Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри АВП
к.т.н., доцент
_____ Олександр ДІДИК
“___“ _____2022 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему
«Автоматична система дозування насіння рослинних культур з метою подальшого визначення натури зазначених культур та вмісту вологи»

Виконав здобувач вищої освіти
ІІ курсу групи АК-21М
ОПП «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»
_____ Андрій ПАТЮК
«___»_____ 2022 р.

Керівник проекту
доцент, канд. техн. наук
_____ Роман ЖЕСАН
«___»_____ 2022 р.

Рецензент
_____
«___»_____ 2022 р.

м. Кропивницький

Форма № Н-9.01

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

_____
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення *Будівництва та транспорту*
Кафедра, циклова комісія *Автоматизації виробничих процесів*
Освітньо-кваліфікаційний рівень *магістр*
Напрям підготовки *151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*
(шифр і назва)
Спеціальність *151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Автоматизації виробничих процесів
_____ Олександр ДІДИК

"____" _____20___ року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Патюк Андрій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) *«Автоматична система дозування насіння рослинних культур з метою подальшого визначення натури зазначених культур та вмісту вологи»*

керівник проекту (роботи) *Жесан Р.В,, к.т.н., доцент*,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання студентом проекту (роботи)_____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Типовий проект. Характеристики технологічного процесу зберігання зерна. Матеріали по проектуванню електротехнічного обладнання і систем. Вимоги підприємства до розробляємої системи*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *аналіз шляхів автоматизації; розробка функціональної та принципової схем автоматизації; розрахунок характеристик елементів автоматики; монтаж, налагодження та експлуатація систем та засобів автоматизації*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Схема функціональна автоматизації. Дослідження автоматичної системи вимірювання температури та вологості зерна. Схема електрична принципова. Алгоритм роботи САК. Теоретичне креслення.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	*Жесан Р.В,*		

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	*Примітка*
1.	*Характеристика об'єкта автоматизації*	*15.10.22*	
2.	*Аналіз шляхів автоматизації*	*29.10.22*	
3.	*Розробка автоматичної системи дозування зерна*	*14.11.22*	
4.	*Технічні розрахунки автоматичної системи дозування зерна*	*25.11.22*	
5.	*Дослідження автоматичної системи дозування зерна*	*30.11.22*	
6.	*Охорона праці*	*10.12.22*	

Студент _____*Андрій ПАТЮК*___
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____*Роман ЖЕСАН*___
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП 6

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНОСХОВИЩА, ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ 9

1.1 Способи зберігання зернових мас 9

1.2. Класифікація технологічних операцій зберігання зерна 11

1.3 Властивості зернової маси 13

1.4 Характеристики сховищ 17

1.5 Причини псування зерна 19

1.6 Необхідність визначення вологості 20

1.7 Класифікація методів виміру вологості сипучих продуктів 22

1.8 Вимоги до системи дозування та вологості насіння 23

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ 25

2.1 Основні задачі керування при зберіганні зернових мас 25

2.2 Спостереження за зерновими масами при їх зберіганні 29

2.3 Методика визначення вологості зерна 32

2.4 Первинні перетворювачі, які використовуються в якості датчиків вологості зерна 33

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ НАСІННЯ РОСЛИННИХ КУЛЬТУР 36

3.1 Розробка електричної структурної схеми системи 36

3.2 Розробка електричної функціональної схеми системи 38

3.3 Розробка електричної принципової схеми системи. 42

3.4 Алгоритм роботи системи керування дозуванням насіння рослинних культур 48

3.5 Монтажна та друкована плати системи керування дозуванням насіння рослинних культур 50

3.6 Датчик вологості 52

4 СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗЕРНОВОЇ МАСИ 55

4.1 Теоретичні основи побудови математичної моделі зернової маси як об'єкта керування 55

4.2 Математична модель прогнозування стану зернової маси в період

зберігання 59
4.2.1 Параметрична схема моделі зернової маси як об’єкта керування 59
4.2.2 Математичний опис біохімічних і мікробіологічних процесів, які протікають в зерновій масі. 59
4.2.3 Описання теплообмінних і масообмінах процесів, які протікають в зерновій масі 64
4.2.4 Структурна схема повної математичної моделі зернової маси. 65
4.2.5 Фізична сутність застосування технологічних прийомів по догляду за зерном 67
4.3 Розробка блоку прогнозування 67
4.3.1 Розробка робочої моделі зернової маси 67
4.3.3 Оцінка адекватності моделі 76
4.3.4 Математична модель зміни параметрів атмосферного повітря 80
ВИСНОВКИ 81
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 83

ВСТУП

На підприємствах по зберіганню і переробці зерна здійснюється прийом зерна, його обробка, зберігання і розподіл. Основу галузі складають сучасні високомеханізовані крупні елеватори місткістю 25-100 тис. т зерна і більше. На підприємствах по зберіганню і переробці зерна в основному контролюють технологічний процес і управляють ним. Велика кількість параметрів, які визначають якість готової продукції, вихідної сировини, стан технологічного процесу викликає необхідність вдосконалення систем управління. Тому за останній час широкого розповсюдження набули автоматизовані системи контролю і управління на підприємствах по зберіганню і переробці зерна.

Метою автоматизації зернопереробних підприємств є:

- підвищення продуктивності праці в результаті скорочення чисельності обслуговуючого персоналу;
- усунення праці людини на ділянках з важкими умовами праці (на надсилосному поверсі елеватору, де підвищена запиленість повітря, і т. д.);
- загальне підвищення культури праці, в тому числі і управлінської;
- вдосконалення технологічного процесу, направлене на покращення якості продукції;
- зниження енергетичних витрат;
- підвищення оперативності управління і в результаті цього забезпечення роботи обладнання в оптимальних режимах, що ведуть до збільшення строків його служби і скорочення витрат на обслуговування і ремонт.

На багатьох підприємствах транспортними і технологічними машинами оператор управляє з пульта в автоматизованому режимі. Успішно застосовуються та вдосконалюються системи управління з допомогою ЕОМ.

На більшості зернопереробних підприємствах завдяки технічному переоснащенню, впровадженню нової сучасної техніки, механізації і автоматизації виробничих процесів на базі наукової організації праці,

виробництва і управління необхідно створити можливості для забезпечення ефективного прийому зерна, обробки, зберігання і відвантаження зерна споживачам.

Надійне прогнозування майбутніх об'ємів робіт, правильне і гнучке планування ресурсів, чітке управління елеваторним господарством можуть бути здійснені лише за допомогою автоматизованих систем упраління, в основу яких покладені сучасні економічно-математичні методи ЕОМ.

Тому виникла необхідність широкого застосування спеціальних систем, які дозволяють провести сучасні методи аналізу з застосуванням ЕОМ.

Метою магістерської роботи є зниження втрат зерна при зберіганні за рахунок створення автоматизованої системи вимірювання температури та вологості зерна та діагностування небажаних процесів виникаючих в зерновій масі при її зберіганні.

Задачі дослідження: формалізація критерію діагностики і критерію ефективності; формалізація й алгоритмізація основних процедур, що забезпечують підтримку-прийняття рішення; програмна реалізація розроблених алгоритмів.

*Об'єктом дослідж*ення в роботі є зернова маса (ЗМ), що зберігається в силосах елеватора і, за необхідністю, подається впливу різних технологічних прийомів (ТП) з догляду за зерном.

Предметом дослідження є система управління зберіганням ЗМ, що дозволяє знизити як втрати в масі зерна в період зберігання так і собівартість зберігання.

Методи дослідження. Аналіз існуючого досвіду автоматизації галузі й аналіз. При синтезі системи підтримки прийняття рішення використовувалися теорія прийняття рішення й ідеологія побудови СППР. При синтезі математичної моделі (ММ) ЗМ використовувався математичний апарат диференційного обчислення і теорії нечітких множин. В основу розробленого програмного забезпечення покладено ідеологію об'єктноорієтованого програмування.

Наукова новизна отриманих результатів.

Новими науковими результатами є те, що:

- вперше розроблено ММ прогнозування втрат в масі сухих речовин у період зберігання зерна й в результаті застосування технологічного процесу, що враховує вплив біохімічних і мікробіологічних процесів, що відбувається в зерновій масі з навколишнім середовищем (НС) на параметри зернової маси при зберіганні й у результаті реалізації системи.

– запропоновано два нових критерії управління, що забезпечують підтримку прийняття рішення: критерій діагностики ситуації прийняття рішення (СПР) для діагностування активізації біологічних процесів у зерновій масі на ранніх стадіях їх розвитку шляхом прогнозування методом імітаційного моделювання; критерій ефективності застосування ТП для оцінки ефективності й оптимізації ВР, що дозволяє, на підставі прогнозування втрат в масі сухих речовин у результаті реалізації ВР і оптимізації обраного ВР, що дозволяє на підставі критеріїв діагностики СПР і ефективності ВР реалізувати всі основні етапи процесу ППР технолога зерносховища зі зберігання ЗМ.

Практичне значення отриманих результатів.

Практична цінність роботи в тому, що в результаті комплексного застосування розроблених алгоритмів забезпечується зниження втрат у масі зерна при зберіганні до рівню природних втрат зерна, а також зниження собівартості зберігання зерна за рахунок економічного обґрунтування, доступних технологу. Результати дослідження можуть також застосовуватися для пошуку оптимальних режимів функціонування комплексів технологічного процесу з догляду за зерном. Розроблені алгоритми допомагають технологу зерносховищ в оцінці не тільки економічної діяльності, але і технологічної грамотності можливих ВР.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНОСХОВИЩА, ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Способи зберігання зернових мас

Способи зберігання зернових мас в основному базуються на їх фізичних та фізіологічних властивостях. Крім того, поширеність того чи іншого способу зберігання залежить від рівня технічного та економічного розвитку країни, кліматичних особливостей та інших умов.

Сезонність виробництва зерна та вживання його впродовж всього року, а також необхідність мати запаси продовольчих, фуражних та насіннєвих фондів приводить до того, що в сільському господарстві кожної країни одні партії зерна швидко витрачаються на поточні потреби або потрапляють до місць вживання, а інші зберігаються тривалий час. Таким чином, зберігання зерна може бути тимчасовим (короткостроковим) і тривалим (довгостроковим). Перше по протяжності вираховується в добах або місяцях (один – три), друге триває від кількох місяців до кількох років.

Як тимчасове, так і тривале зберігання зернових мас повинне бути організоване таким чином, щоб не було втрат в масі (окрім невідворотних), і тим більше втрат в якості.

Добра розсипчастість зернової маси дозволяє зберігати її в різних ємностях, починаючи від мішка і закінчуючи великими силосами. Утримання в мішках отримало назву зберігання в тарі, а розміщення у великих сховищах – складах, бункерах і силосах – зберігання насипом.

Основним способом зберігання зернових мас є зберігання їх насипом. Переваги цього способу наступні: значно повніше використовуються площа та об'єм зерносховища; є більше можливостей для механізованого переміщення зернових мас; полегшується боротьба з шкідниками зернових продуктів; зручніше організувати спостереження за усіма показниками.

Зберігання в тарі застосовують лише для деяких партій посівного матеріалу. Так, наприклад, обов'язково зберігають в тарі елітні сорти і насіння

першої репродукції. Зберігають також в тарі насіння, що володіють крихкою структурою оболонок (арахіс) або такі, що легко розколюються при пересипанні (суха квасоля та ін.).

Основним видом тари для зерна є мішки, зшиті із грубої та міцної тканини.

Зберігання насипом може бути надільним або закритим (в закритих ємкостях, в бункерах та силосах). Виходячи із раніше розглянутих режимів зберігання зернових мас, останні розміщують в сховища надземні (з повним або обмеженим доступом повітря) та збудовані у ґрунті (підземні).

Зберігання зернових мас в бунтах. Під бунтами розуміють партії зерна, розташовані за певними правилами поза сховищами, тобто під відкритим небом. При зберіганні зернових мас в бунтах насипом останнім надається форма конуса, піраміди або іншої конфігурації, яка дає можливість краще укрити бунт та забезпечити найбільший стік атмосферних опадів.

Підземне зберігання. Підземне зберігання було основним способом зберігання і накопичення надлишків зерна у первісному суспільстві. Перевага підземного зберігання заключається в захисті зерна від сезонних та добових коливань температури, розвитку шкідників та пліснявих грибів внаслідок низької концентрації кисню та накопичення вуглекислого газу у між зерновому просторі. Основний недолік підземного зберігання – висока вартість вантажно-розвантажувальних операцій.

Зберігання в мішках. Мішки з зерном можна зберігати під будь-яким зручним укриттям, транспортувати та перекладати без спеціального обладнання, але при цьому потрібно купувати мішки і для зберігання зерна в мішках потрібно більше простору, ніж для зберігання насипом, крім того витрати праці великі.

Фермерські зерносховища. Зерно на фермах зберігається до відправлення в спеціалізоване сховище або на продаж, до реалізації по більш високим цінам або для власних потреб. Фермерське сховище може представляти собою будь-яке укриття, яке захищає зерно від дощу та снігу – невеликий відсік

в амбарі, круглий стальний силос вмістом 25-80 т, великий силос або ангар. Для фермерського зберігання характерне краще підтримання вихідної якості зерна, ніж для елеваторного, при умові, що зерно захищене від зовнішньої вологи, гризунів та птахів.

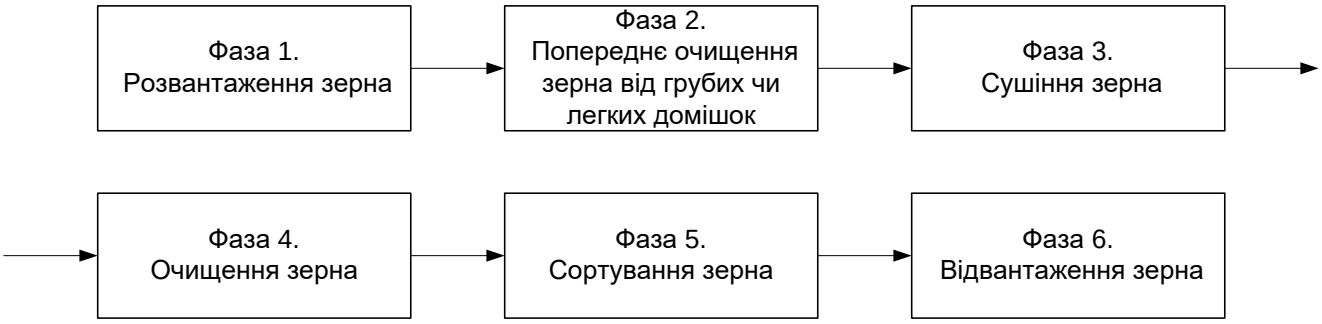
Місцеві елеватори. Місцеві елеватори отримують зерно безпосередньо від ферм. Їх основне призначення – прийом зерна від поблизу розташованих ферм, переміщення його у вантажні автомобілі, залізничні вагони або баржі та відправлення на продаж. Крім того, на місцевих елеваторах зберігають зерно та виконують інші операції. Спочатку місцеві елеватори були призначені для обслуговування зони, яка обмежена доставкою зерна на конях, тому їх місткість була невеликою. Автомобільний транспорт значно збільшив радіус доставки, і відповідно зросла місткість елеваторів.

Термінальні елеватори. Термінальні елеватори мають загальну місткість від 5000 до 500 тис. т зерна. Вони приймають від місцевих елеваторів зерно, доставлене автомобільним або залізничним транспортом та передають його на зберігання або інші транспортні засоби. Термінальні елеватори зазвичай мають високопродуктивне обладнання для очищення, сушіння та підтримання якості зерна.

1.2. Класифікація технологічних операцій зберігання зерна

Класифікація технологічних операцій по способу або послідовності впливу на сировину дозволяє виявити найбільш цілеспрямовані операції і визначити їх оптимальне поєднання.

Уніфікація принципів отримання кількісних оцінок дає можливість намітити загальні шляхи і розробити типові методики оцінки якості процесу і якості продукту. В принципі будь-яка множина можна розглядати як систему, якщо в ній виявляються ті відносини, які потрібні для вирішення поставленої задачі.



На підприємствах по зберіганню і переробці зерна можна виділити наступні типові технологічні процеси:

- подрібнення, до якого відносять підтипові процеси в різних машинах, призначених для відокремлення оболонок від ядра; до цього процесу можна віднести обмолот початків кукурудзи та ін.;
- сепарування, яке охоплює підтипові процеси очистки і розділення зерна на фракції на ситах, в магнітному полі, рідинному і повітряному потоках, сортування проміжних продуктів в розсівах, збагачення крупок в сито віяльних машинах, а також сортування по сукупності ознак та ін.;
- дозування та змішування, яке забезпечує складання помольних партій зерна, формування потоків борошна по сортам і складання рецептури комбікорму у відповідності з показниками, які вимагають, а також фасовку готового продукту в тару з необхідною точністю і т.д.;
- змішування, яке забезпечує необхідну точність розподілення компонентів по всій масі потоків;
- гранулювання і пресування комбікормів та інших видів зерно продуктів, які здійснюються для покращення умов зберігання, транспортування і згодовування тваринам;
- сушка зерна в зерносушилках; вона є одним із видів масообмінних процесів, до яких можна віднести різні види гідрометричної обробки зерна;
- мийку зерна і очистку миючої води.

Багато процесів зберігання і переробки зерна однакові по виду потоків. Наприклад, потоки зерна в рециркуляційних сушарках, системи послідовного

подрібнення зерна, потік води, яка повертається після очистки на мийку зерна, та інші є типовими рециркулярними потоками зворотними негативним технологічним зв'язкам. Загальність потоків технологічних процесів можна використовувати для застосування однакових по формі запису рівнянь матеріального і енергетичного балансів.

1.3 Властивості зернової маси

До основних властивостей зернової маси відносяться: сипучість, теплофізичні властивості зернової маси, які характеризують теплоємність, термовологопровідність та теплопровідність, вологість, натура, щильність зерна та сорбційні властивості зерна.

Рівноважна вологість зерна і насіння сільськогосподарських культур неоднакова (табл. 1.1) і залежить від хімічного складу.

Таблиця 1.1 – Рівноважна вологість (%) зерна і насіння при температурі повітря 20 ^{0}С (за Карповим)

Відносна вологість повітря, %	Пшениця	Жито, ячмінь	Овес	Кукурудза	Просо	Соя	Горох	Соняшник
20	7,8	8,3	6,7	8,2	7,8	5,4	8,2	4,7
25	8,5	8,9	7,4	8,8	8,5	5,9	8,9	4,9
30	9,2	9,5	8,2	9,4	9,1	6,4	9,5	4,9
35	10,0	10,2	8,8	10,0	9,8	6,7	10,6	5,1
40	10,7	10,9	9,4	10,7	10,5	7,1	11,6	5,3
45	11,3	11,6	10,1	11,3	11,0	7,5	12,3	5,5
50	11,8	12,2	10,7	11,9	11,6	8,0	12,8	5,7
55	12,4	12,8	11,3	12,5	12,1	8,7	13,4	6,3
60	13,1	13,5	12,0	13,2	12,7	9,5	14,1	7,0
65	13,7	14,3	13,2	14,0	13,5	10,2	14,7	7,3
70	14,3	15,2	14,4	14,9	14,3	11,0	15,3	7,5
75	15,1	16,3	15,6	15,9	15,1	13,1	16,1	8,2
80	16,2	17,4	16,8	16,9	15,9	15,3	17,0	9,1
85	18,0	19,1	18,3	18,0	17,1	18,1	19,0	10,1
90	20,0	20,8	19,9	19,2	18,3	20,9	21,0	11,3
95	24,2	25,0	24,0	23,6	23,0	25,6	25,7	14,2

100	30–34	30–34	30–32	28–30	—	—	32–36	17–19

Одна з найбільших проблем, яка виникає при зберіганні зерна це його вологість. Відомо, що підвищена вологість зернової маси негативно впливає на термін його зберігання. Так підвищена вологість зернової маси може призвести до його набухання та проростання. А довготривале непросушування зернової маси може призвести до збільшення мікроорганізмів та його псуванню.

Це часто спостерігається в свіжозібраної зернової маси, для якої характерна нерівномірність по вологості складових її компонентів, особливо, якщо зернова маса має домішки серед яких насіння бур'янів.

Таблиця 1.2 – Перерозподіл вологи в свіжозібраної зернової маси пшениці (по Л. А. Трисвятскому)

Час, що минув після прибирання	Вологість, %	
	Зерно пшениці	Насіння бур'янів
Відразу після збирання	15,2	58,2
На току: через 12 год	15,7	50,8
24 ч	16,1	41,3
48 ч	16,9	28,0
72 ч	17,8	23,1

Натура зерна. Визначається щільністю укладання часток і середньою щільністю самих зерен. Натура зерна залежить від його обсягу, маси, форми поверхні, вологості і ряду інших факторів (щільності укладання, наявності і виду домішок і т.д.). Завдяки визначенні натури зерна, тобто насипної щільності зернової маси, можна визначити розрахункове завантаження стаціонарних силосів елеваторів, стаціонарних ємкостей та разного виду транспорту (автомобілів, залізничних вагонів, морських контейнерів) при перевозці зернової маси.

Щільність зерна. Являє собою зміст маси зерен в одиниця об'єму. Зворотну величину щільності називають питомим обсягом. Щільність сумарно відбиває цілий комплекс інших фізико-хімічних властивостей зерна, а саме масу 1000 зерен, структуру, хімічний склад, співвідношення анатомічних частин, і ін.

Сорбційні властивості. Це здатність поглинати (сорбувати) з навколишнього середовища пари різних речовин, гази і виділяти їхній (десорбувати). Ці властивості властиві зерну і насінням усіх культур. Сорбційні властивості порозуміваються капілярно-пористою структурою кожної зерновки і скважністю насипу. Дослідження структури зерна і насінь показали, що між клітками і тканинами зерен розташовані макро- і мікрокапіляри і пори. Діаметр макропір складає $10\sim^{3...10}\sim^{4}$ див, а мікропор $10\sim^{7}$ см. Стінки макро- і мікрокапілярів — активна поверхня, що бере участь у процесах сорбції і десорбції молекул пар і газів. По системі макро- і мікрокапілярів переміщаються зріджені пари. З цього випливає, що активна поверхня кожної зерновки і всієї маси зерна набагато перевищує їхню зовнішню поверхню.

Сорбційні властивості зернової маси мають велике значення при її обробці і збереженні. Зміна вологості і запаху що зберігається й оброблюваної зернової маси найчастіше наслідок сорбції або десорбції газів або пар води. Раціональні режими сушіння, активного вентилювання, газації і дегазації зерна при знезаражуванні проводять з обліком його сорбційних властивостей.

Гігроскопічность зернової маси особливо важливо враховувати при обробці і збереженні. Під гігроскопічністю розуміють здатність поглинати пари води з повітря або виділяти них у навколишній простір, У результаті взаємодії зернової маси з навколишнім середовищем вологість зерна безупинно змінюється до встановлення рівноважної.

Рівноважна вологість зерна — це вологість, при якій настає стан рівноваги між вологістю зерна і навколишнього середовища, після чого зміна вологості маси зерна, що зберігається, припиняється. Найбільша рівноважна вологість зерна встановлюється при перебуванні його в повітрі, насиченому водяними парами до 100%. Подальше зволоження зерна можливо в результаті усмоктування капельнорідкої вологи. Якщо зерно помістити в сухе середовище і зберігати в ній, зернова маса почне здобувати рівноважну вологість у результаті випару води з зерна.

З літератури відомо два види вологості зерна: відносна та абсолютна.

Відносна вологість ω (%) являє собою відношення маси вологи, що утримується в зерні $g_{.ВЛ}$, до маси води і сухої речовини $g_{.ВЛ} + g_C$, її визначають по формулі

$$\omega = \frac{g_{вл}}{g_{вл} + g_c} \cdot 100 .$$

Абсолютна вологість зерна ωа (%) -це відношення маси вологи $g_{ВЛ}$ до маси сухого матеріалу g_c, тобто

$$\omega_a = \frac{g_{вл}}{g_c} \cdot 100 .$$

Розділивши одну формулу на іншу і зробивши перетворення, одержимо

$$\omega = \frac{\omega_a}{100 + \omega_a} \cdot 100 \qquad \omega_a = \frac{\omega}{100 + \omega} \cdot 100$$

Розподіл вологи в зерновій масі залежить від багатьох факторів. Дрібні щуплі, биті зерна мають велику вологість. Вони більш гігроскопічні, і можна так сказати, що воно наповнюється повітрям більш швидко, тому є гарним середовищем для розвитку і життєдіяльності мікроорганізмів, кліщів і комах. При скупченні таких зерен у визначених ділянках насипу накопичуються теплота і волога, створюється небезпека виникнення вогнищ самозігрівання.

Вологість зерна насіння — це кількість наявної у них вологи, вираженої в процентах до маси.

Для всіх культур встановлено базисну вологість. За кожний зайвий її процент в зерні при заготівлі не тільки знижують відповідну масу, але й нараховують доплату за сушку на заготівельних підприємствах.

Добре зберігається лише зерно певної вологості, а краще сухе зерно й продукти його переробки. Є стандарти вологості зерна для кожної культури (табл. 1.1).

Вологе зерно погано розмелюється, збільшуються витрати енергії, з нього практично не можна виготовити крупу.

1.4 Характеристики сховищ

Загальні вимоги.

В теперешній час існує велика кількість різновидів зерносховищ. Усі існуючі зерносховища мають однакове призначення – зберегти врожай та захистити зерно від небажаних впливів природнього середовища, а також максимально знизити невиправдані втрати маси і якості, всієї партії зерна, і особливо насіннєвого. Насіннєсховища, які призначені для зберігання посівного матеріалу будують враховуючи фізичні і фізіологічні властивості зернової маси.

Серед зерносховищ, найбільшого розповсюдження набули одноповерхові склади з горизонтальними чи похилими полами, а також елеватори.

Елеватори, які застосовують в сучасний час використовуються для прийняття, обробки, зберігання і відпуску зерна та доведення його до такого стану, який надалі використовується в народному господарстві.



Рисунок 1.1 – Загальний вид зерносховища

Зерносушарки стаціонарні шахтного типа серії СВШ

Переваги стаціонарних зерносушарок СВШ:

- Низька витрата палива і електроенергії.

Показники на 1 т/%, газ – 1,5 -1,6 м3, електроенергія – 0,3 кВт

- Сушильна башта з оцинкованої сталі.

Товщина сталі – 1,8 ÷ 2,0 мм. Покриття цинком – 380 гр/м^2

- Модульна конструкція.

Все моделі сушарок можна модернізувати до продуктивніших.

- Низька пожаронебезпечність.

Наявність системи пожежогасінні (опціонально).

- Термоізоляція і система збору пилу в стандартній комплектації.
- Система повторного використання гарячого повітря
- Універсальна система розвантаження

Зерносушарки серії СВШ - це сушарки шахтного типа безперервної дії. Вся сушарка виконана з листової оцинкованої сталі завтовшки від 1,8 до 2 мм з покриттям цинку 380 гр/м^2.

Зерновий матеріал проходить через сушарну шахту під дією сили тяжіння. У верхню частину сушарки зерно завантажується норіями або іншими транспортними пристроями, звідки потім потрапляє в сушильну башту. У камері подачі гарячого повітря розташовується система згорання, призначена для нагрівання повітря, що використовується для сушки.

Зерносушарка може оснащуватися різними пальниками, що працюють як на газі, рідкому паливі, так і на альтернативному вигляді палива (мазут, нафта, тверде паливо і так далі).

Камера подачі гарячого повітря виготовлена з оцинкованої сталі. Ця камера виготовляється із здвоєних оцинкованих листів завтовшки 1,8 мм з термоізоляційним шаром між ними з мінеральної вати завтовшки 25÷30 мм. Термоізоляція запобігає втратам тепла і дозволяє економити паливо для сушки при низькій температурі довкілля.

Повітря, що проходить через зерновий матеріал в сушильній башті, відводиться в атмосферу циклофенами, оснащеними осьовими вентиляторами, що створюють розрідження в камері вологого повітря. Схема роботи сушарки на низькому тиску (при створенні розрідження) вимагає в два рази менше енергії на привід вентиляторів, чим при нагнітальній схемі, яка використовується на більшості вітчизняних сушарок.

1.5 Причини псування зерна

Основною причиною, що знижує якісні показники зерна при його збереженні в силосах елеватору, являється процес самозігрівання зернової маси. Головною причиною псування зерна є відсутність контролю за температурою та вологістю.

Відсутність строгого контролю за температурою викликає переміщення вологи від однієї частини маси зернових до іншої, де вона може акумулюватись і викликати псування зерна. Своєчасно, на початковій стадії, непомічений процес самозігрівання зерна призводить не тільки до зниження його якісних показників, але й до помітного збільшення температури зерна (вище 350С) в зоні місця самозігрівання. У тому випадку, коли місце самозігрівання своєчасно не виявлене, ріст температури продовжується і відбувається загоряння зернової маси, яке, в результаті, може призвести до руйнування конструкції силосного корпусу елеватора.

Процес самозігрівання зерна, на початковій стадії його розвитку, досить тривалий і характеризується низькою швидкістю збільшення температури. З підвищенням температури швидкість росту температури різко збільшується, і, відповідно, скорочується час, що відведений для прийняття заходів по недопущенню загоряння зернової маси.

Вказані особливості росту температури вимагають застосування системи вимірювання з високою чутливістю для виявлення виникнення осередків самозігрівання на ранніх стадіях процесу. Періодичний опит датчиків

температури термопідвісок дозволяє по кожній із контролюючих точок виявляти виникнення стійкої тенденції росту температури. Виявлення стійкої тенденції росту температури і перевищення швидкістю росту температури встановлених значень, однозначно засвідчує про виникнення процесу самозігрівання зерна.

Вологість зерна та її зміна в процесі сушіння та зберігання є одним з головних параметрів технологічного процесу сушіння зерна. Побудова сучасних автоматичних систем зберігання та сушіння зерна без дозування насіння та вимірювання вологості зерна в потоці неможлива. Використання імпортних вологомірів зерна в потоці для більшості підприємств агропромислового комплексу не доступно за ціною, а вибір потокового вологоміра зерна перетворюється значною мірою у вибір ступеня компромісу між точністю вимірювань і ціною вологоміра. Виходячи з цього, розробка автоматичної системи дозування насіння рослинних культур з метою подальшого визначення натури зазначених культур та вмісту вологи в зерні в потоці, яка б мала достатню точність вимірювання та невисоку вартість є актуальним завданням.

1.6 Необхідність визначення вологості

Одним з найбільш важливих технологічних параметрів якості зерна є його вологість, недостатній контроль якої при транспортуванні свіжезбираного зерна і його збереженні приводить до значних утрат. Зниження якості зерна при збереженні з підвищеною вологістю зв'язано з втратою в масі в результаті підвищення інтенсивності подиху, розвитку цвілі і зернових шкідників, а також злежування, самозігрівання і проростання. Підвищена вологість зерна утрудняє його розмел і просівання продуктів переробки (борошна, крупи), погіршує хлібопекарські властивості, знижує продуктивність устаткування.

У залежності від вологості встановлюються чотири стани зерна для основних культур: сухе до 14% включно; середньої вологості 14...15,5; вологе 15,5...17; сире понад 17%.

Необхідність контролю вологості можна простежити за схемою надходження зерна на збереження (рис. 1.1).

Контроль вологості w_1 проводять з метою попередньої оцінки якості свіжезбираного зерна. За результатами виміру w_2 визначають режими обробки, у першу чергу сушіння зерна перед відправленням на хлібоприймальні підприємства.

Визначення вологості w_3 проводять з досить високою точністю, тому що вона є основою для комерційних розрахунків з постачальниками зерна.

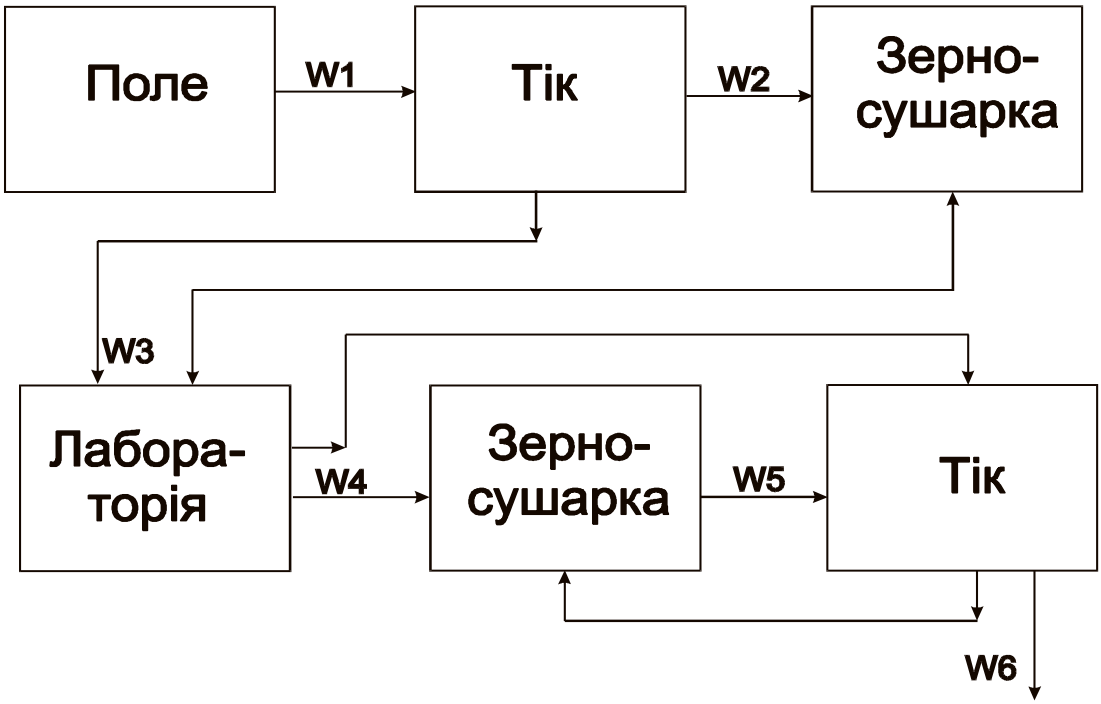


Рисунок 1.1– Схема надходження зерна на збереження

Вологість w_4 звичайно визначають за результатами середньодобової проби і по ній здійснюють правильний розподіл зерна при закладці на збереження. Крім того, ця величина визначає режим обробки зерна в сушарках, причому на виході повинне контролюватися відповідність вологості w_5 нормованим значенням.

При збереженні зерна оцінка вологості w_6, проведена в терміни, обумовлені технологічними інструкціями, дозволяє запобігти втрати зерна, а також знайти

зволоження зерна при взаємодії з атмосферним повітрям. Інформація про вологість досить різноманітна по вимогах до експлуатаційних характеристик, точності вимірювальних засобів.

1.7 Класифікація методів виміру вологості сипучих продуктів

Для виміру вологості рідких, сипучих і твердих харчових продуктів використовують численні методи, що, як і для газів, поділяються на прямі і непрямі.

В основі *прямих методів* виміру вологості лежить поділ матеріалу на суху речовину і вологу. Непрямі методи характеризуються тим, що вологість вимірюють по фізичних властивостях або величинам, функціонально з нею зв'язаним.

Усі прямі методи характеризуються високою точністю виміру, однак вимагають тривалого часу виміру, досить громіздкого устаткування, необхідності добору проб. Зазначені недоліки ускладнюють і часто унеможливлюють використання прямих методів для оперативного контролю безперервних швидкопротікаючих технологічних процесів, контроль динаміки вологості і використання його для автоматизації виробничих процесів.

З *непрямих методів* найбільше поширення одержали фізичні методи, що дозволили створити на їхній основі автоматичні швидкодіючі вологоміри, що забезпечують контроль і визначення змісту вологи без псування або втрати аналізованого продукту. При цьому може бути досягнута висока точність вимірів.

На рис.1.4 приведена схема класифікації фізичних методів виміру вологості сипучих матеріалів.

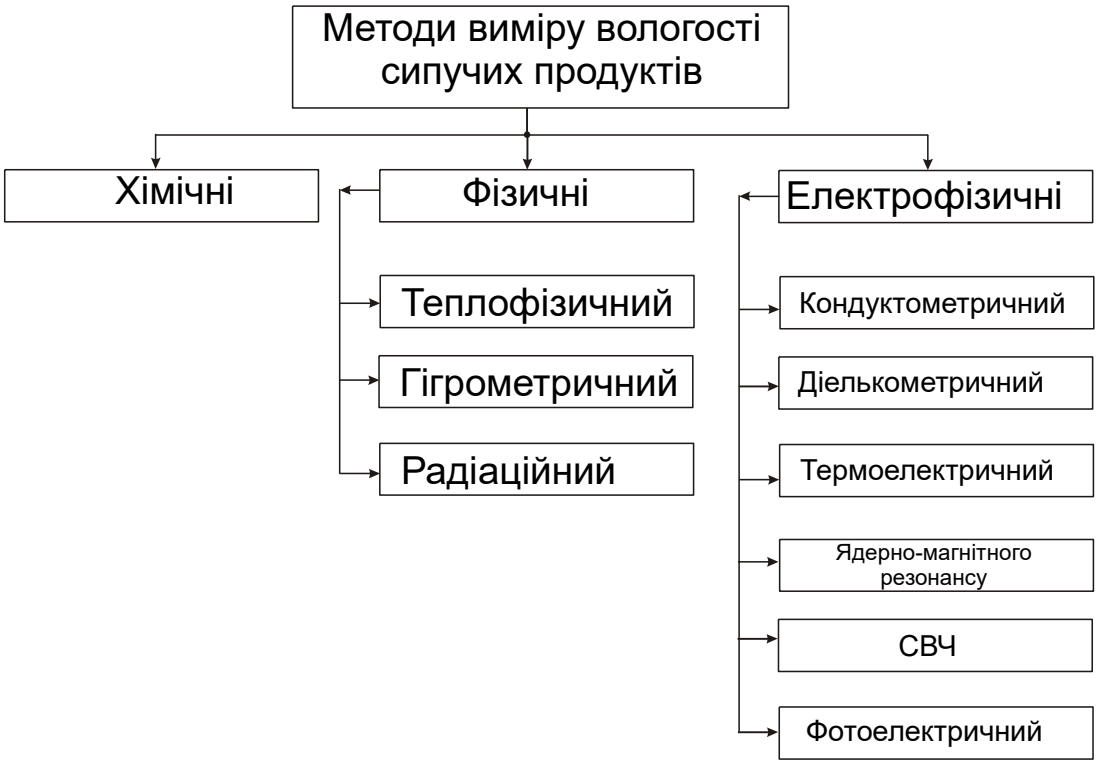


Рисунок 1.4 – Класифікація методів виміру вологості

Вологість сільськогосподарських продуктів є одним з основних технологічних параметрів, які визначають їх якість. Від вологості залежать фізичні, біохімічні, механічні та технологічні властивості сільськогосподарських продуктів, а також строки їх зберігання.

1.8 Вимоги до системи дозування та вологості насіння

Основна вимога, яка ставиться до автоматизованої системи дозування насіння елеватору – здатність забезпечити контроль за режимом дозування при зберіганні зерна і, в результаті, гарантовану його збереженість.

Для цього система повинна мати можливість:

- Забезпечити достатню точність і чутливість (розрізняюча здатність датчиків і кількість датчиків в силосі);
- Забезпечити надійність, довготривалість і ремонтоздатність елементів системи;

- Забезпечити прогнозування (виявлення) процесу самозігрівання зернової маси на ранній стадії його розвитку.

Система вимірювання вологості повинна мати високу чутливість коли, при відповідній математичній обробці результатів вимірювань, автоматичної компенсації погрішностей вимірювань, фільтрації випадкових збурень (середньодобові і сезонні коливання температури оточуючого середовища), можливо знаходження незначних стійких вимірювань температури на початковій стадії процесу самозігрівання зернової маси.

Програмне забезпечення системи повинно дозволяти здійснювати оперативний контроль за усім набором параметрів, вести архіви вимірювань, формувати звітні документи, а також формувати необхідні технологічні і аварійно-попереджуючі повідомлення.

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ

2.1 Основні задачі керування при зберіганні зернових мас

Об’єктом дослідження в дипломному проекті є система керування технологічними процесами, які забезпечують якісне та економічне зберігання зернових мас. Структурна схема основного виробництва зерносховища приведена на рисунку 2.1

На цій схемі чорними лініями показані зернові потоки, а переривчастими лініями відбір проб в інформаційні потоки для контролю якості зерна.

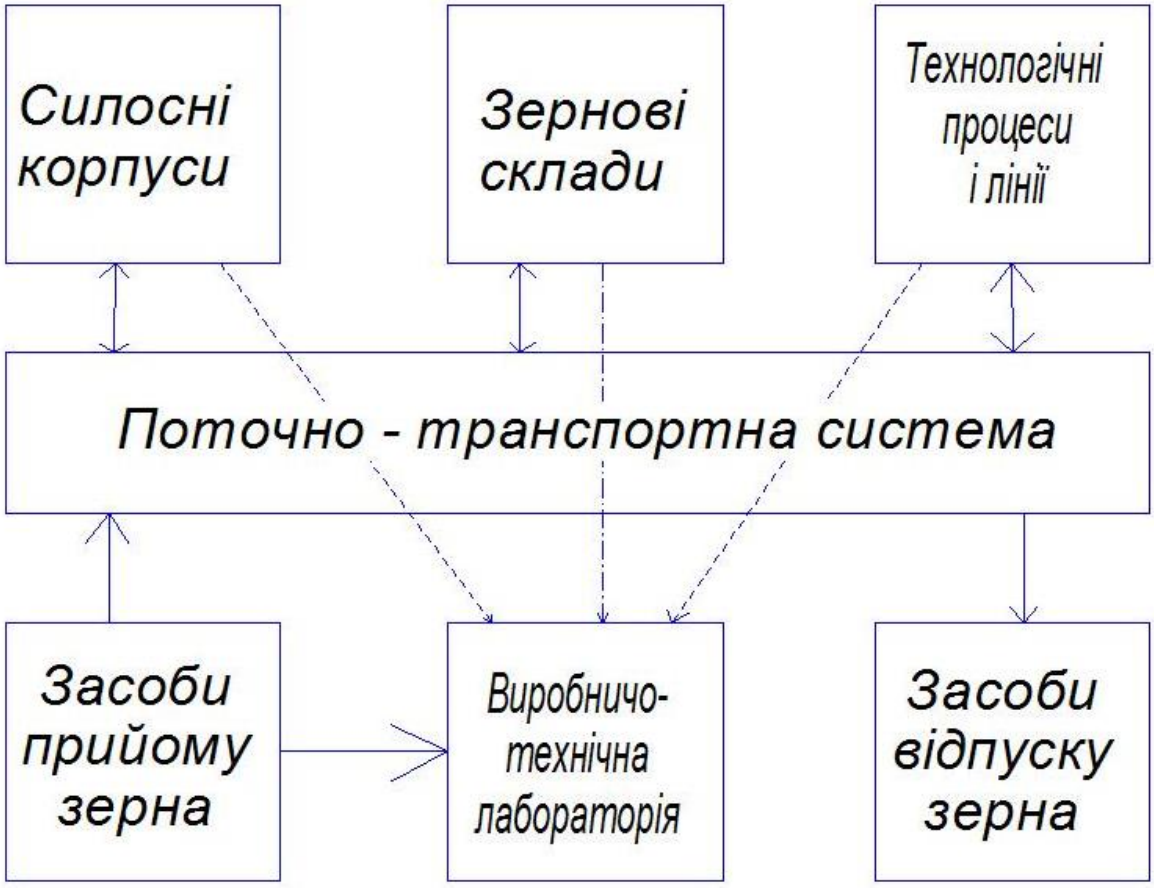


Рисунок 2.1 – Структурна схема основного виробництва зерносховища

Відповідно до правил організації і ведення технологічного процесу на елеваторах и хлібоприймальних виробництвах головним підрозділом, який забезпечує якісне зберігання зерна і опрацювання зерна на всіх етапах виробництва від приймання до відпуску , є виробничо-технічна лабораторія (ПТЛ). Персонал який обслуговує конкретні види обладнання, ділянки і лінії (сушки, ваги, поточно-транспортне обладнання) виконує в основному організаційне, контрольні і організаційні функції по забезпеченню безаварійної роботи головного і допоміжного обладнання. Головний об'єм інтелектуальної роботи по підготовці рішень для керування технологічним циклом виконує персонал ПТЛ. Головні задачі по керуванню, які вирішує персонал ПТЛ і які потребують автоматизації, наступні:

1. Приймання, опрацювання і розміщення зерна на зберігання. Цю задачу можна розділити на ряд під задач різного рівня.

1.1 *Контроль якості зерна, яке надходить на підприємство.* Цю задачу вирішує персонал ПТЛ за рахунок відбору проб вручну або автоматично з засобів доставки зерна на підприємство (автомобільний, залізничний і водний транспорт). Після цього проби опрацьовуються по спеціальним методикам на обладнанні, яке знаходиться в ПТЛ або с допомогою автоматичних систем експрес-аналізу якості зерна. В результаті рішення цієї задачі отримують головні якісні показники партії яка надійшла (для зерна пшениці це: вологість, засміченість, кількість і якість клейковини).

1.2 *Зважування зерна.* Цю задачу виконує людина яка працює на вагах, автоматичних або напівавтоматичних . Ці данні передаються в ПТЛ.

Задачі 1.1 і 1.2 можна віднести до задач нижнього рівня , тобто такі які вирішуються шляхом збору і опрацювання інформації про зернову масу.

1.3 По результатам рішення задач 1.1 і 1.2 приймається рішення про *закладання зерна на тимчасове або постійне зберігання.* Якщо зерно яке надійшло на підприємство не відповідає стандартам по вологості, засміченості , а значить потребує опрацювання , то його направляють на

тимчасове зберігання. В іншому випадку партію зерна закладають на постійне зберігання. При цьому прагнуть щоб партії які закладаються на зберігання були однорідні по головним показникам якості: вологість, засміченість. В більшості хлібоприймальних підприємствах вирішенням цієї задачі не автоматизовано. Задачу можна ефективно вирішити шляхом побудови простої системи підтримки прийняття рішень, яка формує варіанти розміщення партії зерна з врахуванням параметрів цієї партії і плану розміщення зерна на елеваторі. В якості допоміжної системи тут виступає система дистанційного автоматичного керування (ДАК) маршрутами.

1.4 *Опрацювання партії зерна, закладеного на тимчасове зберігання.* В рішення цієї задачі входить :

а) формування на основі поточних значень параметрів партії зерна найоптимальніших технологічних режимів опрацювання зерна (наприклад, температура агента сушіння і час експозиції в сушарці).

б) прийняття рішення про направлення партії зерна на відповідні лінії і обладнання для опрацювання;

в) прийняття рішення про закладання зерна на постійне зберігання.

Реалізацію рішення цієї задачі забезпечує ДАК маршрутами і локальні системи керування конкретних технологічних процесів .

2. Зберігання зернових мас. Це най триваліший за часом етап виробничого циклу хлібоприймального підприємства. Цю задачу можна розділити на ряд під задач.

2.1 *Контроль стану зернових мас при зберіганні і виявлення місць само нагріву.* Ця задача вирішується в більшості хлібоприймальних підприємств за рахунок систем контролю температури зерна і контролю інших параметрів зернової маси засобами ПТЛ. Для вирішення під задачі в автоматичному режимі застосовуються системи ДКТ і ДАКТ зерна. Рішення другої частини під задачі реалізується аналогічно рішенню під задачі 1.1.

2.2 *Прийняття рішення по ліквідації місця самозігрівання зерна.* Вирішується ця задача шляхом вибору технологічного прийому, який направлений як правило на охолодження зернової маси яка нагрівається. Рішення цієї задачі в більшості випадків не автоматизовано.

2.3 *Вироблення оптимальних режимів функціонування технологічного обладнання,* на яке буде направлятися для доопрацювання зерна яке нагрівається. Ця під задача вирішується в ручну на основі приближених методик. Реалізація вибраного варіанта рішення здійснюється аналогічно реалізації задачі 1.4.

2.4 *Направлення протилежної зернової маси на постійне зберігання.* Рішення цієї задачі аналогічно рішенню під задачі 1.3.

3. *Відправлення партії зерна.* Ця задача вирішується за рахунок наступних під задач.

3.1 *Формування партії зерна відповідної якості.* Ефективно цю під задачу можна вирішити с використанням системи підтримки прийняття рішення. В якості допоміжної під системи на цьому етапі виступає АСЕАК зерна. Для направлення партії зерна в відпускні бункери використовується система ДАК маршрутами.

3.2 *Відвантаження зерна споживачу.* Цю задачу ефективно може вирішити система ДАК маршрутами.

Тобто, ефективне рішення цих задач, які поставлені перед персоналом хлібоприймального підприємства , може бути забезпечено за рахунок:

а) систем ДАК маршрутами;

б) систем збору и опрацювання інформації про зернову масу в період приймання , зберігання і відпускання зерна;

в) систем автоматизації конкретних технологічних процесів або видів обладнання ;

г) систем автоматизації прийняття рішення на окремих етапах виробництва;

При цьому системи а) , б) і в) можна віднести до нижнього рівня , а системи г) – до верхнього (керування здійснюється по техніко-економічним критеріям). На практиці системи нижнього рівня най частіше виконують деякі функції верхнього рівня керування. Це перед усім , стосується систем збору інформації про зернову масу.

2.2 Спостереження за зерновими масами при їх зберіганні

Під час зберігання зернових мас особливої потреби має спостереження за ним впродовж його всього періоду зберігання. Це необхідно, оскільки в зерновій масі постійно відбуваються різні фізіологічні та фізичні явища. Якщо не буде постійного контролю за зерновими масами, зерно почне втрачати свої поживну цінність та якість, а також втрачати в масі.

Якщо зернові маси знаходяться під постійним контролем, та здійснюється вмілий та правильний аналіз споглядання, то це дасть змогу попередити про негативні явища та мінімізувати втрати в зерновій масі до його вживання чи реалізації без втрат.

Дослідження зернової маси повинно проводитись постійно та за кожною партією зерна. Враховуючи ці обставини і наявність на кожному підприємстві значної кількості зерна, намагаються вести спостереження найбільш простими, але достатньо надійними методами.

До основних показників, які постійно необхідно спостерігати та систематично контролювати стан зернової маси відносять, температуру зернової маси, її вологість, вміст домішок, стан зараженості шкідниками, показники свіжості (колір та запах). По цим показникам і оцінюють стан кожної партії зерна при зберіганні. В партіях насіннєвого зерна додатково перевіряють його схожість і енергію проростання.

Температура зернової маси. Це найважливіший показник, який характеризує стан зернової маси. Роль температурного фактора у зберіганні зерна зрозуміла із попереднього розділу. Низька температура у всіх ділянках

зернової маси є показником її благополучного стану і свідчить про її консервацію.

Вплив навколишнього середовища (зовнішнього повітря, стін зерносховищ і т. ін.) та фізіологічних процесів, що протікають в зерновій масі, може призвести до утворення неоднакової температури в різних ділянках її насипу. Тому необхідно визначати температуру в різних шарах зернової маси.

Підвищення температури зернової маси, що не відповідає зміні температури повітря, свідчить про активізацію фізіологічних процесів і початок самозігрівання. Тому, спостерігаючи за зерном, потрібно одночасно враховувати температуру зовнішнього повітря та повітря у сховищі.

Більшість елеваторів обладнують установками дистанційного контролю.

Для зручності спостереження за станом зернової маси, що зберігається у складах, поверхню насипу умовно розділяють на окремі секції площею 10 $м^2$. кожна секція повинна бути забезпечена не менше ніж трьома штангами з датчиками, які встановлюють на різній глибині і потім переміщають у різні ділянки насипу.

Особливо точно контролюють шари зернової маси, що розташовані на відстані 30 – 50 см від долу складу і на 30 – 75 см від поверхні насипу.

Періодичність перевірки стану зернової маси по окремим показникам залежить від ряду умов. Найважливішими з них є: стан зернової маси, тобто її вихідні якості, стійкість при зберіганні; умови зберігання зернової маси (пора року, кліматичні особливості місцевості, тип сховища, висота насипу і т. д.).

Так, чим фізіологічно активніша зернова маса, тим частіше перевіряють її температуру. Тому частота спостережень знаходиться в прямій залежності від вологості і температури зернової маси (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Періодичність спостережень за температурою зернових мас при зберіганні

Стан зерна за вологістю	Зерно нового врожаю на протязі трьох місяців з моменту прийому	Іншого зерна з температурою		
		0°С і нижче	Від 0°С до +10°С	Вище 10°С
Сухе та середньої сухості	Два рази на декаду	Один раз на 15 днів		Один раз на 15 днів
Вологе	Щоденно	Один раз на 15 днів	Два рази на декаду	Раз на 2 дні
Сире	Щоденно	Один раз на декаду	Два рази на декаду	Щоденно

З температурою пов’язані і строки перевірки її на зараженість кліщами та комахами. Перевірку зерна на зараженість в залежності від температури проводять в наступні строки: при температурі вище 15°С – один раз на декаду, при температурі від +15° до +5°С – один раз на 15 днів, при температурі нижче +5°С – 1 раз на місяць.

В залежності від вологості і температури встановлені і строки спостережень за іншими показниками.

Результати спостережень в хронологічному порядку заносять до журналу спостережень і штабельний ярлик окремо по кожній партії. Такий порядок дозволяє аналізувати стан партій, що зберігаються, і контролювати стан організації зберігання зернових мас на підприємстві.

В залежності від результатів спостережень, якщо це необхідно, приймають ті чи інші міри технологічного порядку (охолодження, обеззараження, сушіння, очищення і т. д.).

Організацію та техніку спостережень за зерновими масами при зберіганні слід проводити у відповідності з діючими інструкціями.

2.3 Методика визначення вологості зерна

Вологість є визначальним показником збереження зерна. Зерно, крім сухих речовин, містить воду. Частина її, що входить до складу молекул білка, крохмалю, називається зв'язаною. Решта води, що знаходиться в гігроскопічному стані, називається вільною. Вільну воду можна виділити висушуванням швидше, ніж зв'язану.8 Вільна волога має всі характерні властивості води (питому масу, діелектричну проникність, здатність бути розчинником), завдяки чому вона легкорухлива. До того ж вільна волога підвищує активність ферментів зерна, що призводить до пошкодження при зберіганні. Зв’язана вода у фізіологічних процесах участі не бере і не впливає на якість зерна під час зберігання. Вологість, за межами якої в зерні з’являється вільна волога, називається критичною, її величина залежить від хімічного складу зерна. Так для пшениці вона становить близько 14,5%, для гороху 16%. При здаванні-прийманні зерна на хлібоприймальні пункти його вологість впливає на залікову масу. Якщо вологість вища за базисну норму, відраховують знижку з маси за принципом 1% за кожний відсоток зниження. Якщо нижча, то також нараховують надбавку. За вологістю зерно поділяється на сухе, середньої сухості, вологе та сире. Дані табл. 2.1 зібрані з відповідних стандартів [9 - 15].

Таблиця 2.1 – Визначення стану зерна за вологістю, %

Зерно	Стан зерна за вологістю			
	сухе	середньої сухості	вологе	сире (понад)
Пшениці, жита, ячменю, гречки	14	15,5	17	17
Вівса	14	16	18	18
Проса	13	15	17	17
Кукурудзи	14	16	18	18
Гороху, квасолі	16	18	20	20
Соняшнику і льону	11	13	14,5	14,5
Конопель	11	12	14	14
Рицини	7	9	11	11

Аналіз наведених даних показує, що на тривале зберігання, необхідно закладати так зване сухе зерно, яке більш стійке, а зерно середньої сухості в теплий період необхідно більш ретельно досліджувати; вологе зерно потрібно зберігати лише в охолодженому стані; сире зерно, яке перед цим не сушилось не можна класти на зберігання. Вологість визначають прямим (дистиляцією) і непрямим методами, причому перевагу віддають останнім. Основним з них (стандартним) є висушування в електричній шафі при температурі 130°С протягом 60 хв. Додаткові – електрометричні методи ґрунтуються на властивостях зерна – діелектричній проникності та електропровідності. Зазвичай із середньодобової проби беруть приблизно 30 г зерна згідно стандарту [3] та за допомогою лабораторного млинка подрібнюють його. Розмелене зерно просіюють крізь сито з діаметром отворів 0,8 мм. Зауважимо, що для насіння соняшника подрібнення не передбачено

2.4 Первинні перетворювачі, які використовуються в якості датчиків вологості зерна

Вологоміри.

Вологомір WILE 55 призначений для експрес-вимірювання вологості 16 сортів насіння і зерен, а також продуктів їх переробки у польових умовах, при



збиранні, зберіганні та переробці зерна, при післязбиральній обробці і сушці зерна, на токах, при розміщенні зерна в сховищах, при зволоженні зерна перед помолом, борошна в процесі помолу. Прилад надійний, простий і зручний в експлуатації, поєднує в собі найкраще співвідношення ціни і якості.

Вологомір являє собою мікропроцесорний електронний прилад, який забезпечує оперативней вимір вологості без пошкодження контрольованих проб зерна. Влагомери зерна Wile зареєстровані в держреєстрі засобів вимірювальної

техніки України (У2953-09). Конструктивно прилад виконаний у вигляді портативного моноблока з вбудованим датчиком вологості. При проведенні вимірювання вологості, проба зерна засипається у вимірювальний циліндр датчика і закручується кришкою. Органи управління та індикації розташовані на передній панелі приладу. Список вимірюваних культур розташований збоку приладу.



Сервісні функції WILE 55:

автоматична компенсація температурної похибки, що виникає через різницю температур вологоміра і навколишнього середовища;

можливість автоматичного запам'ятовування і усереднення декількох результатів вимірювання (максимум 99 вимірювань);

автоматичне відключення електроживлення;

можливість внесення поправки до шкали вимірювання +4% з урахуванням результату, отриманого із сушильної шафи.

Вологомір для зерна «Фермер»

«Фермер » - малогабаритний переносний прилад , призначенний для експрес-визначення вологості зернових і олійних культур. Він є відповіддю на соціальний заказ найширшого кола споживачів , починаючи з невеликих фермерських господарств і закінчуючи великими сільськогосподарськими підприємствами . Даний прилад поєднує в собі мінімальну вартість з простотою і надійністю в експлуатації. Відображення результату визначення вологості - цифрове в абсолютних одиницях. «Фермер » має можливість визначати вологість 8 культур , запрограмованих в його пам'яті , а замовник , купуючи прилад , може замовити необхідний йому список культур , з якими він буде працювати. Експрес-аналізатор пройшов успішні лабораторні та виробничі випробування , і має позитивні відгуки споживачів . Будучи наймасовішим приладом серії «Варіант» ,



прилад експлуатується на сільськогосподарських підприємствах України , Росії та Молдови.

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Контрольовані культури пшениця,

Відображення інформації

цифрове, в абсолютних і відносних одиницях вологості

Діапазон визначення вологості,% абс. 5 - 38

Похибка у визначенні вологості,% абс. + / - (0,5 - 1,2)

Фракція проб Немолота

Необхідний мінімальний обсяг контрольованої проби, мл 60

Час визначення, сек до 30

Маса, кг 0,3

Габаритні розміри, мм 100 х 67 х 33

Живлення, В 9 (батарея типу «Крона»)

Вологомір безперервного контролю вологості



Прилад-індикатор, який здійснює безперервний контроль вологості необхідної культури в реальному масштабі часу в двох точках контролю з автоматичним усередненням показників датчиків і виведенням результату на панель індикації . Базовий комплект складається з двох датчиків , блоку управління і індикації . Прилад успішно зарекомендував себе на сушарках типу ДСП -50 при роботі в режимах кільцювання і прямоточною сушіння. Сьогодні прилад експлуатується на підприємствах України при контролі пшениці , ячменю , сої , соняшнику і кукурудзи.

Корпуси приладів виконані з полістиролу , що не вимагає заземлення і не тягне їх корозію. У конструкції датчиків застосована сталь із спеціальним покриттям і теплоізоляційні непровідні матеріали.

Прилади створені на сучасній імпортній елементній базі .Прилади - індикатори використовується для внутрітехнологіческого контролю.

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ НАСІННЯ РОСЛИННИХ КУЛЬТУР

3.1 Розробка електричної структурної схеми системи

Електрична структурна схема автоматичної системи дозування насіння рослинних культур приведена на рис. 3.1. До складу системи входять:

- датчик положення контейнера 1;
- датчик верхнього рівня бункера 2;
- датчик нижнього рівня бункера 3;
- датчик ваги 4;
- адаптер рівнів RS-232 5;
- схема вимірювань 6;
- однокристальна мікро-ЕОМ (ОМЕОМ) 7;
- блок сигналізації 8;
- електронні комутатори 9
- блок індикації 10.

Датчики положення контейнера 1 призначений інформування керуючого пристрою про те, що контейнер знаходиться в зоні дозування (під дозатором). При цьому контролер повинен зупинити транспортер і включити дозатор.

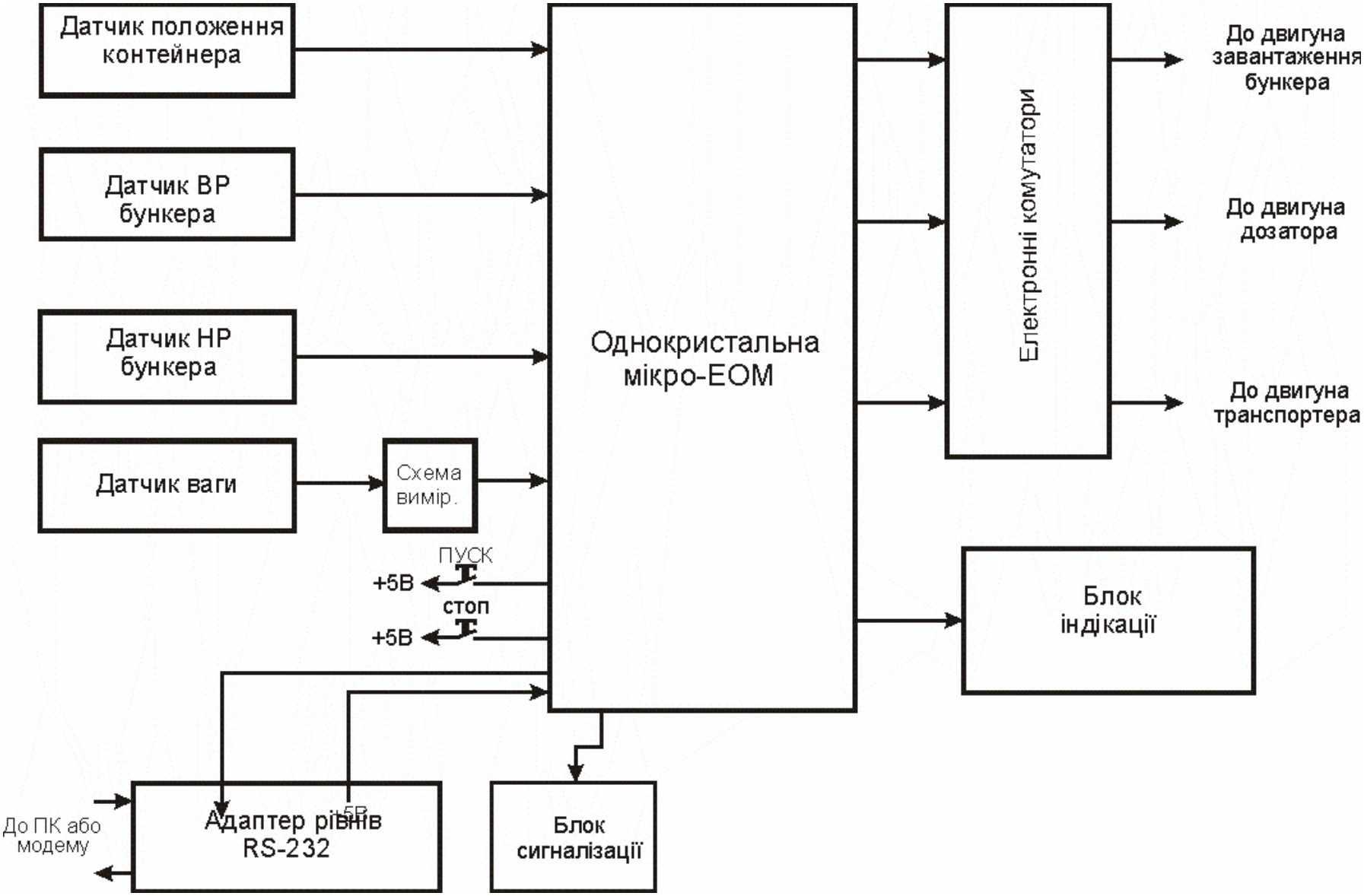


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи керування дозуванням насіння рослинних культур

Датчики верхнього рівня 2 та нижнього рівня 3 призначені для контролю рівнів завантаження накопичувального бункера. За допомогою цих датчиків контролер керує завантаженням накопичувального бункера шляхом включення двигуна завантаження.

Датчик ваги 4 вимірює вагу матеріалів, які насипаються в контейнер, а мікро-ЕОМ керує дозуванням згідно з заданим значенням ваги.

Інформація з датчиків 1-3 поступає до мікро-ЕОМ 7, яка обробляє отримані дані та управляє виконавчими механізмами (двигунами) згідно з алгоритмом функціонування та робочою програмою. Управління виконавчими механізмами відбувається через електронні комутатори 9, які виконують функцію узгодження сигналів управління та силових сигналів. Крім того, комутатори забезпечують гальванічну роз'язку сигналів.

Датчик ваги 4 підключено до мікро-ЕОМ 7 через схему вимірювання 6, яка узгоджує сигнали та перетворює отримані дані у цифровий вигляд.

Для відображення поточного значення ваги дозованих матеріалів та кількості завантажених контейнерів в схему введено блок цифрової індикації 10.

Блок сигналізації 8 інформує обслуговуючий персонал про збої в роботі системи або можливість виникнення аварійних ситуацій.

Для забезпечення обміну даними з диспетчерською ЕОМ або віддаленим ПК в системі передбачено послідовний інтерфейс RS-232. Узгодження рівнів даного інтерфейса виконує адаптер рівнів 5. Зовнішні виводи адаптера підключаються до COM-порта ЕОМ, телефонного або радіо модему.

3.2 Розробка електричної функціональної схеми системи

На основі електричної структурної схеми була розроблена електрична функціональна схема системи приведена на рис. 3.2 .

Датчик положення контейнера 1 оптичного типу призначений для контролю положення контейнера в зоні дозування. Датчик встановлено під виходом дозатора на транспортері. При перетинанні контейнером світлового потоку датчик формує сигнал “Контейнер в зоні дозування”, який вказує системі про можливість початку дозування. Сигнал з датчика поступає на вхід зовнішнього переривання INT0 мікро-ЕОМ 9. Відповідна процедура переривання починає процес дозування.

Датчик верхнього рівня бункера 2 контролює верхній рівень в накопичувальному бункері, а датчик нижнього рівня 3 – нижній рівень. Обидва датчики рівнів – оптичного типу. Датчики встановлено в накопичувальному бункері. При спустошенні накопичувального бункера під час дозування спрацьовує датчик нижнього рівня 3, який формує сигнал “Бункер порожній”. Сигнал поступає на вхід ТО мікро-ЕОМ. Згідно з алгоритмом функціонування, мікро-ЕОМ вмикає двигун завантаження бункера. При завантаженні, рівень матеріалу збільшується і при досягненні верхнього рівня спрацьовує датчик верхнього рівня 2, який формує сигнал “Бункер заповнений”. Сигнал поступає на вхід зовнішнього переривання INT1 мікро-ЕОМ 9, яка вимикає двигун завантаження бункера

Датчик ваги 4, тензометричного типу вимірює вагу насипаного в контейнер матеріалу. Сигнал з датчика ваги 4 через узгоджуючий підсилювач 5 поступає на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 6. Узгоджуючий підсилювач призначений для нормалізації сигналу датчика та узгодження опорів датчика та АЦП.

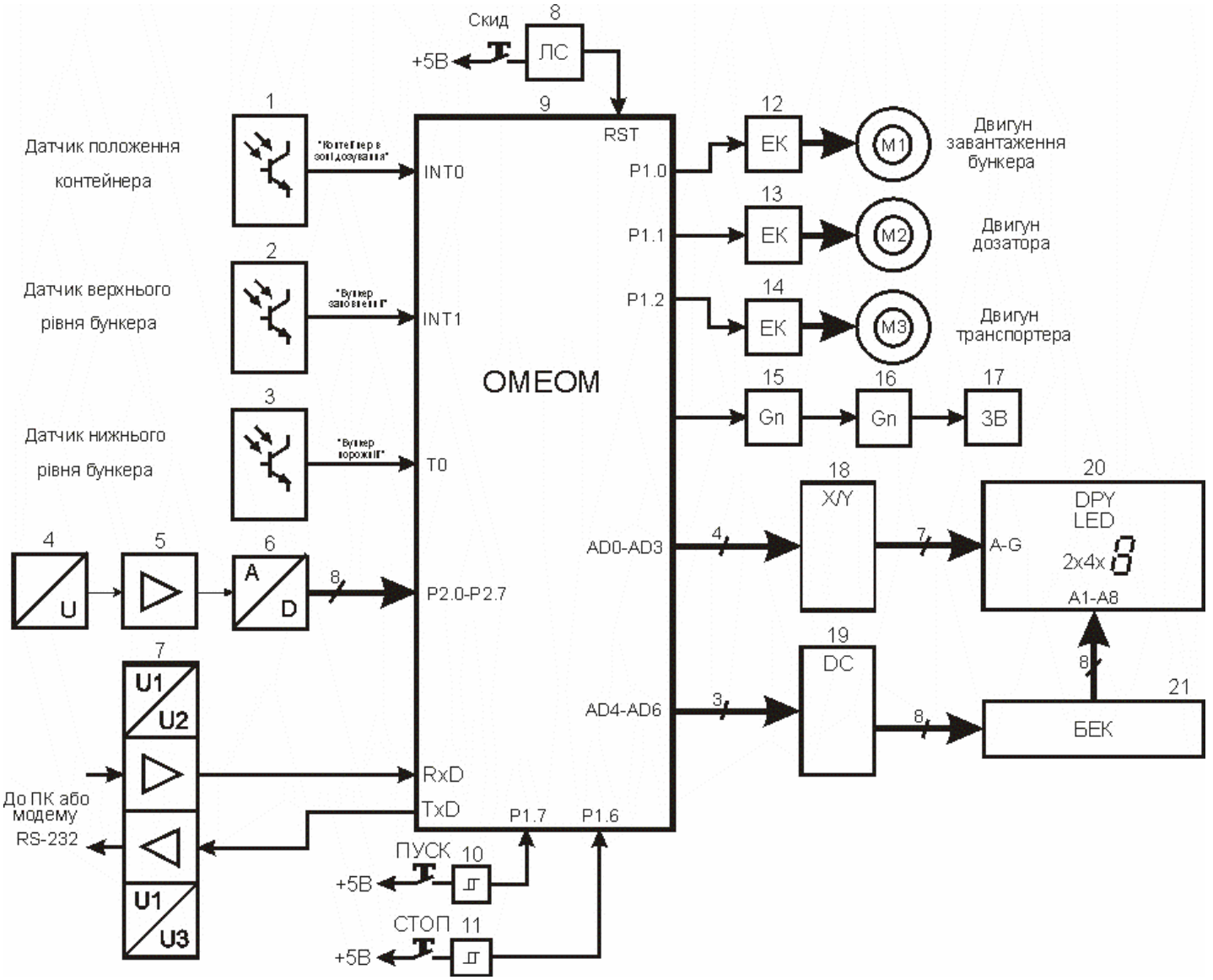


Рисунок 3.2– Функціональна схема системи керування дозуванням насіння рослинних культур

Поточне значення ваги контейнера в цифровому вигляді з виходів АЦП 6 передається на лінії порта Р2 мікро-ЕОМ 9. Наявність оперативних даних ваги дозволяє мікро-ЕОМ керувати процесом дозування і при досягненні необхідного значення ваги припинити дозування і почати новий цикл.

Основою системи є однокристальна мікро-ЕОМ 9. Для апаратного скиду мікро-ЕОМ при включенні напруги живлення в схему введено ланцюг скиду 8. Для примусового скиду передбачена кнопка “Скид”.

Для візуального контролю поточної ваги та кількості фасованих доз в схемі передбачено блок цифрових дисплеїв 20. Дисплеї являють собою набори світлодіодних індикаторів цифрового типу. Порт Р0 мікро-ЕОМ використовується для управління 8-розрядним цифровим світлодіодним індикатором 20, на який виводиться поточне значення ваги контейнера(4 розряди) та кількості доз (4 розряди). В даній схемі реалізовано принцип програмної динамічної індикації. Суть полягає в тому, що через лінії порта AD0-AD6 в певний момент часу виводяться дані та номер першого розряду, а в інший момент дані та номер другого розряду и т д в циклі. Кількість циклів відповідає кількості розрядів індикатора. Через лінії AD0-AD3 виводяться дані в двійковій системі числення, які поступають на входи перетворювача кодів 18. Перетворювач 18 виконує функцію перетворення двійкового вхідного коду на код семисегментного цифрового індикатора. Виходи перетворювача кодів підключено до індикатора 20.

З виходів AD4-AD6 у двійковій формі передається номер активного в даний момент часу розряду, який поступає на входи дешифратора 19. Дешифратор 19 перетворює вхідний двійковий код у позиційний. Таким чином, на виході дешифратора, номер якого відповідає номеру активного разряду з’являється сигнал включення розряду. Цей сигнал поступає на блок електронних ключів 21 і вмикає відповідний ключ активуючи потрібний розряд індикатора.

В наступному циклі інші дані будуть виводитись в наступний розряд. Таким чином, послідовно в часі, циклічно будуть виведені дані у всі розряди індикатора.

Порт P1 мікро-ЕОМ призначений для управління двигунами М1 – М3. Комутація обмоток двигунів здійснюється через електронні ключі 12-14. Застосування ключей дозволяє гальванічно розв'язати ланцюги управління та силові ланцюги.

Для ручного запуску та зупинки системи в схемі передбачено кнопки "Пуск" та "Стоп". Кнопки підключені до формувачів 10,11 (тригери Шмідта), які усувають перешкоди при замиканні. Виходи формувачів підключено до ліній P1.6, P1.7 мікро-ЕОМ.

Для обміну даними з операторською ЕОМ та віддаленим ПК в схемі передбачений послідовний інтерфейс RS-232. Для узгодження рівнів в схему введено перетворювач рівнів 7. Виводи перетворювача підключені до виводів послідовного порта UART мікро-ЕОМ 9.

3.3 Розробка електричної принципової схеми системи.

На основі електричної функціональної схеми була розроблена електрична принципова схема системи приведена на рис. 3.3 .

Сигнал з датчика положення контейнера оптичного типу через роз'єм XP2.1 поступає на вхід зовнішнього переривання INT0 мікро-ЕОМ DD1. Коли оптичний канал датчика перекритий (контейнер в зоні) на виході датчика формується рівень логічного "0", який викликає відповідну процедуру переривання мікро-ЕОМ. Починається процес завантаження контейнера.

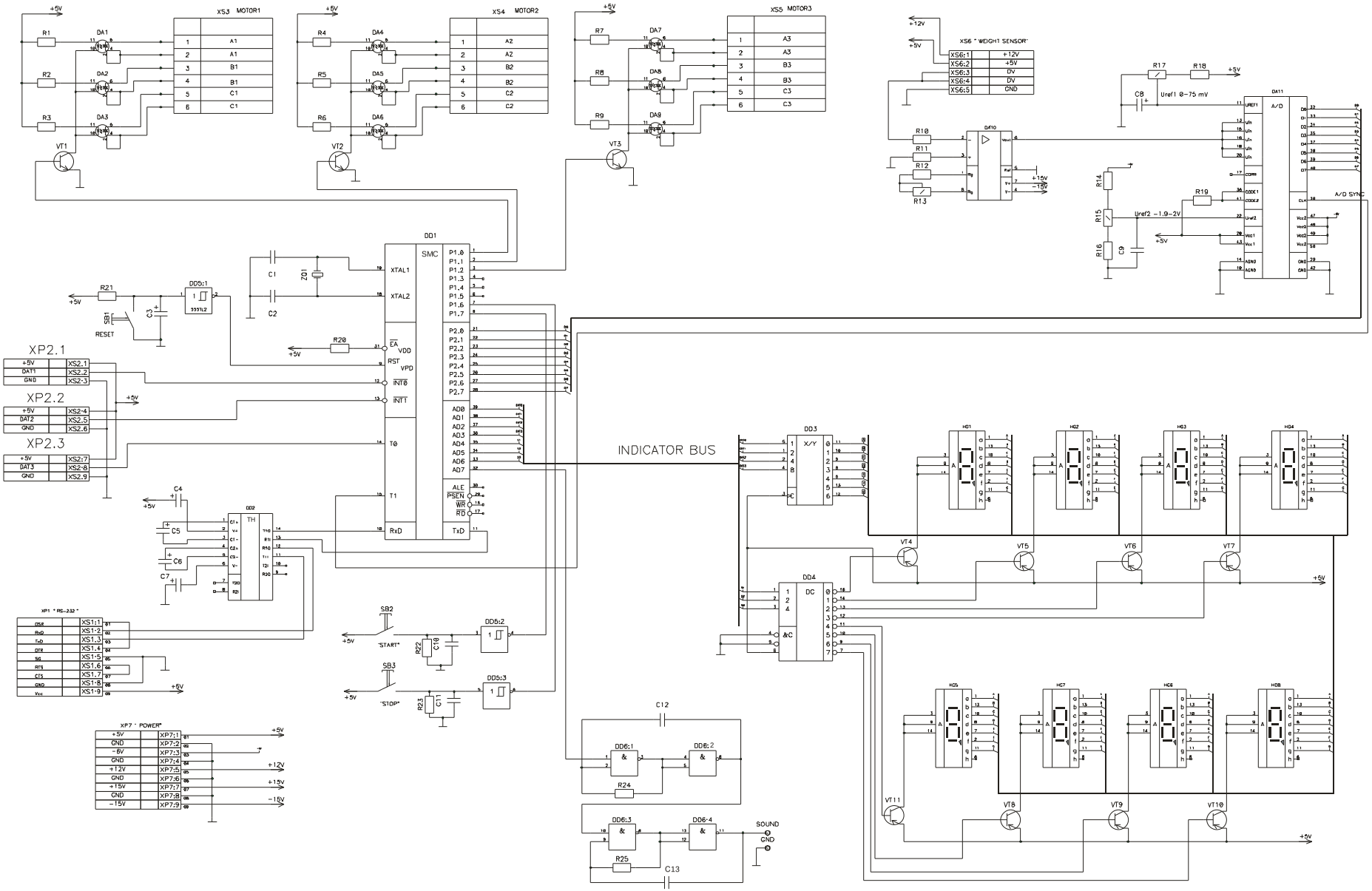


Рисунок 3.3 – Електрична принципова схема системи керування дозуванням насіння рослинних культур

Для контролю верхнього та нижнього рівнів завантаження накопичувального рівня в схемі передбачені оптичні датчик. Датчик верхнього рівня підключається через роз'єм XP2.2 до входу зовнішнього переривання INT1, а датчик нижнього рівня – через роз'єм XP2.3 до входу T0. При досягненні в бункері верхнього рівня (перекривається оптичний канал датчика), на його виході формується сигнал з рівнем логічного "0", який викликає відповідну процедуру переривання мікро-ЕОМ. Процес завантаження бункера припиняється. По мірі розходу сипучої речовини її рівень в накопичувальному бункері зменшується. При зменшенні рівня до зони датчика нижнього рівня він спрацьовує і на вхід T0 мікро-ЕОМ поступає логічного "0". Починається процес завантаження накопичувального бункера.

Для управління вузлами системи використовується мікро_ЕОМ DD1 типу AT89C52 компанії ATMEL. Для синхронізації мікро-ЕОМ застосовано зовнішній частотно-задаючий ланцюг на елементах C1,C2,ZQ1, підключений до виводів XTAL1, XTAL2 вбудованого в мікро-ЕОМ тактового генератора. Стабілізація частоти відбувається за рахунок використання кварцового резонатора.

Для формування сигналу скиду при включенні напруги живлення в схему введено ланцюг R21,C3,SB1,DD5.1. При появі напруги живлення через інтегруючий ланцюг R21, C3 на вхід тригера Шмідта поступає сигнал лог "0", а з його виходу сигнал логічної "1", який призводить до скиду контролера. По мірі заряду ємності напруга на ній зростає і при досягненні рівня логічної "1" тригер DD5.1 перемикається. Таким чином на воді RST мікро-ЕОМ формується імпульс сигналу скиду позитивної полярності тривалістю, яка залежить від сталої часу інтегруючого ланцюга R21, C3, і повинна перевищувати 10 машинних циклів мікро-ЕОМ.

Для примусового скиду контроллера в схемі передбачено кнопка SB1 "Скид", яка шунтує ємність, формуючі сигнал скиду примусово.

На вхід EA мікро-ЕОМ поданий сигнал лог”1” від джерела живлення через резистор R20. Таким чином вибирається режим роботи з внутрішньою пам’яттю програм, де зберігається програма управління системою.

Сигнал з датчика ваги в аналоговому вигляді через роз’єм XS6 поступає на вхід операційного підсилювача DA10 типу INA128. Підсилювач являє собою малошумлячий прецезійний термокомпенсований операційний підсилювач. Коефіцієнт підсилення задається за допомогою резисторів R12, R13.

З виходу підсилювача сигнал поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) DA11 типу К1107ПВ2, який перетворює вхідний аналоговий сигнал у цифровий 8-розрядний. З виходу АЦП цифровий код подається на порт P2, з якого зчитується мікро_ЕОМ програмними засобами. Для тактування (синхронізації) АЦП використовується лінія T1 порта P3 мікро-ЕОМ.

Позитивна опорна напруга 0-75 mV необхідна для роботи АЦП формується за допомогою дільника напруги на елементах R17, R18. Регулювання величини напруги здійснюється за допомогою резистора R17. Ємність C8 додатково зглажує опорну напругу.

Негативна опорна напруга –1.9-2 V необхідна для роботи АЦП формується за допомогою дільника напруги на елементах R14, R15,R16. Регулювання величини напруги здійснюється за допомогою резистора R15. Ємність C9 додатково зглажує опорну напругу.

Управління агрегатами (двигунами) системи виконується через лінії порту P1. Поява сигналу логічної ”1” на лінії P1.0 вмикає двигун приводу завантажувача накопичувального бункера, на лінії P1.1 – двигун приводу дозатора, на лінії P1.2 – двигун приводу транспортера. Всі канали управління двигунами аналогічні.

Розглянемо роботу одного з них. При появі на лінії P1.0 лог”1” відкривається транзисторний ключ на VT1, вихід якого підключено до входів управління оптичних симісторів DA1-DA3 типу К293КП13П (за кількістю фаз

двигуна). Дана мікросхема являє собою твердотільне оптичне реле, джерелом випромінювання якого є світло діод, а комутуючим елементом оптичний симістор. При відкриванні транзисторного ключа через світлодіоди реле починає протікати струм управління. Що призводить до відкривання симістора, а відповідно і до підключення навантаження (двигуна). Двигуни підключено до блоку управління через роз'єми XS3-XS5 відповідно.

Для сигналізації про аварійний стан в схемі передбачена звукова сигналізація побудована на двох керованих генераторах: генераторі тону та генераторі переривань. Генератор тону побудовано на елементах DD6.3, DD6.4, R25,C13. Частоту генерації 2-3 кГц задає ланцюг R25,C13. Генератор переривань побудовано на елементах DD6.1, DD6.2, R24,C12. Частоту генерації 5-10 Гц задає ланцюг R24,C12. При появі на вихіді AD7т рівня лог"1" включається генератор переривань на виході якого формуються імпульси частотою 5-10 Гц. Імпульси поступають на входи генератора тона запускаючи його. Таким чином, на виході генератора тона формується переривчаста послідовність тональних імпульсів, яка подається на звуковий п'єзоелектричний випромінювач.

Для включення та виключення процесу дозування в схемі передбачено кнопки SB2 "Старт" та SB3 "Стоп". Кнопки підключено до входів тригерів Шмідта DD5.2, DD5.3 типу К555ТЛ1, які усувають дребезг контактів Ємності С10, С11 підключенні до входів тригерів додатково усувають дребезг під час коммутації. Виходи тригерів підключено до ліній P1.6, P1.7, які опитуються мікро-ЕОМ програмно.

Для відображення поточного значення ваги та кількості відвантажених доз в схему введено цифровий індикатор на елементах HG1-HG8 типу АЛС324Б. Порт AD контролера використовується для управління 8-розрядним цифровим світлодіодним індикатором, на який виводяться поточні значення.

В даній схемі реалізовано принцип програмної динамічної індикації. Суть полягає в тому, що через лінії порта AD0-AD6 в певний момент часу виводяться

дані та номер першого розряду, а в інший момент дані та номер другого розряду и т д в циклі. Кількість циклів відповідає кількості розрядів індикатора. Через лінії AD0-AD3 виводяться дані в двійковій системі числення, які поступають на входи перетворювача кодів (ПК) DD3 типу К514ИД2. Перетворювач кодів виконує функцію перетворення двійкового вхідного коду на код семисегментного цифрового індикатора. Виходи перетворювача кодів підключено до катодів індикаторів HG1-HG8.

З виходів AD4-AD.6 у двійковій формі передається номер активного в даний момент часу розряда, який поступає на входи дешифратора знакомісця DD4 типу К555ИД7. Дешифратор знакомісця перетворює вхідний двійковий код у позиційний. Таким чином, на виході дешифратора, номер якого відповідає номеру активного разряда з'являється сигнал включення розряда. Цей сигнал поступає на блок електронних ключів на транзисторах VT3-VT10 типу КТ361 і вмикає відповідний ключ, активуючи потрібний розряд індикатора.

В наступному циклі інші дані будуть виводитись в наступний розряд. Таким чином, послідовно в часі, циклічно будуть виведені дані у всі розряди індикатора.

Для обміну даними з операторською ЕОМ передбачений послідовний інтерфейс RS-232. Для узгодження рівнів в схему введено перетворювач рівнів DD2 типу MAX232 компанії MAXIM.

Виводи перетворювача підключені до виводів послідовного порта UART мікроконвертера. Передача даних на ПЕОМ ведеться через лінію TxD, а прийом даних – через лінію RxD мікроконвертера.

В результаті впровадження даного проекту будуть досягнуті наступні цілі:

- істотно підвищена точність дозування компонентів;
- підвищено якість зберігання зернової маси та її укладання у бункери;
- встановлений повний контроль витрати матеріалів;

- встановлений повний контроль відвантаження продукції;
- виключена можливість несанкціонованого відвантаження продукції;
- виключена можливість несанкціонованого коректування звітних даних.

Досягнення цієї мети в цілому помітно зменшить собівартість продукції, що випускається, а головне, дозволить точно відстежувати складові собівартості: матеріали, енерговитрати, амортизацію устаткування і т.д., а також активно на них впливати.

3.4 Алгоритм роботи системи керування дозуванням насіння рослинних культур

Для розроблених структурної, функціональної та принципової електричних схем системи керування технологічним процесом дозуванням насіння рослинних культур, та в результаті аналізу технологічного процесу нами був розроблений алгоритм м роботи системи. Алгоритм приведений на рис. 3.4

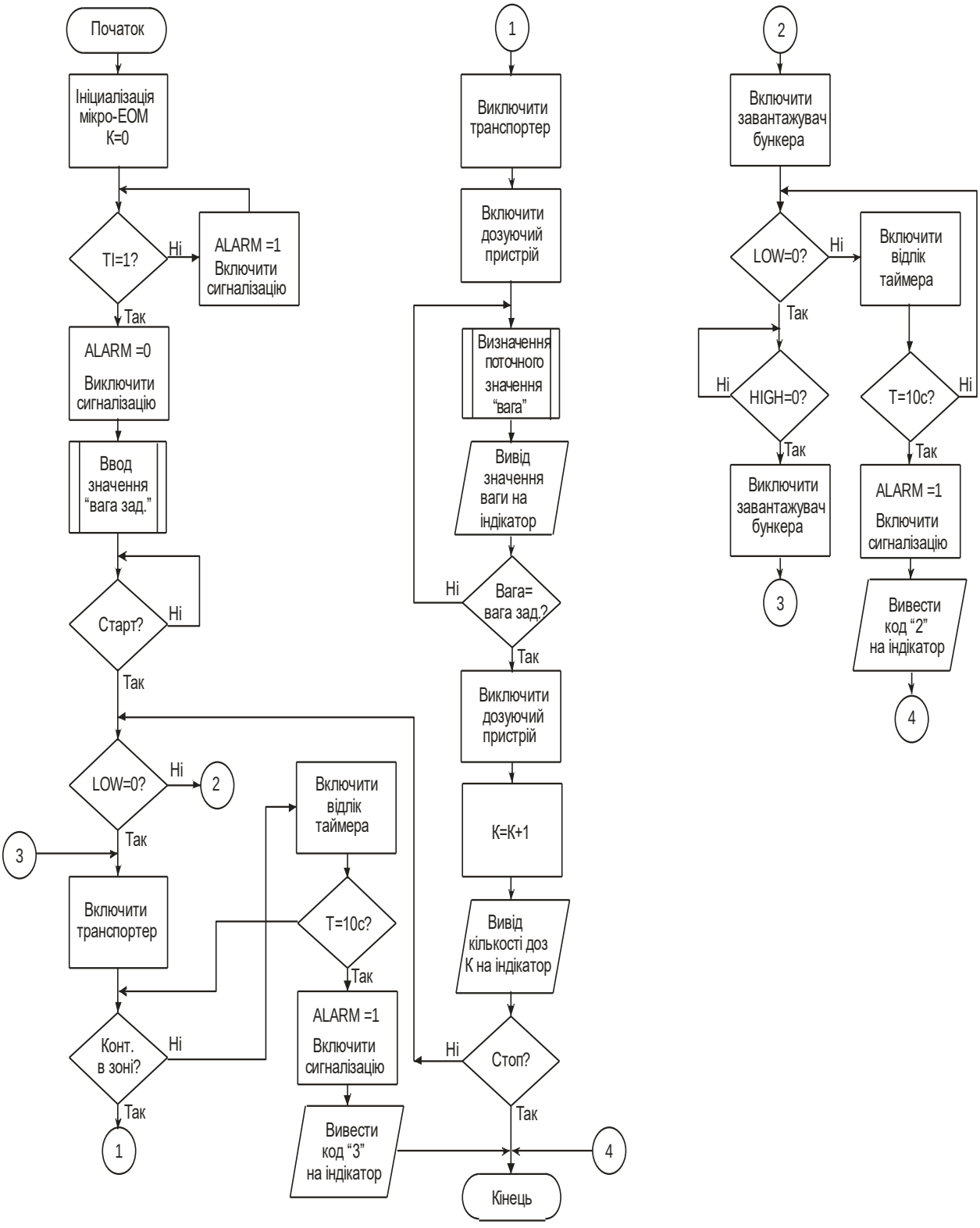


Рисунок 3.4 – Алгоритм роботи системи керування дозуванням насіння рослинних культур.

3.5 Монтажна та друкована плати системи керування дозуванням насіння рослинних культур

Крім того за допомогою системи автоматичного проектування P-CAD, та програми автоматичного трасування провідників SPECTRA на основі електричної принципової схеми системи, була розроблена друкована та монтажна плати представлені на рис. 3.5., 3.6.

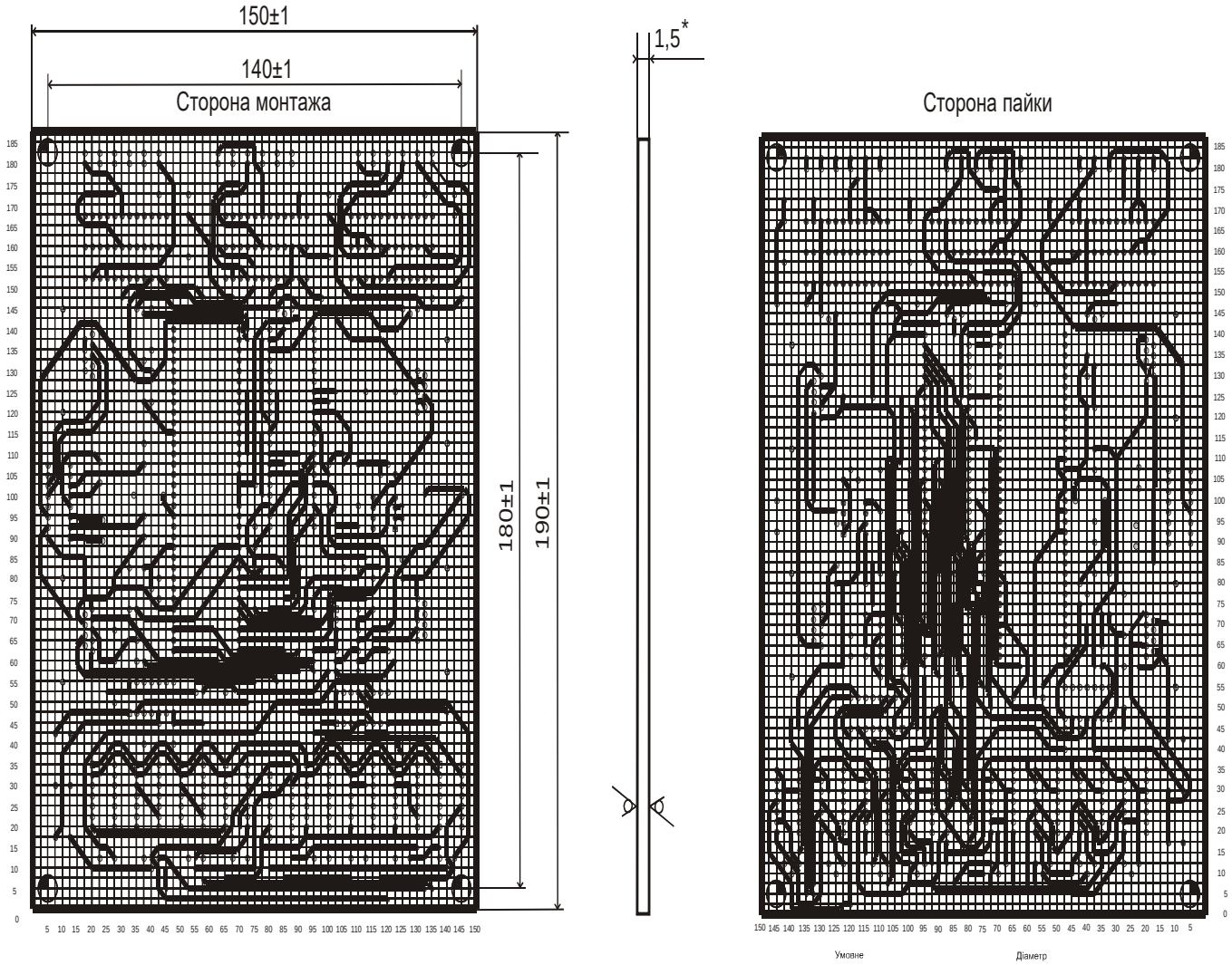


Рисунок 3.5 – Друкована плата системи керування дозуванням насіння рослинних культур

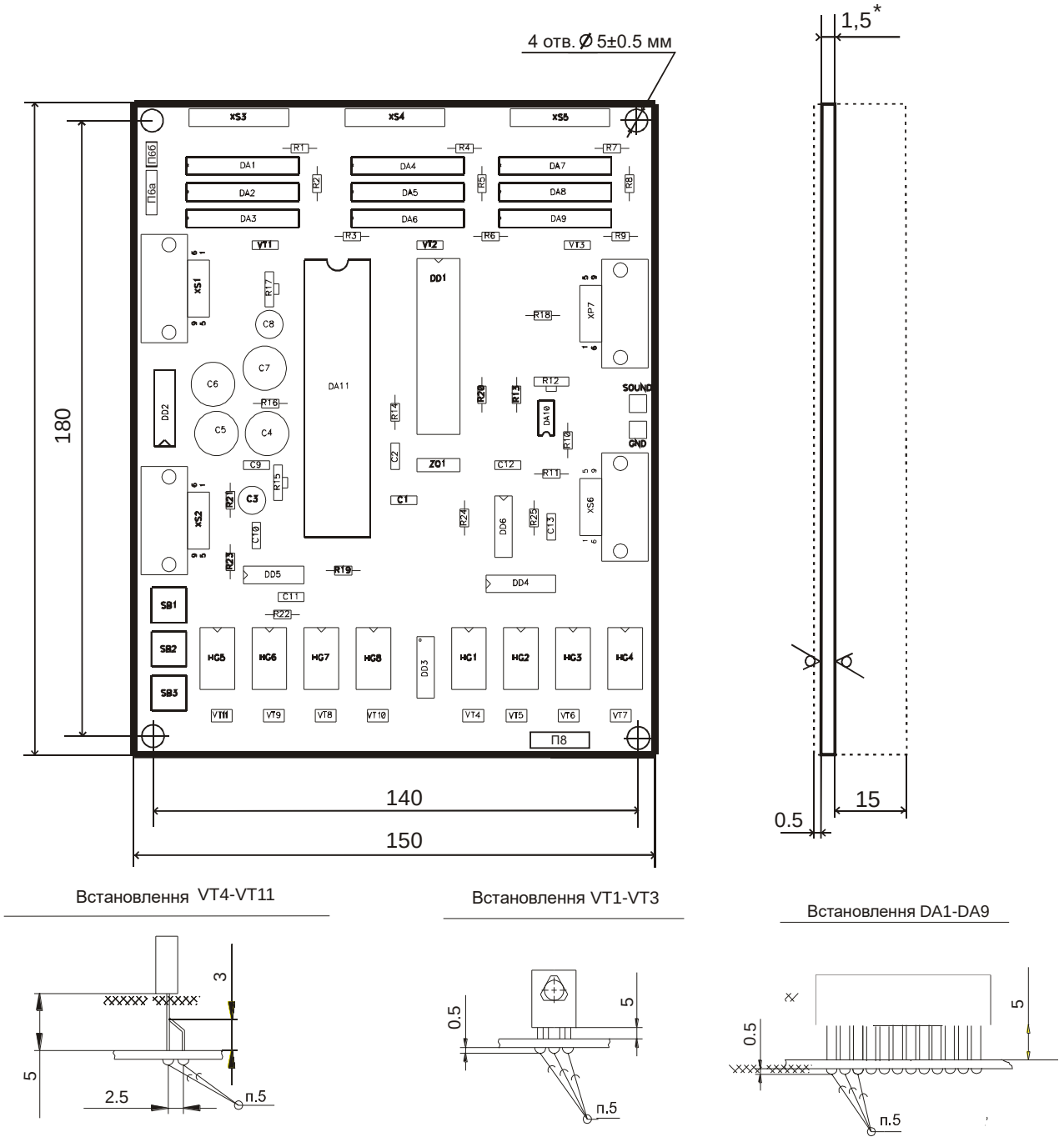


Рисунок 3.6 – Монтажна плата системи керування дозуванням насіння рослинних культур

В результаті проробленої роботи нами була розроблена автоматизована система керування дозуванням насіння рослинних культур Для неї розроблені електрична структурна, функціональна, принципова схеми та алгоритм їх роботи.

3.6 Датчик вологості

Одним з варіантів вирішення подібної задачі є створення потокового вологоміра ємнісного типу, що поєднував би в собі переваги вологомірів з відбором проб та дешевизну вологомірів з просипними чи занурювальними датчиками. Побудувати такий вологомір можливо у вигляді автоматичної системи яка б забезпечувала наповнення та спорожнення вимірювальної ємності, контроль рівня зерна у вимірювальній камері та контроль температури в декількох точках первинного перетворювача. Структура такої системи приведена на рисунку 3.7.

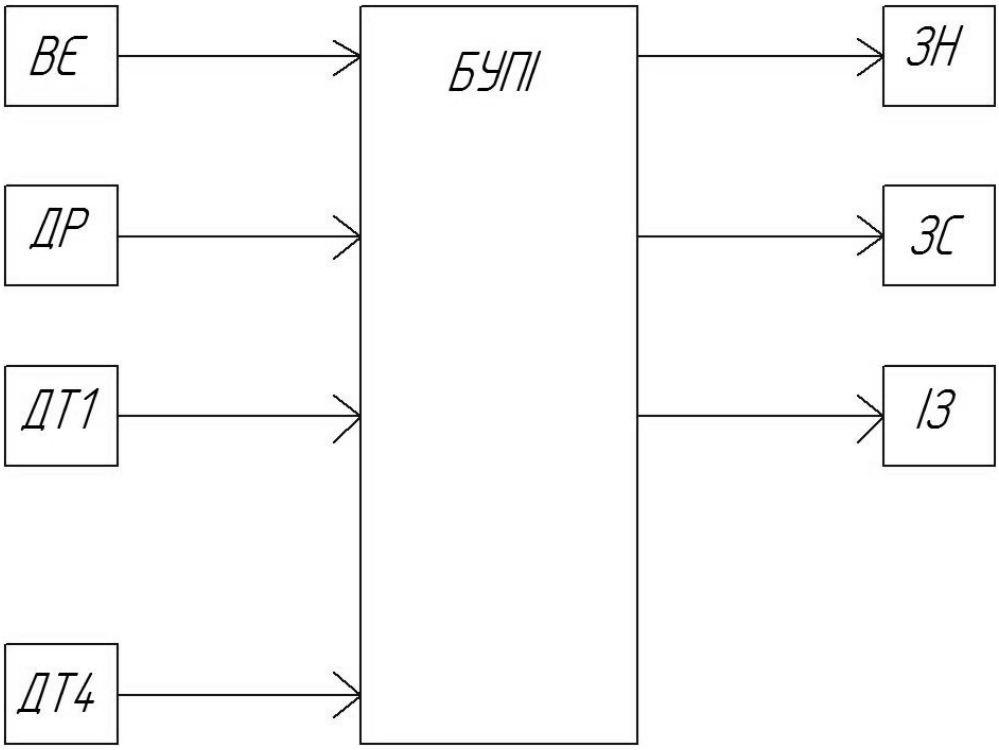


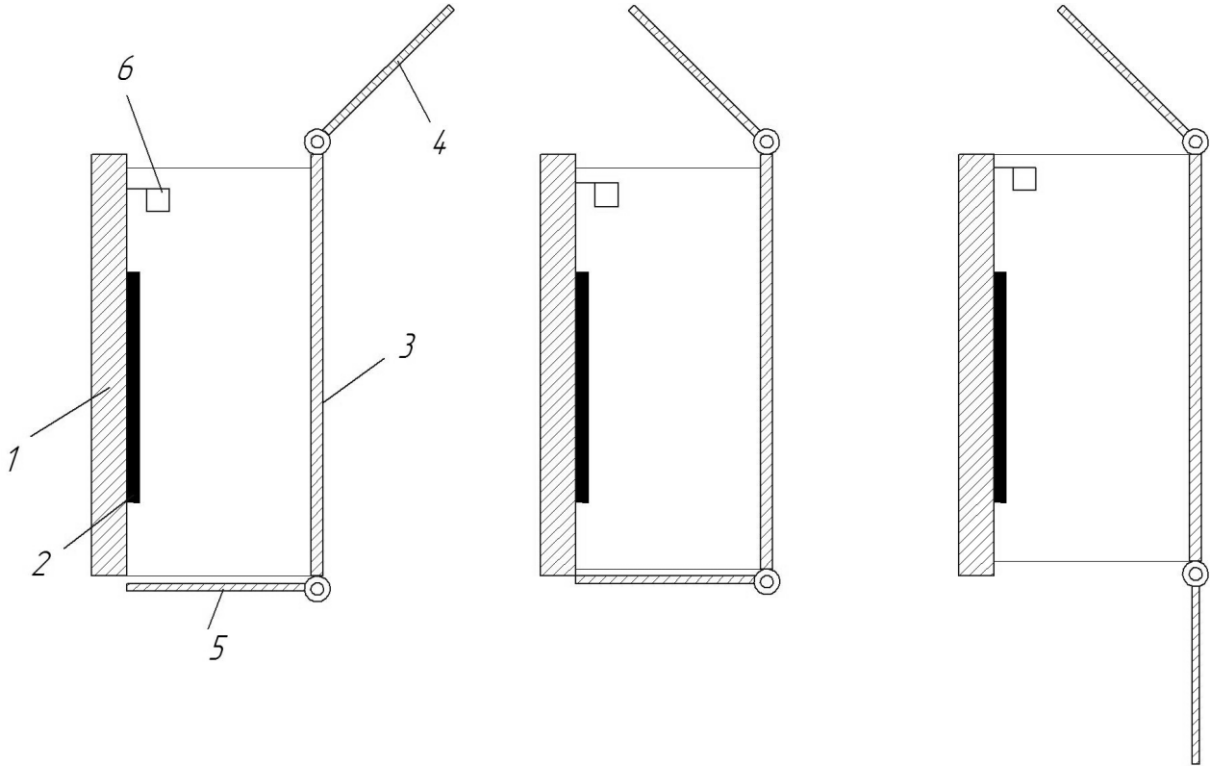
Рисунок 3.7 – Система контролю вологості та температури зерна в потоці. ВЄ – вимірювальна ємність; ДР – датчик рівня; ДТ1, ДТ4 – датчики температури; БУПІ – блок управління та перетворення інформації; ЗН – засувка наповнення камери; ЗС – засувка спорожнення камери; ІЗ – інтерфейс зв’язку.

Датчиками системи є вимірювальна ємність, яка використовується для вимірювання вологості, датчик рівня, призначений для вимірювання рівня зерна у вимірювальній камері та датчики температури для вимірювання температури зерна. Виконавчими механізмами є дві засувки з електричним приводом, які призначені.

Використання такої структури системи контролю, за рахунок керування заслонками дозволить рівномірно і щільно заповнювати вимірювальну ємність, що зменшить похибку вимірювання вологості. Крім цього час заповнення ємності дозволить розрахувати швидкість пересування об’єму зерна у сушильному агрегаті. А використання чотирьох датчиків температури дозволить отримати усереднене значення температури, що також зменшить похибку вимірювання температури і вологості.

Вимірювальний перетворювач системи для вимірювання вологості являє собою просипний датчик з двома засувками: впускною та випускною в якому розташований датчик рівня зерна та безпосередньо вимірювальна ємність. Вимірювальний перетворювач у різних стадіях роботи представлений на рисунку 3.8.

На першій стадії роботи, рисунок 3.8а, засувка наповнення камери знаходиться у відкритому стані а засувка спорожнення камери у закритому. При цьому вимірювальна камера наповнюється зерном до спрацювання датчика рівня. При появі сигналу від датчика рівня засувка наповнення камери переводиться до закритого стану і зерновий потік відбиваючись від неї сиплеться повз вимірювальну камеру а перетворювач переходить до другої стадії роботи, рисунок 3.8б.



а) б) в)

Рисунок 3.8 – Вимірювальний перетворювач системи контролю вологості та температури зерна в різних стадіях роботи. 1 – основа з діелектричного матеріалу; 2 – перша пластина ємності; 3 – металевий корпус який виконує роль другої пластини ємності; 4 – засувка наповнення камери; 5 – засувка спорожнення камери; 6 – датчик рівня зерна.

На другій стадії роботи відбувається безпосередньо процес вимірювання вологості, по закінченню якого засувка спорожнення камери переходить до відкритого стану і перетворювач переходить до третьої стадії роботи, рисунок 3.8 в під час якої відбувається спорожнення камери. Після того як камера спорожніла засувка спорожнення камери переходить до закритого стану а засувка наповнення камери до відкритого і починається новий цикл роботи вологоміра.

4 СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗЕРНОВОЇ МАСИ

4.1 Теоретичні основи побудови математичної моделі зернової маси як об’єкта керування

Для прогнозування стану зернової маси необхідно розробити її математичну модель, в якій необхідно відобразити можливості реалізації моделей застосування КТП по догляду за зерном як варіанти рішення.

В основу моделі покладено визначення зернової маси як штучної екологічної системи. В структуру зернової маси входять: зерно основної культури, домішки, мікрофлора зерна і між зерновий простір. Як можливий елемент в склад зернової маси можуть входити шкідники. Процес зберігання зернової маси пов'язаний з зменшенням маси і показників якості зерна основної культури , що в основному викликано:

- біохімічними процесами, які відбуваються в зерні;
- життєдіяльністю мікроорганізмів;
- життєдіяльністю шкідників.

Найбільш важливим біохімічним процесом, який визначає зменшення маси сухої суміші зерна під час зберігання, є дихання зерна: аеробне і анаеробне. Вплив дихання зерна на цей параметр добре показаний сумарними рівняннями дихання:

Аеробного

$$C6\ H12\ O6 + 6\ O2 = 6\ CO2 + 6\ H2O + Q_{аэр} \qquad (4.1)$$

де $Q_{аэр}$ – кількість тепла, яке виділяється в результаті аеробного дихання зерна, кДж;

Анаеробного

$$C6\ H12\ O6 = 2\ CO2 + 2\ C2H5OH + Q_{анаэр} \qquad (4.2)$$

де $Q_{анаэр}$ – кількість тепла, яке виділяється в результаті анаеробного дихання, кДж;

Інтенсивність дихання зерна в свою чергу залежить від вологості, температури зернової маси, концентрації кисню в повітрі між зернового простору і від фізіологічних особливостей зерна (перед усім його здоров'я). Основним елементом зернової маси є зерно основної культури, структурної одиниці якого є зернинка. Основна функція зернинки – дати росток. Тому в якості показників здоров'я зернинки повинен виступати посівний показник якості зерна (наприклад всхожість). На всхожість зерна вагомий вплив оказує біохімічні процеси старіння насіння, яке протікає в одному напрямку с втратою маси сухої суміші зерна при аеробному і анаеробному видах дихання. Швидкість зміни показників якості зерна під впливом біохімічних процесів в зернині визначаються тими самими умовами , що і інтенсивність дихання зерна. Логічно було б припустити, що інтенсивність біохімічних процесів, які протікають в зернині, визначається фізіологічною або життєвою активністю зернини, яка в свою чергу визначається вологістю і температурою зернової маси, концентрацією кисню в повітрі між зернового простору і схожістю зерна.

Другим по вологості і степені впливу на показники якості елементом зернової маси є мікрофлора. Важливими мікробіологічними процесами, які відбуваються в зерновій масі, є дихання і розмноження мікроорганізмів. Дихання більшості мікроорганізмів відбувається в відповідності з сумарним рівнянням дихання (4.1) і (4.2). Зміна чисельності популяції визначається залежністю :

$$\frac{dN}{dt} = \mu \bullet N \qquad (4.3)$$

де:

μ - швидкість росту популяції (залежить від параметрів субстрату), рік ;

N - чисельність популяції, тис. шт.

Характер впливу мікрофлори зерна на його показники якості ілюстровані рівнянням Лотки-Вольтера, записаного для проточного хемостата. Для

моделювання поведінки мікрофлори при зберіганні зерна із рівняння необхідно прибрати елемент, який відображає проточність. Тоді вона прийме вигляд:

$$\frac{dS}{dt} = -\sum_{i=1}^{n} \frac{\mu i \bullet Ni}{\Upsilon i} \quad (4.4)$$

де: S – параметр субстрату (наприклад, маса сухих сумішей зерна), пар. субстр.;

μi – швидкість росту і-й популяції (залежить від параметра субстрату), год.

Ni - чисельність і-й популяції, тис. шт.;

Υi - коефіцієнт економічності використання субстрату або степінь впливу 1-ї популяції на параметр субстрату, тис. шт.\пар.субстр.

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок, що степінь впливу мікрофлори на показники якості зерна залежать від фізіологічної активності популяції, яка визначає швидкість її росту, потенційних можливостей популяції, які характеризуються коефіцієнтом економічності і чисельності популяції. Аналогічна залежність буде і для виділення популяції продуктів метаболізму.

Тому, в результаті протікання біохімічних процесів в зерновій масі споживаються сухі суміші зерна, кисень повітря між зернового простору, накопичується тепло, волога, вуглекислий газ і органічні речовини. Інтенсивність же протікання біохімічних процесів визначається активністю зерна основної культури і мікроорганізмів зернової маси.

На ряду з біохімічними процесами необхідно враховувати також процеси тепло-, волого- і газообміну зернової маси з навколишнім середовищем. В основу описання процесів теплообміну звичайно закладається рівняння теплообміну між середовищем і поверхнею і теплопередачі через стінку. Рівняння теплообміну:

$$\mathbb{Q}\text{mo} = \alpha\, Fmo\, \tau mo\, \Delta\Theta \quad (4.5)$$

де: $\mathbb{Q}mo$ - кількість тепла, яка передається від зернової маси в навколишнє середовище, кДж;

α – коефіцієнт теплообміну, кДж/м^2 год ºС)

Fmo - площа теплообміну, м^2;

τmo - час теплообміну, год.;

$\Delta\Theta$ - різність температур С.

Рівняння теплопередачі через стінку:

$$\mathbb{Q}\ \text{mn} = \lambda\ F_c\ \Delta\Theta\ \tau\ \text{mn}\ /\delta_c \qquad (4.6)$$

де: $\mathbb{Q}$ mn – кількість теплоти, яка передається через стінку, кДж;

λ - коефіцієнт теплопередачі, кДж/м год. ºС;

F_c – площа стінки, м^2;

δ_c – товщина стінки, м;

τ mn – час теплопередачі, год.;

$\Delta\Theta$ - різність температур, ºС.

В основу моделей волого- і газообміну можна покласти закон дифузії:

$$M = -\ D\ Fd\ \Delta c\ \tau d, \qquad (4.7)$$

де: M – кількість сировини, кг;

D – коефіцієнт дифузії, кг/(м^2 % год);

Fd – площа поверхні дифузії, м^2;

Δc – різниця концентрації, %;

d – час переносу, год.

Вологообмін зерна с повітрям між зернового простору здійснюється на основі рівняння рівноваги вологи зерна:

$$Wp = a_1 - a_2 \bullet \theta з + (a_4 - a_5 \bullet \theta з) \bullet \ell g \sqrt{\frac{1}{1-\varphi oc}}, \qquad (4.8)$$

де: a_1, a_2, a_4, a_5 – коефіцієнт , який залежить від виду зерна основної культури і від поточного значення відносної вологості повітря;

$\theta з$ – температура зерна, ºС;

φoc - відносна вологість повітря, %.

4.2 Математична модель прогнозування стану зернової маси в період зберігання

4.2.1 Параметрична схема моделі зернової маси як об'єкта керування

Параметри зернової маси можуть змінюватись під дією навколишнього середовища і в наслідку вільного руху. Під дією навколишнього середовища будимо розуміти вплив на біологічні елементи зернової маси температури $\theta_{ос}$, відносної вологості $\varphi_{ос}$ повітря, яке оточує зернову масу, концентрації кисню в ньому $c_{ос}$ і концентрації сировини $ОФ_i$, які пригнічують біологічні елементи зернової маси. Під вільним рухом будемо розуміти зміну параметрів зернової маси в наслідку дихання зерна на етапі старіння і в процесі застосування технологічних параметрів буде зменшуватись маса сировини $M_{св}$ і схожість B зерна, змінюється температура $\theta з,$ волога зерна $W_з$, концентрація кисню в повітрі між зернового простору $c_к$ і чисельність популяції мікроорганізмів, які входять в склад зернової маси N_i . параметрична схема зернової маси як об'єкта керування спільному вигляді приведена на рисунку 4.1.

4.2.2 Математичний опис біохімічних і мікробіологічних процесів, які протікають в зерновій масі.

Важливим параметром, який визначає інтенсивність протікання біохімічних процесів в зерновій масі, являється фізіологічна активність головних елементів зернової маси. В якості показників фізіологічної активності для зернової маси традиційно приймалась інтенсивність дихання. Виражена в масі двоокису вуглеводу на 100 г сухої сировини за певний період часу. Для популяції мікроорганізмів в якості такого показника використовується швидкість росту популяції. Аналіз літературних джерел дозволив зробити висновок, що фізіологічна активність усіх біологічних елементів зернової маси має одну природу і є показником активності ферментів і в тому числі і дихальних. Життєва активність любого біологічна елемента залежить від

параметрів середовища проживання і від внутрішніх параметрів елемента. Тому в якості показника був прийнятий універсальний показник – коефіцієнт життєвої активності (КЖА) біологічного елемента зернової маси. КЖА зерна залежить від температури зерна, вологи зерна, його схожості і концентрації кисню в повітрі між зернового простору. КЖА мікроорганізмів ЗМ залежить від вологи і температури зерна, від концентрації кисню і інших речовин в повітрі між зернового простору і від опору субстрату проникання мікроорганізмів. КЖА шкідників типи членистоногі залежить від вологи зерна, його температури, складу кисню і інших газів і повітрі між зернового простору.

Аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновки, що залежить КЖА від впливу на його параметра носить експоненціальний характер і зв'язана з наявністю на осі " параметр" точок оптимального, мінімального і максимального для розвитку біотичного елемента значення параметра. Назвемо їх критичними точками. Оптимальне значення параметра відповідає максимальній фізіологічній активності біологічного елемента і значення $К_{жа}$ = 1. Мінімальне і максимальне значення параметра відповідає занурення біологічного елемента анабіоз і значенню $К_{жа}$ = 0. Цілий ряд параметрів здатний при відповідних значеннях загибель біологічного елемента. А значить, існують точки максимальної швидкості зникнення , відповідні значення $К_{жа}$ = -1. Якісна графічна залежність коефіцієнта життєвої активності від параметра *x* впливу приведена на рисунку 4.2.

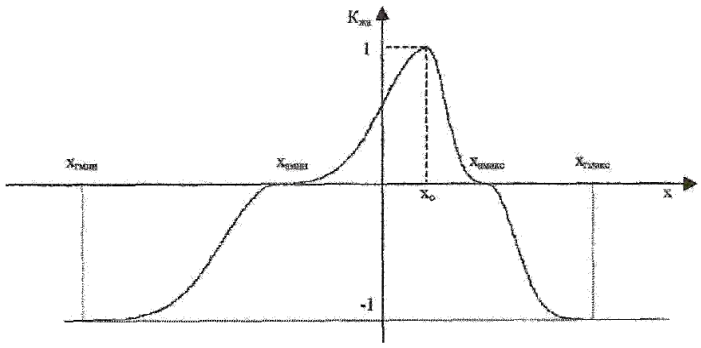


Рисунок 4.2 - Якісна графічна залежність коефіцієнта життєвої активності від параметра впливу *x*

По способу впливу параметра (позначимо його через x) на біотичній біотичний елемент можна виділити три основні типи параметрів, можуть визвати на певному інтервалі наступні зміни :

1) активізація життєвої активності біотичного елемента: к цьому типу параметрів можна віднести вологість;

2) загибель біотичного елемента: до цього типу параметрів можна віднести концентрацію фумігатор і інші пригнічуючи фактори;

3) активізація і загибель біотичного елемента: до цього типу параметрів можна віднести температуру.

Аналіз літературних джерел показав, що для математичної формалізації залежності КЖА від конкретного параметра можуть бути відносно чіткі визначені тільки деякі критичні точки, а значення КЖА між цими точками має значну неоднозначність. До того ж така неоднозначність характерна для більшості параметрів, біологічні і мікробіологічні процеси в екологічних системах , і зокрема в зерновій масі. Крім того, при описі цих процесів ми повинні використовувати інформацію якісного характеру. Тому для формалізації протікання таких процесів доцільно приймати теорію нечітких множин. В відповідністю з цією теорією КЖА в залежності від параметра x може бути описаний кусково-лінійною залежністю. При цьому лінійні ділянки формалізуються залежністю для функції приналежності Гауссового нечіткого множиства з ординатою максимуму, рівної одиниці і абсцисою максимуму, рівної a :

$$K_{жа}(x) = e^{(x-a)\backslash 2S} \qquad (4.9)$$

Для параметрів типу 1) виділяють точки максимальної швидкості розвитку x_0 , мінімального x_{min} і максимального x_{max} значення параметра, при якому біотичний елемент погружається в анабіоз. Тоді $K_{жа}(x)$ буде визначатися наступним чином:

$$K_{жа}(x) = e^{(x-x0)\backslash b} \qquad (4.10)$$

де: для $x < x_0$ $\quad b = 0.22(x_{min} - x_0)^2$

для - $x > x_0$ $b = 0.22(x_{max} - x_0)^2$

Для параметрів типу 2) виділяється точка максимальної швидкості загибелі x_{max} . Для такого типа параметрів при значенні $x = 0$ $K_{жа}(x)=1$, а для x = x_{max} $K_{жа}(x)= -1$. Тоді

$$K_{жа}(x)= e^{-4.5\frac{x}{xmax}} -1 \quad (4.11)$$

Для параметрів типу 3) виділяють точки максимальної швидкості розвитку x_0 , мінімального x_{min} і максимального x_{max} значення параметра , при якому біотичний елемент занурюється в анабіоз, мінімального $x_{гmin}$ і максимального $x_{гmax}$ значень параметра, при яких швидкість загибелі біотичного елемента максимальна. Тоді:

$$K_{жа}(x) = e^{-\frac{(x-a)}{b}} + C \quad (4.12)$$

де: для $x < x_{min}$ $a = x_{min}$, $b = 0.22(x_{min} - x_{гmin})^2$, $C = -1$

для $x < x < x_0$ $a = x_0$, $b = 0.22(x_{min} – x_0)^2$, $C = 0$

для $x_0 < x < x_{max}$ $a = x_0$ $b = 0.22\ (x_{max} – x_0)^2$, $C = 0$

для $x_{max} < x$ $a = x_{max}$ $b = 0.22(\ x_{гmax} - x_{max})^2$ $C = -1$

Спільний КЖА біотичного елемента будемо визначати як похідна КЖА , які залежать від окремих параметрів.

$$K_{жа} = p \cdot [\prod_{i=1}^{n} Кжа(xi)], \quad (4.13)$$

де: $p = 1$, якщо всі $K_{жа}(x_i)$ позитивні;

$p =- 1$, якщо хоча б один $K_{жа}(x_i)$ від’ємний.

Основу підтримки прийняття рішення в СППРТЗ складає прогнозування втрат в масі сухої речовини зерна головної культури. Як видно із рівняння (4.1) і (4.3) втрата в масі зерна відбувається як в результаті аеробного , так і в результаті аеробного дихання. Крім того, втрата в масі спостерігається в результаті життєдіяльності мікроорганізмів. С врахуванням залежностей (4.1), (4.2) і (4.4) зміна маси сухих речовин (%) можна виразити таким чином:

$$T_1 \frac{dMсв}{dt} = K_1 \cdot K_{жа1} – K_2 \cdot K_{жа2} – \sum_{i=1}^{n} Кзі \cdot K_{жаі} \cdot N_i \quad (4.14)$$

де: $K_{жа1}$ – коефіцієнт життєвої активності, який визначає інтенсивність аеробного дихання зерна;

$K_{жа2}$ – коефіцієнт життєвої активності, який визначає інтенсивність анаеробного дихання зерна;

$K_{жаі}$ – коефіцієнт життєвої активності і-й популяції мікроорганізмів;

K_1, K_2, $Кзі$ – коефіцієнти, які визначають степінь дії відповідного біологічного елемента на масу сухих речовин зерна головної культури;

N_i – чисельність і-й популяції мікроорганізмів, тис. шт.;

T_1 – постійна часу, год.

Як вже відмічалося вище, КЖА зерна головної культури залежить від його температури $\theta з\ (^oC)$, вологості $Wз\ (\%)$, сходження B і концентрації кисню в повітрі між зернового простору $c_к$ (%). Слід розлічити КЖА аеробного і анаеробного дихання. В зерні обидва типа дихання присутні одночасно, а відношення їх інтенсивності, що очевидно, визначається концентрацією кисню в повітрі між зернового простору. Спільний КЖА зерна з врахуванням будемо визначати по формулам:

$$K_{жа1} = K_{жа}(\theta_з)\, K_{жа}(W_з)\, K_{жа}(B)\, K_{жа1}(c_k) \qquad (4.15)$$

$$K_{жа2} = K_{жа}(\theta_з)\, K_{жа}(W_з)\, K_{жа}(B)\, K_{жа2}(c_k) \qquad (4.16)$$

Важливим показником якості зерна, яке визначає до того ж і його коефіцієнт життєвої активності, є сходження зерна. Крім того, як відмічалося вище, сходження втрачається в результаті процесів старіння зерна. Тому модель повинна враховувати зміни сходження. З врахуванням зроблених вище висновків і залежності (4.4) вираз для зміни сходження (%) буде мати вигляд:

$$T_2\frac{dB}{dt} = -\,K_4 \cdot K_{жа1} - K_5 \cdot K_{жа2} - \sum_{i=1}^{n} K_{бі} \cdot K_{жаі} \cdot N_i\,, \qquad (4.17)$$

де: K_4, K_5, $K_{бі}$ – коефіцієнти, які визначають степінь впливу відповідного біотичного елемента на сходження зерна основної культури;

T_2 – постійна часу.

Коефіцієнт життєво активності і-й популяції мікроорганізмів $K_{жаі}$ залежить від вологості зерна, його температури, концентрації кисню і інших речовин в повітрі між зернового простору і визначається по формулі (4.13).

Чисельність і-й популяції мікроорганізмів в зерновій масі постійно змінюється під впливом різних і в основному від перекислених вище факторів. Зміна цього параметра визначається на основі залежності (4.3) с урахуванням того, що швидкості росту популяції μ змінюється в залежності від зовнішніх умов. Враховуючи це, залежність (4.3) приймає вигляд:

$$\frac{dNi}{dt} = \mu_{maxi} \cdot K_{жаі} \cdot K_{жаі} \cdot N_i \,, \qquad (4.18)$$

де: μ_{maxi} – максимально можливої швидкості росту і-й популяції, год

В результаті протікання біохімічних процесів в зерновій масі проходить виділення тепла, вологи, вуглекислого газу, органічних речовин і споживання кисню повітря між зернового простору. Так як температура, вологість зерна і концентрація кисню визначається коефіцієнти життєвої активності біологічних елементів зернової маси, то їх необхідно моделювати. З урахуванням (4.1), (4.2) і (4.4) по аналогії з (4.14) записуємо залежності температури $\theta з$, вологості $Wз$ і концентрації кисню $c_к$ в результаті біохімічним процесом:

$$T_з \frac{d\theta з}{dt} = K_7 \cdot K_{жа1} + K_8 \cdot K_{жа2} + \sum_{i=1}^{n} K_{9i} \cdot K_{жаі} \cdot N_i \,, \qquad (4.19)$$

$$T_4 \cdot \frac{dWз}{dt} = K_{10} \cdot K_{жа1} + \sum_{i=1}^{n} K_{11i} \cdot K_{жаі} \cdot N_i \,, \qquad (4.20)$$

$$T_5 \frac{dck}{dt} = - K_{12} \cdot K_{жа1} - \sum_{i=1}^{n} K_{13i} \cdot K_{жа} \cdot N_i \,, \qquad (4.21)$$

де : $T_з$, T_4, T_5 – постійні часу, год.

4.2.3 Описання теплообмінних і масообмінах процесів, які протікають в зерновій масі

На ряду з біохімічними процесами зміни температури, вологості зерна і концентрації кисню в повітрі між зернового простору проходить також і в результаті тепло- і масообміну зернової маси з навколишнім середовищем. З

урахуванням рівнянь (4.5) і (4.6) і після істотного спрощення диференційне рівняння зміни температури зерна в результаті теплообміну з навколишнім середовищем прийме вигляд:

$$T_6 \frac{d\theta_3(t)}{dt} + \theta_3(t) = \theta_{oc}(t) \qquad (4.22)$$

де: θ_{oc} – температура навколишнього середовища, ^oC;

T_6 – постійна часу, яка залежить від вологи зерна, товщини стінки силоса, коефіцієнтів теплопровідності зернової маси і стінки, коефіцієнтів теплопередачі від зернової маси до стінки силоса і від стінки силоса до навколишнього середовища, год.

По аналогії з температурою і з врахуванням виразу (4.7) диференціальне рівняння зміни вологості зерна буде мати вигляд:

$$T_7 \frac{dW_3(t)}{dt} + W_3(t) = W_p(t), \qquad (4.23)$$

де: W_p – рівна вологість зерна, яка визначається по (4.8), %;

T_7 – постійна часу, яка залежить від шару зерна, площі контакту зернової маси з навколишнім середовищем, товщини стінки шару, коефіцієнтів волого-провідності зернової маси і стінки , год.

Диференційне рівняння зміни концентрації кисню в повітрі між зернового простору буде мати вигляд:

$$T_8 \frac{dck}{dt} + c_k = c_{oc}, \qquad (4.24)$$

де: c_{oc} – концентрація кисню в навколишньому середовищі, %;

T_8 - постійна часу, яка залежить від товщини шару зерна, площі контакту зернової маси з навколишнім середовищем, товщини стінки силоса, коефіцієнтів дифузії зернової маси і стінки, год.

4.2.4 Структурна схема повної математичної моделі зернової маси.

Повна математична модель зернової маси складається з двох частин, до якої входить:

- біохімічна і мікробіологічна моделі;

- моделі теплообміну, волого обміну і газообміну зернової маси з навколишнім середовищем.

Біохімічна і мікробіологічна моделі складають залежності (4.10) – (4.21), теплообміну модель – (4.22), модель волого-обміну – (4.8) і (4.23), модель газообміну – (4.24). Структурна схема моделі приведена на рисунку 4.3.

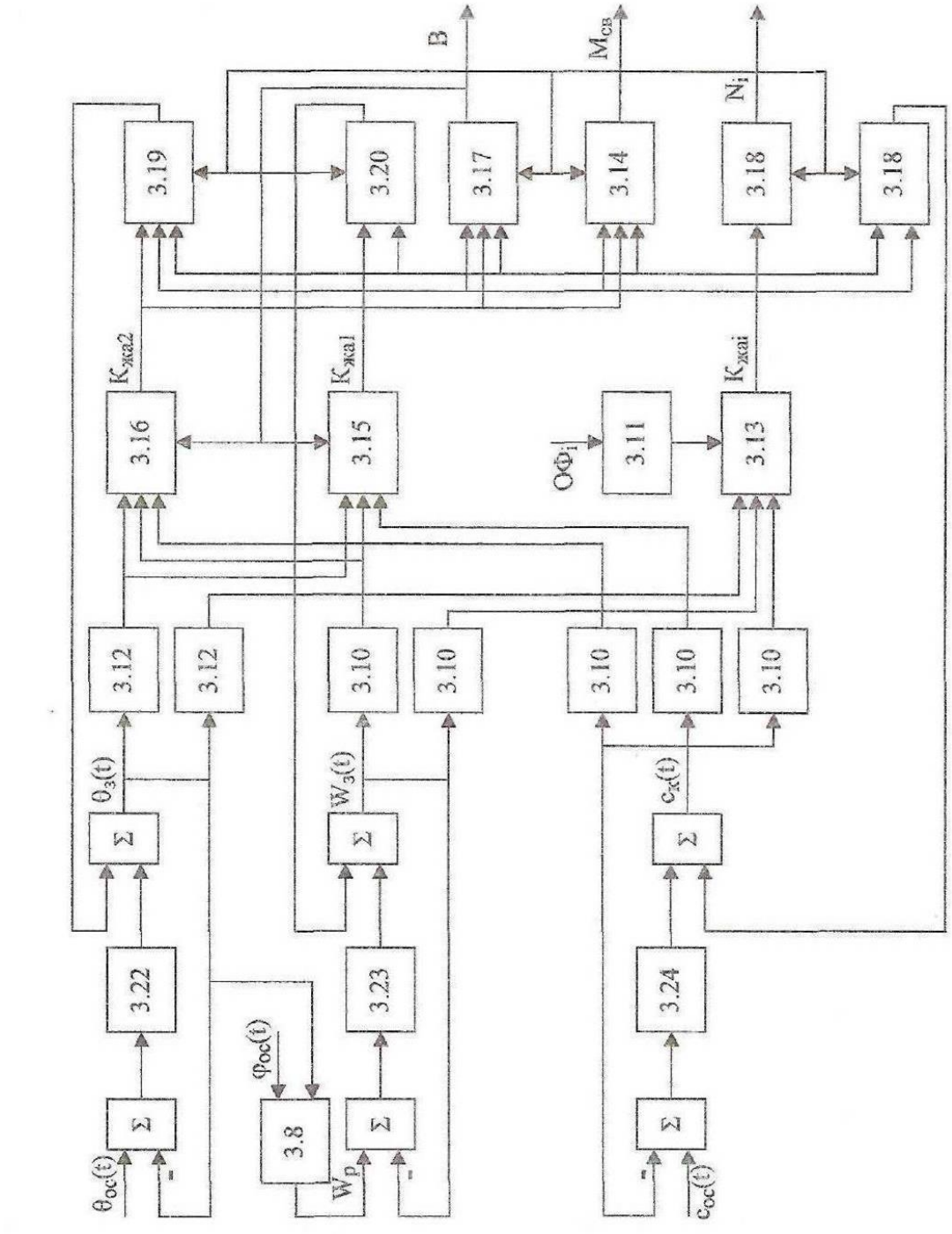


Рисунок 4.3 - Структурна схема повної математичної моделі зернової маси

4.2.5 Фізична сутність застосування технологічних прийомів по догляду за зерном

Застосування більшості технологічних прийомів пов’язано з збільшенням площі контакту зернової маси з навколишнім середовищем, зміною параметрів границі контакту і параметрів навколишнього середовища, що можна відобразити в моделі зміни постійних часу рівнянь (4.22), (4.23), (4.24). зміна параметрів навколишнього середовища відображається в моделі зміни правих частин рівняння (4.22) і (4.24) і завдання цих параметрів в правій частині рівняння (4.8).

Механічне переміщення зерна і активне вентилювання атмосферним повітрям забезпечує збільшення площі контакту зернової маси з атмосферним повітрям і усунення впливу інерційності стінки силоса, тобто зміни параметрів границі контакту зернової маси з повітрям навколишнього середовища. Активне вентилювання охолодженим повітрям і сушка зерна передбачає, зокрема зміну параметрів навколишнього середовища.

4.3 Розробка блоку прогнозування

4.3.1 Розробка робочої моделі зернової маси

Головним інструментом, який забезпечує процес підтримки прийняття рішення , є прогнозування стану зернової маси в період зберігання і в процесі застосування технологічних прийомів. А цю функцію в структурі СППРТЗ реалізує блок прогнозування, який забезпечує в кінцевому результаті , розрахунок втрати в масі сухих речовин при різних початкових умовах і параметрах зернової маси. По суті блок прогнозування являється програмно реалізованою , тобто працюючою версією, ідеальної математичної моделі зернової маси. Необхідність розробки працюючої моделі визвано не можливістю використання розробленої вище математичної моделі зернової маси в повному об’ємі в виду складності її настройки. Настойка теплофізичної

частини моделі особливих складностей не представляє, так як в літературі накопичений значний об'єм експериментального матеріалу і добре опрацьовані питання його математичної формалізації. До того ж як раз через цю частину моделі технологічні прийоми впливають на зернову масу. Тому ця частина моделі в її робочому варіанті повинна бути присутня обов'язково. Настройка теплофізичної частини моделі буде зводитися до формування коефіцієнтів T_6, T_7, і T_8 залежностей (4.22) – (4.24).

Настройка біохімічної частини моделі буде в основному ускладнена нормуванням залежностей (4.10) і (4.12) в зв'язку з тим, що експериментальні данні, які ми маємо в великій кількості в літературі, істотно різняться і при цьому далеко не всі фактори, які визначають ці експериментальні дані, зафіксовані. Частіше не враховується динаміка зміни врахованих факторів, хоча її присутність очевидна. Наприклад, при дослідженнях впливу фізичних параметрів зернової маси, таких як температура і вологість, на інтенсивність втрат в масі сухих речовин задаються тільки початкові дані температури і вологості зерна. Хоча очевидно, що при приведених в літературі початкових умовах температура, хоча б повинна змінюватись інтенсивно так як, видно всі умови для активного розвитку джерела самозігрівання.

Біохімічна частина моделі в її робочому варіанті повинна бути присутня ще й тому, що саме вона в значній мірі визначає втрату в масі сухих речовин зерна при незначній інтенсивності біологічних процесів. Якщо інтенсивність біологічних процесів не значна, то пасивні показники якості змінюються практично не будуть. Крім того, в літературі відсутні дослідження поведінки зернової маси при різному сходженні . І на хлібоприймальних підприємствах на етапі приймання зерна і його підробки сходження і інші посівні показники якості зерна не визначають. Тому в робочій моделі зернової маси сходження враховувати не будемо, приймемо її рівної 100%. Тоді вираз 4.15 і 4.16 приймуть вигляд:

$$K_{жа1} = K_{жа}(\theta_з)\, K_{жа}(W_з)\, K_{жа1}(c_k) \qquad (4.25)$$

$$K_{жа2} = K_{жа}(\theta_з)\, K_{жа}(W_з)\, K_{жа2}(c_k) \qquad (4.26)$$

При низькій інтенсивності біологічних процесів збільшення чисельності популяції макроорганізмів буде незначним. Так як одна із основних задач СППРТЗ знаходиться в виявленні активізації біологічних процесів на ранніх стадіях розвитку, від впливу мікробіологічної частини можна врахувати при настроюванні біохімічної частини моделі. До того ж настроювання цієї частини моделі сполучена з великими складностями, які зв'язані з відсутністю матеріалу для нормування залежностей (4.10), (4.11), (4.12) і з великою кількістю параметрів. Наприклад, якщо ми розглянемо три популяції мікроорганізмів, життєву активність яких визначають окрім основних параметрів ще і п'ять параметрів типу ОФі, то при настроюванні моделі необхідно нормувати 24 залежності типу (4.10), (4.11), (4.12). При цьому необхідно нормувати три залежності типу (4.3). Ріст числа популяцій які розглядаються в моделі значно ускладнює залежності (5,14), (4.17), (4.19) – (4.21). Настройка моделі стане фізично не реалізуємо. Тому в збиток точності моделі, але в користь її реалізації в робочому варіанті моделі від мікробіологічної частини моделі повинні відмовитися. Хоча подальше виділення в робочу модель навіть частини мікробіологічної моделі дозволить значно підвищити точність прогнозування втрат в масі сухих речовин і інших показників якості зерна не тільки на ранніх стадіях розвитку джерела самозігрівання зерна.

Виходячи із вищесказаного, в робочій моделі основні залежності приймуть наступний вигляд. Залежності (4.14) і (4.17) запишемо так:

$$T_1 \frac{dMсв}{dt} = -K_1 \cdot K_{жа1} - K_2 \cdot K_{жа2}\,, \qquad (4.27)$$

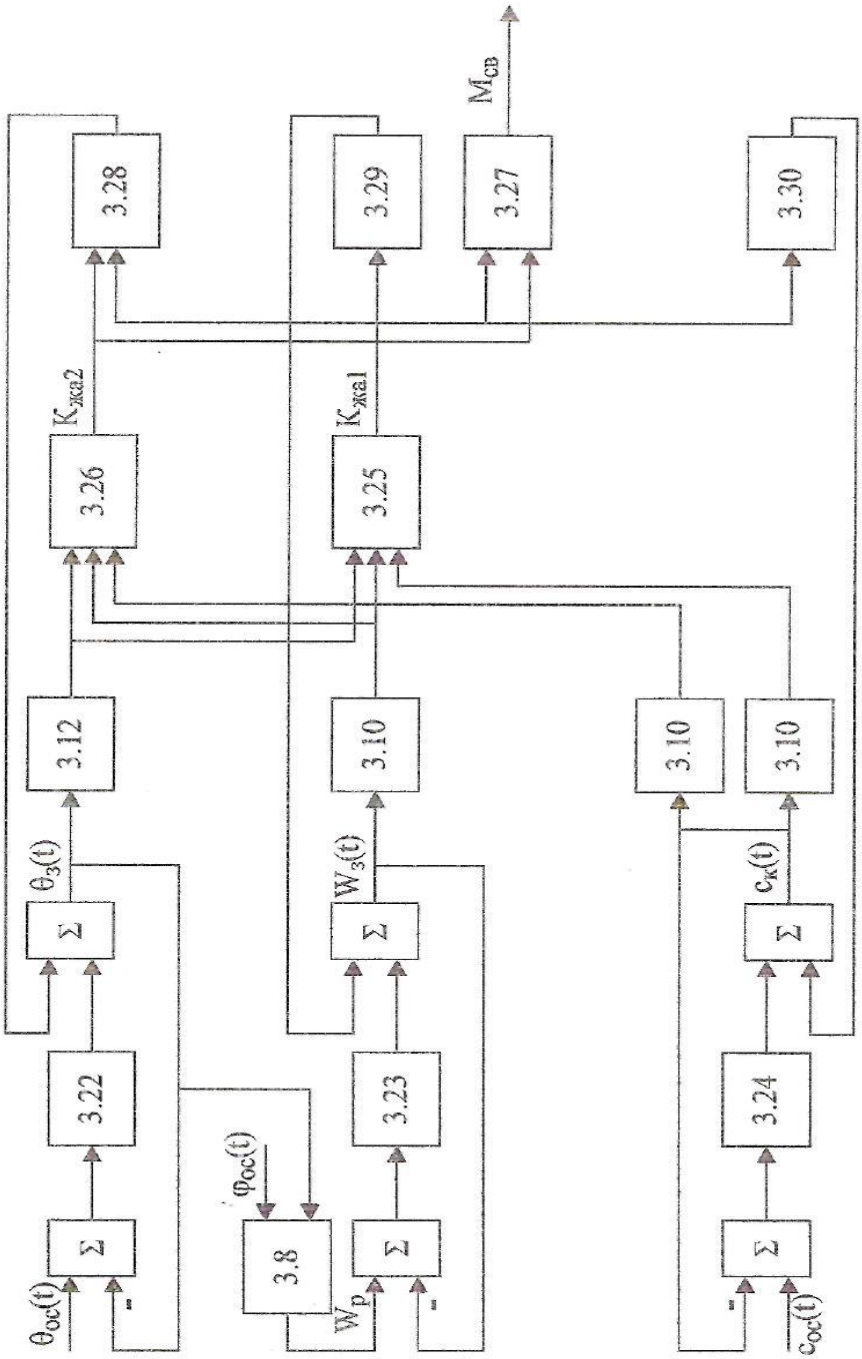
Залежність (4.18) буде відсутня. Залежності (4.19), (4.20) і (4.21) приймуть вигляд:

$$T_2 \frac{d\theta з}{dt} = K_7 \cdot K_{жа1} + K_8 \cdot K_{жа2}, \qquad (4.28)$$

$$T_3 \frac{dWз}{dt} = K_{10} \cdot K_{жа1} \qquad (4.29)$$

$$T_4\frac{dck}{dt} = - K_{12} \cdot K_{жа1}, \qquad (4.30)$$

Останні залежності моделі вводяться в структуру її робочої версії без



зміни. Тоді структурна схема робочого варіанта моделі прийме вигляд, приведений на рисунку 4.4.

Рисунок 4.4 - Структурна схема робочої моделі зернової маси і блока прогнозування.

4.3.2 Нормування робочої моделі

Нормування робочої моделі проводиться по даним, які отримані Трисвятським Л.А., Шольцем (Німечина), Сергуновим В.С. і іншими, які опубліковані в фундаментальній літературі по зберіганню і обробці зерна. Нормування будемо проводити для зерна пшениці, яка зберігається в зовнішньому кутовому силосі в середній його зоні для залізобетонного силоса діаметром 6 м і висотою 30 м.

Спочатку поставимо номер на коефіцієнт життєвої активності зерна при аеробному і анаеробному диханні. Залежність коефіцієнта життєвої активності зерна від концентрації кисню в повітрі між зернового простору при аеробному диханні нормується с врахуванням того, що максимальна інтенсивність аеробного дихання зерна буде при концентрації кисню, яка рівна середньостатистичному значенню цього параметра для атмосфери Землі, тобто для 21%. Логічно припустити, що теоретично мінімальна інтенсивність аеробного дихання зерна буде спостерігатися при концентрації кисню близької до 0%. Значення коефіцієнта життєвої активності зерна від концентрації кисню при аеробному диханню в робочому діапазоні концентрації (від 0 до 21%) визначається залежністю:

$$K_{жа1}(c_к) = e^{-\frac{(ск-21)}{98}}, \qquad (4.31)$$

Залежність коефіцієнта життєвої активності зерна від концентрації кисню при аеробному диханні нормується с врахуванням припущень, що максимальна активність анаеробного дихання зерна буде при концентрації кисню 0%, а мінімальна – при концентрації кисню 21%. Залежність коефіцієнта життєвої активності зерна від концентрації кисню при анаеробному диханні визначається залежністю:

$$K_{жа2}(c_к) = 1 - K_{жа1}(c_к) \quad (4.32)$$

Графік залежності приведений на рисунку 4.5.

Залежність коефіцієнта життєвої активності зерна від вологості нормується виходячи із того, що інтенсивність дихання зерна не значна при критичній вологості (для зерна пшениці - 14%), а проростання зерна – при вологості 50%. Вологість зерна, при якій зерно проростає, приймемо за точку максимальної інтенсивності дихання. Виходячи з цього , залежність коефіцієнта життєвої активності зерна від вологості в робочому діапазоні вологи визначається рівнянням:

$$K_{жа}(W_з) = e^{-\frac{(W_з-50)}{103.7}}, \quad (4.33)$$

Графік залежностей приведений на рисунку 4.6.

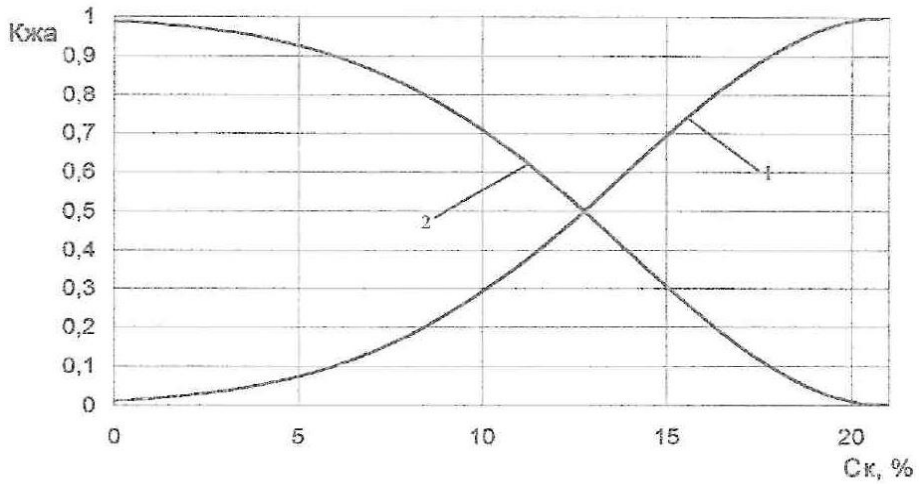


Рисунок 4.5 – Залежність коефіцієнта життєвої активності зерна від коефіцієнта конденсації кисню в повітрі між зернового простору: 1 – при аеробному диханні; 2 – при анаеробному диханні;

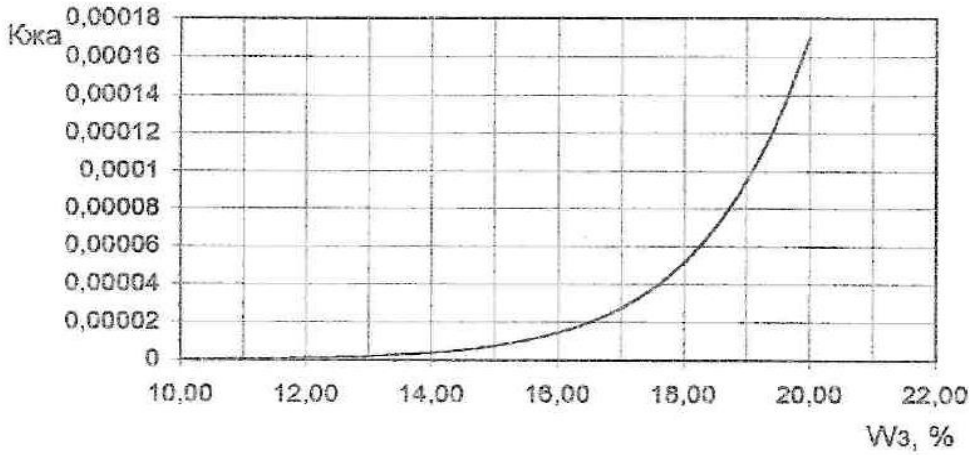


Рисунок 4.6 – Залежність коефіцієнта активності зерна від його вологості.

Залежність коефіцієнта життєвої активності зерна від температури нормується виходячи із того, що максимальна інтенсивність дихання зерна спостерігається при температурі 53ºС, а мінімальна – при температурі нижче 10ºС. Ця залежність для робочого діапазону температур описується рівнянням:

$$K_{жа}(\theta_з) = e^{-\frac{(\theta_з - 53)}{512}}, \qquad (4.34)$$

Графік залежності приведений на рисунку 4.7.

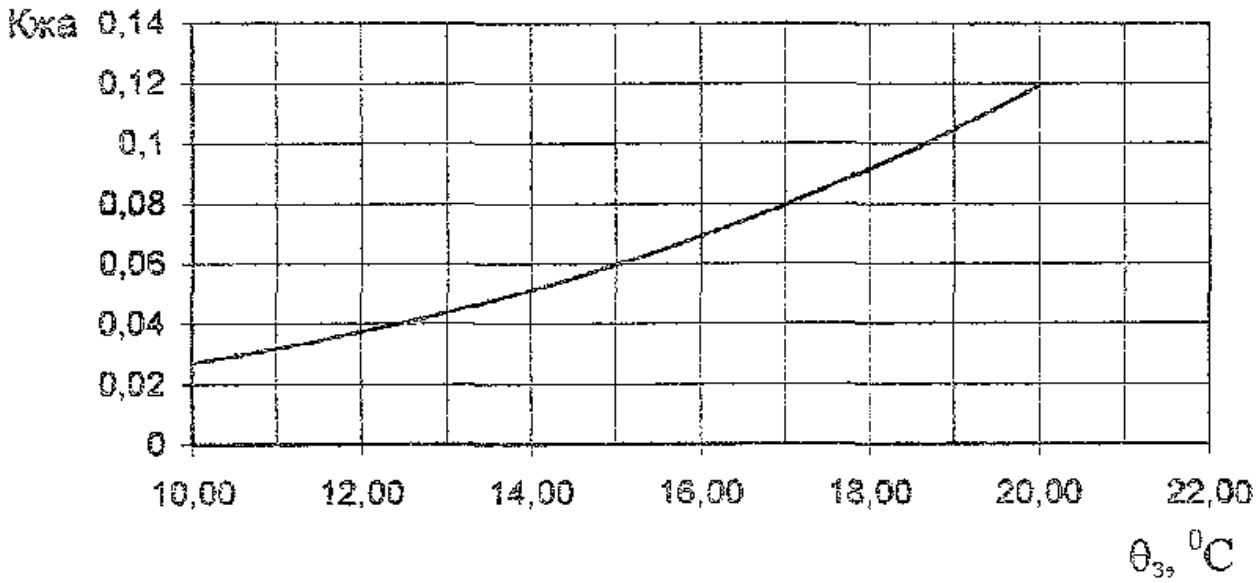


Рисунок 4.7 – Залежність коефіцієнта життєвої активності зерна від його температури.

Для нормалізації залежності (4.22) необхідно пронумерувати постійну часу об'єкта T_6. Цей параметр буде відрізнятися для моделювання процесів зберігання зерна в силосах і для моделювання застосування технологічних прийомів. Для нормування цього параметра при зберіганні зерна будемо керуватися твердженням, що мінімум температури в середній частині зернової маси був через 100 днів після мінімуму середньодобової температури зовнішнього повітря. В нижньому шарі ця різність складала 80 днів, в верхній – 40 днів. Тут можна сказати, що при зберіганні перехідні процеси по температурі в зерновій масі діляться від 40 до 100 діб. Виходячи з цього, початкове приближення цієї постійної часу приймемо $T_6 = 25$ діб або 600 годин. Для нормування T_6 в результаті застосування активного вентилювання проводиться на основі твердження, що для охолодження зерна до температури повітря необхідно забезпечувати питому подачу повітря 2000 м^2 на тонну зерна. Для випадку типового силосу (ø6 м і висота 30 м), в якому знаходиться в середньому 600 тонн зерна пшениці середньої натужності, а в зоні дії одного датчика температури – 100 тонн, необхідно 200тис.м^2 на весь силос. Якщо вентилятор подає повітря в одну зону і забезпечує подачу повітря 20 тис. м^3 в годину, то повне охолодження зернової маси буде тривати 10 годин, а постійна часу складе приблизно 3.5 год. Якщо цей же вентилятор буде подавати повітря в весь силос, то вентилювання буде тривати 60 годин, а постійна часу складе 20 годин. Аналогічно можна провести нормування T_6 для інших технологічних прийомів.

Для нормування залежності 4.8 скористуємося даними літератури у виді рівняння рівноважної вологості. Для зерна пшениці це рівняння має вигляд:

$$W_p = 4.0 - 0.035 \cdot \theta_з + (19.7 - 0.075 \cdot \theta_з) \cdot lg\sqrt{\frac{1}{1-\varphi oc}} \qquad (4.35)$$

де: $\theta_з$ – температура зерна, ºС;

$\varphi_{ос}$ – відносна вологість атмосферного повітря в частках одиниці, %.

Рівняння дійсне в діапазоні: $0.1 < \varphi_{ос} < 0.75$; 0ºС $< \theta_з <$ 80ºС

Залежності 4.23 і 4.24 нормуються, при задані коефіцієнтів T_7 і T_8. Для завдання цих коефіцієнтів ґрунтуємося на тому, що стінки силосу волого- і газонепроникні. При моделюванні зберігання зерна ці коефіцієнти задаються приблизно до ∞. Для моделювання застосування технологічних прийомів ці коефіцієнти задаються індивідуально для кожного прийому і визначаються експериментально. Для того, що б пройшов перехідний процес по концентрації кисню, замінити все повітря між зернового простору атмосферним повітрям. Для відновлення повітря між зернового простору вентилятору продуктивність 20 тис. м^3 в час, с врахуванням пневматичного опору зернової маси, необхідно приблизно 1,5 год.. Тоді постійна часу прийме значення $T_8 = 0.5$ год.

При розвитку джерела самозігрівання зерна превалюють біохімічні процеси. Тому по зміні параметрів зернової маси при розвитку джерела самозігрівання і проводилося нормування залежностей 4.28, 4.29 і 4.30. В літературі описаний класичний приклад розвитку джерела самозігрівання. У відповідності с цим прикладом за 6 діб розвитку джерела самозігрівання температура зернового насипу з 21,7ºС до 41,7ºС, при цьому склад кисню змінилося від 20 до 14%, а вологість збільшиться с 21,65 до 21,95%. Нормування залежностей 4.29 і 4.30 складностей не викликає. Для цього задаємося $T_2 = 1г$, $T_3 = 1г$, і $T_4 = 1г$. В залежностях буде змінюватися $K_{жа1}$. Нам необхідно розрахувати коефіцієнти K_{10} і K_{12}. Для нормування залежності 4.28 за основу було прийнято припущення, що в результаті аеробного і анаеробного дихання однакової інтенсивності проходить однакова втрата в масі сухих речовин. Тоді відношення кількості тепла в результаті цих двох видів дихання буде рівне 25:1. Це означає, що $K_7 = 25\ K_8$. Були отримані оптимальні значення коефіцієнтів $K_7 = 1600$; $K_8 = 64$; $K_{10} = 25$ і $K_{12} = 502$.

Для нормування залежності 4.27 приймемо за основу данні літератури по втраті в масі сухих речовин за різні строки зберігання і при різних початкових умовах. При нормуванні залежності зафіксуємо $T_1 = 1г$, і будемо нормувати K_1 і

K_2. При цьому приймемо, що ці коефіцієнти рівні. При оптимальних параметрах залежностей (4.28), (4.29) і (4.30) отримаємо $K_1 = K_2 = 98{,}3$.

Для програмної реалізації була прийнята модель зернової маси пшениці с коефіцієнтами, рівними вище переліченими значеннями . Для випадку моделювання процесів при зберіганні модель зернової маси описується наступним набором залежностей:

$$\frac{dMсв}{dt} = -\,98.3 \cdot (K_{жа1} + K_{жа2})$$

$$K_{жа1} = K_{жа}(\theta_з)\, K_{жа}(W_з)\, K_{жа1}(c_к)$$

$$K_{жа2} = K_{жа}(\theta_з)\, K_{жа}(W_з)\, K_{жа2}(c_к)$$

$$K_{жа}(\theta_з) = e^{-\frac{(\theta з - 53)}{512}}$$

$$K_{жа}(W_з) = e^{-\frac{(Wз - 50)}{103{,}7}}$$

$$K_{жа1}(c_к) = e^{-\frac{(ск - 21)}{98}}$$

$$K_{жа2}(c_к) = 1 - K_{жа1}(c_к)$$

$$\frac{d\theta з}{dt} = 1600 \cdot K_{жа1} + 64 \cdot K_{жа2}$$

$$\frac{dWз}{dt} = 25 \cdot K_{жа1}$$

$$\frac{dck}{dt} = -\,501 \cdot K_{жа1}$$

$$600\frac{d\theta з}{dt} + \theta_з = \theta_{ос}$$

$$T_7\frac{dwз}{dt} + W_з = W_p\,,\ T_7 \to \infty$$

$$W_з = 4{,}0 - 0{,}035 \cdot \theta_з + (19.7 - 0.075 \cdot \theta_з) \cdot lg\sqrt{\frac{1}{1-\varphi ос}}$$

$$T_8\frac{dck}{dt} + c_к = c_{ос}\,,\ T_8 \to \infty$$

4.3.3 Оцінка адекватності моделі

Оцінка адекватності моделі проводиться двома шляхами: по втратам в масі сухих речовин і по температурі.

Для оцінки адекватності по втратам в масі розроблена модель зрівнялася с даними, які отримані Шольцем (Німеччина). Отримані результати показали , що наявності умов, які дають розвиток джерела самозігрівання зерна середньої інтенсивності модель гарантує похибку прогнозування за 20 діб, яка не перевищить 10 %. Так при початкових температурах зерна 10ºС і вологості зерна 18% максимальна похибка прогнозування складає 0.00175 % с.в. або 2,58%. А при початкових температурах зерна 20ºС і вологості зерна18% максимальна похибка прогнозування складає 0,01849% с.в або 7,05%. Оцінка адекватності моделі здійснюється моделюванням . В графічному вигляді результати моделювання приведені на рисунках 4.8 і 4.9.

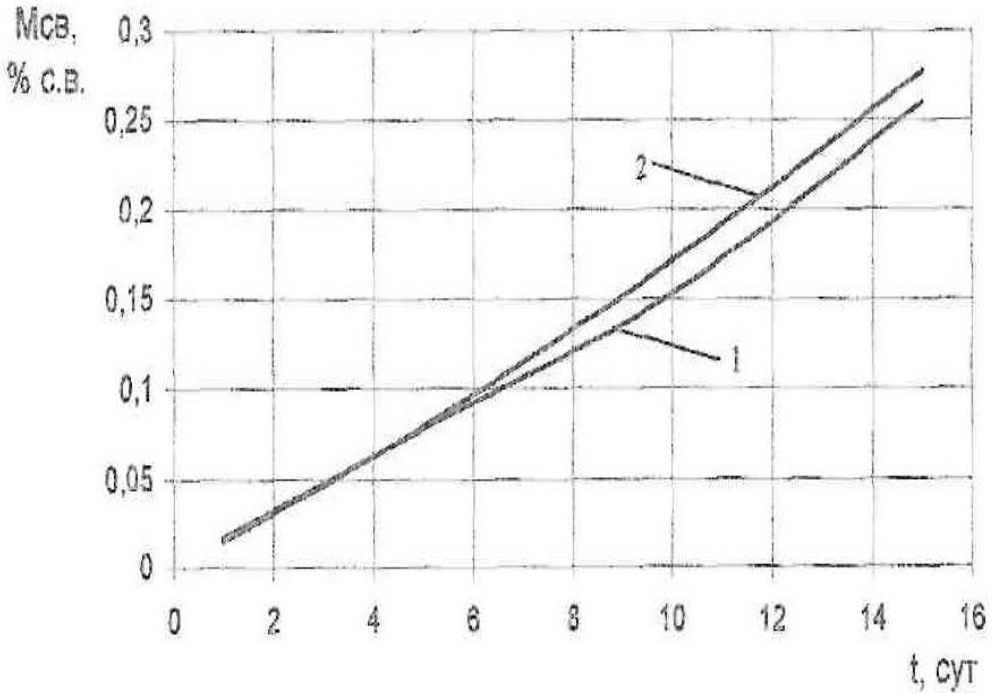


Рисунок 4.8 Втрати в масі сухих речовин при зберіганні зерна з початковими: температурою θз = 20ºС і вологістю Wз = 18%:

1 – експериментальні данні;

2 – прогнозовані данні (отримані на основі моделі).

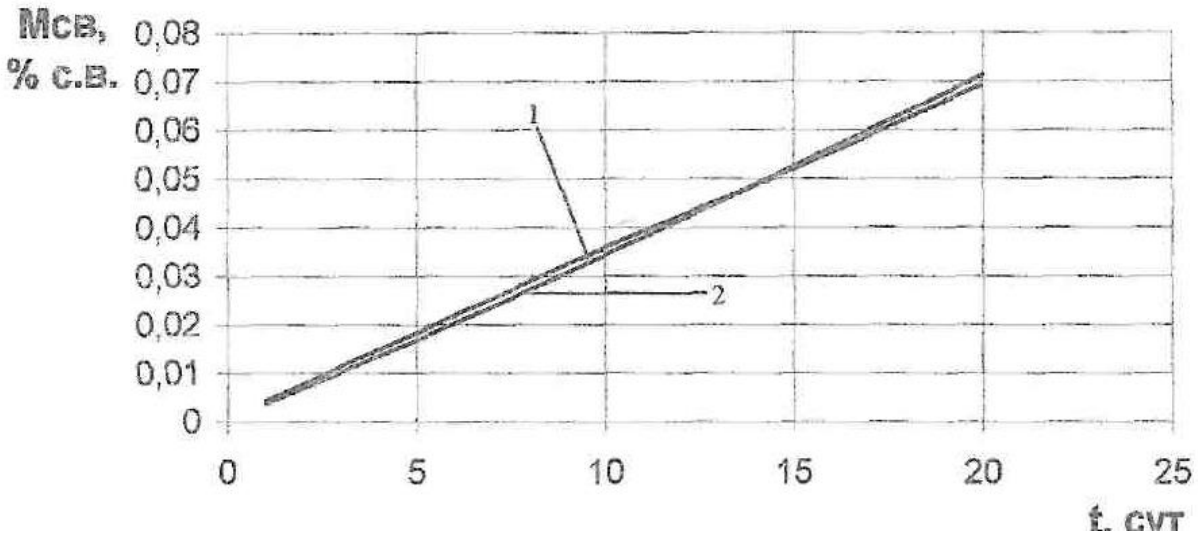


Рисунок 4.9 Втрати в масі сухих речовин при зберіганні зерна с початковими: температурою θз = 10ºС і вологістю Wз = 18%:

1 – експериментальні данні;

2 – прогнозовані данні (отримані на основі моделі).

Для оцінки адекватності моделі по температурі за основу були взяті данні, які отримані по результатам роботи системи контролю температури зерна в силосах елеватора. Система термометрії розроблена кафедрі АПП ОГАПТ і залучена на декількох підприємствах галузі хлібопродуктів. Були взяті данні внутрішнього силосу зони дії третього датчика температури, тобто середньої зони. Для датчика температури вплив параметрів атмосферного повітря зведено до мінімуму. Моделювання проводилось для початкової температури зерна 22,65ºС, вологість зерна 14% і температури навколишнього середовища 20ºС. Результати порівняння приведені на рисунку 4.10. Похибка прогнозування для внутрішнього силосу в середньому складає 0,15ºС і не перевищувала 0,63ºС. Якщо за можливий діапазон зміни взяти 12ºС, то відносно цього діапазону похибка прогнозування складає в середньому 1,3% і не перевищує 5,25 %. Для зовнішнього кутового силосу зони дії першого датчика температури, для якого вплив температури атмосферного повітря максимальний, проводилося моделювання при початковій температурі зерна

20,59ºС, вологості зерна 14% і початкової температури атмосферного повітря , що відповідає, середньому за цей період, значенню 14ºС. Результати порівняння експериментальних даних і результатів моделювання приведені на рисунку 4.11.

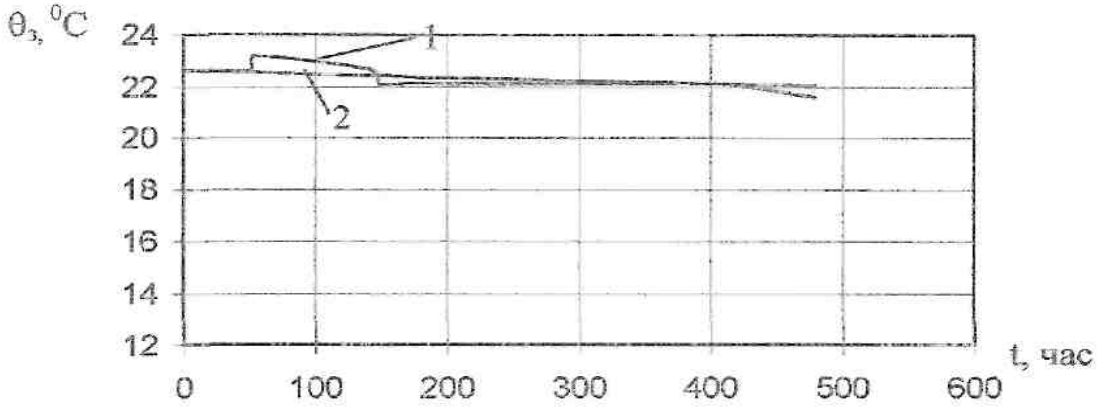


Рисунок 4.10 Результати порівняння експериментальних даних роботи системи контролю температури зерна с результатами моделювання для внутрішнього силосу: 1- експериментальні данні; 2 – результати моделювання.

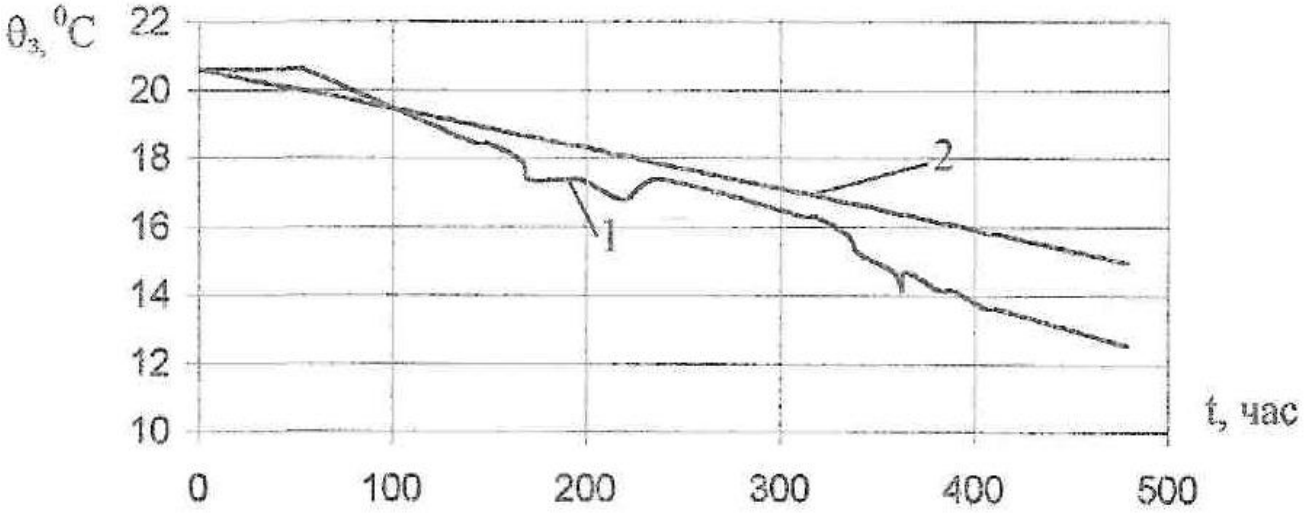


Рисунок 4.11 Результати порівняння експериментальних даних роботи системи контролю температури зерна з результатами моделювання для зовнішнього силосу: 1- експериментальні данні; 2 – результати моделювання

Як показують результати порівняння, для зовнішнього силосу похибка прогнозування в середньому складає 1,2% і не перевищує 2,42%. Відносно

діапазону можливої зміни (12ºС) похибка прогнозування в середньому складає 10% і не перевищує 20,2%.

4.3.4 Математична модель зміни параметрів атмосферного повітря

Зміна параметрів зернової маси при зберіганні і в процесі реалізації варіантів рішення в значній мірі залежить від параметрів атмосферного повітря, які визначають параметри навколишнього середовища. Ототожнювати параметри атмосферного повітря і навколишнього середовища не можна. Параметри навколишнього середовища – поняття більш спільне. Для силосу ці параметри визначаються параметрами зерна усіх силосів і параметрами атмосферного повітря, якщо зернова маса має з ними контакт через стінки силосу або безпосередньо. Найбільш важливим цей контакт буде для зернових мас, які зберігаються насипом на відкритих токах.

Реалізація варіантів рішення пов’язана з обробкою атмосферного повітря, що викликає зміни параметрів навколишнього середовища. А так як технологічні прийоми, які входять в склад варіантів рішення можуть відбуватися достатньо довго, то вплив зміни параметрів атмосферного повітря може істотно позначитися на параметрах навколишнього середовища. Тому виникла необхідність промоделювати зміни параметрів атмосферного повітря.

Зміни параметрів повітря пов’язані з добовими коливаннями температури і відносної вологості повітря. Добові коливання залежать від тривалості світлового дня. Для температури присутні і коливання середньорічні. В значній мірі коливання параметрів повітря залежать від проходження атмосферних фронтів, циклонів і т.п. Тому навіть достатньо складна модель високої точності прогнозування не дасть. Тому для цілей прогнозування зміна температури і вологості атмосферного повітря було описано гармонічними залежностями. Для корегування моделі з врахуванням поточних умов використовуються зміни значень температури і вологості повітря.

ВИСНОВКИ

В даній пояснювальній записці магістерської роботи розглянуто та досліджено автоматичну систему дозування насіння рослинних культур з метою подальшого визначення натури зазначених культур та вмісту вологи.

Аналіз літературних джерел показав, що загалом перед галуззю зберігання зернової маси стоять задачі, які є досить багатогранними: зберігання зерна без втрати зернової маси та мінімальними потребами, без погіршення його якості, та потребі постійного контролю при прийнятті та постійно під час зберігання.

Розроблену автоматичну систему дозування насіння рослинних культур з метою подальшого визначення натури зазначених культур та вмісту вологи реалізовано на сучасній елементній базі із застосуванням мікропроцесорних засобів. Система оперативно слідкує за процесом дозування зерна, визначає натуру та вологість при зберігання та транспортуванні зернових мас. При порушенні технологічного зберігання зерна спрацьовує звукова та світлова сигналізація.

Для ефективної роботи розробленої системи була отримана математична модель прогнозування втрати в масі зерна, в основі якої покладені моделі аеробного і анаеробного дихання зерна, моделі розмноження популяції мікроорганізмів і впливу їх на параметри субстрату, моделі теплообміну, волого обміну і газообміну речовин з навколишнім середовищем.

Аналіз роботи моделі показав, що внаслідок вільного руху зернової маси відбувається зміни її параметрів. Повна математична модель зернової маси включає в себе залежність втрати в масі сухих речовин і схожості зерна від інтенсивності дихання зерна (аеробного і анаеробного) і впливу мікрофлори зерна. Крім того, модель передбачає прогнозування зміни температури, вологості зерна, концентрації кисню в повітрі між зернового простору в результаті теплообміну, вологообміну і газообміну зернової маси з навколишнім середовищем, а також від інтенсивності дихання зерна і протікання мікрокробіологічних процесів. Модель включає також математичне описання зміни чисельності популяції мікроорганізмів в залежності

від інтенсивності мікробіологічних процесів. Для описання інтенсивності біохімічних і мікробіологічних процесів в зерновій масі був введений коефіцієнт життєвої активності , який описує залежність інтенсивності біохімічних і мікробіологічних процесів від параметрів зернової маси: температури, вологості, схожості зерна і концентрації кисню в повітрі між зернового простору. Сформульовані умови реалізації моделі застосування технологічних прийомів по догляду за зерном.

В основу блоку прогнозування покладена робоча модель зернової маси, яка відображає прогнозування втрати в масі сухих речовин в залежності від інтенсивності дихання зерна, при умовах незначної інтенсивності біохімічних і мікробіологічних процесів, характерних для раніх стадіях розвитку місць самозігрівання зерна. Проведено нормування робочої моделі для зерна пшениці яке зберігається в типових силосах, на основі даних літературних джерел . Робоча модель забезпечує прогнозування втрат в масі сухих речовин с похибкою не більше 10% в порівнянні з експериментальними даними. Для цілей прогнозування розроблена модель зміни параметрів атмосферного повітря, яка враховує погодні умови, добові і річні коливання атмосферного повітря.

Для ефективної та безпечної роботи зерносховища, були розглянуті Законодавчі акти України з охорони праці (додаток А). Визначені шкідливі та небезпечні фактори в процесі зберігання зернових мас і заходи по їх зменшенню. Розраховано блискавкозахист зерносховища.

Розроблена система дозволить контролювати процес дозування зернової маси, що дозволить визначати натуру зерна та його вологість, і дозволить елеваторним підприємствам контролювати стан насіння зернових культур та покращити розрахунки при транспортуванні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грушка І.Г. Методи і засоби вимірювання вологості матеріалів та середовищ/Наук. праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, Київ.- 2005, Вип. 254.-С169-187.
2. Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатація зерносушарок. Станкевич Г.М., Шаповаленко О.І., Страхова Т.В., Петруня Б.М., Яковенко А.І., Остапчук М.В., Шашкін А.Б. Одеса – Київ, 1997. – 72 с.
3. Зернохранилища и технологии елеваторной промышленности: Учебное пособие. – Спб.: Издательство “ Лань “. 2005 – 230 с.
4. Датчики измерительных систем: В 2 кн. / Ж. Аш, П. Андре, Ж. Бофрон и др.: Пер. с франц. / Под ред. А. С. Обухова. – М.: Мир, 1992.
5. Датчики: Справочник / З. Ю. Готра, Л. Я. Ильницкий, Е. С. Полищук и др. / Под ред. З.Ю. Готры, О.И.Чайковского. – Л.: Каменяр, 1995. – 312с.
6. Георгієва Є.І. Технологічні особливості дослідження якості зерна пшениці на експорт/ Студентський науковий вісник випуск 1 (13). Миколаїв, 2019. С.48-54.
7. Весселс Я., Волкович В.Л. Проблемы распределенных систем поддержки принятия решения для сложных производственных систем. // Проблемы управления и информатики. – 1994. – с.59 – 65.
8. ГОСТ 13586.1-68 «Зерно. Методи визначення кількості і якості клейковини в пшениці». Національний стандарт України.
9. ДСТУ ISO 21415-1:2009 Пшениця та пшеничне борошно. Вміст клейковини. Частина 1. Визначання сирої клейковини ручним способом (ISO 21415-1:2006, IDT). 2011. 10 с.

10. Крамарьов С. М. Продуктивність та якість зерна пшениці м'якої озимої залежно від мінерального живлення в умовах лівобережного Лісостепу України / С. М. Крамарьов, Г. П. Жемела, С. М. Шакалій // Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України. 2014. № 6. С. 61-67. URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/bisg_2014_6_14.

11. Мельник С. Методи визначення показників якості продукції рослинництва. 2016. №540. С. 8-11.