;  $C_i$  – ціна індикатора, грн.

Ефективність використання інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна в процесі підготовки і проведення жнив складається за рахунок зменшення втрат врожаю (при несвоєчасному збиранні – досягають 30 %) та зменшення загальних витрат на перевезення зерна з поля.

Перетворивши формулу 5.1 розраховуємо економічну ефективність використання інформаційної системи:

$$E = 4 \text{ т/га} \times 0,03 (Q \times \kappa_c) \times 4700 + 0,4 \text{ т/га} \times 3 \times 30 \text{ грн/1т\%}(a \times C_n) + 0,8 \text{ т/га} \times 6 \text{ км} \times 0,02 \text{ л/т км} \times 20 \text{ грн} = 564 + 36 + 2 = 602 \text{ грн.}$$

Розрахунок економічної ефективності використання інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна в процесі підготовки і проведення жнив приведено в таб. 4.1 [6, 8, 10, 11].

Таблиця 4.1 – Розрахунок економічної ефективності використання інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна в процесі підготовки і проведення жнив

| Показник                                             | Обрахунок показника                                                                     | Ефект на га |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Втрати урожаю                                        | $3\% \times 4\text{т/га} \times 4700 \text{ грн}$                                       | 564 грн.    |
| Витрати на сушку рано зібраного зерна                | $0,4 \text{ т/га} \times 3\% \times 30 \text{ грн}$                                     | 36 грн      |
| Витрати на перевезення зерна за помилковим маршрутом | $0,8 \text{ т/га} \times 6 \text{ км} \times 0,02 \text{ л/т км} \times 20 \text{ грн}$ | 2 грн       |
| Економічний ефект на 1 га, грн/га                    | -                                                                                       | 602         |

Таким чином, розрахунковий економічний ефект використання системи інформаційного забезпечення щодо вологості зерна в процесі підготовки і проведення жнив склав 602 грн/га.

Розрахунки показують, що затрати на придбання індикатора вологості зерна можуть окупитися, наприклад, за рахунок своєчасного збору 500 т зерна пшениці, у порівнянні зі збором цього урожаю із запізненням на два дні, за які вологість зерна зменшиться з 20 до 15%. За результатами виробничих випробувань економічний ефект використання лише індикатора вологості зерна становив 1200 грн на рік, або 2 грн на тону перевезеного зерна.

### **1.1 Висновки за розділом 4**

1. Ефективність використання інформаційної системи моніторингу та прогнозування вологості зерна в процесі підготовки та проведення жнив складається за рахунок зменшення втрат урожаю та зменшення загальних витрат на перевезення зерна з поля. Розрахунковий економічний ефект складає 600 грн/га.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі визначено народногосподарську задачу, суть якої полягає у зменшенні втрат урожаю за рахунок ефективної організації його збирання. Вирішуючи науково-технічну задачу з обґрунтування структури та параметрів системи моніторингу вологості зерна на етапі його збирання, отримано наступні результати:

1. На підставі аналізу літературних джерел встановлено, що втрати урожаю різних зернових культур від недотримання оптимальних строків збирання становлять в залежності від тривалості збирання від 0,7 % у перший день після настання повної стиглості зерна і досягають до 32,1% на двадцятий день.

2. Запропоновано систему вимірювань, яка дозволяє проводити оперативний моніторинг вологості зерна на етапі його дозрівання та збирання з метою зменшення втрат вирощеного урожаю та витрати паливно-енергетичних матеріалів на його виробництво.

3. Розроблено теоретичні основи використання оперативної інформації щодо вологості зерна для планування механізованих технологічних процесів збирання урожаю зернових колосових культур, зокрема, алгоритм розрахунку плану збиральних робіт, який передбачає визначення раціонального періоду проведення жнив на основі аналізу зміни вологості зерна; алгоритм раціонального переміщення зібраного зерна з поля, який передбачає трипорогову оцінку вологості зерна (сухе -  $\leq 14\%$ , вологе – 14-15%, мокре -  $\geq 15\%$ ) та прийняття відповідного логістичного рішення.

4. Розроблено програмне забезпечення розрахунку прогнозного (3-5 днів) раціонального терміну збирання урожаю на конкретному полі з урахуванням біологічних властивостей відповідного сорту.

5. Розроблено математичну модель (у вигляді диференційного рівняння з постійним коефіцієнтом) визначення вологості зерна електричними приладами,

яка встановлює залежність ємності чутливого елементу ( $\epsilon_r$ ) від вологості ( $W_3$ ), температури ( $T_3$ ) і щільності ( $D_3$ ) зерна.

6. Розрахунками встановлено, що раціональне значення відстані між пластинами конденсатора з позиції його найкращої чутливості дорівнює 0,6 мм.

7. В результаті багатофакторного експерименту отримано регресійну модель залежності електричної ємності конденсатора від робочої площі пластин конденсатора чутливого елемента та відстані між його пластинами, яка дозволила визначити, що за площі пластин конденсатора 200 мм, раціональне значення відстані між пластинами конденсатора становить 0,69 мм.

8. Встановлено, що раціональні значення відстані між пластинами конденсатора чутливого елемента індикатора вологості зерна, які отримані за теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень, відрізняються на 15%.

9. Розроблено і серійно впроваджено індикатор вологості зерна, принцип дії якого ґрунтується на зміні діелектричної проникливості між пластинами конденсатора. Він дозволяє ефективно: прогнозувати початок збирання урожаю (оптимальна вологість зерна пшениці 18-22%), на етапах підготовки зерна до продажу (14-15%) та закладання на зберігання (менше 14%) з абсолютною похибкою  $\pm 0,3\%$ .

10. За результатами виробничої перевірки встановлено, що інформаційна система моніторингу та прогнозування вологості зерна в процесі підготовки і проведення жнив дозволяє визначати раціональні терміни проведення жнив, формувати відповідні плани збиральних і транспортних робіт та забезпечила зменшення потенційних втрат урожаю до 4%, потенційних втрат на перевезенні урожаю до 20%, а економічний ефект від її використання склав 600 грн/га.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Особливості збирання урожаю ранніх зернових і зернобобових культур в господарствах Харківської області у 2015 р.: рекомендації. Харків, 2015. 36 с.
2. Броварець О. О. Інформаційні технології та технічні засоби нового покоління для моніторингу й забезпечення якості виконання технологічних процесів при вирощуванні сільськогосподарських культур. *Хранение и переработка зерна: научно-практический журнал*. 2013. № 6 (171). С. 37–42.
3. Мироненко В. Г. Передумови та особливості створення елементів штучного інтелекту в системах оперативного керування АПК. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 5. С. 47–51.
4. Шевманев В. І., Кирпа М. Я. Концепція розвитку технологій та енергозбереження в процесах післязбиральної обробки, зберігання зерна. *Вісник ДДАУ*. 2003. № 2. С. 52-57.
5. Сорочук Н. С., Залюбовський С. В., Романюха І. Е. Практичний експрес-контроль вологості зернових та олійних культур. *Збереження і переробка зерна*. 2000. № 3. С. 27-29.
6. Кокс С. У. Р. Микроэлектроника в сельском хозяйстве / пер. с англ. и предисл. В. М. Лурье, Р. Л. Танкелевича. М.: Агропромиздат, 1986. 280 с.
7. Теорія і практика експериментального контролю вологих твердих і рідких матеріалів. М. Енергія, 1980. 185 с.
8. ДСТУ 3768:2010. Пшениця. Технічні умови. Київ: Держстандарт України, 2010. 14 с.
9. Драганов Б. Х., Сажина С. О., Сергієнко Ю. М., Федоров В.Г. Теплометрия у сільському господарстві. К.: Вид-во УСГА, 1993. 280 с.
10. Мироненко В. Г., Лободко М. М., Сергєєв Г. П. Уніфікований первинний вимірювальний перетворювач сигналів для сільськогосподарського використання. *Пропозиція*. 2001. №2. С. 100-101.

11. Бальченко І. В. Інформаційна технологія планування робіт в автоматизованій системі управління сільськогосподарським підприємством : дис. ...канд. техн. наук : 05.13.06 / Чернігівський національний технологічний університет. Чернігів, 2015. 150 с.

12. Мироненко В. Г., Тютюнник Н. В. Оценка влажности зерна в условиях хозяйства. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17. No 3. Pp. 293-297.

13. Гідропривід : пат. на винахід №75266; Україна / М. М. Лободко , Г. П. Сергєєв, Г. В. Шкарівський, Н. В. Тютюнник, В. Г. Присяжний, С. П.Погорілий; заявник і патентовласник Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства. №u20040706183; заявл. 26.07.2004; опубл.15.03.2006, Бюл. № 3.

14. Мироненко В. Г. Науково-технічні основи розробки засобів механізації з керованою якістю виконання технологічних процесів у рослинництві: Дисертація доктора технічних наук. К., 2006. 398 с.

15. Стасенко О.М. Продовольча безпека як пріоритетний напрям аграрної політики України. *Актуальні проблеми розвитку обліку, аудиту, фінансів і менеджменту в агропромисловому виробництві України* : матеріали міжнар. наук. конф. (20-22 листопада 2008 р., м. Харків) Харків, 2008. С.159-161.

16. Довідник по автоматизації сільськогосподарського виробництва / за ред І. І. Мартиненка. Київ : Урожай, 1985. 215 с.

17. Економічний сільськогосподарський словник / за ред. І. І. Лукінова Київ : Урожай, 1975. 279 с.